

TRABAJOS DE REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES  
FUNCIONALES 1, 3 Y 4 DE LOS TRAMOS VEGACHÍ – REMEDIOS Y ALTOS  
DE DOLORES - VARIANTE PUERTO BERRIO Y RUTA DEL SOL SECTOR II

ANDRES FELIPE LOZANO NAVARRO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2016

TRABAJOS DE REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES  
FUNCIONALES 1, 3 Y 4 DE LOS TRAMOS VEGACHÍ – REMEDIOS Y ALTOS  
DE DOLORES - VARIANTE PUERTO BERRIO Y RUTA DEL SOL SECTOR II

ANDRES FELIPE LOZANO NAVARRO  
Autor Del Trabajo

Tesis de grado realizado para optar el título de  
Ingeniero Civil

GABRIEL ENRIQUE CAMACHO  
Ingeniero Civil  
Director de Tesis

EMILIO GERMAN MORENO  
Ingeniero Civil  
Docente Supervisor

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2016

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bucaramanga, Junio de 2016

*“Vive como si fueras a morir mañana. Aprende como si fueras a vivir siempre.”*  
Mahatma Gandhi

Dedico esta tesis principalmente a mis padres, quienes han sido un apoyo incondicional no solo durante la ejecución de la práctica empresarial, sino también durante el tiempo de mi carrera profesional y toda mi vida.

A mi hermana Laura Vanessa Lozano Navarro, quien con su apoyo y gran ejemplo, me motivó a superarme día a día para conseguir mis metas y llegar a ser ese gran profesional que siempre quise ser.

A mi novia Katheryne Alvear, quien siempre creyó en mí y en mis capacidades como persona y estudiante para sacar adelante uno de los pasos más importantes de mi proyecto de vida.

A mis maestros, quienes nunca desistieron al enseñarme, siempre estuvieron dispuestos a transmitirme sus conocimientos, incluso en las ocasiones en que no demostraba mayor interés en sus clases, a ellos que a pesar de eso, continuaron depositando su esperanza en mí.

A mi tía Sandra Isabel Lozano, Especialista en Gerencia de Proyectos, quien con su experiencia y conocimientos profesionales me apoyó a lo largo de la redacción del presente documento y nunca dudó en brindarme su ayuda.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis. Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su disposición, entrega y apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y como más importante le agradezco a Dios por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional de ingeniería civil en una excelente institución educativa como lo es la Universidad Pontificia Bolivariana. También le agradezco por haberme dado una voz de aliento cuando estuve a punto de rendirme y por estar a mi lado en cada paso de mi vida.

Agradezco a mis padres y a mi toda mi familia por apoyarme en cada proyecto que decido emprender, por ser mi motor, mi mas grande motivación y por demostrarme que con esfuerzo, sacrificio y entrega se puede alcanzar aquello que mas deseamos.

A mis maestros por brindarme las herramientas necesarias para mi desarrollo como profesional capacitado y conciente de las diferentes exigencias que pueda tener cualquier proyecto que me disponga a iniciar.

A mis compañeros de facultad, quienes me brindaron una mano amiga cuando mas lo necesite, un consejo ante cualquier dificultad y una voz de aliento cuando sentia que no habia salida.

Al ingeniero Gabriel Enrique Camacho Moreno, Director Técnico de Autopistas Río Magdalena y mi jefe directo dentro de la empresa, quien tuvo toda la disposición para enseñarme y la paciencia necesaria para comprenderme. Su esfuerzo, su dedicación, sus conocimientos, su manera de exigirme, su persistencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación como ingeniero civil. Por eso, se ha ganado mi lealtad y admiración, así como sentirme en deuda con él por todo lo recibido durante mi tiempo de práctica empresarial.

Y a la Universidad Pontificia Bolivariana que no solo me permitió adquirir grandes conocimientos sino también me enseñó a ser una gran persona y un profesional íntegro dispuesto a contribuir con el desarrollo de este país.

A ellos les agradezco por su infinito apoyo y por cada acto que impulso mis ganas de seguir adelante con este proyecto de vida.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
2.1. Objetivo General	20
2.2. Objetivos Específicos	20
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>21</b>
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>22</b>
<b>5. ALCANCE</b>	<b>23</b>
<b>6. ACTIVIDADES</b>	<b>24</b>
<b>7. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>26</b>
<b>8. METODOLOGÍA</b>	<b>27</b>
<b>9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b>	<b>28</b>
<b>10. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO</b>	<b>29</b>
10.1. Características y Elementos de la Vía	30
10.2. Puntos de Referencia Evaluados	31
10.3. Formato de Inventario de Deterioros	32
10.3.1. Tipos de Deterioro	33
10.4. Dimensionamiento Auscultación	34
10.4.1. Grafica de Area de Intervencion por Km	35
10.5. Cuadro Comparativo de Propuestas de Costos y Presupuesto del Personal para la Supervision de Obras	36
10.5.1. Esquema Cuadros Comparativos	38
10.6. Presentación y Socialización con Alcalde de Puerto Berrio sobre los Impactos Directos y Zonas de afectación del Municipio	39
10.7. Supervisión: Campaña Geotécnica de Sondeos	43
10.7.1. Sondeos en Corte y Terraplen	43
10.8. Obras de Rehabilitación de Pavimento sobre la UF3 (Unidad Funcional 3)	45
10.8.1. Parcheo	45
10.8.1.1. Fresado	45
10.8.1.2. Imprimación	46
10.8.1.3. Aplicación	46
10.8.1.4. Compactación	46
10.8.2. Sellado de Fisuras	47
10.8.3. Sellado de Grietas	48
10.9. Actividades Finalizadas	48
10.10. Recursos Utilizados	49
<b>11. APOORTE AL CONOCIMIENTO</b>	<b>50</b>
11.1. Salida Técnica y Ensayos	50
11.2. Auscultación	50
11.3. Cuadro Comparativo de Propuestas de Costos y Presupuesto del Personal para la Supervision de Obras	52
11.4. Presentación Alcalde Puerto Berrío	53
11.4.1. Generalidades	53

11.4.2.	Unidades Funcionales	55
11.4.2.1.	Avance – Unidades Funcionales	55
11.4.2.2.	Avances Generales	57
11.5.	Sondeos UF3: Fase Operativa	58
11.5.1.	Investigación Previa	58
11.5.1.1.	Introducción	58
11.5.1.2.	Sondeos a rotación	58
11.5.1.3.	Sondeos a percusión	58
11.5.1.4.	Presentación de los datos de perforación	59
11.5.2.	Descripción de Procedimiento en Campo	60
11.5.2.1.	Sondeos a Percusión con Equipo Manual	60
11.5.2.2.	Sondeos a Rotación con Equipo Mecánico	64
11.5.3.	Cuadro de Avance de Campaña	
	Geotécnica – Sondeos de Corte y Terraplen en la UF3	68
11.5.4.	RQD (Rock Quality Designation)	68
11.5.5.	Ensayo Triaxial	69
11.5.5.1.	Método sin medición de presión de poros	70
11.5.5.2.	Método con medición de presión de poros	75
	<b>12. CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
	<b>13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>77</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1: Cronograma de Atividades	28
Tabla No. 2: Inventario de Deterioros	32
Tabla No. 3: Dimensionamiento Auscultación 1	34
Tabla No. 4: Dimensionamiento Auscultación 2	34
Tabla No. 5: Dimensionamiento Auscultación 3	35
Tabla No. 6: Cuadro comparativo de costos – Costos Directos	38
Tabla No. 7: Cuadro Comparativo – Otros	38
Tabla No. 8: Sondeos en Corte	44
Tabla No. 9: Sondeos en Terraplen	44
Tabla No. 10: Informacion General de Unidades Funcionales	55
Tabla No. 11: Cuadro de Avance Parcial de Sondeos UF1 – Terraplen	68
Tabla No. 12: Cuadro de Avance Parcial de Sondeos UF1 – Corte	68
Tabla No. 13: Clasificación RQD	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1: Intervención Previa Deteriorada	33
Figura No. 2: Fisura Longitudinal	33
Figura No. 3: Fisura Transversal	33
Figura No. 4: Piel de Cocodrilo	33
Figura No. 5: Piel de Cocodrilo Sellada	33
Figura No. 6: Localización – Variante Puerto Berrio	39
Figura No. 7: Presentación Alcaldía Puerto Berrio	40
Figura No. 8: Estribo del Puente en Santander 1	41
Figura No. 9: Estribo del Puente en Santander 2	41
Figura No. 10: Estribo del Puente en Antioquía	41
Figura No. 11: Fresado	45
Figura No. 12: Imprimación	46
Figura No. 13: Aplicación	46
Figura No. 14: Compactación	47
Figura No. 15: Sello de Fisuras	47
Figura No. 16: Sello de Grietas 1	48
Figura No. 17: Sello de Grietas 2	48
Figura No. 18: Localización del Proyecto – Unidades Funcionales	53
Figura No. 19: Ubicación de las plazas de peaje	54
Figura No. 20: Transporte de Herramientas y Equipo	60
Figura No. 21: Equipo Manual en Operación	61
Figura No. 22: Registro de # Golpes, Prof., % Rec. y Descripción de muestra	61
Figura No. 23: Tomamuestras tipo Shelby	63
Figura No. 24: Muestra Inalterada en tubo PVC	63
Figura No. 25: Descargue de Equipo	64
Figura No. 26: Equipo Mecánico: “Petty”	64
Figura No. 27: Equipo Mecánico: “Long Year 24”	65
Figura No. 28: Perforación en Rotación	66
Figura No. 29: Muestra de Gneis (Roca In situ)	66
Figura No. 30: Llenado de tanque de agua con Polímeros	67
Figura No. 31: Equipo Triaxial	70
Figura No. 32: Esquemas de Cargas Vivas	83
Figura No. 33: Localización Primer Sondeo Mecánico	88
Figura No. 34: Figura No. 34: Equipo Mecánico: “Long Year 24”	88
Figura No. 35: Tanque Almacenamiento de Agua	88
Figura No. 36: Descargue de Equipo Mecánico: Petty	88
Figura No. 37: Equipo Mecánico: “Petty”	89
Figura No. 38: Movilización “Petty”	89
Figura No. 39: Llenado de tanque de agua con Polímeros	89
Figura No. 40: Figura No. 40: “Petty” en Operación	89
Figura No. 41: Tubería para sondeos	89

Figura No. 42: Guía y Pesa	89
Figura No. 43: Transporte de “Long Year 38”	90
Figura No. 44: Descargue de Equipo	90
Figura No. 45: “Long Year 38”	90
Figura No. 46: Descargue Maquina de Sondeo	90
Figura No. 47: “Long Year 38” en Operación	90
Figura No. 48: Tanques de Captación de Agua	90

## LISTA DE GRAFICOS

Grafico No. 1: Área de Intervención por Km (m2)	35
Grafico No. 2: Regresión de Área de Intervención por Km (m2)	35
Grafico No. 3: Grafico Tipico de Ensayo	73
Grafico No. 4: Grafico de Diagramas p-q	74

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Análisis Comparativo entre las Normas Colombianas de Diseño de Puentes CCP-14 y CCDSP-95	78
Anexo B: Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCDSP-95	82
Anexo C: Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14	84
Anexo D: Registro Fotográfico – Campaña Geotécnica de Sondeos UF3	88

## GLOSARIO

- **AUSCULTACIÓN:** Esta práctica se realiza con el fin de obtener una descripción a detalle sobre las características físicas de la estructura exterior de un tramo vial, el cual posteriormente se va a intervenir. El procedimiento consiste en detectar el tipo de falla encontrada sobre la vía (la falla puede ser: intervención previa en estado de deterioro, fisura longitudinal, fisura transversal, piel de cocodrilo o piel de cocodrilo sellada); posteriormente se debe registrar los datos sobre una posible intervención futura de cuadro de parcheo, evidenciar el deterioro mediante un registro fotográfico y realizar una descripción detallada sobre lo que se observó en campo.
- **FRESADO:** El fresado es una etapa fundamental en la rehabilitación de pavimentos asfálticos deteriorados, tras el estudio previo del pavimento a rehabilitar se definen los tramos a fresar. Mediante el fresado es posible levantar las partes defectuosas del pavimento sin tocar las que estén en buen estado.  
Con una sola máquina y de una pasada se elimina el largo, ancho y espesor deseado, cargándolo directamente en el camión, los tiempos de trabajo se reducen considerablemente con un impacto mínimo en el tráfico.  
El material fresado resultante pueda ser reutilizado para la fabricación de nuevas mezclas asfálticas o como suelo seleccionado o adecuado en la misma obra. Nuestro servicio incluye el barrido de la zona fresada mediante barredoras auto cargables BOBCAT que realizan un barrido excelente.
- **IMPRIMACIÓN:** Se aplica sobre una superficie sin tratar sobre la que se ejecutará algún tratamiento o carpeta. Se aplica entre la construcción de la base y la colocación de la carpeta asfáltica. En este periodo se requiere proteger la base de la lluvia y del tráfico. El riego de imprimación endurece la superficie, aglomera las partículas sueltas y por otro impermeabiliza las superficies. Con esto no solo protege a la base de la lluvia y el tránsito sino también reduce la emisión de polvo.
- **ODÓMETRO:** Los odómetros manuales es que son instrumentos económicos, livianos, de sencillo manejo y transporte (generalmente son plegables), pueden contar distancias hacia adelante y hacia atrás en rangos de 0 a 9.999,99 metros, funcionan perfectamente para medir longitudes curvas y hasta pueden medir áreas con cierta precisión. Para utilizar los odómetros manuales en la medición de una distancia entre dos puntos, simplemente tenemos que fijar la rueda sobre el punto de partida, apretar el botón de inicio y caminar hasta el punto final. La distancia recorrida aparecerá directamente en el marcador o la pantalla electrónica.

- **GRIETAS:** Todas aquellas aberturas incontroladas de un elemento superficial que afectan a todo su espesor.
- **FISURAS:** Todas aquellas aberturas incontroladas que afectan solamente a la superficie del elemento o a su acabado superficial.
- **CALICATAS:** Exploración que se hace en cimentaciones de edificios, muros, etc., para determinar los materiales empleados. Son excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente con pala retroexcavadora.
- **SONDEO GEOTÉCNICO:** Es un tipo de prospección manual o mecánica, perteneciente a las técnicas de reconocimiento geotécnico del terreno, llevadas a cabo para conocer sus características. Se trata de perforaciones de pequeño diámetro, (entre 65 y 140 mm) que, aunque no permiten la visión "in situ" del terreno, de ellos se pueden obtener testigos del terreno perforado, así como muestras, y realizar determinados ensayos en su interior.
- **ENSAYOS CON PENETRÓMETRO:** Empleados en la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento geotécnico. Consisten en la introducción en el terreno de un elemento de penetración, generalmente de forma cónica, unido solidariamente a un varillaje. La hincas se realiza por golpeo de una maza con un peso definido, sobre una sufridera o cabezal colocado en la parte superior del varillaje. Dicha maza se eleva a una altura fijada, y se deja caer libremente. El resultado del ensayo es el número de golpes necesario para que el penetrómetro se introduzca una determinada profundidad.
- **BACHEO:** Cuando la superficie presenta fallos, brechas o huecos se requiere de un método rápido y eficiente para solucionar permanentemente la falla del pavimento, sin contaminar, y que la presencia del agua o temperatura del material al ser aplicado garanticen su duración y así no tener que repetir este trabajo.
- **BOLSACRETOS:** Son formaletas flexibles y permeables elaboradas a partir de cintas planas de polipropileno, que forman un textil de excelentes características ingenieriles. Se confeccionan según dimensiones establecidas (1 m<sup>3</sup> ó 2 m<sup>3</sup>) para optimizar su manejo, utilización y colocación en el lugar de trabajo.
- **GAVIÓN:** Consisten en una caja o cesta de forma prismática rectangular, rellena de piedra, de enrejado metálico de malla. Se colocan a pie de obra desarmados y, una vez en su sitio, se rellenan con piedras del lugar. Se diseñan para mantener una diferencia en los niveles de suelo en sus dos

lados constituyendo un grupo importante de elementos de soporte y protección cuando se localiza en lechos de ríos.

- **DESPORTILLAMIENTO:** La rotura de los bordes en las losas y en las juntas. Éstas se presentan generalmente por malos desencofrados y/o la penetración de pequeñas piedras en las juntas que, al cerrarse, hacen saltar el concreto en las proximidades de las juntas.
- **APÍQUE:** Excavación utilizada para examinar detalladamente el subsuelo y obtener muestras inalteradas y cuyas dimensiones en planta son aproximadamente iguales entre sí y menores que su profundidad.
- **CAPTAFAROS:** Dispositivo destinado a reflejar la luz, con el fin de manifestar la presencia de algún obstáculo o indicación.
- **SHELBY:** El tubo Shelby o también llamado tubo de pared delgada es un tubo fabricado de acero sin costuras y su objetivo es la toma de muestras de suelo "in situ", con este sistema se pueden obtener muestras de arcilla o de suelos, prácticamente inalteradas.

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** TRABAJOS DE REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES FUNCIONALES 1, 3 Y 4 DE LOS TRAMOS VEGACHÍ – REMEDIOS Y ALTOS DE DOLORES - VARIANTE PUERTO BERRIO Y RUTA DEL SOL SECTOR II

**AUTOR(ES):** ANDRES FELIPE LOZANO NAVARRO

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** EMILIO GERMAN MORENO GONZALEZ

### RESUMEN

El proyecto de grado presentado en los siguientes capítulos describe las diferentes actividades, funciones y labores desempeñadas por el estudiante en práctica en la concesión vial AUTOPISTA RIO MAGDALENA, la práctica tuvo un tiempo estimado de duración de 4 meses a partir del día jueves 04 de febrero del año 2016. La funciones del practicante le permitieron realizar aportes significativos correspondientes a la mejora de los rendimientos de los frentes de trabajo y la optimización de recursos desempeñándose desde el área técnica del proyecto, supervisando la ejecución de diferentes tipos de obra sobre el tramo vial que comprende la unidad funcional 3, la cual se encuentra en operación por la concesión, obras tales como: obras de contención, demolición, gaviones, muros de concreto, cunetas, limpieza alcantarillas. Además, se realizó una auscultación sobre la UF3 con el fin de encontrar la mayor cantidad de deterioros en la vía y así poder realizar labores de parcheo correspondientes; en esta misma unidad se realizó la supervisión de una campaña topográfica para el levantamiento de las correcciones de curva y las ampliaciones a tercer carril de este corredor vial. Finalmente se realizó la supervisión de una campaña geotécnica de sondeos sobre la UF1 para obtener capacidades portantes del suelo para cortes y terraplenes. Estas labores de supervisión fueron complementadas con informes de avance y proposición de contramedidas que se anticipen a los factores que puedan llegar a influir en los bajos rendimientos de operación.

### PALABRAS CLAVES:

Concesión vial, obras de contención, auscultación, sondeos y campaña topográfica.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** WORKS OF REHABILITATION AND MAINTENANCE OF FUNCTIONAL UNITS 1, 3 AND 4 OF SECTIONS VEGACHÍ – REMEDIOS Y ALTOS DE DOLORES - VARIANTE PUERTO BERRIO Y RUTA DEL SOL SECTOR II

**AUTHOR(S):** ANDRES FELIPE LOZANO NAVARRO

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** EMILIO GERMAN MORENO GONZALEZ

### ABSTRACT

The graduation project presented in the following chapters describe different activities, functions and tasks performed by the student in practice in the highway concession AUTOPISTA RIO MAGDALENA, the practice had an estimated duration of four months beginning on February 4, 2016. The functions of the practitioner allowed him to make significant contributions corresponding to the improvement of the yield works and the resource optimization from the technical area of the project, monitoring the implementation of different types of work on the road section comprising the functional unit 3 (UF3), which is in operation by the concession, works such as demolition, gabions, concrete walls, ditches, cleaning sewers. Also, auscultation on UF3 was conducted in order to find the greatest amount of damage to the road and then perform the corresponding patch work; supervision of a topography campaign for lifting curve corrections and the addition of a third lane to this road corridor was performed. Finally, the supervision of a geotechnical drilling campaign on the UF1 was performed to obtain soil bearing capacities for cuts and embankments. These supervision tasks were supplemented with progress reports and the proposal of countermeasures that anticipate factors that may come to influence the low yields of operation.

### KEYWORDS:

Road Concession, containment works, auscultation, surveys and topographic campaign.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1. INTRODUCCIÓN

La Práctica Empresarial ejercida en la concesión vial AUTOPISTA RIO MAGDALENA S.A.S. va enfocada hacia el apoyo que se puede brindar en la gestión de rehabilitación, operación y mantenimiento de tramos viales que conectan el centro del país con el corredor hacia el norte.

Este nuevo sistema de infraestructura vial forma parte del programa de cuarta generación (4G) de concesiones viales promovido por el Gobierno de Colombia para incrementar la conectividad de los principales centros de producción y exportación del país.

