

**INFORME FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL
SUPERVISIÓN DE LAS ETAPAS DE EXCAVACIÓN Y PAVIMENTACIÓN EN
EL PROYECTO DE ESTUDIO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PASO
DEPRIMIDO POR POPAYÁN**



**Pasante:
YORLEDIS PATRICIA CORREA GARCÉS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE VÍAS Y TRANSPORTE
POPAYÁN
2010**

**INFORME FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL
SUPERVISIÓN DE LAS ETAPAS DE EXCAVACIÓN Y PAVIMENTACIÓN EN
EL PROYECTO DE ESTUDIO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PASO
DEPRIMIDO POR POPAYÁN**



**Pasante:
YORLEDIS PATRICIA CORREA GARCÉS**

**Director:
Ing. HUGO YAIR OROZCO DUEÑAS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE VÍAS Y TRANSPORTE
POPAYÁN
2010**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado: Ingeniero Hernán Nope Rodriguez

Director: Ingeniero Hugo Yair Orozco Dueñas

Popayán, mayo de 2010

AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre, autor de la vida y fuente de la sabiduría y la inteligencia, sin las cuales no es posible realizar obra alguna por sencilla que sea.

A mis abuelos, Eliécer Garcés y Teresa Elvira Rosero, quienes me brindaron en todo momento su ayuda incondicional, mostrándome que la vida es mucho más sencilla y más agradable si se hacen las cosas como deben ser.

A mi madre María Oliva Garcés Rosero que siempre me dio una ayuda de corazón y estuvo atenta a escucharme.

A mis tíos Miyer Antonio Garcés, Alcira Tapia y Patricia Garcés que me enseñaron que se debe ser fiel a sus principios y creencias, teniendo firmeza en sus valores y conocimientos para lograr todo lo que se quiere en la vida sin necesidad de herir a alguien ya sea física o moralmente.

A mis primas Catalina y Daniela, que más que mis primas son mis hermanitas menores y personajes principales en todo el cambio personal y profesional que ha tenido mi vida.

A mis hermanas Claudia y Cristina y a mis sobrinos Pedro, Kevin, Andrés, Katerin y Karen quienes siempre desde la distancia me brindaron todo su amor reflejado en apoyo y comprensión en todo lo largo de mi carrera.

Al director de la pasantía el Ingeniero Hugo Yair por su profesionalismo y acertada orientación, además de su paciencia y preocupación mostrada por el avance de este proyecto.

Al Ingeniero Blas Uriel Páez Chinchilla quien en todo momento me dio su colaboración en el transcurso de esta pasantía.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca que me dio la oportunidad de formarme como profesional con calidad.

DEDICATORIA

A toda mi familia, por el estímulo, cariño y comprensión con que me apoyaron en todo momento y disminuyeron el cansancio físico e intelectual, para responder positivamente con este trabajo y culminar una nueva etapa de superación y enriquecimiento personal.

A los estudiantes de ingeniería civil, a los ingenieros y de manera general a todos aquellos interesados que deseen conocer el proceso constructivo utilizado en el proyecto “Estudio, Diseño y Construcción del Paso Deprimido por Popayán Ruta 2502 y 2503” en las etapas de excavación y pavimentación, teniendo en cuenta que es una de las obras más significativas realizadas en el Municipio de Popayán.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1. INFORMACIÓN GENERAL	3
1.1. DATOS BÁSICOS	3
1.2. CONTEXTO DEL TRABAJO EN EL QUE SE REALIZÓ LA PASANTÍA	4
2. RELACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ESPECÍFICAS EN LAS CUALES PARTICIPÓ LA PASANTE	11
3. RELACIÓN DE LOS ASPECTOS RELEVANTES APRENDIDOS DURANTE LA PASANTÍA	15
3.1. ASPECTOS APRENDIDOS TEÓRICAMENTE EN EL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	15
3.1.1. Etapa de excavación	15
3.1.2. Etapa de drenaje	22
3.1.3. Etapa de pavimentación	26
3.1.3.1. Diseño y Construcción de la Carrera Diecisiete (Cra 17)	26
DISEÑO	26
CONSTRUCCIÓN	43
3.1.3.2. Diseño y Construcción de la Calle cuarta (4ª), Calle quinta (5ª) y en los treinta metros (30 m) más próximos al puente	55
DISEÑO	55