En el presente documento, se dará a conocer los diferentes procesos en los que el estudiante en práctica ejerce sus funciones de forma directa, haciendo uso de los múltiples recursos y conocimientos adquiridos gracias a la gestión conjunta de la Universidad y la empresa. Además, se evidencia la participación activa en procesos externos al cargo impartidos por el estudiante en prácticas, en pro de la mejora y el beneficio del sistema integral impartido por la empresa, mediante las tareas y actividades asignadas por el ingeniero supervisor encargado del cumplimiento de las mismas a lo largo de los periodos de prueba y de duración de la práctica empresarial estipulada.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- Aplicar los conocimientos en diseño de infraestructura vial obtenidos durante el programa de pregrado cursado en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga y conocer los diferentes procesos implicados en las fases de diseño, planeación y ejecución del proyecto que comprende los trabajos de estudios geotécnicos, rehabilitación y mantenimiento de las Unidades Funcionales 1, 3 y 4 de los tramos viales entre Vegachí – Remedios y Altos De Dolores – Variante Puerto Berrio – Ruta Del Sol Sector II.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar la respectiva auscultación en los Puntos de Referencia previamente enviados por el equipo de geólogos y especialistas del área por parte de la empresa contratista GINPROSA , para verificar el estado de la vía en los tramos que comprenden la Unidad Funcional 3 y 4 (UF3 y UF4 ), para posteriormente proceder a intervenir dichas fallas.
- Fortalecer los conocimientos obtenidos durante el programa de pregrado, desde la labor teórico-práctica que se ejerce mediante la vinculación a la concesión AUTOPISTA RIO MAGDALENA S.A.S.
- Conocer los diferentes procesos que intervienen e influyen en un proyecto de gran envergadura e importancia para el país a nivel de infraestructura vial, y formar parte del equipo multidisciplinario que participará en los procesos de diseño y construcción para la rehabilitación y mantenimiento de dos de las unidades funcionales que hacen parte del proyecto.
- Realizar un mayor acercamiento al trabajo de campo, tomando parte en procesos como los estudios de suelos, ensayos y prácticas de resistencia y consolidación en pavimentos, diseños viales, revisión del estado de la vía en tramos a rehabilitar, entre otros.
- Apoyar gestión correspondiente al cumplimiento de las especificaciones técnicas para la ejecución del proyecto y lineamientos regidos por entes como la ANI y la concesión AUTOPISTA RIO MAGDALENA S.A.S.
- Supervisar campaña geotécnica de sondeos sobre la UF1, realizando reportes diarios, informes semanales de avance y haciendo un seguimiento riguroso a todo el proceso de extracción de muestras, empaquetado y tipificación de las muestras.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El practicante, como estudiante de Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana requiere realizar la práctica profesional para poder graduarse como Ingeniero Civil, lo que lo llevó a tocar puertas en algunas empresas donde se le permitiera realizar la práctica empresarial, oportunidad que le fue brindada por la Concesión Autopista Río Magdalena.

Autopista al Río Magdalena 2 es un proyecto de infraestructura vial de cuarta generación, el cual obedece a unas especificaciones técnicas especiales y totalmente nuevas, las cuales proporcionarían mayor seguridad, optimización en los tiempos transporte, reducción de costos para el traslado de bienes y productos y mejoramiento de conectividad y movilidad desde los principales centros de producción a los centros de consumo y exportación; el proyecto inicia en Remedios, en el departamento de Antioquia con la UF1 y se extiende hasta el municipio de Cimitarra en Santander con la construcción de una nueva variante en la UF4, y que una vez completada proveerá una conexión importante entre el sistema de carreteras de las Autopistas para la Prosperidad y la Ruta del Sol. Así mismo, permitirá que el segundo centro de producción del país, Antioquia, tenga un mejor acceso a la principal arteria vial de la nación.

Este nuevo proyecto, que hace parte de la segunda ola de concesiones 4G, intervendrá una longitud aproximada de 144 kilómetros que se dividen de la siguiente manera: construcción aproximada de 87 kilómetros de vía y mejoramiento y rehabilitación de 57 kilómetros.

Lo anterior, para decir; que la presente tesis se basa en los estudios geotécnicos, rehabilitación y mantenimiento de las Unidades funcionales 1, 3 y 4 que comprenden los tramos Vegachí – Remedios para el caso de la unidad funcional 1 y los tramos Altos de Dolores – variante Puerto Berrío – Ruta del Sol sector II que comprende las unidades funcionales 3 y 4, trabajos que se desarrollan en el departamento de Antioquia y parte de Santander; que ejecuta, opera y administra la concesión y en la cual se basó la práctica empresarial.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Autopista Río Magdalena S.A.S., constituida en noviembre de 2014, es la sociedad concesionaria encargada de la financiación, construcción, operación, mantenimiento y conservación de los tramos de carretera comprendidos por: Remedios –Vegachí –Alto de Dolores – Variante Puerto Berrío – Conexión Ruta del Sol. En diciembre de 2014 Autopista Río Magdalena S.A.S. suscribe con la Agencia Nacional de Infraestructura el contrato de concesión cuyo objeto es la realización de los estudios y diseños definitivos, financiación, gestión ambiental, predial y social, construcción, mejoramiento, rehabilitación, operación, mantenimiento y reversión del proyecto Autopista al Río Magdalena 2.

A raíz del presente proyecto nace la necesidad de trabajar y aportar los conocimientos del estudiante en práctica en Ingeniería Civil para el desarrollo de trabajos en las unidades funcionales 1, 3 y 4, donde se realizan los trabajos de estudios geotécnicos, rehabilitación y mantenimiento de dichas unidades.

Actualmente el practicante continua ejerciendo labores de supervisión de sondeos en la campaña geotécnica iniciada a principio del mes de mayo sobre la UF1 y en la campaña topográfica de la UF3, al mismo tiempo este tipo de supervisión le permitio ampliar sus conocimientos respecto a la etapa preconstructiva de un proyecto de infraestructura vial de gran magnitud.

## 5. ALCANCE

La práctica empresarial ejercida en AUTOPISTA RIO MAGDALENA se desarrolla directamente en las unidades funcionales 1, 3 y 4 del proyecto Autopista al Rio Magdalena 2, el cual inicio en el año de 2015. El periodo contemplado para la realización de la práctica inicia el 04 de febrero y finaliza el 03 de Junio del año 2016.

Dentro del contexto espacial del desarrollo de la práctica empresarial, la zona de ejecución de las labores del practicante estan distribuidas de la siguiente manera:

- ✓ Unidad Funcional 1: Remedios – Vegachí
- ✓ Unidad Funcional 3: Alto de Dolores – Variante Puerto Berrio
- ✓ Unidad Funcional 4: Variante Puerto Berrio – Conexcion Ruta del Sol

En el alcance directo del proyecto de grado ejercido por el practicante en las areas anterioremente descritas se incluyen labores técnico-administrativas, supervision de actividades enfocadas hacia la fase preconstructiva del proyecto de infraestructura vial, dentro de los cuales se encuentra la coordinación y supervisión de estudios de suelos tales como: Campañas Geotecnicas (calicatas, sondeos, penetrómetros), campaña topográfica. Ademas se realizara acompañamientos a socializaciones con la comunidad como encargado del área técnica y revisión de cuadros de presupuestos sobre los costos directos, indirectos y otros del proyecto.

Durante el desarrollo de las tareas delegadas al practicante, se le dotará de herramientas e implementos necesarios para la ejecución de sus funciones dentro de la empresa, dentro de estos implementos estan: un computador, un Celular con línea corporativa, vehículo, flexómetro, odómetro, cámara fotografica, entre otros. Ademas, para el cumplimiento del alcance se realizaron una serie de actividades, encaminadas a informar el estado de los diferentes frentes de obra que se encontraban operando, lo cual permitiría tomar las medidas necesarias para la mejora del rendimiento de trabajo así como la optimización de los recursos tanto humanos como de equipos. Adicionalmente se debe tener un control y un seguimiento diario de las actividades que se llevaran a cabo y al final de la semana un resumen completo para apoyar la gestión técnica del proyecto en la elaboración de Actas de Obra, asistencia a comités y reuniones de frentes.

Complementando estas labores, se realizaran labores de tipo operativas a lo largo de la UF3, realizando una auscultación de los 47 km que comprenden el tramo y se realizara un supervisión general a todos los trabajos que se ejecuten dentro y fuera de la vía, en la zona de impacto del proyecto.

## 6. ACTIVIDADES

El Estudiante en Prácticas deberá informarse sobre las diferentes fases, lineamientos y etapas del proyecto, lo cual le permitirá tener una mejor visión del trabajo que ejecutará en el periodo de tiempo que se encuentre realizando sus prácticas empresariales con AUTOPISTA RIO MAGDALENA S.A.S., esto como una primera instancia.

Una vez haya culminado su proceso de análisis y recolección de información necesaria para las tareas que se le indicaran, se dispondrá y dotará de los implementos necesarios para llevar a cabo sus tareas; además contará con supervisión periódica del Ingeniero Gabriel Camacho (Supervisor), el cual se encargará de impartir dichas tareas y mantener un contacto permanente con el practicante en pro de su proceso de aprendizaje y al mismo tiempo correspondiendo con su cargo dentro de la empresa.

El plan de trabajo que se va a ejecutar con el Ingeniero en Práctica depende de diferentes factores que intervienen en los periodos de tiempo de todas y cada una de las entregas pautadas en el proyecto. Por consiguiente, no se puede dar un esquema preciso de las diferentes tareas o labores que realizará el practicante durante su periodo de tiempo en la empresa.

Algunas de estas tareas o labores destinadas al Ingeniero en Prácticas según los tiempos de entrega pautados por la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI, como ente interventor en el proyecto, serían las siguientes:

- Revisar información relevante y elaborar primer informe del estado de la vía de las UF3 y UF4, con el fin de sugerir los diferentes elementos de seguridad que se podrían implementar para suplir las exigencias de la ANI en una vía rehabilitada con los mejores estándares de calidad que representa el proyecto.
- Analizar las diferentes alternativas para rehabilitación en los puntos críticos enviados desde Bogotá por la empresa contratista GINPROSA. Enviar informe a detalle.
- Realizar auscultación de los tramos viales que comprenden las UF3 y UF4 con ayuda de equipo especial de la empresa: Camioneta para desplazarse a la vía, auxiliar para señalización, Casco, Odómetro, regleta y cámara digital para registro fotográfico.

- Revisar el estado de la vía (tipos de fisuras, “Piel de cocodrilo”, reparcheos en deterioro, desportillamientos) puntos: Variante Puerto Berrio – Alto de Dolores. (UF3)
- Acompañar comisión de ingenieros civiles de Bogotá y España encargados del diseño vial y analizar el estado del pavimento mediante diferentes prácticas como ensayos de Penetrómetro, Sondeos y Calicatas.
- Presentar informes referentes al curso del proyecto e intervenciones realizadas a la vía durante el periodo de operación y ejecución de mantenimiento según especificaciones técnicas.
- Realizar visita en conjunto de comisión topográfica, revisión de trazados sobre los puntos más críticos de la vía según corresponde para el diseño de la UF3.
- Supervisar la ejecución de obras de arte, contención y demolición sobre la UF3: garzas, gaviones, muros de concreto, cunetas, demolición crack, limpieza alcantarillas, etc.
- Realizar reporte continuidad de elementos de señalización vial y seguridad tales como tachas reflectivas, defensas, captafaros, secciones finales, línea de demarcación, bandas sonoras-resaltos, marcas viales.
- Supervisar campaña geotécnica de sondeos en la UF1 y campaña topográfica en la UF3.

## 7. ESTADO DEL ARTE

Las prácticas empresariales en Autopista Rio Magdalena S.A.S. van enfocadas hacia la infraestructura vial, en el tiempo requerido por la práctica, uno de los principales objetivos que espero poder cumplir, es aprender sobre los diferentes procesos y entidades que intervienen directa e indirectamente en un Proyecto de gran escala y magnitud en el país como lo es la concesión Autopista al Rio Magdalena 2 – Conexión Ruta del Sol 2 – Variante Puerto Berrio – Alto de Dolores – Remedios.

El proyecto de la concesión Autopista Rio Magdalena 2 hace parte de la segunda ola de intervenciones del Proyecto de Infraestructura Vial más grande e importante del país; este proyecto tendrá 144 km en intervenciones, con 87 km de nuevas construcciones, 47 km de rehabilitación y 10 km de mejoramiento, además generara más de 7100 empleos en el país y tiene una inversión aproximada de \$1.37 Billones.

El proyecto garantizará una vía de excelentes especificaciones con las que los tiempos de viaje y costos de operación vehicular se verán disminuidos significativamente. El proyecto comprende la construcción de la nueva variante de Puerto Berrio, el mejoramiento de la calzada existente que conecta Puerto Berrio – Alto de Dolores, la construcción de una nueva vía desde Alto de Dolores hasta Remedios y la operación y mantenimiento de toda la concesión.

Esta nueva infraestructura forma parte del programa de cuarta generación de concesiones viales promovido por el Gobierno de Colombia para incrementar la conectividad de los principales centros de producción y exportación del país.

Las funciones del Estudiante en Práctica dentro de la empresa le permitirán realizar un mayor acercamiento al trabajo de campo, tomando parte en procesos como los estudios de suelos, ensayos y prácticas de resistencia y consolidación en los pavimentos, diseños viales, revisión del estado de la vía en tramos a rehabilitar, entre otros; relacionados con la gestión técnica y practica del proyecto.

De esta forma, se aplicará los conocimientos adquiridos durante el programa de pregrado, y se estudiará más a fondo sobre las diferentes acciones y tareas que se deben ejecutar durante las fases de diseño e inicios de ejecución del proyecto de la concesión Autopista Rio Magdalena.

## 8. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente documento se selecciona la Metodología para la gestión de proyectos por el Método de la Cadena Crítica.

El Método de la Cadena Crítica es el más joven de todas las metodologías para la gestión de proyectos propuestas y, sin embargo, la más aplaudida por sus excelentes resultados en cuanto a la gestión de proyectos. Está especialmente indicado para proyectos complejos por su cualidad de simplificar el seguimiento y control a ejercer.

Los aspectos más destacables de esta técnica son:

- Facilita el establecimiento de prioridades y la toma de decisiones.
- Garantiza una efectiva protección de proyecto.
- Su funcionamiento se basa en la detección de las actividades que marcan la duración máxima del proyecto, que pasan a ser consideradas como actividades críticas.
- Para lograr la eficiencia se reducen los plazos estimados para la consecución de las actividades, según el planning inicial y, en su lugar, se establecen amortiguadores de tiempo que se sitúan en puntos estratégicos.
- Pueden distinguirse tres tipos de amortiguadores (de proyecto, de alimentación y de recurso), cada uno de los cuales cuenta con una función de protección distinta, siendo todas ellas complementarias y necesarias.
- La forma de controlar el desarrollo del proyecto se reduce a monitorizar la velocidad de consumo de los buffers y tomar las acciones necesarias cuando convenga.

## 9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES						
ACTIVIDADES	TIEMPO DE EJECUCION DE LAS PRACTICAS					
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
<b>Plan de Trabajo Coordinador Practicas</b>						
Revisar información relevante del estado de la vía de las UF3 y UF4						
Analizar las diferentes alternativas para rehabilitación en los puntos críticos						
<b>Primer Informe:</b> Primer acercamiento y análisis de la situación actual y estado de las unidades funcionales						
<b>Primera Evaluación Empresa</b>						
Realizar auscultación de los tramos viales que comprenden las UF3 y UF4						
Acompañar comisión de ingenieros encargados del diseño vial y revisión del estado del pavimento						
<b>Segundo Informe:</b> Curso del proyecto e intervenciones realizadas a la vía durante el periodo de operación y ejecución de mantenimiento						
<b>Segunda Evaluación Empresa</b>						
Realizar visita en conjunto de comisión topográfica, revisión de trazados sobre los puntos más críticos de la vía						
Supervisar la ejecución de obras de arte, contención y demolición sobre la UF3						
Realizar reporte continuidad de elementos de señalización vial y seguridad						
<b>Tercera Evaluación Empresa</b>						
<b>Informe Final Empresa</b>						
<b>Informe Final Docente</b>						
<b>Sustentación Empresa y Docente</b>						
<b>Evaluación Empresa Coordinador Practicas</b>						

*Tabla No. 1: Cronograma de Actividades<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Fuente: Elaboración Propia.

## 10. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

Inicialmente el Estudiante en Prácticas debió informarse sobre las diferentes fases, lineamientos y etapas del proyecto, lo cual le permitió tener una mejor visión del trabajo que ejecutará durante este primer periodo de tiempo estipulado para la primera entrega de informe de avance y evaluación respectivas.

Para esta primera parte, se realizaron principalmente los respectivos trabajos de auscultación del tramo vial que comprende Altos de Dolores – Variante Puerto Berrio, más conocido como la UF3; se evaluaron aproximadamente 50 kilómetros iniciando en el PR 41+050 y finalizando en el PR 90+800, las actividades de auscultación implicaron una duración de un mes, el cual significó una disminución de duración de dos tercios menos de lo que se tenía contemplado inicialmente en el Plan de Trabajo, esto debido a los requerimientos del proyecto y el supervisor a cargo.

El Procedimiento consistió en recolectar la mayor cantidad de información posible de cada tipo de deterioro según especificaciones dadas por la empresa contratista GINPROSA, de esta forma se obtendría la cantidad de números de deterioros a lo largo de los 50 kilómetros revisados y analizados; en total fueron 1136 deterioros encontrados, para cada uno de estos, se debían realizar anotaciones especificando datos como: la fecha de observación, la abscisa o punto de referencia de ubicación, carril, número de hoja dependiendo del número de deterioros diarios encontrados, el tipo de deterioro (según el cual se procedía a indicar ancho de fisura, largo y alto de posible intervención, y en caso de presentarse desportillamiento, debía ser indicado), registro fotográfico respectivo y una observación explicando y describiendo el tipo de deterioro encontrado.

Las anotaciones indicadas anteriormente se realizaron en forma escrita y posteriormente debían ser transcritas en medio digital al formato elaborado en el software Microsoft Excel previamente distribuido como se ha mencionado a lo largo del presente documento, por la empresa contratista GINPROSA. En conjunto con este formato de inventario de deterioros como se le denominó, se debía elaborar una tabla que contuviera el respectivo resumen de esta información y que presentara el dimensionamiento detallado de los datos más importantes generados por la práctica de la auscultación. Dentro de estos datos finales utilizados por la empresa para conocer el total de las áreas futuras de intervención, además de la información mencionada anteriormente, se tuvo en cuenta: una proyección de espesor por intervención de 0,1m, área de intervención, volumen de intervención, área de intervención por kilómetro, porcentaje de intervención por total de kilómetros intervenidos y porcentaje de intervención por kilómetros totales recorridos a lo largo de cada mil metros.

Al finalizar el cuadro de información de resumen de dimensionamiento de la auscultación, se generaron gráficos que soportaran esta información y que

permitieran observar de una mejor manera el comportamiento de las áreas y los porcentajes de área por kilometro recorrido. Para conseguir el rendimiento máximo en la actividad asignada y cumplir con los tiempos solicitados por las necesidades del proyecto, fue necesario emplear horas extras de trabajo durante la semana y trabajar adicionalmente tres sabados del mes de Febrero. El resultado final fue la culminación de las actividades de auscultación propuestas para el primer y segundo periodo a evaluar de la practica en un tercio del tiempo especificado en el Plan de Trabajo.

Por otro lado, en el transcurso de lo que va del presente mes, se han organizado visitas tecnicas periodicas semanales con comisiones de ingenieros civiles provinientes desde Bogotá y España, para la revisión y análisis del estado del pavimento mediante diferentes prácticas como ensayos de Penetrómetro, Sondeos y Calicatas; esto con el fin de definir las mejores medidas para tratamiento del suelo y de esta forma dar inicio a la ejecución de la fase constructiva del proyecto.

### **10.1. Características y Elementos de la Vía**

- ✓ Carretera de Orden Primaria (conecta dos departamentos del país)
- ✓ Estado: Aceptable
- ✓ Ancho de Carril: 3,5 m
- ✓ Ancho de Berma: 0,7 m
- ✓ Ancho de Calzada: 8,3 m
- ✓ Peralte: Variable (segun especificaciones y proporciones de cada curva)
- ✓ Cunetas (las dimensiones de este elemnto dependen de la intensidad de la lluvia prevista, la naturaleza del terreno, y el área de drenaje)
- ✓ Flujo Vehicular Diario: 1400 - 1500 veh/dia
- ✓ Taludes (ángulo variable segun característica del terreno, cáalidad y estratificación de los suelos encontrados)
- ✓ Gaviones
- ✓ Muros de contención
- ✓ Sistema de alcantarillado (contribuye con un adecuado drenaje de cunetas)
- ✓ Señalización vertical
- ✓ Tachas reflectivas
- ✓ Defensas
- ✓ Postes para defensa metálica
- ✓ Postes para defensa metálica con base de concreto
- ✓ Captafaros
- ✓ Linea de demarcación
- ✓ Bandas sonoras
- ✓ Marcas viales

Es importante recordar que de las anteriores especificaciones y elementos, existen algunos que presentan una variación en sus

dimensiones debido a las características del terreno o debido a su propia estructura interna; por esta razón, no se puede especificar dimensiones tales como las del ángulo de los taludes, el porcentaje del peralte, el ángulo de las cunetas, etc.

## 10.2. Puntos de Referencia Evaluados

Los siguientes puntos de referencia, se tomaron en cuenta como guía para la revisión de estado de la vía y auscultación realizadas; estos puntos fueron suministrados por la empresa contratista en colaboración GINPROSA, la cual mediante un estudio previo del estado de la vía, asigno estos puntos, como los puntos donde se observaba mayor deterioro en el estado de la vía.

PR 41+050 al 42+850	PR 69+980 al 70+040
PR 43+160 al 45+160	PR 70+200 al 70+320
PR 45+420 al 45+600	PR 70+460 al 70+680
PR 45+800 al 46+080	PR 72+260 al 73+000
PR 46+280 al 47+180	PR 75+110 al 75+360
PR 47+760 al 47+960	PR 76+240 al 76+520
PR 49+390 al 49+450	PR 78+260 al 78+570
PR 49+910 al 49+990	PR 78+850 al 78+990
PR 50+460 al 54+200	PR 80+510 al 81+590
PR 54+650 al 55+650	PR 81+880 al 82+420
PR 56+110 al 56+790	PR 82+800 al 83+780
PR 57+990 al 58+090	PR 84+170 al 84+390
PR 58+400 al 58+900	PR 84+680 al 87+020
PR 59+120 al 64+160	PR 87+800 al 87+880
PR 64+400 al 64+560	PR 88+130 al 90+800
PR 65+170 al 69+660	

### 10.3. Formato de Inventario de Deterioros

El formato de Inventario de Deterioros PR 41+050 a 90+800 “UF3:ALTO DE DOLORES – PUERTO BERRIO” contiene datos como: la fecha de observación, la abscisa o punto de referencia de ubicación, carril, número de hoja dependiendo del número de deterioros diarios encontrados, el tipo de deterioro (según el cual se procedía a indicar ancho de fisura, largo y alto de posible intervención, y en caso de presentarse desportillamiento, debía ser indicado), registro fotográfico respectivo y una observación explicando y describiendo el tipo de deterioro encontrado.

<b>Deterioro No.</b>		<b>Fecha:</b>		<b>PR:</b> 0+000
<b>Carril</b>	Izquierdo		<b>Ancho de Carril</b> 3,5 mts	
	Derecho			
<b>Levantado Por:</b> Andres Felipe Lozano			Hoja ___ de ___	

TIPO DE DETERIORO					
		Ancho Fisura:	Largo (Posible Intervención)	Alto (Posible Intervención)	Desportillamientos (SI/NO)
	Intervención Previa deteriorada	0 mm	0,0 mts	0 mts	
X	Fisura Longitudinal	0 mm	0,0 mts	0 mts	
	Fisura Transversal	0 mm	0,0 mts	0 mts	
	Piel de Cocodrilo	0 mm	0,0 mts	0 mts	
	Piel de Cocodrilo Sellada	N/A	0,0 mts	0 mts	
REGISTRO FOTOGRAFICO					
OBSERVACIONES					

*Tabla No. 2: Inventario de Deterioros<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> Fuente: GINPROSA. (Empresa contratista)

### 10.3.1. Tipos de Deterioro<sup>3</sup>

✓ *Intervención Previa deteriorada*



**Figura No. 1: Intervención Previa Deteriorada**



✓ *Fisura Longitudinal*

**Figura No. 2: Fisura Longitudinal**

✓ *Fisura Transversal*



**Figura No. 3: Fisura Transversal**



✓ *Piel de Cocodrilo*

**Figura No. 4: Piel de Cocodrilo**

✓ *Piel de Cocodrilo Sellada*



**Figura No. 5: Piel de Cocodrilo Sellada**

<sup>3</sup> Fuente: Elaboración Propia.

#### 10.4. Dimensionamiento Auscultación<sup>4</sup>

Las siguientes tablas solo cumplen la función de ejemplificar y de formar parte de los documentos de evidencia de algunas de las labores ejercidas y mencionadas anteriormente a lo largo del presente informe, ya que debido a las cláusulas de confidencialidad y privacidad firmadas en el contrato laboral, no es permitido mostrar en su totalidad la documentación aplicada en los procesos internos de la empresa. A continuación se ilustran los datos contemplados para dimensionamiento de la auscultación de los 50 kilómetros designados, en este caso, se presenta para el primer kilómetro.

N° Deterioro	Kilometro	Abscisa	Espesor Fisura (mm)	Largo Intervención (m)	Ancho Intervención (m)
1	K41	41+055	20,0	1,2	2,2
2		41+067	8,0	1,3	1,4
3		41+070	30,0	1,3	1,2
4		41+075	8,0	1,3	2,1
5		41+110	6,0	3,6	9,0
6		41+155	8,0	2,5	15,5
7		41+330	3,0	7,0	6,0
8		41+338	N/A	1,5	3,0

**Tabla No. 3: Dimensionamiento Auscultación 1**

Proyección Espesor Intervención (m)	Volumen (m3)	Área Intervención (m2)
0,10	0,26	2,64
0,10	0,18	1,82
0,10	0,16	1,56
0,10	0,27	2,73
0,10	3,24	32,4
0,10	3,88	38,75
0,10	4,20	42
0,10	0,45	4,5

**Tabla No. 4: Dimensionamiento Auscultación 2**

<sup>4</sup> Fuente: Elaboración Propia.

Área de Intervención por Km (m <sup>2</sup> )	Porcentaje de Intervención por Total de Km Intervenidos (m <sup>2</sup> )	Porcentaje de Intervención por Km Total
126,4	0,63%	1,52%

**Tabla No. 5: Dimensionamiento Auscultación 3**

### 10.4.1. Grafica de Area de Intervencion por Km<sup>5</sup>

Se realizaron Gráficos de Barras y Regresiones para analizar el comportamiento de los deterioros en función de los recursos que se dispondran a asignar para actividades de rehabilitación, adicionalmente se contemplaron porcentajes de imprimación por cantidades totales de areas por kilometro recorrido segun especificaciones de la calzada. Para este caso, el gráfico de barras que muestra el comportamiento del porcentaje de área a intervenir por kilometro recorrido mantiene la misma naturaleza del actual que presenta el area, ya que el porcentaje es independiente del area acumulada que presenta en su totalidad el tramo vial que comprende la UF3.



**Grafico No. 1: Área de Intervención por Km (m<sup>2</sup>)**



**Grafico No. 2: Regresión de Área de Intervención por Km (m<sup>2</sup>)**

<sup>5</sup> Fuente: Elaboración propia.

## **10.5. Cuadro Comparativo de Propuestas de Costos y Presupuesto del Personal para la Supervision de Obras**

Una de las actividades propuestas por el supervisor de la empresa para ser ejecutada por el Practicante, quien se desempeña como Ingeniero Auxiliar del area técnica, fue la elaboración de un cuadro comparativo para las diferentes propuestas de Costos y Presupuestos del Personal, enviadas por las empresas contratistas interesadas en trabajar con la concesion Autopista Rio Magdalena en el proyecto.

Este cuadro comparativo, se realizo con el fin de analizar cual de todas las propuestas cumplía con los requisitos exigidos por la empresa, para escoger de esta manera, la mas completa, bajo el mejor costo y los tiempos mas acordes a las necesidades del proyecto.

Se tuvieron en cuenta cinco propuestas enviadas por cinco diferentes empresas contratistas del sector constructivo, dentro de las cuales estuvieron: CONCOL, GINPROSA, INGETEC, EUROESTUDIOS Y AYESA. Cada una de las propuestas contemplaba difentes items a la hora de evaluar el costo de cualquier cargo, así por ejemplo, GINPROSA cotizó en función de la cantidad, medición (muchas veces denominada tambien como “meces“ o cantidad de tiempo laborado), precio unitario y dedicación; mientras que CONCOL tuvo en cuenta meses, dedicación, factor multiplicador (F.M) y salario. Debido a esto, se estudia la forma de realizar una cotización global para lograr encontrar la diferencia para los tiempos y dedicaciones de cada empresa independientemente del factor multiplicador que haya decidido tomar cada una.

Dentro de los cargos que se observaron y de compararon en el cuadro de las propuestas de costos del personal estan:

- ✓ Gerente de Proyecto (Bogotá)
- ✓ Director Asistencia Técnica
- ✓ Especialista en Transporte y Seguridad Vial
- ✓ Especialista en Geología y Geotecnia
- ✓ Especialista en Pavimentos
- ✓ Especialista en Hidrología y Drenaje
- ✓ Especialista en Estructura de Concreto
- ✓ Ingeniero de Redes (Interferencias)
- ✓ Profesional en Programación y Seguimiendo de Obra
- ✓ Experto Internacional Viaducto Magdalena
- ✓ Especialista en Trazado
- ✓ Ingeniero Ambiental
- ✓ Ingeniero Residente
- ✓ Ingeniero Auxiliar

- ✓ Ingeniero Auxiliar Estructuras
- ✓ Laboratorista Inspector
- ✓ Auxiliar Laboratorio
- ✓ Obrero Laboratorio
- ✓ Campamentera
- ✓ Campamentera Obra
- ✓ Dibujante
- ✓ Secretaria
- ✓ Asesora
- ✓ Coordinador General
- ✓ Coordinador Administrativo (Bogotá)
- ✓ Ingeniero Coodinador OT
- ✓ Jefe de Unidad
- ✓ Ingeniero Residente Vías
- ✓ Residente SISO
- ✓ Topógrafo
- ✓ Topógrafo (GINPROSA U2)
- ✓ Cadenero 1
- ✓ Cadenero 2
- ✓ Inspector Técnico
- ✓ Inspector Obra
- ✓ Inspector SISO
- ✓ Inspector Auxiliar Ayudante SISO
- ✓ Inspector De Obra. Mov Tierras, Redes Y Pavimentos
- ✓ Inspector De Obra. Estructuras y O.D.
- ✓ Inspector De Obra. Viaducto Sobre el Magdalena
- ✓ Profesional Social
- ✓ Abogado Predial
- ✓ Profesional en Gestion de la Calidad
- ✓ Conductor

Inicialmente se optó por realizar un cuadro comparativo global que sintetizara de manera breve y concisa la mayor cantidad de items o cargos que requiere la oferta; se encontró, que en gran medida, las propuestas contaban con cargos similares para algunos de los profesionales y que solo dos de las cinco propuestas tenían valores globales considerablemente bajos a diferencia de las otras tres propuestas, las cuales mantenían costos muy similares.

Después de analizar los primeros resultados obtenidos mediante el cuadro comparativo global, se observó que este no permitía analizar factores más determinantes, tales como la cantidad, la medición, la dedicación, el factor multiplicador y el salario proporcional por mes laborado. Debido a esto, se toma la decisión de realizar un segundo cuadro sin deshechar el primero, para analizar más a fondo las diferencias marcadas entre una propuesta y otra, basándonos en los factores mencionados anteriormente.

## 10.5.1. Esquema Cuadros Comparativos<sup>6</sup>

Descripción	CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS MENSUALES DE PERSONAL PARA LA SUPERVISIÓN DE OBRAS CONCESION AUTOPISTA RÍO MAGDALENA																				
	COMCOL			GIMPROSA			COSTOS PERSONAL			INBETEC			EUROESTUDIOS			AYESA					
	Cantidad	F.M.	Salario	Subtotal	Cantidad	F.M.	Salario	Subtotal	Cantidad	F.M.	Salario	Subtotal	Cantidad	F.M.	Salario	Subtotal	Cantidad	F.M.	Salario	Subtotal	
Gerente de Proyecto (Bogotá)																					
Director Asistencia Técnica																					
Especialista en Transporte y Seguridad Vial																					
Especialista en Geología y Geotecnia																					
Especialista en Pavimentos																					
Especialista en Hidrología y Drenaje																					
Especialista en Estructuras de Concreto																					
Ingeniero de Enlace (Internacional)																					
Tronista en Programación y Seguimiento de Obra																					
Especialista en Tráfico																					
Especialista Ambiental																					
Ingeniero Ambiental																					
Ingeniero Residente																					
Ingeniero Auxiliar																					
Laborantista Inspector																					
Auxiliar Laboratorio																					
Operario Laboratorio																					
Carpintera																					
Dibujante																					
Secretaría																					
Asesora																					
Coordinador General																					
Ingeniero Coordinador DT																					
Jefe de Unidad																					
Ingeniero Residente Y&S																					
Residente SIGD																					
Topógrafo																					
Cadenero 1																					
Cadenero 2																					
Inspector Técnico																					
Inspector Obra																					
Profesional Social																					
Abogado Predial																					
Profesional en Gestión de la Calidad																					
Conductor																					

Tabla No. 6: Cuadro comparativo de costos – Costos Directos

Descripción	OTROS COSTOS																				
	COMCOL			GIMPROSA			COSTOS PERSONAL			INBETEC			EUROESTUDIOS			AYESA					
	Cantidad	F.M.	Salario	Subtotal	Cantidad	F.M.	Salario	Subtotal	Cantidad	F.M.	Salario	Subtotal	Cantidad	F.M.	Salario	Subtotal	Cantidad	F.M.	Salario	Subtotal	
Admisión plan telefonía celular																					
Compra de Vehículo (Incluyendo costo financiero)																					
Operación de Vehículo (combustible, mantenimiento)																					
Costo de los artículos																					
Equipo Topográfico																					
Alquiler de Oficina en Puerto Berrío (Incluyendo Servis																					
Alquiler de Oficina en Vegachá (Incluyendo Servicios P																					
Alquiler de Autos																					
Viajes y Gastos de viaje																					
Papeleta, fotocopias, heliografías, informes y otros.																					
Comunicaciones (Internet, oficina, Internet móvil)																					
Indios de Estado																					
Operación Mensual Laboratorio de Suelos y Paviment																					
Laboratorio de Suelos, Pavimentos y Concretos																					
(Incluye Personal, Equipos y Transporte)																					
Vehículos (Incluye Conductor y Mantenimiento)																					
Vehículos Busera (Incluye Conductor y Mantenimie																					
Alojamiento y Mobiliario																					
Oficina y Mobiliario																					
Alquiler de Vehículo																					
Ensayos de laboratorio y mediciones																					
Software																					
Vehículo modelo 2012 o posterior (Con combustible, si																					
Partida mensual para redacción de informes y registro																					
Implementación oficinas y equipamientos																					
<b>SUBTOTAL</b>																					

Tabla No. 7: Cuadro Comparativo – Otros

<sup>6</sup> Fuente: Elaboración Propia.

## 10.6. Presentación y Socialización con Alcalde de Puerto Berrio sobre los Impactos Directos y Zonas de afectación del Municipio



*Figura No. 6: Localización – Variante Puerto Berrio*

En la segunda semana del mes de Abril, mas exactamente el día Sabado 16 de Abril se programó la presentación y visita técnica a las zonas directas de afectación del proyecto en la comunidades aledañas a la UF4 (Unidad Funcional 4) con los alcaldes de los municipios de Cimitarra, Santander y Puerto Berrio, Antioquia para la identificación de los diferentes factores que podrian intervenir en los futuros Planes de Desarrollo de cada municipio respectivamente.

Inicialmente la presentación estaba a cargo del Ingeniero Practicante del área Técnica del Proyecto, quien debía preparar y presentar las generalidades y especificaciones técnicas del proyecto en compañía de la Coordinadora del Area de la Gestión Social, la Dra. Sandra Muñetones y el Coordinador Predial, el Ingeniero Oscar Enrique Dueñas.

En coordinación con la Dra. Sandra Muñetones y el Ingeniero Oscar Enrique Dueñas, se analizaron y discutieron los diferentes puntos o zonas del proyecto que afectaban directamente a estos dos municipios, se llego a la conclusión de que se deben visitar cuatro puntos de la UF4 (Unidad Funcional 4), ya que en esta unidad se conecta el proyecto con la Ruta del Sol y atraviesa el corredor vial mas cercano desde Cimitarra, Santander hasta la variante que empalma con la UF3 (Unidad Funcional 3), en el tramo vial Puerto Berrio – Alto de Dolores.

Dentro de estos cuatro puntos de la programación de la visita técnica, el primero es el punto de empalme de la primera glorieta de la variante en el lado

de Santander, la glorieta intersecta la vía hacia Barrancabermeja, la vía hacia Puerto Olaya y la Ruta del Proyecto hacia el puente de la variante Puerto Berrio. El segundo punto de la visita se encuentra en la ruta hacia el Batallón Calibío, punto cercano a la Estación Cantimplora donde se atraviesa un tramo de trocha y se puede observar la futura ubicación de uno de los estribos del puente del lado de Santander. El tercer punto es la ubicación del estribo del lado de Antioquia, la cual tiene acceso por Puerto Berrio, pasando por el sector “La Quinta – Portón de la Vega” y cruzando el puente del Río “La Malena”, una de las múltiples articulaciones del Río Magdalena. Finalmente la visita culminaría en la glorieta del sector “Las Flores”, más exactamente en el Pk 91 del abscisado de la concesión; la glorieta conectará Puerto Berrio con la UF3 (Unidad Funcional 3), vía a Alto de Dolores y hacia el puente que conectará con la glorieta en el lado de Santander.

Posteriormente, debido a decisiones de carácter gerencial por parte de la concesión, se determinó que la presentación debía estar a cargo del Director Técnico del proyecto, el Ingeniero Gabriel Enrique Camacho (supervisor de la Práctica Empresarial), quien viajó el día viernes en horas de la tarde para reunirse con el Ingeniero Practicante, revisar la presentación, revisar los puntos de la visita técnica y ultimar detalles de la presentación a los alcaldes.



Finalmente la presentación se realizó el día Sábado 16 de Abril a las 10:00 a.m. en las oficinas de la alcaldía de Puerto Berrio, donde asistió el Alcalde de Puerto Berrio, el Dr. Jaime Cañas, en compañía del Coordinador de Planeación de Desarrollo, su conductor y dos personas más de la parte de seguridad de la alcaldía, además tuvimos acompañamiento de una comisión de interventoría por parte

de la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura); por parte de la concesión Autopista Río Magdalena, asistió el Director Técnico, la Coordinadora del Área de la Gestión Social, el Coordinador Predial y la Periodista. Ver Figura No. 7.

El alcalde de Cimitarra no pudo asistir a la presentación debido a inconvenientes de agenda y programación. La Presentación culminó satisfactoriamente, se realizó como un trabajo conjunto entre el Director Técnico, el Ingeniero Practicante, la coordinadora de Gestión Social y el coordinador de Gestipon Predial.

Posteriormente, se procedió a iniciar la visita técnica programada y mencionada anteriormente en los 3 puntos de mayor impacto, señalados en la Figura No. 6, dando inicio en uno de los estribos del puente que conectará los

dos departamentos del lado de Santander, ingresando por un sendero pavimentado, propiedad del Batallón 'El Calibío'. Ver Figuras No. 8 y 9.



**Figura No. 8: Estribo de Puente en Santander 1**

El segundo punto que se visitó fue uno de los estribos del lado de Antioquia, ingresando por el sector conocido como 'El Portón de la Vega', zona rural de alta secibilidad comunitaria debido a las invasiones que se observan a lo largo de la vía destapada, se encuentra en la periferia del municipio de Puerto Berrio; en este punto se trataron varios puntos de interés social por la ubicación y el posible desarrollo que se tendrá en esta zona.

Por último, se visitó la glorieta que hará empalme entre la Unidades Funcionales 3 y 4 en el sector más conocido como 'Las Flores'. Ver Figura No. 10.

Durante el recorrido de la visita técnica no solo se presentaron algunos detalles de diseño y construcción, sino que además se indicaron las diferentes zonas de afectación del proyecto que podrían llegar a impactar a la comunidad y se estudió en compañía del alcalde el posible desarrollo a futuro que se podría llegar a generar en las zonas aledañas a la proyección de construcción del puente que conectará ambos departamentos, tanto Santander como Antioquia.