	Pág.
CONSTRUCCIÓN	66
3.1.4. Generalidades	76
3.2. ASPECTOS NUEVOS APRENDIDOS EN EL TRANCURSO DEL DESARROLLO DE LA PASANTÍA	78
3.2.1. Tabla Munsell	79
4. COMPARACIÓN DE LOS OBJETIVOS CONSIGNADOS EN EL PROYECTO DE PASANTÍA Y LOS OBJETIVOS LOGRADOS AL TÉRMINO DE LA MISMA	81
CONCLUSIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valor de cada uno de los contratos hechos con el INVIAS	5
Tabla 2. Personal de Estudios, Diseños y Construcción	8
Tabla 3. Personal de Estudios, Diseños y Construcción	10
Tabla 4. Localización de las cámaras de inspección y los sumideros	23
Tabla 5. Precios de ITEM de Drenaje y Subdrenaje	26
Tabla 6. UNIDAD HOMOGÉNEA No. 1. Resultados de CBR – Suelo de subrasante (Suelo fino color amarillo ocre).	27
Tabla 7. UNIDAD HOMOGÉNEA No. 2. Resultados de CBR – Suelo de subrasante (Suelo fino color gris)	28
Tabla 8. Clasificación y uso del suelo según el valor de CBR	29
Tabla 9. Características Climáticas	29
Tabla 10. Cargas Máximas Vehiculares y Distribución de Cargas en Cada Eje	30
Tabla 11. Transito equivalente para el diseño del mejoramiento de la subrasante	30
Tabla 12. Parámetros utilizados en el método AASHTO	32
Tabla 13. Espesores y módulos obtenidos por el método AASHTO	32
Tabla 14. Modelos de comportamiento del Método Shell	33
Tabla 15. Resumen de Resultados y su comparación con los valores admisibles de la Unidad Homogénea Uno	33
Tabla 16. Resumen de Resultados y su comparación con los valores admisibles de la Unidad Homogénea Dos	33
Tabla 17. Parámetros y Valores en la Unidad Homogénea Uno	34
Tabla 18. Parámetros y Valores en la Unidad Homogénea Dos	34
Tabla 19. Parámetros que se utilizaron para calcular el espesor de material de reemplazo colocado entre el geotextil y la subbase granular en las dos unidades homogéneas	35
Tabla 20. Grilla de separación de los pilotes	42

	Pág.
Tabla 21. Especificación del Concreto Bombeable de 4000 PSI	51
Tabla 22. Espectro de Cargas Calle 4 y Calle 5	56
Tabla 23. Espectro de Cargas en las Intersecciones con la Calle 4 y la Calle 5	56
Tabla 24. Espectro de Cargas para el Tránsito Acumulado en las Intersecciones	57
Tabla 25. UNIDAD HOMOGÉNEA UNO. Resultados de CBR – Suelo Subrasante	59
Tabla 26. UNIDAD HOMOGÉNEA DOS. Resultados de CBR – Suelo Subrasante	60
Tabla 27. Parámetros utilizados en el método AASHTO	61
Tabla 28. Parámetros y Valores encontrados con la Ecuación General de Número Estructural	62
Tabla 29. Parámetros que se utilizaron para calcular el espesor de material de reemplazo colocado entre el geotextil y la subbase granular en la unidad homogénea dos	63
Tabla 30. Resultados de los consumos de Fatiga y Erosión para un Periodo de Diseño de 20 años	64
Tabla 31. Resultados de los consumos de Fatiga y Erosión para un Período de Diseño de 40 años	64
Tabla 32. Especificación de la Lechada de Cemento	66
Tabla 33. Especificación del concreto de 5000 PSI	68
Tabla 34. Precios ITEM de Pavimentación	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del Proyecto	7
Figura 2. Fuerzas Estabilizantes y Desestabilizantes que Soporta un Muro Pantalla	20
Figura 3. Posibles Fallas de un Muro Pantalla	20
Figura 4. Ubicación de las Unidades Homogéneas	27
Figura 5. Estructuras de Pavimento de acuerdo a la Zona a Construir	38
Figura 6. Localización en Planta de las Juntas Transversales	39
Figura 7. Remodulación de Losas por Presencia de Cámaras de Inspección	39
Figura 8. Remodulación de Losas por Presencia de Sumideros	40
Figura 9. Transición de Pavimento Rígido Simple a Pavimento Rígido Reforzado	41
Figura 10. Estructuras de Pavimento de las Losas que están encima de las abscisas K0+500 y K0+525	42
Figura 11. Distribución de los puntos de apoyo y/o anclaje de la formaleta a la subbase	50
Figura 12. Dimensiones de las vigas postensadas	58
Figura 13. Estructuras de Pavimento de acuerdo a la Unidad a Construir	65
Figura 14. Distribución de los puntos de apoyo y/o anclaje de la formaleta lateral de la calle 4 y de la calle 5	70
Figura 15. Distribución de los puntos de apoyo y/o anclaje de la formaleta subbase	73
Figura 16. Tabla Munsell	79