**Figura No. 9: Estribo de Puente en Santander 2**



**Figura No. 10: Estribo del Puente en Antioquia**

## 10.7. Supervisión: Campaña Geotécnica de Sondeos

En el mes de mayo se inició una campaña geotécnica de sondeos en la UF1 (Unidad Funcional 1) para obtener capacidades portantes del suelo y así poder calcular capacidades portantes mediante los ángulos de fricción interna y cohesión hallados en ensayos triaxiales practicados a las muestra en el laboratorio; esta campaña estuvo a cargo del ingeniero en prácticas por parte del área Técnica. Las empresas subcontratadas para este proceso fueron CONSULCONS, quienes enviaron una ingeniera geóloga encargada directa de la operación, ejecución y laboratorios de los sondeos; por otro lado, se contrató una ingeniera geóloga por parte de GINPROSA para la supervisión de tiempo completo de los trabajos allí realizados.

Antes de iniciar con la campaña geotécnica de los sondeos, se convocó a una reunión a los encargados de ambas partes subcontratadas, tanto la ingeniera a cargo del equipo y los diferentes frentes de trabajo para los sondeos, como la ingeniera encargada de la supervisión; esto con el fin de realizar un plan de trabajo, haciendo énfasis en los requerimientos y especificaciones de la empresa respecto al trabajo contratado.

El plan de trabajo requerido a la ingeniera a cargo de la operación de los sondeos sobre la UF3 debía incluir:

- ✓ Descripción de Puntos y localización.
- ✓ Programación de operación de sondeos manuales.
- ✓ Programación de operación de sondeos con equipo mecánico.
- ✓ Proceso de extracción, manipulación y descripción de muestras.
- ✓ Cronograma y Programación de actividades de sondeo (número máximo de frentes de trabajo, ficha técnica de equipo de operación y tiempo estimado para sondeos de profundidades entre 40 m – 60m).
- ✓ Consideraciones de Laboratorio: Marcación de la muestra, tipificación y resultados según porcentaje de recuperación.

La campaña geotécnica inició con la ejecución de los primeros 13 sondeos manuales descritos como sondeos de terraplén en el documento entregado a CONSULCONS sobre la localización de los sondeos, esto debido a la disminución en tiempos de transporte, movilización, armado, operación y fácil accesibilidad a los puntos de localización ya que al ser tubería más liviana que la utilizada en los sondeos de mayor profundidad en sondeos de cortes, permite la optimización de tiempo en dichas labores.

Dentro de las funciones del Practicante, además de supervisar la campaña geotécnica y hacer énfasis especial en la manipulación y empaquetado de las muestras, se encontraba realizar un informe diario, sobre el avance obtenido en campo durante las practicas operativas y de movilización de los equipos de sondeos. El informe presentado al jefe inmediato, debía contener la fecha,

jornada laborada, estado del tiempo, una descripción a detalles sobre el rendimiento del equipo (Incluidos: inconvenientes presentados, proceso implementado, tiempos de transporte, tiempos de armado, tiempos de operación, profundidad alcanzada y porcentaje de recuperación de muestra) y un registro fotográfico de las actividades más destacadas. Posteriormente, se realizó un informe quincenal del avance de los sondeos, mostrando solo los resultados obtenidos mediante una tabla.

Durante la primera semana de trabajo se tuvieron muchos inconvenientes y retrasos a causa de las condiciones climáticas debido a que entramos en temporada de invierno y las lluvias no permitían el fácil acceso de la tubería e incluso del personal a los diferentes puntos de localización; se realizaron aproximadamente 6 localizaciones de puntos de sondeo y 3 sondeos manuales en el transcurso de la semana, además se inició con un solo frente de trabajo de los cuatro que se tienen programados para la totalidad de los sondeos.

#### 10.7.1. SONDEOS EN CORTE Y TERRAPLEN

Inicialmente se elaboró un documento desde el área de diseño describiendo los puntos de localización de los 41 sondeos, distribuidos en 13 sondeos de terraplén y 28 sondeos de corte, donde se incluyó la profundidad de diseño y las Coordenadas.

#### SONDEOS CORTES<sup>7</sup> (DESMONTES)

No.	SONDEO	PROF.	COORDENADAS	
			X	Y
30	S-45+040(I)	50	920,343	1,251,129
31	S-45+040(D)	40	920,442	1,251,137
32	S-45+500	60	920,615	1,251,548
33	S-45+700	55	920,582	1,251,784
34	S-46+200	45	920,739	1,252,227
35	S-46+650	30	920,889	1,252,633
36	S-47+080	30	921,249	1,252,883
37	S-47+460	20	921,659	1,252,875
38	S-47+940	30	922,110	1,253,003
39	S-49+220	20	922,361	1,253,135
40	S-48+780	25	922,678	1,253,569
41	S-48+900	35	922,773	1,253,670

<sup>7</sup> Fuente: GINPROSA (Empresa contratista).

42	S-49+400	45	922,960	1,254,113
43	S-49+540	40	922,980	1,254,273
44	S-50+050	40	923,439	1,254,497
45	S-50+330	35	923,704	1,254,648
46	S-51+050	35	924,069	1,255,252
47	S-51+240	35	924,120	1,255,434
48	S-51+700	25	924,157	1,255,907
49	S-52+000	60	924,332	1,256,162
50	S-52+280	30	924,545	1,256,336
51	S-52+520	35	924,638	1,256,522
52	S-52+680	25	924,656	1,256,680
53	S-52+980	45	924,656	1,256,969
54	S-53+300	50	924,635	1,257,293
55	S-53+460	45	924,706	1,257,460
56	S-54+600	35	925,225	1,258,402
57	S-54+830	30	925,191	1,258,639

*Tabla No. 8: Sondeos en Corte*

### SONDEOS TERRAPLENES<sup>8</sup>

No.	SONDEO	PROF.	COORDENADAS	
			X	Y
21	S-45+845	10	920,691	1,251,878
22	S-46+050	10	920,696	1,252,079
23	S-46+120	10	920,685	1,252,146
24	S-46+760	10	920,998	1,252,678
25	S-47+600	10	921,773	1,252,912
26	S-48+100	10	922,231	1,253,104
27	S-48+360	10	922,463	1,253,227
28	S-49+760	10	923,193	1,254,353
29	S-49+900	10	923,329	1,254,402
30	S-50+220	10	923,592	1,254,562
31	S-51+840	10	924,267	1,255,992
32	S-54+210	10	925,196	1,258,023
33	S-54+980	10	925,248	1,258,776

*Tabla No. 9: Sondeos en Terraplen*

<sup>8</sup> Fuente: GINPROSA. (Empresa Contratista)

## 10.8. Obras de Rehabilitación de Pavimento sobre la UF3 (Unidad Funcional 3)

Durante la supervisión de la campaña geotécnica de sondeos sobre la UF1 y campaña topográfica sobre la UF3, en paralelo, se adelantaron labores de reparcho, sellado de fisuras y sellado de grietas sobre esta última unidad funcional, siguiendo con los parámetros y especificaciones dadas mediante la auscultación realizada por el ingeniero practicante del área técnica de la empresa.

Estas intervenciones sobre la vía estuvieron a cargo de la empresa contratista ARGOZ, quienes estuvieron trabajando bajo las indicaciones y supervisión del personal profesional por parte del área operativa. Aunque este trabajo no estuvo supervisado directamente por el ingeniero practicante, debe especificarse su realización debido a que forma parte de una de las razones y sustentaciones del trabajo de auscultación que realizó durante el inicio de la práctica empresarial.

El ingeniero en práctica tuvo la oportunidad de observar de cerca el procedimiento de estas intervenciones realizadas en la vía y logró obtener documentos por parte de la empresa contratista que soportaban el trabajo allí ejecutado.

Dentro de los diferentes ítems a tener en cuenta en este tipo de trabajos, a continuación se mencionaran los más relevantes para las actividades concernientes a las obras de parcheo, sellado de fisuras y sellado de grietas adelantados sobre la UF3:

### 10.8.1. Parcheo:

Este procedimiento se utiliza preferiblemente cuando la superficie de la vía o la carpeta alfébrica presenta fallos, brechas o huecos, los cuales requieren de un método rápido y eficiente para solucionar permanentemente la falla del pavimento, sin contaminar, y que la presencia del agua o temperatura del material al ser aplicado garanticen su duración y así no tener que repetir este trabajo.

#### 10.8.1.1. FRESADO

En una primera instancia se procedió a realizar la respectiva rehabilitación del pavimento, interviniendo y reponiendo los casos más críticos. Inicialmente se realizó un procedimiento conocido como fresado, el cual permite levantar las partes defectuosas del pavimento sin tocar las que estén en buen estado, mediante una



*Figura No. 11: Fresado*

máquina y de una pasada se elimina el largo, ancho y espesor deseado, cargándolo directamente en el camión, los tiempos de trabajo se reducen considerablemente con un impacto mínimo en el tráfico vehicular.

El material fresado resultante pueda ser reutilizado para la fabricación de nuevas mezclas asfálticas o como suelo seleccionado o adecuado en la misma obra.

#### **10.8.1.2. IMPRIMACIÓN**

Una vez realizado el fresado o corte del área de la capeta asfáltica que se encuentra en críticas condiciones de deterioro, se dispone a emplear una imprimación, la cual se puede describir como un compuesto o sustancia aditiva posterior al fresado, la cual se aplica entre la base del pavimento y la nueva carpeta asfáltica. En este periodo se requiere proteger la base de la lluvia y del tráfico.

El riego de imprimación endurece la superficie, aglomera las partículas sueltas y por otro impermeabiliza las superficies. Con esto no solo se protege a la base de la lluvia y el tránsito sino también se reduce la emisión de polvo.



*Figura No. 12: Imprimación*

#### **10.8.1.3. APLICACIÓN**



*Figura No. 13: Aplicación*

Durante esta fase, se realiza la aplicación de la emulsión asfáltica o capa de rodadura, se debe aplicar de forma uniforme sobre el área de intervención.

#### **10.8.1.4. COMPACTACIÓN**

Una vez aplicada y distribuida la mezcla asfáltica de forma homogénea sobre el área de parcheo, se procede a compactar la superficie del material con una aplanadora, pasandola varias veces sobre el área de la mezcla hasta obtener

un acabado similar al del pavimento en buen estado.

Cabe aclarar que mientras se hacen los trabajos pre-operativos se debe preparar la mezcla y agregar material para nivelar y darle soporte a la base del pavimento; en este caso también se puede implementar vibrocompactadora para la compactación de estos primeros agregados.



*Figura No. 14: Compactación*

### 10.8.2. Sello de Fisuras:



*Figura No. 15: Sello de Fisuras*

Inicialmente debemos recordar que una fisura es una fractura fina, de varios orígenes, con un ancho igual o menor a 3 mm. Previo al trabajo de sello de fisuras, se debe tener en cuenta la dosificación de la emulsión que se utilizará para tapar o rellenar el interior de la fisura.

Inicialmente se debe realizar un trabajo de limpieza por medio de una compresora que bombee aire a presión en el interior y en un radio de 20 cm alrededor de la fisura, para que así, esté quede libre de polvo, arcilla o cualquier otro material contaminante.

Posteriormente se procede a llenar la fisura con la emulsión asfáltica seleccionada, cuya fluidez durante la aplicación garantiza la penetración adecuada, utilizando un tubo conectado a una manguera que bombea la emulsión desde un pequeño tanque de almacenamiento portátil.

Paso seguido, se esparce una delgada capa de arena que cumpla con unos requisitos previos para el proceso de curado que lleva como mínimo 2 horas de duración, este proceso permite cubrir el material bituminoso en la superficie, y no permite el desprendimiento o la pérdida del asfalto recién aplicado por adherencia a las ruedas del tránsito. Después de 24 horas se debe limpiar y barrer todo material suelto en la zona tratada.

### 10.8.3. Sello de Grietas:



*Figura No. 16: Sello de Grietas 1*

En el caso del sello de grietas, debemos recordar que las grietas deben tener más de 3 mm de espesor, caso en el cual el procedimiento se realiza mediante un mecanismo llamado ruteo, mediante el cual se le brindan mejores características y propiedades al proceso de sellado, permitiendo:

- ✓ Prolongar la vida útil del pavimento con un costo muy inferior al de la reposición del material.
- ✓ Detener los problemas originados por filtraciones de agua a través de las grietas que pueden ocasionar goteras o deterioros en la sub base.



*Figura No. 17: Sello de Grietas 2*

- ✓ Gracias a los componentes del producto no se pone en riesgo la seguridad del usuario en cuanto al deslizamiento de las llantas sobre la banda de sellado.

Inicialmente se procede a realizar un corte con la máquina ruteadora sobre la grieta, el corte debe ser de la misma longitud de la grieta, antes de este corte se debe realizar una configuración apropiada de la máquina ruteadora. En este procedimiento, al igual que en el sello de fisuras, se debe limpiar con un compresor de aire el interior y exterior de la grieta. Una vez termina la limpieza, se procede a la aplicación de la emulsión asfáltica y el proceso de curado respectivo, los cuales tienen una duración aproximada de 24 horas.

### 10.9. Actividades Finalizadas

- ✓ Realizar auscultación de los tramos viales que comprenden las UF3 y UF4 con ayuda de equipo especial de la empresa: Camioneta para desplazarse a la vía, auxiliar para señalización, Casco, Odómetro, regleta y cámara digital para registro fotográfico.
- ✓ Revisar el estado de la vía (tipos de fisuras, “Piel de cocodrilo”, reparachos en deterioro, desportillamientos) puntos: Variante Puerto Berrio – Alto de Dolores (UF3).

- ✓ Acompañar comisión de ingenieros civiles de Bogotá y España encargados del diseño vial y analizar el estado del pavimento mediante diferentes prácticas como ensayos de Penetrómetro, Sondeos y Calicatas.
- ✓ Entrega y envío cuadro comparativo de costos Globales – Mensuales de Personal, Maquinaria y Equipos para la supervisión de obras de la Concesión Autopista Río Magdalena.
- ✓ Envío análisis comparativo entre las Normas Colombianas de Diseño de Puentes CCP – 14 y CCDSP-95 después de un proceso de investigación exhaustivo por parte del practicante.
- ✓ Presentación y Socialización con Alcalde de Puerto Berrio sobre los Impactos Directos y Zonas de afectación del Proyecto en el Municipio.
- ✓ Supervisión campaña geotécnica de sondeos UF1 y campaña topográfica UF3.
- ✓ Culminación de obras de rehabilitación del pavimento (Parcheo, Sellado de Fisuras, Sellado de Grietas) de la UF3.

#### **10.10. Recursos Utilizados:**

- ✓ Odómetro
- ✓ Flexómetro
- ✓ Casco de Seguridad
- ✓ Sombrero y/o gorra para el sol
- ✓ Dotación con uniforme (Incluye 2 camisas y 2 pantalones)
- ✓ Botas de Seguridad
- ✓ Botas Pantaneras
- ✓ Orejeras
- ✓ Impermeable para temporada de invierno
- ✓ Cámara Digital
- ✓ Camioneta
- ✓ Conductor auxiliar para señalización
- ✓ Útiles de papelería de la empresa
- ✓ Celular con Línea Corporativa
- ✓ Correo Corporativo

## **11. APOORTE AL CONOCIMIENTO**

En el marco de las complicaciones generadas por las actividades y funciones asignadas al cargo desempeñado por el Practicante, se presentaron diferentes tipos de complicaciones tanto de tipo técnico como práctico. A continuación se enunciarán las complicaciones, los aportes y los aplicativos teóricos que dieron lugar durante la práctica empresarial.

### **11.1. Salida Técnica y Ensayos**

En el contexto de las visitas técnicas de las comisiones de ingenieros civiles de Bogotá y España encargados del diseño vial y analizar el estado del pavimento mediante diferentes prácticas como ensayos de Penetrómetro, Sondeos y Calicatas, inicialmente se debía realizar un informe general, no tan extenso sobre conocimientos previos de los ensayos practicados y analizados a lo largo del recorrido, esto implicó un trabajo investigativo exhaustivo por parte del practicante, con el fin de cumplir las expectativas de esta primera tarea asignada; como actividad extra a este informe, se debía adjuntar un registro fotográfico de los puntos más críticos en los que se estaban practicando pruebas de penetrómetro, y compararlas con las propiedades y beneficios que ofrecía la práctica de sondeo para adquirir la mayor cantidad de datos posibles del tipo y la estructura geológica del suelo que se encontraba en ensayo, esto mediante comentarios breves que sustenten la posición del practicante frente a estas dos comparativas.

En este caso, el primer factor a tener en cuenta fue el tiempo, debido a que el plazo máximo de esta labor fue de 3 días y en paralelo a la elaboración de este primer informe, se debía continuar con labores de acompañamiento a visitas técnicas e inicios de auscultación. Otro factor a tener en cuenta es el conocimiento previo de estas prácticas, ya que juegan un rol fundamental en la toma de decisiones frente a la comparación técnica de las prácticas de de sondeo y ensayos de penetrómetro.

### **11.2. Auscultación**

Para las labores de auscultación, hubo diferentes factores que jugaron en contra de la labor en disposición a ejercer, el primer y principal obstáculo fue el tiempo, ya que inicialmente se disponía de 3 meses para la realización de esta actividad, tiempo suficiente para concluir con éxito y realizar los respectivos informes detallados de la ejecución; sin embargo, en una última revisión e inspección a la vía, liderada por la ANI a inicios del mes de Febrero, se evaluaron diferentes factores antes de iniciar la ejecución de la ampliación de la vía, la cual está contemplada para finales del mes de Mayo; uno de ellos fue el notable estado de deterioro en ciertos puntos y tramos de la vía que conecta los puntos de Altos de Dolores y la Variante Puerto Berrio en la UF3. La ANI realizó diferentes observaciones, dentro de estas estuvo la pronta actuación y rehabilitación de los puntos más críticos de la vía, por este motivo se establecieron nuevos plazos de entregas, esto incluyendo trabajos de auscultación, necesarios para la base de datos e información para el inicio de actividades de rehabilitación de los

diferentes tramos viales existentes en estado de deterioro.

En inicios de esta actividad, se presentaron inconvenientes por parte del departamento de Compras y Logística de la empresa, esto debido a que el cargo presentaba una vacante, una vez seleccionado el cargo y asignadas las funciones, el proceso de inducción y recopilación de información antecesora retrasó varias labores de tipo técnico en la empresa, entre estas, las labores de auscultación propuestas, ya que no se contaba con el equipo y las herramientas indispensables para la ejecución de la actividad. En respuesta a este contratiempo, se hizo uso de un flexómetro, mientras se adelantaban gestiones de compra y registro del respectivo Odómetro indicado para la labor.

Una vez iniciada la auscultación, la coordinación de transporte dificultó las labores debido al constante uso de las camionetas disponibles en la oficina para uso del personal técnico y profesional de la empresa.

El ejercicio de la Auscultación dependía de factores como el clima y la disponibilidad de transporte, esto debido a que en días lluviosos no era posible realizar estas actividades, ya que durante su ejecución el Practicante debía recorrer caminando ciertos tramos dependiendo de la cantidad de deterioros encontrados. En caso de haber deterioros continuos a lo largo de un tramo vial, era indispensable recorrerlos caminando por la continua toma de medidas e implementación de herramientas como el Odómetro, el cual era práctico en la medida en que se caminaba; mientras que en algunas otras ocasiones, se realizaba una observación no tan detallada recorriendo el tramo desde el vehículo asignado ya que el estado de la vía podría ser un poco más aceptable y el ejercicio de observación se hacía cada vez más preciso.

En el proceso de la ejecución de las prácticas de Auscultación, lo primero que se realizó fue la toma del registro fotográfico, una vez tomado este registro, se dispuso a realizar la toma de las medidas para una posible intervención futura en el deterioro encontrado, a continuación se debía anotar manualmente en la planilla las dimensiones y especificaciones del deterioro; este proceso se debía repetir una y otra vez, las veces que se encontrara un deterioro de las características mencionadas anteriormente, cabe recordar que el número de deterioros o posibles intervenciones encontradas fue de 1136 en total para la práctica de Auscultación en la UF3.

El criterio y la toma de decisiones en trabajos de este indole, es de suma importancia, ya que los tipos de falla o deterioro encontrados a lo largo de la vía corresponden a diferentes puntos de vista según especificaciones técnicas e indicaciones preestablecidas, además, se requiere de una adecuada gestión de análisis y selección de datos para lograr los mejores resultados en el menor tiempo posible como se estima cualquier actividad en un proyecto de gran magnitud como el de Autopista Río Magdalena 2.

Dentro de los beneficios que ofrece la implementación de las prácticas de auscultación, están la gran cantidad de información que se puede extraer sobre el estado y las características físicas de la vía, el registro fotográfico que permite contextualizar el tipo

de deterioro que se encuentra en análisis, la posibilidad de ampliar la información de las especificaciones y dimensiones del deterioro mediante un comentario que sustenta la hipótesis y la reafirma describiendo detalladamente lo observado en el registro fotográfico. En conclusión, es una de las prácticas más completas para la obtención de información necesaria para la ejecución de obras complementarias de mantenimiento y rehabilitación en la vía (Reparqueo, Sello de Fisuras, Sello de Grietas).

### **11.3. Cuadro Comparativo de Propuestas de Costos y Presupuesto del Personal para la Supervisión de Obras**

Respecto a los cuadros comparativos de las propuestas de Costos de Personal, adicionalmente se tuvieron en cuenta Costos Directos de alquiler de equipo, maquinaria, ensayos de laboratorio y otros. Para la primera entrega corregida y enviada el día Miércoles 23 de Marzo, se realizó una actualización del cuadro comparativo global, agregando los costos de alquiler de maquinaria, equipos, herramientas, ensayos de laboratorio y otros. Adicionalmente se realizó el cuadro comparativo mensual para los costos del personal del proyecto teniendo en cuenta factores como la cantidad y la dedicación; los salarios mensuales allí ubicados corresponden al total de la cantidad especificada para cada cargo.

Algunas de las observaciones mencionadas por el Practicante fueron:

- ✓ La empresa contratista AYESA tiene dedicación variable por mes, debido a que cada mes tiene un porcentaje diferente para cada cargo.
- ✓ La empresa contratista GINPROSA combina Costos de Personal con Costos Directos de alquiler de equipos y herramientas, además que las mediciones de sus profesionales son calculadas en periodos más cortos que los habituales, y por esto sus valores son regulares en el cálculo del Costo Global.
- ✓ En el cuadro comparativo mensual no se contempló costos de equipos, maquinaria y otros, debido a que este tipo de ítems no están calculados por unidades de tiempo en su mayoría; por esta razón fueron contemplados en el cuadro comparativo de los costos globales del proyecto.
- ✓ En el cuadro comparativo de costos globales, los Costos Directos tienen una gran variación en cuanto a la cantidad de ítems contemplados entre todas y cada una de las propuestas.

En la segunda entrega corregida y enviada el día Martes 29 de Marzo, se realizó el cálculo de los salarios del personal para la cantidad determinada por mes en función del cargo, teniendo en cuenta que para cada Unidad Funcional en algunas empresas se contempla un profesional únicamente; además, los índices de estado calculados por CONCOL y EUROESTUDIOS son desproporcionales en comparación con el adecuado cálculo de este mismo índice por parte de INGETEC. El Factor Multiplicador de AYESA es tomado en cuenta al final del cálculo de costos de personal, esta misma empresa no

toma en cuenta la cantidad de personal para un mismo cargo a la hora de realizar el cálculo del costo total de hombres en el proyecto, lo que afecta el costo total del personal tanto en los costos globales, como en los mensuales.

## 11.4. PRESENTACIÓN ALCALDE PUERTO BERRÍO

### 11.4.1. Generalidades

Autopista Río Magdalena discurre por los departamentos de Antioquia y Santander en la región noroccidental de Colombia y está destinada a convertirse en uno de los corredores viales más importantes del país. En su recorrido Remedios, Alto de Dolores y Puerto Berrio enlazará con Autopista Conexión Norte y con la Ruta del Sol, en el extremo oriental.



**Figura No. 18: Localización del Proyecto – Unidades Funcionales<sup>9</sup>**

La infraestructura tendrá una longitud total de 144 km, de los cuales 82 km serán de nueva construcción y los 62 km restantes de rehabilitación y mejora del trazado existente, actualmente en operación. Además, se generaran más de 7100 empleos en el país, tiene una inversión aproximada de \$1.37 Billones y se operaran 3 peajes, de los cuales uno se encuentra en funcionamiento.

El proyecto garantizará una vía de excelentes especificaciones, proporcionará un ahorro estimado de hasta un 33% en tiempos de recorrido, optimizará los niveles de seguridad, además reducirá significativamente los niveles de accidentabilidad y los costos de operación vehicular en la vía.

<sup>9</sup> Fuente: <http://www.autopistamagdalena.com.co/el-proyecto/>

Esta nueva infraestructura forma parte del programa de cuarta generación de concesiones viales promovido por el Gobierno de Colombia para incrementar la conectividad de los principales centros de producción y exportación del país. Supondrá una mejora de las conexiones viales del occidente y centro del país con la Costa Caribe.

Por otro lado, el proyecto comprende la construcción de la nueva variante de Puerto Berrio, el mejoramiento de la calzada existente que conecta Puerto Berrio – Alto de Dolores, la construcción de una nueva vía desde Alto de Dolores hasta Remedios y la operación y mantenimiento de toda la concesión. Adicionalmente, en la variante de Puerto Berrio se construirá un nuevo puente sobre el río Magdalena que se constituirá en una mega obra de infraestructura con una longitud total de 1360 m. Se construirán 79 Puentes, se realizará el mejoramiento de 33 tramos del recorrido Puerto Berrio – Alto de Dolores y se construirán 43,4 km de carriles de adelantamiento.

Las obras mejoraran la movilidad para el transporte de pasajeros y carga, igualmente generaran gran demanda de bienes y servicios asociados con el desarrollo vial, de turismo y de movilización de carga pesada desde el centro del país hasta sus puertos en la costa caribe.

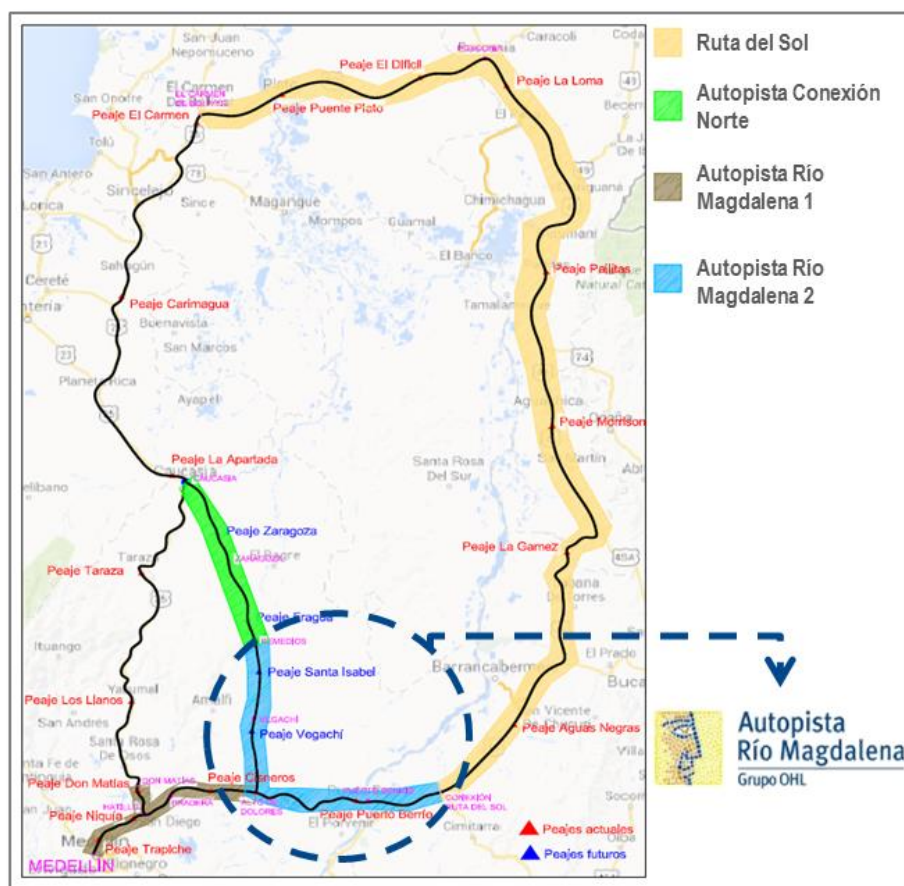


Figura No. 19: Ubicación de las plazas de peaje<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Fuente: <http://www.autopistamagdalena.com.co/el-proyecto/>

## 11.4.2. Unidades Funcionales

El proyecto se encuentra dividido y se desarrollara espacialmente en cuatro Unidades Funcionales, las cuales comprenden:

Unidades Funcionales Proyecto Autopista Rio Magdalena 2				
	UF1	UF2	UF3	UF4
<b>Conexión</b>	Remedios - Vegachí	Vegachí - Alto de Dolores	Alto de Dolores - Puerto Berrío	Variante Puerto Berrío - Conexión Ruta del Sol
<b>Intervención</b>	Construcción Nueva Calzada	Construcción Nueva Calzada	Mejoramiento y Rehabilitación	Construcción y Mejoramiento
<b>Longitud</b>	37 Km	35 Km	47 Km	25 KM
<b>Inicio</b>	PK 34+794 (Vegachí)	Intercambiador Alto de Dolores	Alto de Dolores	Pk 0+000 (Puerto Berrío)
<b>Destino</b>	PK 71+000	Pk 34+794 (Vegachí)	PK 0+000 (Puerto Berrío)	Pk (24+654) Conexión Ruta del Sol
<b>Estación de Peaje</b>	Santa Isabel (Nuevo)	Vegachí (Nuevo)	Existente	No Aplica
<b>Topografía del Terreno</b>	Ondulado	Ondulado	Ondulado	Ondulado
<b>Vel. Diseño</b>	80 Km/h	80 Km/h	80 Km/h	80 Km/h

*Tabla No. 10: Información General de Unidades Funcionales<sup>11</sup>*

### 11.4.2.1. Avance – Unidades Funcionales:

#### Unidad Funcional 1 (UF1):

- ✓ Estudios de trazado y diseño geométrico: Finalizados.
- ✓ En revisión interventoría
- ✓ Estudios de detalle: en desarrollo
- ✓ Trámites ambientales
- ✓ Licencia ambiental: En trámite en ANLA.
- ✓ Levantamiento de veda nacional: En trámite en MADS
- ✓ Levantamiento de veda regional: En trámite en
- ✓ Corantioquia

<sup>11</sup> Fuente: Elaboración Propia.

- ✓ Predios
- ✓ 91 predios a adquirir para obras
- ✓ Inicio de obras: previsto para segundo semestre 2016

#### **Unidad Funcional 2 (UF2):**

- ✓ Estudios de trazado y diseño geométrico: Finalizados.
- ✓ En revisión interventoría
- ✓ Estudios de detalle: en desarrollo
- ✓ Trámites ambientales
- ✓ Licencia ambiental: En trámite en ANLA.
- ✓ Levantamiento de veda nacional: En trámite en MADS
- ✓ Levantamiento de veda regional: En trámite en
- ✓ Corantioquia
- ✓ Predios
- ✓ 60 predios a adquirir para obras
- ✓ Inicio de obras: previsto para segundo semestre 2016

#### **Unidad Funcional 3 (UF3):**

- ✓ Estudios de trazado y diseño geométrico: Finalizados.
- ✓ En revisión por la Interventoría
- ✓ Estudios de detalle: Finalizados.
- ✓ En revisión por la Interventoría
- ✓ Trámites ambientales
- ✓ PAGA: No objetado por la interventoría
- ✓ Levantamiento de veda regional: Concedido por
- ✓ Corantioquia
- ✓ Aprovechamiento forestal: En trámite en Corantioquia
- ✓ Ocupación de cauce: En trámite en Corantioquia
- ✓ Levantamiento de veda nacional: En trámite en MADS
- ✓ Predios
- ✓ 161 predios a adquirir para obras
- ✓ Inicio de obras: previsto para segundo trimestre 2016

#### **Unidad Funcional 4 (UF4):**

- ✓ Estudios de trazado y diseño geométrico: Finalizados.
- ✓ En revisión por la Interventoría
- ✓ Estudios de detalle: Finalizados.
- ✓ En revisión por la Interventoría
- ✓ Trámites ambientales (Construcción)

- ✓ Licencia ambiental (construcción): En trámite en ANLA.
- ✓ Permiso de cruce: Concedido por Cormagdalena
- ✓ Levantamiento de veda nacional: Concedido por MADS
- ✓ Levantamiento de veda regional: Concedido por Corantioquia
- ✓ Levantamiento de veda regional: En trámite en CAS
- ✓ Trámites ambientales (Mejoramiento)
- ✓ PAGA (mejoramiento): No objetado por la interventoría
- ✓ Aprovechamiento forestal: En trámite en CAS
- ✓ Ocupación de cauce: En trámite en CAS
- ✓ Levantamiento de veda nacional: En trámite en MADS
- ✓ Predios
- ✓ 30 predios a adquirir para obras (se tiene disponibilidad del 40%, incluyendo vía existente)
- ✓ Inicio de obras: previsto para segundo trimestre 2016 - Primera UF a comenzar

#### **11.4.2.2. Avances Generales:**

##### **Tramitación de licencias ambientales**

Autopista Río Magdalena adelantó todos los estudios de impacto ambiental, que permitieron dar inicio al proceso de expedición de las Licencias y permisos Ambientales necesarios para ejecutar las obras de la UF3 y para la UF4.

##### **Adquisición de predios**

Siguiendo los diseños de la vía, en estos momentos se están adelantando los primeros acercamientos con los propietarios de predios ubicados en la UF4. Igualmente se dará inicio al proceso de socialización de la Gestión Predial, a fin de dar a conocer a las poblaciones vecinas del proyecto, el desarrollo de esta actividad, especialmente en la zona de la UF3.

##### **Mantenimiento Rutinario**

Permanentemente realizamos mantenimiento rutinario al corredor vial concesionado, el cual consiste básicamente en: rocería, limpieza de calzada y obras de drenaje, recolección de basuras y limpieza de señalización.

##### **Socialización del proyecto**

A través de eventos conocidos como Muestras Sociales se inició la socialización de la Autopista al Río Magdalena 2, informándole a la comunidad sobre las características de la vía, el alcance del proyecto, los beneficios de este tipo de obras, el Plan de Gestión Social Contractual y los protocolos de Atención al Usuario y de Vinculación de Mano de Obra.

## **11.5. SONDEOS UF3: FASE OPERATIVA**

### **11.5.1. Investigación Previa**

#### **11.5.1.1. Introducción:**

Los Sondeos geotécnicos se caracterizan por su pequeño diámetro y por la ligereza, versatilidad y fácil desplazamiento de las máquinas. Estas pruebas pueden alcanzar una profundidad de unos 150 m, a partir de la cual los equipos son más pesados. Permiten atravesar cualquier tipo de material, así como extraer testigos y efectuar ensayos en su interior. Los procedimientos de perforación dependen de la naturaleza del terreno y del tipo de muestreo y testificación que se vaya a realizar. Los más usuales son los sondeos a rotación y los sondeos a percusión.

#### **11.5.1.2. Sondeos a rotación:**

Los sondeos a rotación pueden perforar cualquier tipo de suelo o roca hasta profundidades muy elevadas y con distintas inclinaciones. La profundidad habitual no excede los 100 metros, aunque pueden alcanzarse los 1,000 metros. La extracción de testigos es continua y el porcentaje de recuperación del testigo con respecto a la longitud perforada puede ser muy alto, dependiendo del sistema de extracción. Algunos tipos de materiales son difíciles de perforar a rotación, como las gravas, y los bolos o las arenas finas bajo el nivel freático, debido al arrastre del propio fluido de perforación.

En un sondeo a rotación el sistema de perforación consta de los siguientes elementos integrados en las baterías: cabeza, tubo portatestigos, extractor, manguito portaextractor y corona de corte.

La perforación a rotación se puede efectuar con circulación de agua, o lodo bentonítico, o en seco, aunque haya presencia de agua o lodo en el taladro. La circulación normalmente es directa, con flujo descendente a través del varillaje.

Para obtener buenos resultados y rendimientos la técnica operativa debe ser adaptada a la naturaleza del terreno, con una oportuna selección del tipo de sonda, de la batería y de la corona, adecuado también la velocidad de rotación, la presión sobre la corona y la frecuencia de las maniobras según el material que se perfore.

#### **11.5.1.3. Sondeos a percusión:**

Se utilizan tanto en suelos granulares como en suelos cohesivos, pudiendo atravesar suelos de consistencia firme a muy firme. Este tipo de sondeos puede alcanzar profundidades de hasta de 30 ó 40 metros, si bien la más frecuentes son de 15 a 20 metros. El sistema de perforación consiste en la hinca de tubos de acero mediante el golpeo de una maza de 120 kg que cae desde una altura de 1 m. Se deben contar sistemáticamente los golpes necesarios para la penetración de cada tramo de 20 cm, lo que permite conocer la compacidad del suelo atravesado. Las tuberías empleadas, que

pueden tener diámetros exteriores de 91, 128, 178 y 230 mm, actúan entibación durante la extracción de muestras mediante cucharas y trépanos.

Este tipo de sondeos no se utiliza en España, aunque está muy extendido su uso en otros países de Europa.

#### **11.5.1.4. Presentación de los datos de perforación:**

Los resultados de las operaciones de perforación se presentan en estadillos juntos con los datos de la testificación geotécnica realizada en los testigos. La testificación geotécnica consiste en la descripción geológico-geotécnica de los testigos y muestras obtenidas en los sondeos, así como de los datos de la perforación. Esta tarea debe ser llevada a cabo por un especialista en ingeniería geológica que controle el proceso de perforación y estudie detalladamente los testigos obtenidos en los sondeos.

En la descripción del proceso de perforación se debe registrar los siguientes datos:

- ✓ Básicos: proyecto, nombre y número de referencia, localización, número de sondeo, coordenadas, inclinación y orientación, fecha, contratista, supervisor y sondista.
- ✓ Método de perforación: máquina, tipo de perforación, diámetro, características de los útiles de perforación, tipos de lodos (si se emplearan), tipo de circulación (directa o inversa) y otras características técnicas.
- ✓ Progreso de perforación: maniobras, metros de avance, velocidad de avance, resistencia al avance, recuperación, pérdidas y filtraciones de fluidos, inestabilidades de las paredes, averías, niveles freáticos, número de golpes para la hincada del tomamuestras, ensayos realizados.

La testificación geológica-geotécnica consiste en el registro y descripción de los testigos obtenidos de la perforación en sondeos mecánicos. Los testigos deben colocarse y conservarse en cajas de madera o cartón parafinado, etiquetadas, señalándose con tablillas las cotas en las que se produce un cambio litológico o aparece alguna estructura de importancia (falla, fractura, hueco, etc.). Los espacios vacíos correspondientes a las muestras extraídas, deben acotarse e indicarse sus características (muestras inalteradas, testigos parafinados, SPT, etc.).

La descripción geológica-geotécnica de los testigos puede realizarse de forma simultánea a la perforación o justo a continuación, no debiendo retrasarse, ya que determinados tipos de materiales sufren alteraciones que modifican sus propiedades (como la pérdida de humedad en los suelos). El procedimiento a seguir es el siguiente:

- ✓ Descripción sistemática: naturaleza y composición de visu, litología, tamaño de grano, color, textura, grado de meteorización, consistencia y resistencia a la penetración con penetrómetro de bolsillo (en suelos), etc.
- ✓ En materiales rocosos: descripción de discontinuidades (tipo, espaciado,

- ✓ rugosidad, rellenos), porcentaje de recuperación de testigos.
- ✓ Índice RQD e índice N30 que representa el número de fracturas por cada 30 cm de testigo.
- ✓ Datos de los ensayos realizados en interior del sondeo.
- ✓ Fotografías de las cajas, realizadas de forma que sea claramente identificables las tablillas separadoras con sus cotas, colores, texturas, fracturas de los testigos, así como el número de la caja y las profundidades perforadas.

Además, deben registrarse los siguientes datos:

- ✓ Profundidad y tipo de las muestras obtenidas.
- ✓ Profundidad del nivel freático.

## 11.5.2. Descripción de Procedimiento en Campo

### 11.5.2.1. Sondeos a Percusión con Equipo Manual:

El proceso de sondeo con equipo manual inicia con la ubicación del punto de localización mediante un GPS, una vez ubicados y marcados con una estaca, el equipo se dispone a transportar y movilizar las herramientas y tubería necesaria para operar el sondeo; en el caso del equipo manual, el transporte de la tubería y las herramientas de trabajo pueden llegar a tomar hasta 1 hora en promedio, dependiendo del nivel de dificultad de acceso y la distancia desde el punto más cercano de la vía, en cuanto a la localización de los puntos, cada punto toma 1 hora adicional en promedio para ser ubicado y marcado. Ver Figura No. 20.



*Figura No. 20: Transporte de Herramientas y Equipo*

Dentro de las herramientas y equipos de trabajo más usados en los sondeos de terraplén con equipo manual se pueden mencionar: Guía, Golpeador, Pesa de 70 Kg (se utiliza para golpear), Martillo, Juego de Llaves o Hombre solo, cuchara partida, SPT, tubería metálica, tubería tipo shelby (para muestras inalteradas), cajas metálicas (se utiliza para guardar muestras), Flexómetro, Barras, Pica y Pala.

Los sondeos que requieren de equipo manual no deben superar los 10 m de profundidad, esto debido a que los sondeos que presentan mayores profundidades requieren de una mayor fuerza y cantidad de golpes para perforar lo suficiente, considerando que no vaya a dar rechazo, de ser así, en el caso del sondeo manual simplemente se registran datos hasta la profundidad que dio rechazo, para el caso de los sondeos con equipo mecánico el proceso es más complejo, ya que esto significaría cambiar la tubería regular o SPT por una tubería especial con barrena para empezar a perforar en rotación y así lograr perforar estratos rocosos o de mayor compactación y resistencia, los cuales no serían fáciles de perforar mediante golpes. Ver Figura No. 21 en la siguiente página.