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Relación De Las Actividades Específicas Realizadas En El Marco De Este Proyecto.	13
Cuadro 2. Estratos encontrados en el apique número uno	17
Cuadro 3. Estratos encontrados en el apique número dos	18
Cuadro 4. Estratos encontrados durante la excavación	18
Cuadro 5. Distribución de los aceros de acuerdo a la zona a construir	49
Cuadro 6. Cumplimiento de los Objetivos Propuestos	81

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo 1. Estudio geotécnico del suelo encontrado en cada uno de los apiques.	86
Anexo 2. Seguimiento a la estabilidad de las pantallas.	111
Anexo 3. Diseño del colector pluvial.	117
Anexo 4. Distribución de los pilotes de control de rebote y mejoramiento de la subrasante.	120
Anexo 5. Resultados de caracterización de la emulsión asfáltica tipo CRL-1 y diseño Marshall de mezcla asfáltica MDC-2.	122
Anexo 6. Ensayos de laboratorio y diseño de mezcla de concreto de 4000 PSI.	130
Anexo 7. Calibración de prensa hidráulica que presentaba resultados incoherentes.	139
Anexo 8. Diseño de la estructura de pavimento rígido.	166
Anexo 9. Diseño de corte y sellado de las juntas.	174
Anexo 10. Figura 2.5 de la página II-18 de la guía de pavimentos AASHTO.	178
Anexo 11. Detalles de modulación de losas y de las juntas.	180

Anexo 12.	Sección transversal del paso deprimido.	185
Anexo 13.	Detalles de muros New Jersey, anden y muros falsos.	187
Anexo 14.	Detalles de las vigas postensadas.	189
Anexo 15.	Alternativas de diseño de paso deprimido por Popayán.	202
Anexo 16.	Cumplimiento de las normas de seguridad industrial.	209

INTRODUCCIÓN

Con el transcurrir del tiempo la ingeniería ha enfrentado muchos retos para satisfacer las necesidades humanas, retos, que gracias al ingenio y conocimiento aportados por los profesionales vinculados a esta rama de la ciencia, han sido solucionados de manera satisfactoria.

En este informe se presenta la supervisión de las actividades realizadas durante la excavación y pavimentación en el proyecto de Estudio, Diseño y Construcción del Paso Deprimido por Popayán, proyecto que se considera un gran reto para la comunidad payanesa por el cambio cultural que representa y por la gran inversión económica que este conlleva. Para los constructores, interventores y supervisores de la obra también fue un reto, debido a los múltiples inconvenientes encontrados a lo largo del desarrollo del proyecto.

La práctica académica (Pasantía), se facilitó por el Convenio Interinstitucional 2242 para el Desarrollo de Prácticas Profesionales de Estudiantes Universitarios firmado entre la Universidad del Cauca y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) el 16 de octubre de 2007, y tanto la presencia del estudiante como la rendición de informes de avance de la pasantía están de acuerdo con sus cláusulas y fundamentos del mismo.

Lo que se leerá a continuación en el presente informe es cada una de las actividades que se realizaron para la excavación y pavimentación en el Paso Deprimido por la ciudad de Popayán, que como todo proyecto empieza desde un estudio, un diseño y termina con la ejecución exitosa de la obra.

Las obras que se supervisaron fueron construidas por el Consorcio ESTYMA JMV, la interventoría del proyecto fue realizada por la Unión Temporal PCA-TECNOCONSULTA y la Supervisión por el Instituto Nacional de Vías INVIAS Territorial Cauca.

Es importante destacar que se contó con la colaboración de todos los implicados en la ejecución de este proyecto, empezando por el Maestro de Obra, pasando por los Inspectores, Ingenieros residentes, hasta llegar al Director de obra y de Interventoría tanto del Consorcio ESTYMA JMV como de la Unión Temporal PCA TECNOCONSULTA, sin dejar a un lado la total colaboración del Supervisor de la obra por parte del INVIAS.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Ser participe en el Proyecto “ESTUDIO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PASO DEPRIMIDO POR POPAYÁN RUTA 2502 Y 2503”, en las etapas de excavación y pavimentación, en la modalidad de pasante, con el fin de reforzar los conocimientos adquiridos en clase y aprender conocimientos nuevos para de esta manera adquirir experiencia laboral en una obra real y poder obtener el título profesional de ingeniera civil otorgado por la Universidad del Cauca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Supervisar el proceso de excavación, teniendo en cuenta el material a excavar, las diferentes profundidades, el equipo utilizado y el método de excavación empleado.
- Supervisar si el material excavado se puede reutilizar y si no es así, verificar a que botadero es llevado y si dicho lugar cumple con las normas.
- Supervisar el continuo monitoreo que se le debe hacer a las paredes de la excavación para evitar posibles grietas y de esta manera tener calidad en la obra.
- Supervisar el proceso de construcción del pavimento del Paso Deprimido por Popayán, teniendo en cuenta los diseños y los materiales a utilizar.
- Supervisar si se tienen o no el cuidado necesario para el almacenamiento de los materiales y de esta manera evitar posibles retrasos en la obra por falta de cuidados.
- Supervisar si tanto la empresa constructora como la empresa interventora realizan las diferentes pruebas de laboratorio en el campo, como lo indica la norma del INVIAS.
- Supervisar si la obra está debidamente delimitada para evitar accidentes, teniendo en cuenta que la empresa constructora debe informar a la comunidad del sector de la obra y a la comunidad en general las zonas que van a estar cerradas, por cuanto tiempo y cuáles son las vías alternas.
- Supervisar si la empresa constructora cumple con los requerimientos exigidos en cuanto a Seguridad Social y Salud Ocupacional (SISO).

SUPERVISIÓN DE LAS ETAPAS DE EXCAVACIÓN Y PAVIMENTACIÓN EN EL PROYECTO DE ESTUDIO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PASO DEPRIMIDO POR POPAYÁN

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 DATOS BÁSICOS

- **Nombre del Pasante:**
Este proyecto “práctica académica” (PASANTÍA) fue realizado por la Estudiante de Décimo Semestre de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca **YORLEDIS PATRICIA CORREA GARCÉS**.
- **Entidad o Empresa Receptora:**
La Entidad receptora de esta “práctica académica” (Pasantía) fue el Instituto Nacional de Vías INVIAS Territorial Cauca.
- **Tutor por parte de la Universidad del Cauca:**
El Tutor asignado por parte de la Universidad del Cauca fue el Ingeniero **HUGO YAIR OROZCO DUEÑAS**.
- **Tutor por parte de la Entidad o Empresa Receptora:**
El Tutor asignado por parte del Instituto Nacional de Vías INVIAS fue el Ingeniero **BLAS URIEL PAEZ CHINCHILLA**.
- **Cargo que el Tutor desempeña en la entidad o empresa receptora:**
El Ingeniero BLAS URIEL PAEZ CHINCHILLA desempeña el cargo de SUPERVISOR, en el Instituto Nacional de Vías INVIAS, Territorial Cauca.
- **Lapso de realización de la Pasantía:**
La pasantía se realizó en un periodo comprendido entre 24 de marzo de 2009 al 31 de octubre de 2009 hasta completar 640 horas, las cuales la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca ha determinado que son las necesarias para cumplir un proyecto de pasantía.
- **Sede principal del trabajo:**
La Sede principal del trabajo fue el Municipio de Popayán, específicamente en la Intersección vial de la Carrera 17 entre calles cuarta (4) y quinta (5), lugar donde está ubicada la obra.
- **Dedicación por parte del pasante:**
La dedicación fue de tiempo completo, exceptuando los espacios para las actividades académicas impuestas por la Universidad, teniendo la siguiente distribución:
 - a. Se hizo presencia y se participó en la obra de manera ininterrumpida de lunes a viernes entre las 14:00 a las 18:00 horas, durante el periodo de clases.

- b. En el periodo de vacaciones se tuvo un horario de 8:00 a 12:00 horas y de las 14:00 a las 18:00 horas.
- c. Los días sábados se trabajó de 8:00 a 12:00 horas.
- d. Los días domingos y festivos no se trabajaron, ya que tanto el contratista, como el interventor y el supervisor no los laboraban.

1.2 CONTEXTO DEL TRABAJO EN EL QUE SE REALIZÓ LA PASANTÍA

El Instituto Nacional de Vías INVIAS, es un establecimiento público de orden Nacional, adscrito al Ministerio de Transporte, creado por decreto 2170 del 30 de Diciembre de 1992 con oficinas principales en Santa Fe de Bogotá y oficinas regionales a lo largo del territorio nacional. El INVIAS territorial Cauca, es la entidad receptora para la realización de este proyecto de pasantía.

MISIÓN

Garantizar a la sociedad la construcción, mejoramiento y mantenimiento de la estructura vial no concesionada a cargo de la entidad, contribuyendo así, al desarrollo sostenible y a la integración del país a través de una red eficiente cómoda y segura.

VISIÓN

Ser en el año 2019, una entidad dinamizadora del desarrollo de la infraestructura vial no concesionada a su cargo, que brinda seguridad y bienestar a los usuarios, altamente reconocida por la calidad en su gestión integrada por un equipo humano comprometido en el cumplimiento de su misión.

El INVIAS por medio de la Licitación Pública No. SGT-SRN-114-2007 hizo el contrato de Obra No. 3437 – 2007, y mediante Licitación Pública No. SGT-SRN-118-2007 hizo el contrato de Interventoría No. 3459 – 2007, designando como ingeniero supervisor de estos contratos al ingeniero Blas Uriel Páez Chinchilla.

Teniendo como base el convenio interadministrativo celebrado entre la Universidad del Cauca y el INVIAS, la pasante Yorledis Patricia Correa Garcés, ingresó a la Institución en calidad de Ingeniera Auxiliar, bajo el mando del ingeniero Blas Uriel Páez, durante las etapas de excavación y pavimentación, del “Paso Deprimido”.

- **Objeto Del Contrato De La Empresa Receptora:**
 - a. CONTRATO No. 3437-2007:
Estudio, Diseño y Construcción del Paso Deprimido por Popayán, ruta 2502 y 2503.
 - b. CONTRATO No. 3459-2007
Interventoría para el Estudio, Diseño y Construcción del Paso Deprimido por Popayán, ruta 2502 y 2503.
- **Fechas de Iniciación y Terminación de los Contratos**
 - a. CONTRATO No. 3437-2007:
ETAPA DE DISEÑO:
 - INICIACIÓN: 30 de Enero de 2008
 - TERMINACIÓN: 31 de Mayo de 2008
 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN
 - INICIACIÓN: 01 de Mayo de 2008
 - TERMINACIÓN: 15 de Diciembre de 2009
 - b. CONTRATO No. 3459-2007
 - INICIACIÓN: 30 de Enero de 2008
 - TERMINACIÓN: 31 de Diciembre de 2009
- **Cuantía del Contrato**

Tabla 1: Valor de cada uno de los contratos hechos con el INVIAS

CONTRATO 3437 – 2007		CONTRATO 3459 – 2007	
Valor de Diseños	\$ 348.000.000	Contrato Principal	\$ 909.688.426
Contrato Principal	\$11.157.570.373	Contrato 3459-01-2007	\$ 206.542.918
Contrato 3437-01-2007	\$ 263.612.308		
Contrato 3437-02-2007	\$ 6.307.200.000		
Contrato 3437-03-2007	\$ 728.000.000		
TOTAL	\$18.804.382.680	TOTAL	\$ 1.116.231.344
TOTAL CONTRATOS	\$ 19.920.614.020		

Fuente: Informe Mensual de Interventoría No. 21 correspondiente al mes de octubre

➤ **Localización Geográfica del Proyecto:**

El proyecto objeto de esta pasantía, se encuentra ubicado en el Departamento del Cauca, Municipio de Popayán, Paso Nacional por Popayán entre la carrera 17 con calles 4ª y calle 5ª Barrio La