**Figura No. 21: Equipo Manual en Operación**

Continuando con la descripción de la práctica de sondeo con equipo manual, después de haber localizado y transportado el equipo y herramientas de trabajo al punto de sondeo, se dispone a armar la tubería, la cual se adhiere enroscando una con otra, esta cuenta con una cuchara partida SPT, el golpeador, la guía y la pesa, la cual marca el número de golpes según la profundidad deseada; al iniciar con el sondeo, se hinca la tubería en el terreno dentro del hueco donde se marcó el punto y el operador debe marcar la tubería con grasa o cualquier sustancia cercana para registrar el número de golpes cada 0,20 m o 0,15 m, dependiendo de las dimensiones de la cuchara partida, bien sea de 60 cm o 45 cm. La pesa debe bajar en caída libre a una altura de 75 cm golpeando la guía hasta descender las mismas dimensiones de la cuchara partida utilizada en la práctica.

El proceso de extracción de la muestra se realiza extrayendo la tubería por medio del uso de las llaves, haciendo palanca entre sí para obtener suficiente fuerza y poder extraer y desenroscar la tubería; una vez extraída la muestra de la cuchara partida SPT, la ingeniera a cargo por parte de CONSULCONS se dispone a realizar la respectiva marcación y registro de datos. Ver Figura No. 22.



**Figura No. 22: Registro de # Golpes, profundidad, % de recuperación y descripción de la muestra**

Los datos que se deben registrar con cada muestra extraída son: la profundidad de inicio y final en la cual se extrajo la muestra, el número de muestra, el tipo de muestras (en ocasiones se cambia la tubería en la punta por un tubo de pared delgada o tubería de PVC para extraer shelbys y en caso de cambiar a tubería con barrena cuando se debe realizar perforación en rotación), el porcentaje de la muestra recuperada o extraída por la cuchara, el número de golpes por ensayo SPT, el porcentaje RQD en caso de que exista (esto se tiene en cuenta en caso de utilizar la barrena para perforar en rotación estratos rocosos donde posiblemente se hallen fragmentos de roca "In Situ" o Gneis) y una pequeña pero detallada descripción geológica del tipo de suelo extraído del terreno.

Una vez marcada, tipificada y descrita la muestra, se procede a empacar con aluminio, se suministra una etiqueta para la identificación en el laboratorio y se vuelve a empacar

con plástico adhesivo para posteriormente ser guardada en una caja metálica junto con las demás muestras del sondeo, lista para ser enviada al laboratorio.

La siguiente sucesión de imágenes describe el procedimiento de perforación y extracción de una muestra con tubería SPT.



1. Introducción de la tubería. 2. Conteo número de golpes. 3. Extracción de la tubería. 4. Apertura de la cuchara partida SPT



1. Muestra recuperada en tubo SPT. 2. Análisis, medida y tipificación. 3 y 4. Muestra embalada. 5. Caja guarda muestras para envío a laboratorio.





**Figura No. 23: Tomamuestras tipo Shelby**

En el caso del proceso de extracción de muestra inalterada con tubo tipo shelby, recordemos que su extracción no se puede realizar en cualquier tipo de suelo, en la práctica realizada siempre se obtuvo en la penetración inicial y requiere de una tubería adecuada preferiblemente en tomamuestras abiertos de pared gruesa y el tomamuestras de pared delgada o Shelby. Ver Figura No. 23. También, en suelos muy sensibles a la alteración inherente a la maniobra, puede utilizarse el tomamuestras de pistón de pared gruesa o delgada. Para la campaña geotécnica realizada en la UF1 del proyecto, se extrajo este tipo de muestras con un tubo cilíndrico de pared gruesa dotado de una zapata separable, el resto

del tubo es bipartido para la extracción posterior de la muestra una vez tomada y en el interior se aloja tubo de PVC, donde se introduce la muestra para enviarla al laboratorio. Ver Figura No. 24.



**Figura No. 24: Muestra Inalterada en tubo PVC**

Durante el proceso de transporte, armado y operación de sondeos mediante equipo manual, se presentaron muchos inconvenientes con el acceso a los puntos de localización de los sondeos, ya que en muchos casos eran puntos muy retirados del eje de la vía y en ocasiones los puntos se podían encontrar en zonas demasiado pobladas de vegetación, las cuales aumentaban el porcentaje de riesgo debido a la temporada de invierno y lluvias. Por otro lado, en los primeros sondeos, no se contaba con tubería tipo shelby para extraer muestras inalteradas, necesarias para futuros ensayos triaxiales para así obtener ángulo de fricción y poder calcular capacidades portantes en terraplenes; esto último ocasionó inconvenientes

posteriormente debido a que el Grupo OHL (gestores y fundadores de la concesión Autopista Rio Magdalena), exigía obtener mínimo 1 shelby por sondeo en terraplén, pero esto no fue mencionado, sino hasta después de culminar estos 13 sondeos de los cuales solo se retiraron 4 muestras de shelby en total.

Además, a pesar de que estos sondeos de tipo manual tenían profundidades bajas, el esfuerzo requerido para realizarlos era considerablemente alto debido al número de golpes y la resistencia que se debía tener para sostener la tubería y dar los golpes.

### 11.5.2.2. Sondeos a Rotación con Equipo Mecánico:

El proceso de trabajo en sondeos que requieren equipo mecánico es mucho más complejo y tarda mucho más tiempo del que podría tardarse un sondeo con equipo manual, eso debido a diferentes causas, ya que en un sondeo con equipo mecánico las profundidades son mayores y se pueden presentar todo tipo de inconvenientes; desde el transporte del equipo, el cual es considerablemente más pesado, hasta la operación del sondeo, la cual se ve afectada por el tipo de suelo encontrado a medida que se va perforando.



**Figura No. 25: Descargue de Equipo**

Inicialmente, al igual que en los sondeos con equipo manual, se deben localizar los puntos de sondeo por GPS, después se procede a movilizar la tubería, herramientas y máquina de sondeo (se empezaron a implementar dos frentes de trabajo a partir de la cuarta semana, una vez se terminaron los sondeos manuales para mejorar el rendimiento). La movilización de todo el equipo necesario para este tipo de sondeos puede tardar entre 2 y 3 días aproximadamente, dependiendo del tipo de terreno y los accesos disponibles. Ver Figura No. 25. Las máquinas de sondeo principales utilizadas en la campaña geotécnica fueron la “Long Year 24” (Primera en llegar y operar) y la “Petty” (esta segunda es más pequeña y su motor tiene menos fuerza); ambas tienen la función de engancharse a un punto del terreno para deslizarse por medio de una tablas ancladas en su parte inferior hasta determinado punto gracias a una guaya que va amarrada desde la máquina a un pincho que se clava en el suelo y esta va jalando, de esta forma le permite subir lomas con grandes inclinaciones y terrenos de difícil acceso.



**Figura No. 26: Equipo Mecánico “Petty”**

Una vez finalizada las labores de transporte de equipo, herramientas y maquinaria, se dispone a iniciar proceso de armado de la máquina como tal, en el caso de la “Long Year 24”, esta se moviliza en conjunto con la torre que lleva en la parte superior de su

estructura; por otro lado, la “Petty” requiere de un armado manual pieza por pieza de la torre una vez se ha transportado hasta el punto de sondeo. La máquina opera desde el punto de sondeo e inicia a operar con tubería SPT, la cual es recomendada para utilizar en tipos de suelo con más fácil acceso mediante golpes, tienen mayor porcentaje de recuperación y su estructura tiene características propias; luego se llena de combustible el motor, se pasa la manila por la polea atándose en un extremo a la pesa y en el otro se le dan dos vueltas en el tambor permitiendo que este gire y de esta forma poder dar los golpes mediante la pesa al golpeador en la guía de una forma visiblemente manual pero que gracias al sistema de polea y requiere de menor esfuerzo humano.



*Figura No. 27: “Long Year 24” en Operación*

Antes de empezar el sondeo, debemos verificar que la tubería esta previamente lavada y libre de cualquier tipo de suciedad o sustancia que no permita su adecuado uso. Al igual que en el sondeo con equipos manuales, el operador debe marcar la tubería que vaya utilizando para conocer la profundidad que se está perforando; en caso de querer sacar una muestra inalterada, es recomendable utilizar un tubo de muestras shelby iniciando el sondeo debido a que en ese momento se emplea la menor cantidad de golpes y se pueden recuperar muestras de suelo con altos porcentajes de limos y arcillas, los cuales son fácilmente extraído mediante un shelby, mientras que las gravas y arenas suelen requerir de mayor esfuerzo y en ocasiones romper o deteriorar el tubo, ya que se trata de un tubo de pared delgada (la muestra obtenida mediante el shelby es almacenada en un cilindro de PVC).

Las muestras inalteradas obtenidas con tubería shelby son extraídas mediante fuerza parcial de forma manual, es decir, no se deben realizar golpes ni perforación en rotación para no alterar la muestra en el margen de lo posible.

Cuando se inicia el sondeo con equipo mecánico y se utiliza tubería SPT, el proceso se realiza de una forma muy similar al sondeo que requiere de equipo manual, ya que debemos enroscar la cuchara partida con la tubería SPT y por medio de la fuerza ejercida sobre la manila en la polea y el tambor se generan los golpes para empezar a perforar el suelo. Una vez finalizados los 3 intervalos de golpes de 0,20 m o 0,15 de profundidad cada uno dependiendo de la medida de la cuchara partida, como se registra con el equipo manual, se procede a recuperar la muestra extrayéndola de la cuchara partida, se le dan un par de golpes a la cuchara, se pone la muestra sobre un pedazo de aluminio para medirla y obtener datos como la profundidad de donde se extrajo, el número de muestra, el tipo de ensayo/muestra (si se obtuvo la muestra mediante tubería SPT, Shelby o Barrera), porcentaje de recuperación (se halla mediante una regla de 3 simple, teniendo en cuenta que la medida de la cuchara partida, la medida de la porción de muestra recuperada) y la descripción geológica de la muestra.



**Figura No. 28: Perforación en Rotación**

Posteriormente se realiza un registro fotográfico, se envuelve la muestra entre el papel aluminio, luego se envuelve en papel plastificado transparente y se guarda en la caja metálica con las demás muestras del sondeo listas para enviar al laboratorio.

Durante el proceso de sondeo con maquinaria o equipo mecánico, se hará necesario cambiar el tubo SPT por la Barrena, la cual tiene un grosor mayor y se utiliza básicamente para iniciar perforación en rotación; este proceso se implementa debido a circunstancias como el elevado número de golpes que se requiere en un intervalo de sondeo, lo cuales podrían evaluarse mayores a 40 o 50 golpes, que a su vez indica que la perforación se encuentra próxima a atravesar estrato rocoso o también, cuando no se está obteniendo un adecuado porcentaje de recuperación de muestra de suelo debido al tipo de suelo encontrado.

Cuando se perfora hasta llegar al estrato rocoso, en ocasiones se puede llegar a recuperar muestras de tipo Gneis, rocas "In Situ" extraídas del suelo, a las cuales se les puede hallar RQD o porcentaje de recuperación de testigos. En caso de cambiarse la tubería de SPT por Barrena, se debe verificar que se cuente con un buen suministro de agua en un tanque (si es posible, contar con dos bombas para tener una suministrando agua al tanque y otra conectada directamente a la barrena) para bombearla por medio de una manguera que se conecta directamente a la tubería que va a empezar a rotar con la Barrena, esto con el fin de humedecer la punta de la Barrena, perforar con mayor facilidad e impedir que esta se caliente y tenga posibles afectaciones en su estructura física. Ver Figura No. 29.



**Figura No. 29: Muestra de Gneis (Roca In situ)**



**Figura No. 30: Llenado de tanque de agua con Polímeros**

Las herramientas y equipos de trabajo más usados en los sondeos de corte con equipo mecánico, ya sea que se emplee la “Long Year 24” o la “Petty” se pueden mencionar muchas en similitud con las utilizadas en los sondeos con equipo manual como: Guía, Golpeador, Pesa de 70 Kg (se utiliza para golpear), Martillo, Juego de Llaves o Hombre solo, cuchara partida, SPT, tubería metálica, tubería tipo shelby (para muestras inalteradas), cajas metálicas (se utiliza para guardar muestras), Flexómetro, Barras, Pica, Pala, adicionalmente a estas herramientas y equipos, los siguientes son elementos exclusivos del sondeo mecánico están los

tanques, Motobombas, Barrena, mangueras (Usadas para conectar las motobombas con la máquina y el tanque), Combustible y la máquina de sondeo (en este caso se implementaron dos, la “Long Year 24” y la “Petty”).

En el proceso de operación de sondeos con equipo mecánico surgieron inconvenientes debido a la profundidad de los mismos, ya que al tener mayor profundidad que los manuales, son más susceptibles a pegarse la tubería después de cierto tiempo, además que el material varía en gran medida conforme va avanzando el sondeo. Uno de los problemas más frecuentes fue la localización de una fuente de agua que sirviera como fuente de captación y almacenamiento para los tanques y así poder conectar la bomba con la tubería de Barrena cuando se alcanza el estrato rocoso; esto debido a que en ocasiones no se contaban con el mínimo de 2 bombas por sondeo o incluso no existía una quebrada o el brazo de algún río cercano que supliera esta condición.

Por otro lado, la extracción de muestras mediante tubo shelby cada dos metros como lo exigía la entidad contratante no se pudo realizar debido a que después de ciertas profundidades es prácticamente imposible introducir el tubo tipo shelby, además, propiedades como su pared delgada no eran aptas para materiales granulares, gravas o arenas gruesas, las cuales deterioran su estructura física deformándolo.

Por último, cabe resaltar que sus grandes profundidades requieren de una inversión considerable de tiempo en movilización y operación, en promedio entre 4 y 6 días por sondeo, teniendo en cuenta que influyen factores como el tipo de maquinaria utilizada, la profundidad, el tipo de terreno y la experiencia del personal que ejecuta el sondeo (el personal en su mayoría contaba con más de 10 años de experiencia).

### 11.5.3. Cuadro de Avance de Campaña Geotécnica – Sondeos de Corte y Terraplen en la UF3

	No.	Sondeos	Profundidad (h)	Coordenadas		Tiempo de Localización (h)	Tiempo de Transporte y Armado (h)	Tiempo de Ejecución del Sondeo (h)	Profundidad final (m)	% Promedio de Recuperación
				X	Y					
SONDEOS TERRAPLENES	21	S-45+845	10	920,691	1,251,878	1½	1	6	10,05	75
	22	S-46+050	10	920,696	1,252,079	1½	1	2	3,27	77
	23	S-46+120	10	920,685	1,252,146	1½	1	1½	2,67	57
	24	S-46+760	10	920,998	1,252,678	1	1	5	6,30	47
	25	S-47+600	10	921,773	1,252,912	1	1	5½	6,27	47
	26	S-48+100	10	922,231	1,253,104	1	½	3½	5,25	65
	27	S-48+360	10	922,463	1,253,227	1	½	4	6,15	70
	28	S-49+760	10	923,193	1,254,353	1½	2½	3	4,50	64
	29	S-49+900	10	923,329	1,254,402	1½	1	2	2,07	45
	30	S-50+220	10	923,592	1,254,562	1	1	2½	3,90	45
	31	S-51+840	10	924,267	1,255,992	1	1½	5½	5,20	57
	32	S-54+210	10	925,196	1,258,023	1	1	2	3,80	59
	33	S-54+980	10	925,248	1,258,776	1	½	7½	9,4	58

Tabla No. 11: Cuadro de Avance Parcial de Sondeos UF1 - Terraplen<sup>12</sup>

SONDEOS CORTES (DESMONTES)	30	S-45+040(I)	50	920,343	1,251,129					
	31	S-45+040(D)	40	920,442	1,251,137					
	32	S-45+500	60	920,615	1,251,548					
	33	S-45+700	55	920,582	1,251,784					
	34	S-46+200	45	920,739	1,252,227					
	35	S-46+650	30	920,889	1,252,633	1	3 (días)	8 (días)	30	56
	36	S-47+080	30	921,249	1,252,883					
	37	S-47+460	20	921,659	1,252,875	1	2 (días)	2½ (días)	20	51
	38	S-47+940	30	922,110	1,253,003	1	3 (días)	3½ (días)	30	25
	39	S-49+220	20	922,361	1,253,135	1	1½ (días)	9	20,40	80
	40	S-48+780	25	922,678	1,253,569	1½	1½ (días)	3 (días)	25	67
	41	S-48+900	35	922,773	1,253,670	1½	2 (días)	3½ (días)	35	55
	42	S-49+400	45	922,960	1,254,113					
	43	S-49+540	40	922,980	1,254,273					
	44	S-50+050	40	923,439	1,254,497					
	45	S-50+330	35	923,704	1,254,648					
	46	S-51+050	35	924,069	1,255,252					
	47	S-51+240	35	924,120	1,255,434					
	48	S-51+700	25	924,157	1,255,907					
	49	S-52+000	60	924,332	1,256,162					
	50	S-52+280	30	924,545	1,256,336					
	51	S-52+520	35	924,638	1,256,522					
	52	S-52+680	25	924,656	1,256,680					
	53	S-52+980	45	924,656	1,256,969					
	54	S-53+300	50	924,635	1,257,293					
	55	S-53+460	45	924,706	1,257,460					
	56	S-54+600	35	925,225	1,258,402					
	57	S-54+830	30	925,191	1,258,639					

Tabla No. 12: Cuadro de Avance Parcial de Sondeos UF1 - Corte<sup>13</sup>

### 11.5.4. RQD (Rock Quality Designation)

El RQD o porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo; se obtiene durante la práctica de sondeo con equipo mecánico, después de usar perforación en rotación con barrena, se extrae material rocoso “In situ”, es decir, sin alterar o formaciones de Gneis.

El RQD se calcula midiendo y sumando el largo de todos los trozos de testigo mayores que 10 cm en el intervalo de testigo de 1,5 m, a partir de los testigos obtenidos en la exploración, se debe tomar la medida del RQD en testigos de Exploración 150, incluidos los discos del núcleo ocasionados por rotura mecánica de la roca como parte del RQD.

<sup>12</sup> Fuente: Elaboración Propia.

<sup>13</sup> Fuente: Elaboración Propia.

$$RQD = \frac{\text{Sumade}10}{l_{tot}} * 100\%$$

(Sumof10) = Suma de la longitud de testigos superiores a 10 cm

$l_{tot}$  = Longitud total de sondeo

La clasificación de RQD según porcentaje obtenido se representa en la siguiente tabla:

RQD	Rock mass quality
<25%	muy pobre
25-50%	pobre
50-75%	regular
75-90%	bueno
90-100%	muy bueno

**Tabla No. 13: Clasificación RQD<sup>14</sup>**

### 11.5.5. Ensayo Triaxial

Su principal finalidad es obtener parámetros del suelo y la relación esfuerzo de formación a través de la determinación del esfuerzo cortante. Es un ensayo complejo, pero la información que entrega es la más representativa del esfuerzo cortante que sufre una masa de suelo al ser cargada.

Consiste en colocar una muestra cilíndrica de suelo dentro de una membrana de caucho o goma, que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección. Alcanzado ese estado de equilibrio, se aumenta la presión normal ó axial ( $\sigma_1$ ), sin modificar la presión lateral aplicada ( $\sigma_3$ ), hasta que se produzca la falla.

Realizando por lo menos 3 pruebas, con presiones laterales diferentes, en un gráfico se dibujan los círculos de Mohr que representan los esfuerzos de falla de cada muestra y trazando una tangente o envolvente a éstos, se determinan los parámetros  $\phi$  y  $c$  del suelo. Dependiendo del tipo de suelo y las condiciones en que este trabajará, las alternativas para realizar el ensayo serán consolidado no drenado (CU), no consolidado no drenado (UU) o consolidado drenado (CD).

Existen dos métodos para hallar el ángulo de fricción interna y la cohesión:

- ✓ Método sin medición de presión de poros
- ✓ Método con medición de presión de poros

<sup>14</sup> Fuente: <http://enriquemontalar.com/el-inquietante-rqd-de-deere/>

### 11.5.5.1. Método sin medición de presión de poros:

- **Equipo necesario:**

- ✓ Máquina de compresión, provista de un sistema de lectura de cargas y deformaciones de 0,01 mm. de precisión.
- ✓ Cámara triaxial. Equipo compuesto de un pistón, un tubo de cristal o cámara de presión y conexiones para producir en la muestra vacío, presión, saturación o drenaje por medio de válvulas de paso.
- ✓ Membrana de caucho o goma.
- ✓ Un moldeador de muestra o expansor de membrana.
- ✓ Bomba de vacío y fuente de presión.
- ✓ Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ .
- ✓ Herramientas y accesorios. Recipientes plásticos, cuchillo de moldeo, equipo compactador Harvard, placas base, piedra porosa, espátula, compactador de muestras y cronómetro.

- **Procedimiento para muestra remoldeadas:**

Preparación de muestra de suelo no cohesivo. Se acopla la placa base inferior a la base de la cámara triaxial y se monta la membrana de caucho, utilizando para sellar la unión, bandas de caucho o sellos de aro. Dentro de la membrana, se coloca la piedra porosa inferior y se instala el moldeador de muestra alrededor de la membrana. Si es posible, utilizar un expansor de membrana en vez del moldeador para hacer más fácil el proceso.



*Figura No. 31: Equipo Triaxial<sup>15</sup>*

<sup>15</sup> Fuente: ELE 1993, Equipo Triaxial. Internacional Ltda.

Se deposita cuidadosamente la arena dentro de la membrana, utilizando un compactador, para mantener la forma y densidad de la muestra. Una vez alcanzada la altura de la probeta, se colocan la piedra porosa y la placa base superior, enrollando hacia esta última la parte de membrana que queda fuera del molde, sellándola de la misma forma que en la parte inferior. Con un pequeño nivel, se debe verificar que la placa base superior se encuentre totalmente horizontal.

Se realizan las conexiones de las placas base a la base de la cámara triaxial y se aplica un vacío de 200 a 250 mm. de mercurio a la muestra. Se retira el molde o el expansor de membrana y se examina que la membrana de caucho no presente filtraciones, de lo contrario tendrá que prepararse una nueva muestra. Finalmente, se determinan 4 medidas de altura de la probeta, separadas aproximadamente cada 90° y lecturas de diámetro en la parte superior, media e inferior.

- **Preparación de una muestra de suelo cohesivo:**

La compactación de las probetas se realiza en los moldes de compactación Harvard miniatura, siguiendo un procedimiento similar al utilizado en el ensayo Proctor, pero empleando un pisón miniatura. Se prepara una muestra que cumpla con la relación L/D ( $2 < L/D < 3$ ) y una vez terminada, con un cuchillo se escuadran sus extremos y se determinan las medidas de altura y diámetro.

Luego se fija la membrana al expansor de membrana, dejando una holgura de  $\pm 3$  mm. con respecto al diámetro de la probeta y se lubrica suavemente el interior de la membrana para facilitar la colocación de la muestra. Se podrá utilizar vaselina de petróleo, polvo de teflón o sólo humedecer con agua para la lubricación.

Se acopla la placa base inferior a la base de la cámara triaxial y se coloca la piedra porosa. Se coloca el conjunto del expansor y la membrana de caucho sobre la placa y se inserta la muestra dentro de ella. Se realiza la fijación inferior, se colocan la piedra porosa y la placa base superior, sellando el excedente de membrana hacia la placa y se verifica el nivel de ésta.

Finalmente, se retira el expansor de membrana y se realizan las conexiones de las placas base a la base de la cámara triaxial. Para estos suelos no se aplica vacío para verificar posibles filtraciones.

- **Aplicación de presiones:**

Se coloca el tubo de cristal sobre la base de la cámara triaxial, logrando un sello completamente hermético y se la lleva a la máquina de compresión, haciendo un ligero contacto entre la barra de carga de la máquina y el pistón de carga de la cámara.

Posteriormente, se aplica una presión de confinamiento ( $\sigma_3$ ) predeterminada, por medio de aire comprimido, abriendo luego la válvula de salida o drenaje para verificar que no exista presión de aire (que indicaría que existen filtraciones en la muestra por lo que se tendría que volver a iniciar).

Ante el contacto entre el pistón de la cámara y la barra de carga de la máquina al aplicar  $\sigma_3$ , el lector de carga habrá registrado cierta medición, por lo que deberá llevarse a cero. Se ajusta el lector de deformación, se determina la velocidad de carga de la máquina (0,5 a 12,5 mm/min) y se prende ésta, tomando simultáneamente las lecturas de deformación, tiempo y carga, en las siguientes divisiones del lector de deformación: 5, 15, 25, 50 y de aquí en adelante cada 50 o 100 divisiones hasta que suceda uno de los siguientes casos:

- ✓ La carga aplicada disminuye.
- ✓ La carga aplicada se mantiene constante por 4 lecturas.
- ✓ La deformación sobre pasa el 20% de la de formación unitaria previamente calculada.

Luego que falle la muestra, apagar la máquina, soltar la presión del equipo y remover la muestra, para realizar 2 a 3 ensayos adicionales, con diferente presión ( $\sigma_3$ ).

• **Variaciones en el procedimiento según alternativa de ensayo:**

- ✓ En un ensayo triaxial UU, la válvula de drenaje se mantiene cerrada en todo el ensayo y antes de que la muestra tenga posibilidades de consolidarse. El ensayo comienza inmediatamente aplicada la presión de confinamiento. Este procedimiento no podrá realizarse para un suelo cohesivo 100% saturado.
- ✓ En un ensayo triaxial CU, se mantiene la válvula de drenaje abierta al aplicar la presión de confinamiento. Al terminar la consolidación, se cierra la válvula y se aplica la presión axial ( $\sigma_1$ ).
- ✓ En un ensayo triaxial CD, se mantiene la válvula de drenaje abierta durante todas las fases del ensayo. La presión axial deberá ser aplicada a una velocidad más baja que las anteriores, de modo de evitar que los resultados se vean afectados por la presión de poros.
- ✓ En caso de saturar la muestra para ensayarla, una vez aplicada la presión de confinamiento se abre la válvula de paso. Este proceso es lento, especialmente en suelos cohesivos, donde es posible aplicar una presión positiva menor que  $\sigma_3$  (ejemplo  $\sigma_3 / 2$ ) al recipiente que contiene el agua, de modo de acelerar la saturación.

• **Cálculos y gráficos:**

- ✓ Obtener densidad, humedad y grado de saturación de la muestra a ensayar.
- ✓ Calcular la altura inicial ( $L_0$ ) de la probeta, como la media aritmética de las lecturas realizadas.
- ✓ Calcular el diámetro (D) de la probeta:

$$D = (d_i + 2 * d_m + d_s) / 4 \text{ (cm)}$$

Dónde:

$d_i$  = diámetro inferior (cm)

$d_m$  = diámetro medio (cm)

ds = diámetro superior (cm)

- ✓ Calcular el área (A) y el volumen (V) de la probeta:

$$A = \pi * (D/2)^2 \text{ (cm}^2\text{)} \text{ y } V = A * L_0 \text{ (cm}^3\text{)}$$

- ✓ Calcular la deformación unitaria ( $\epsilon$ ) para cada aplicación de carga, mediante la expresión:

$$\epsilon = \Delta L / L_0$$

Dónde:  $\Delta L$  = variación de altura de probeta (cm)

- ✓ Calcular el área corregida ( $A_c$ ) para cada aplicación de carga, mediante la expresión:

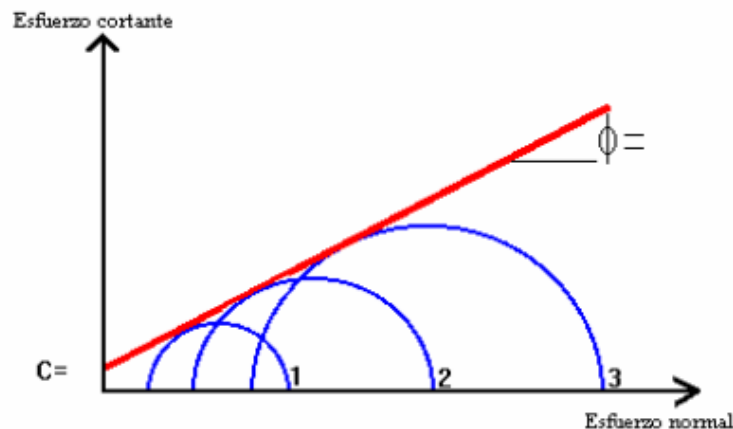
$$A_c = A / (1 - \epsilon) \text{ (cm}^2\text{)}$$

- ✓ Calcular el esfuerzo desviador ( $\sigma_c$ ) para cada unidad de área, mediante la expresión:

$$\sigma_c = P / A_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dónde: P = carga aplicada (kg)

- ✓ Graficar la deformación unitaria ( $\epsilon * 10^{-2}$ ) contra el esfuerzo desviador para cada presión de confinamiento.
- ✓ Dibujar los círculos de Mohr para todos los ensayos sobre un mismo gráfico y trazar una tangente ó envolvente a estos. Obtener los parámetros  $\phi$  y c del suelo, midiendo la pendiente de la tangente, que corresponderá al ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y el intercepto con la ordenada, que corresponderá a la cohesión (c).



**Gráfico No. 3: Gráfico Típico de Ensayo**<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Fuente: Gráfico típico de ensayo (Bowles J., 1982)

- **Cálculos según diagramas p-q. Para cada ensayo calcular el valor de p y q , mediante las siguientes expresiones:**

$$p = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2 \quad q = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$$

El procedimiento consiste en dibujar los puntos (p,q) siendo p la abscisa. Luego unir los puntos con una línea suave (llamada trayectoria de esfuerzos o línea K), medir la pendiente ( $\alpha$ ) y determinar intercepto con la ordenada (a).

Aplicando principios trigonométricos, se obtiene para  $\varphi$  :  $\text{sen } \varphi = \tan \alpha$  y para c :  $c = a / \cos \varphi$

Comparar los valores obtenidos ( $\varphi$  y c) por medio del gráfico de diagrama p-q, con los determinados por el método normal.

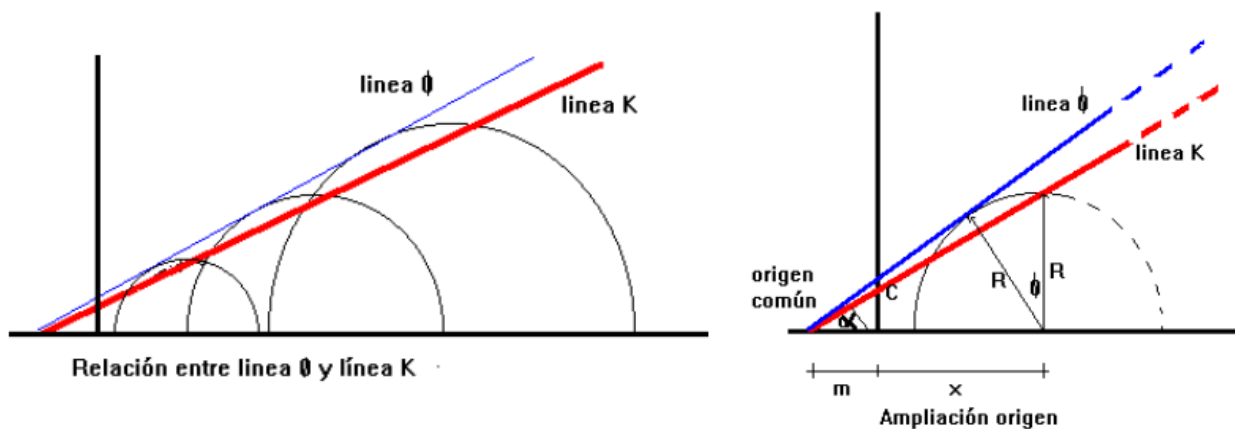
- ✓ Para un suelo no cohesivo, calcular analíticamente los valores de  $\varphi$  y c, mediante las siguientes expresiones:

$$\text{sen } \varphi = (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 * \text{tg}^2 ( 45^\circ + \varphi / 2 ) + 2 * c * \text{tg} ( 45^\circ + \varphi / 2 )$$

- ✓ Para un suelo cohesivo ( $\varphi = 0$ ), calcular analíticamente el valor de c, mediante la expresión:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + 2 * c$$



**Grafico No. 4: Grafico de Diagramas p-q<sup>17</sup>**

<sup>17</sup> Fuente: Gráficos de diagramas p-q. (Bowles J., 1982).

#### **11.5.5.2. Método con medición de presión de poros:**

A través de este método, el que requiere de un equipo adicional medidor de presiones intersticiales que se conecta a la cámara triaxial, es posible obtener los parámetros de esfuerzo efectivos ( $\phi'$  y  $c'$ ) de suelos parcialmente saturados, ya que generalmente cualquier ensayo cortante, está referido en términos del esfuerzo total, o sea, incluye tanto los esfuerzos intragranulares como los intersticiales y como es sabido, el esfuerzo cortante dentro de una masa de suelo a la que se le aplica una carga, sólo lo asume el esqueleto granular, ya que el agua no puede asumir esfuerzos apreciables de corte a menos que se encuentre congelada.

## 12. CONCLUSIONES

- Una de las principales relaciones para tener en cuenta a la hora de tomar una decisión para la realización de estudios geológicos mediante sondeos o ensayos con penetrómetro sobre las zonas más críticas del proyecto es la relación de beneficio costo-tiempo, que puede afectar o beneficiar a corto o mediano plazo en gran magnitud, además podría llegar a impulsar la optimización de recursos y tiempos de ejecución establecidos. La investigación tuvo como resultado la selección de estudios geológicos a partir de ensayos con penetrómetro, ya que debido a su delgado pero considerable margen de disminución de presupuesto en comparación con los sondeos, permite la eficacia y eficiencia que requiere la actividad para cumplir con los plazos y especificaciones exigidos por la ANI.
- Respecto a los trabajos de auscultación ejercidos, los datos proporcionados dieron lugar a resultados que permiten una adecuada gestión de programación y presupuesto de las obras de rehabilitación mencionadas anteriormente, gracias a este trabajo se estimó el cálculo del volumen y las áreas de material asfáltico requerido para el total de imprimación y aplicación del mismo por parte del personal capacitado.
- El Porcentaje de Intervención por kilómetros totales de la UF3, permite conocer los valores exactos del estado de la vía dividida por kilómetro, lo cual sugiere indicadores de bajo porcentaje de deterioro respecto a el tramo seleccionado y deja en evidencia la adecuada gestión administrativa, operacional y de mantenimiento de la concesión; esto beneficia a la empresa ya que son indicadores que posteriormente sustentaran no solo el trabajo realizado hasta el momento por la concesión, sino también cualquier posible intervención futura en un tramo específico sobre esta unidad funcional.
- Los cuadros comparativos de costos y presupuestos para la contratación de personal, maquinaria y equipos están sujetos a la interacción de diferentes factores como el tiempo de ejecución de la obra, los ítems valorados por cada propuesta y las prioridades que requiera el proyecto; por otro lado, también es cierto que son necesarios e indispensables para la toma de decisiones de la gerencia o dirección del proyecto y debido a esto, merecen toda la atención posible por parte de los responsables de dicha tarea para lograr una adecuada gestión de planeación.
- Los sondeos realizados sobre la UF1 son determinantes para el proceso de realización de cortes y terraplenes; gracias a las muestras extraídas en los diferentes puntos de localización, se pueden practicar ensayos de corte directo o triaxiales para obtener ángulo de fricción interna y cohesión dependiendo del tipo de suelo, ya sea friccionante o altamente cohesivo, estos permiten calcular las capacidades portantes de los terraplenes y los cortes, necesarios para la construcción de la estructura física de la nueva vía.

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DOCUMENTO DE CONTRATO DE PUESTA A PUNTO DE LAS UF-3 Y UF-4 INTERVENCIONES REALIZADAS (MEMORIA TECNICA) – EMPRESA CONTRATISTA ARGOZ.
- INVENTARIO DE DETERIOROS PR 41+050 a 90+800P PARA UF3: ALTO DE DOLORES – PUERTO BERRIO – EMPRESA CONTRATISTA GINPROSA.
- AUTOPISTA RÍO MAGDALENA, S.A.S. (2015). Mejora de las conexiones viales del occidente y centro del país con la Costa Caribe. Recuperado de <http://www.autopistamagdalena.com.co>
- Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). (15/02/2016). Arrancó el proyecto Autopista al Río Magdalena 2. Ciudadela Empresarial Sarmiento Angulo, Bogotá D.C. Recuperado de: <http://www.ani.gov.co/article/arranco-el-proyecto-autopista-al-rio-magdalena-2-16857>
- OHL Concesiones. (21/04/2016). Sociedad Concesionaria: Autopista Río Magdalena, S.A.S. Recuperado de: <http://www.ohlconcesiones.com/concesiones/autopista-rio-magdalena/>
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (04/12/2014). INVÍAS actualiza la Norma Colombiana de Diseño de Puentes. Recuperado de: <http://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/2068-invias-actualiza-la-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes>
- Ministerio de Transporte. (26/01/2015). RESOLUCIÓN 108 DE 26 DE ENERO DE 2015. Recuperado de: [http://legal.legis.com.co/document?obra=legcol&document=legcol\\_0decab1864880152e0530a0101510152](http://legal.legis.com.co/document?obra=legcol&document=legcol_0decab1864880152e0530a0101510152)
- Toxement. (2014). Nuevo Código Colombiano de diseño de puentes – LRFD – NCP – 2014. Recuperado de: [http://webidu.idu.gov.co:9090/pmb/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=1337](http://webidu.idu.gov.co:9090/pmb/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1337)
- Manual de laboratorio para Docencia de Geotecnia. Ensayo Triaxial. Recuperado de: [http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/triaxial.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/triaxial.pdf)
- Instituto Universitario Politécnico “SANTIAGO MARIÑO” – Extensión Maracay. (22/05/2012). GLOSARIO DE TERMINOS (Ingeniería Civil). Recuperado de: <http://es.slideshare.net/henrywhite776/glosario-ingenieria-civil>

## ANEXOS

### **Anexo A. Análisis Comparativo entre las Normas Colombianas de Diseño de Puentes CCP-14 y CCDSP-95**

Las siguientes generalidades y especificaciones técnicas mencionadas resaltan las características de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14, es decir, se realiza una comparación con la Norma CCDSP-95, basados en la aplicación de esta primera norma; así mismo, se debe suponer que la relación de los factores destacados en este artículo investigativo se observan desde el punto de vista de la CCP-14.

#### **Principales Diferencias:**

- ✓ Cambios en las cargas que circulan por las carreteras y puentes del país.
- ✓ Actualización de los mapas de amenaza sísmica.
- ✓ Actualización de la calibración de la carga viva vehicular de diseño.
- ✓ Mejores criterios de confiabilidad estructural.
- ✓ Mayor importancia a los materiales y a su control.
- ✓ Se combinan y unifican los requisitos para concreto reforzado, preesforzado y parcialmente preesforzado (se manejan como un solo material).
- ✓ Nuevos criterios para el diseño a cortante y torsión.
- ✓ Diseño compatible con los estados límites.
- ✓ Las nuevas especificaciones técnicas redundarán en más calidad, seguridad y modernización de la infraestructura inteligente de transporte que se construye en el país.
- ✓ En el diseño de columnas  $\phi$  variaba de 0.9 a 0.5 cuando la carga se incrementaba de cero a  $0.20 f'c Ag$ .
- ✓ En la Norma LRFD CCP14 el valor de  $\phi$  se incrementa a 0.90 pero se exige cumplir un requisito de  $P-\Delta$  para limitar la demanda de ductilidad debida a deflexiones excesivas.

#### **Especificaciones Técnicas y Materiales:**

Para todos los elementos deben cumplirse los estándares de la AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications.

#### **CONCRETO**

La resistencia ( $f'c$ ) está limitada a valores entre 16.0 y 70.0 Mpa, se recomienda escoger la clase de concreto según su uso. Dentro de las limitaciones que se deben tener en cuenta, cuando un concreto se usa sobre o dentro de agua salada, la relación agua / cemento debe ser menor a 0.45 y la cantidad de cemento pórtland mas otros agregados del cemento debe ser menor que 475 k/m<sup>3</sup> (Esta suma puede llegar a 600 k/m<sup>3</sup> para el

concreto clase P).

### ACERO DE REFUERZO

Algunos de los elementos que pueden usarse son:

- ✓ Barras de refuerzo (Deben ser corrugadas) \*
- ✓ Alambres corrugados
- ✓ Malla electrosoldada
- ✓ Alambres estirados en frío
- ✓ Malla electrosoldada con alambres corrugados

**Resistencia a la fluencia:  $420\text{MPa} < f_y < 520\text{MPa}$ ,  $(E_s)=200000\text{MPa}$**

Cuando sea necesaria ductilidad o se requiera soldadura, deben especificarse aceros que cumplan con las exigencias de la norma: ASTM A 706 "Low Alloy Steel Deformed Bars for Concrete Reinforcement"

### ACERO DE PREESFUERZO

Dentro de sus elementos se encuentran:

- ✓ Torones de siete hilos, de baja relajación, sin recubrir. (1750 Mpa – 1890 Mpa); E=199500 MPa
- ✓ Barras lisas o corrugadas (1050 Mpa); E=210000Mpa

### Factores De Diseño:

Los elementos estructurales deben dimensionarse para que satisfagan todos los estados límites.

### DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD)

$$\eta_i \sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n$$

$Q_i$  = Efecto producido por las cargas

R = Componente de la resistencia

$\gamma_i$  = Factor de carga

$\phi$  = Factor de resistencia

$\eta_i$  = Factor de modificador de cargas

### LA NORMA LRFD CCP14 ESTABLECE CUATRO (4) ESTADOS LÍMITES

1. SERVICIO
2. FATIGA
3. EVENTOS EXTREMOS
4. RESISTENCIA

#### 1. DISEÑO PARA ESTADO LIMITE DE SERVICIO

Las provisiones para este límite no son derivadas estadísticamente sino que se basan más en la experiencia del diseñador. Esto ha llevado a que los valores de los factores de resistencia  $\phi$  y de carga  $\gamma_i$  se consideren

iguales a 1.0. Las acciones a considerar son las fisuraciones, deformaciones y esfuerzos en las condiciones regulares de servicio.

### Control de Agrietamiento:

$$s \leq \frac{123000\gamma_e}{\beta_s f_{ss}} - 2d_c \quad \beta_s = 1 + \frac{d_c}{0.7(h-d_c)}$$

$\gamma_e$  = Factor de exposición (1.0 – 0.75)

$d_c$  = Espesor del recubrimiento

$f_{ss}$  = Esfuerzo de tracción en el acero

$h$  = Espesor del elemento

### Control de Deformaciones (Control igual al CCDSP-95):

Las deformaciones excesivas disminuyen el confort de los usuarios, agrietan el tablero y causan deterioro de la superficie de rodadura. En voladizos sucesivos deben tenerse en cuenta otros parámetros como el proceso constructivo, la edad del concreto de cada dovela, entre otros.

En general:  $\Delta_{max} = L/800$

Voladizos:  $\Delta_{max} = L/300$

## 2. CONSIDERACIONES PARA ESTADO LIMITE DE FATIGA

No es un concepto nuevo en estructuras de concreto. El CCDSP-95 ya tenía limitaciones.

$$f_r = 1470 - 0.33f_{min} + 0.56(h/r)$$

Los miembros de concreto deben satisfacer la ecuación:

$$(\Delta f) \leq (\Delta F)TH$$

$\gamma$  = Factor de carga

$\Delta f$  = Intervalo de esfuerzos de carga viva

$(\Delta F)TH$  = Umbral de fatiga

### Umbral de Fatiga de Amplitud Constante $(\Delta F)H$

Alambres Electrosoldados Rectos (sin soldadura):  $(\Delta F)TH = \Delta FTH = 24 - 0.33f_{min}$

Alambres Rectos con Soldadura:  $(\Delta F)TH = 16 - 0.33f_{min}$

-  $f_{min}$  = Esfuerzo mínimo debido a la carga viva

### Umbral de Fatiga para Torones de Preesfuerzo

- ✓ 124 MPa para radios de curvatura mayores que 9.0.
- ✓ 69 MPa para radios de curvatura de 3.65 m.
- ✓ Para radios intermedios se puede interpolar linealmente.

No se debe calcular fatiga en tableros de puentes apoyados sobre múltiples vigas, alcantarillas cajón de concreto reforzado y en el acero de elementos totalmente preesforzados.

### 3. ESTADO LÍMITE EVENTOS EXTREMOS (SISMOS)

Los requerimientos de diseño varían según la zona sísmica.

Zona sísmica 1	$SD1 \leq 0.15$
Zona sísmica 2	$0.15 < SD1 \leq 0.30$
Zona sísmica 3	$0.30 < SD1 \leq 0.50$
Zona sísmica 4	$0.50 < SD1$

$$SD1 = FvS1$$

- $SD1$  = Coeficiente de respuesta horizontal espectral para un periodo de 1.0 seg en la roca.
- $FvS1$  = Factor de sitio para el rango de periodos cortos en el espectro de aceleración.

#### Zona Sísmica 1

- Si  $SD1 \leq 0.10$   $\Rightarrow$  No se requiere tener en cuenta el sismo
- Si  $0.10 < SD1 \leq 0.1$   $\Rightarrow$  Tampoco, con excepción de las conexiones infra-superestructura pero debe colocarse refuerzo de confinamiento en los extremos de las columnas

#### Zona Sísmica 2

Igual que S1 pero el refuerzo debe estar entre 0.01 y 0.06.

#### Zonas Sísmicas 3 y 4

Deben tenerse en cuenta consideraciones especiales.

### 4. CONSIDERACIONES PARA EL ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA (LAS HIPÓTESIS BÁSICAS SON LAS MISMAS DEL CCDSP-95)

- ✓ Deformación del acero directamente proporcional a la distancia del eje neutro excepto en elementos de gran altura.
- ✓ Si el concreto no está confinado  $\epsilon < 0.003$ .
- ✓ Concreto confinado puede ser mayor pero debe verificarse.
- ✓ El esfuerzo en el acero se basa en la curva esfuerzo vs. Deformación, excepto para modelos de puntal-tensor.
- ✓ Se desprecia la resistencia del concreto a tracción.
- ✓ Distribución de esfuerzos de compresión en el concreto rectangular o parabólico.

#### Cuantías Máximas (garantizan falla dúctil)

Según CCDSP-95 la cuantía máxima se definía como el 75% de la cuantía balanceada. El LRFD CCP14 limita la cuantía controlando la deformación

máxima del acero, cuando el concreto en compresión alcanza el límite de deformación asumida (0.003),  $E_s < 0.005$ .

### **Cuantías Mínimas (garantizan falla dúctil también)**

Las cuantías mínimas deben garantizar que cualquier sección resiste por lo menos 1.2 Mcr o que la sección tenga una cuantía  $> 1.33$  cuantía calculada, cumplir también la cuantía para retracción, temperatura y secciones de altura hasta 1200 mm. ( $A_s$  = Área de refuerzo en mm/m)

$$A_s \geq 1.30bh/2b+hf_y$$

$$0.11 \leq A_s \leq 0.60$$

### **PROCEDIMIENTO DE DISEÑO**

- ✓ Cuando sea razonable suponer que las secciones planas permanecen planas después de la carga, puede usarse cualquiera de los métodos (Puntal-Tensor o el método de Diseño de la Sección.
- ✓ Cuando esa suposición no se cumple debe utilizarse el método del Puntal-Tensor.
- ✓ Las interfaces de los elementos deben diseñarse para transferencia de corte (cortante por fricción). El concepto de diseño es semejante al considerado en el CCDSP-95 aunque cambia algo la formulación matemática.
- ✓ El diseño de losas y zapatas puede hacerse como lo establece el CCDSP-95 o con el método del Puntal-Tensor.

## **Anexo B. Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCDSP-95**

### **CONDICIONES DE CARGA**

El análisis y diseño estructural se realiza teniendo en cuenta todas las cargas que afectan al puente durante la etapa de construcción y etapa de servicio. En los siguientes numerales se describe las cargas que se tendrán en cuenta en el diseño y los factores y combinaciones de carga a utilizar según el CCDSP-95 para simular adecuadamente el comportamiento del puente durante su vida útil.

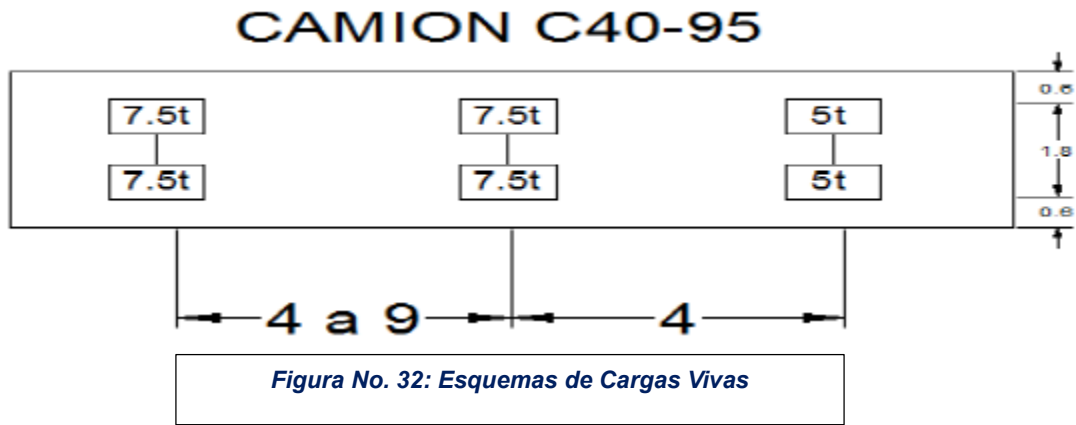
#### **Cargas muertas**

Como carga muerta se considera el peso propio de la estructura, este se determina tomando las dimensiones geométricas de la misma, considerando un peso volumétrico de 24kN/m<sup>3</sup>.

#### **Cargas vivas**

Como concepto de carga viva se considera el peso de los elementos que no forman parte

de la estructura, para los que su permanencia es temporal o que sus dimensiones o características de peso pueden variar ligeramente con respecto al tiempo. Teniendo en cuenta que sobre el puente circulan vehículos, como carga viva se considera las solicitaciones producidas por el camión C40-95.



### **Carga de impacto**

Las cargas vivas se incrementan para la superestructura del puente adicionando un porcentaje de la carga viva, que se calcula según lo establecido en el CCDSP-95 en función de la luz.

### **Fuerza longitudinal**

Se considera el efecto de una fuerza horizontal longitudinal equivalente al 5% del valor de la carga viva sin impacto, en todos los carriles que tengan tráfico en la misma dirección. Esta fuerza longitudinal se localiza a 1.8m sobre la calzada, la cual se transmite a la infraestructura a través de la superestructura. Esto está definido en el numeral A.3.4.4 del CCDSP-95.

### **Carga de sismo**

Para la evaluación de las cargas sísmicas se utiliza el espectro de diseño local, el cual está ubicado en la ciudad de Bogotá, perfil de suelo S2, puentes del grupo I para puentes esenciales, categoría de comportamiento sísmico C según la tabla A.3.4-2, la aceleración espectral es 0.2g correspondiente a este tipo de suelo S2. Con estos datos y utilizando lo recomendado en la sección A.3.4.2.5 de la referencia se construye el espectro de diseño el cual es cargado al programa de análisis SAP 2000. Adicionalmente, el CCDSP-95 en el numeral A.3.5.3.3 establece que las fuerzas sísmicas de diseño para cada elemento estructural individual y sus conexiones se determinan dividiendo las fuerzas elásticas por el coeficiente de modificación de respuesta R apropiado. El coeficiente de modificación de respuesta debe utilizarse en las dos direcciones horizontales ortogonales de la subestructura.

## **Anexo C. Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14**

En Colombia se utilizó la especificación americana AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges, hasta el año 1994, cuando el Gobierno Nacional encargó a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS – la tarea de producir un documento nacional que sirviera de reglamentación para los diseños de los puentes en el país. En 1995, la AIS, mediante convenio con el Ministerio del Transporte y el Instituto Nacional de Vías (Invías) publicó el código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes – CCP-1995, basado en la especificación AASHTO de 1992.

En el año 2013, INVÍAS desarrolló la nueva Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-2014), con la cual se actualiza (después de 18 años) el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCP-1995). La actualización del documento técnico se realizó en conjunto con la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, con el fin de que estos parámetros respondan a los cambios existentes en las cargas que circulan hoy por las carreteras y puentes del país. El convenio con la AIS tuvo un valor de 350 millones de pesos.

La norma está basada en la especificación AASHTO LRFD Bridge Specifications, 6ª edición (2012), que a su vez se apoya en la filosofía LRFD (factores de diseño de carga y resistencia), acorde con las prácticas actuales de diseño y construcción de estructuras de la mayoría de los países del mundo. En el CCP-2014 se incluyeron aspectos novedosos como la actualización de los mapas de amenaza sísmica y la calibración de la carga viva vehicular de diseño para la práctica colombiana que mejoran los criterios de confiabilidad estructural.

De esta forma, el Gobierno Nacional busca estandarizar las futuras estructuras, para que respondan de forma eficiente a las cargas que se movilizan cada vez con mayor frecuencia y más peso por la red nacional de carreteras, propiciado por el desarrollo económico y productivo que se ha generado en el país en los últimos años. Así mismo, las nuevas especificaciones técnicas redundarán en más calidad, seguridad y modernización de la infraestructura inteligente de transporte que se construye en el país.

El Ministerio de Transporte expidió la resolución No. 108 el 26 de Enero del 2015, por la cual se actualiza el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes y se adopta como “NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES CCP-2014”. El INVÍAS tramitó esta resolución con el fin de que se adopte como una norma obligatoria a partir del día de su expedición.

### **LAS ESPECIFICACIONES AMERICANAS AASHTO Y LA PRÁCTICA COLOMBIANA**

En buena parte del continente americano, el diseño de puentes se ha practicado teniendo como referencia de primera mano las especificaciones americanas AASHO [American Association of State Highway Officials], cuya primera norma, “Standard Specifications for Highway bridges and Incidental Structures”, ampliamente reconocida, fue publicada en

1931. Posteriormente se denominó AASHTO [American Association of State Highways and Transportation Officials] y se creó el “AASHTO Highway Subcommittee on Bridges and Structures”, autor y guardian de esta primera especificación. El título original de la especificación fue simplificado y en sus últimas ediciones consecutivas, con intervalos aproximados de cuatro años, lo hemos conocido como “Standard Specifications for Highway Bridges”. Su edición final, la “17th edition”, fue publicada en el año 2002.

En la introducción de la especificación AASHTO LRFD, 6a edición, se expresa: “El volumen de conocimientos relacionados con el diseño de puentes de carretera ha crecido enormemente desde 1931 y continua haciéndolo. La teoría y la práctica ha evolucionado significativamente, reflejando los avances de la investigación en el conocimiento de las propiedades de los materiales, sus mejoras, en el más racional y preciso análisis del comportamiento de las estructuras, en el advenimiento de los computadores y el rápido avance de su tecnología, en el estudio de los eventos externos que representan amenaza para los puentes, tales como eventos sísmicos, crecientes de los ríos y muchas otras áreas.”

En 1986, el subcomité de AASHTO encargado de estos asuntos manifestó el interés por efectuar una evaluación de las especificaciones AASHTO vigentes, revisar las especificaciones y códigos extranjeros y, lo más importante, considerar las alternativas de filosofía de diseño a las especificaciones estándar [Standard Specifications] que se estaban utilizando corrientemente. El trabajo fue realizado identificando y enmendando vacíos, inconsistencias y algunos conflictos. Y aún más, encontrando que la especificación no reflejaba los más recientes desarrollos de la filosofía de diseño con factores de diseño de carga y resistencia, LRFD. Este enfoque venía ganando terreno en otras áreas de la ingeniería estructural y en otras partes del mundo como Canadá y Europa. Finalmente, en 1994 AASHTO publica su primera edición de especificaciones para diseño de puentes basada en la filosofía LRFD, “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications”. Su más reciente publicación es la 7ma edición de 2014.

En Colombia se utilizó la especificación americana “AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges”, hasta el año 1994, cuando el Gobierno nacional encargó a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS – la tarea de producir un documento nacional que sirviera de reglamentación para los diseños de los puentes en el país. En 1995, la AIS, mediante convenio con el Ministerio del Transporte y el Instituto Nacional de Vías INVIAS publicó el Código Colombiano de diseño sísmico de puentes – CCP 95, basado en la especificación “AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges”, edición de 1992. En el año 2013, en convenio con el INVIAS, la AIS, desarrolló la nueva Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-2014, esta vez basada en las especificaciones “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications” 6ª edición (2012) y “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications” 7ª edición (2014) fundamentadas en la filosofía LRFD, hoy utilizada corrientemente en muchos países para el diseño de todo tipo de estructuras. Aspectos relevantes de este nuevo documento son: la actualización de los mapas colombianos de amenaza sísmica y la calibración de la carga viva vehicular de diseño para la práctica colombiana.

## **NORMA LRFD y NORMA ESTANDAR**

En la especificación AASHTO, desde el principio y hasta los inicios de la década de los años 70, la única filosofía de diseño utilizada fue la conocida como 'diseño por esfuerzos de trabajo', WSD (working stress design). Esta metodología definía los esfuerzos admisibles como una fracción de la resistencia de un determinado material y requería que los esfuerzos de diseño calculados no excedieran los esfuerzos admisibles definidos. Iniciando los años 70, la metodología WSD inició un proceso de evaluación para reflejar la variabilidad de ciertos tipos de carga, tales como las cargas vehiculares, las fuerzas sísmicas y de viento. Esto se logró ajustando unos factores de diseño y dando lugar a una filosofía de diseño denominada de 'factores de carga' LFD (load factor design). Ambas filosofías, WSD y LFD, estaban contenidas en las ediciones de las especificaciones estándar "AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges".

La nueva filosofía resultó de considerar la variabilidad de las propiedades de los elementos estructurales y, en forma similar, la variabilidad de las cargas. La filosofía de diseño con factores de carga y de resistencia LRFD está basada en el uso confiable de los métodos estadísticos y define procedimientos fácilmente utilizables por los diseñadores de puentes.

Con la aparición de la especificación LRFD, en los últimos años, los ingenieros de puentes han tenido que elegir entre las dos filosofías para hacer sus diseños, evitando aplicar combinaciones de ellas. En cada una de las dos modalidades, la AASHTO ha puesto a disposición de los ingenieros diseñadores documentos de ayuda.

## **DISEÑO POR ESTADOS LÍMITE**

El diseño por estados límite es una aplicación acertada de los métodos estadísticos de diseño, en los cuales el énfasis está en la probabilidad de falla. Esta metodología ha sido adoptada en la mayoría de códigos de diseño de puentes.

Un estado límite es una condición más allá de la cual una estructura, o uno de sus componentes, no cumplen la función para la cual fue diseñado. La metodología de diseño por estados límite es corrientemente usada en diseño estructural y tiene dos características básicas: (1) trata de considerar todos los estados límite posibles y (2) está basado en métodos probabilistas. Los estados límite deben estar suficientemente bien definidos, de tal manera que un diseñador sepa qué es considerado como aceptable o inaceptable. De mayor importancia es prevenir que los estados límites sean alcanzados, pero hay otras metas igualmente deseables: funcionalidad, apariencia y economía. No es económico diseñar un puente para que ninguno de sus componentes falle. Por lo tanto, es necesario determinar cuál es el nivel de riesgo o probabilidad de falla aceptable.

El estado límite más simple es el de la falla de un componente bajo una carga particular aplicada. Esto depende de dos parámetros: la magnitud de la carga que afecta la estructura, llamada el efecto de la carga, y la resistencia o esfuerzo del componente. Si el efecto de la carga excede la resistencia, entonces el componente fallará. Sin embargo,

la magnitud del efecto de la carga y la resistencia están sujetos a incertidumbres. Para cuantificar la incertidumbre asociada a la resistencia es necesario ejecutar un gran número de ensayos, útiles para calcular la resistencia promedio y alguna medida de su variación como la desviación estándar o el coeficiente de variación. El número de muestras que caen dentro de un intervalo dado, se dice que tienen una probabilidad de ocurrencia  $P$ . Se puede, igualmente, obtener la curva de la función de densidad de probabilidad, la cual se asume que sigue una distribución normal. Sus propiedades y área bajo la curva se encuentran tabuladas para facilitar su uso.

La determinación de un aceptable margen de seguridad no está basada en la opinión de un solo individuo. Para ello se confía en la experiencia y buen juicio de calificados y amplios grupos de ingenieros conformados por investigadores, consultores e ingenieros involucrados en el diseño y supervisión de puentes.

## Anexo D. Registro Fotográfico – Campaña Geotécnica de Sondeos UF3<sup>18</sup>

*Figura No. 33: Localización Primer Sondeo Mecánico*



*Figura No. 34: Equipo Mecánico: “Long Year 24”*



*Figura No. 35: Tanque Almacenamiento de Agua*

*Figura No. 36: Descarga de Equipo Mecánico: Petty*



<sup>18</sup> Fuente: Elaboración Propia.

**Figura No. 37: Equipo Mecánico: "Petty"**



**Figura No. 38: Movilización "Petty"**



**Figura No. 39: Llenado de tanque de agua con Polímeros**



**Figura No. 40: "Petty" en Operación**



**Figura No. 41: Tubería para sondeos**



**Figura No. 42: Guía y Pesa**



**Figura No. 43: Transporte de "Long Year 38"**



**Figura No. 45: "Long Year 38"**



**Figura No. 47: "Long Year 38" en Operación**



**Figura No. 44: Descargue de Equipo**



**Figura No. 46: Descargue Maquina de Sondeo**



**Figura No. 48: Tanques de Captación de Agua**

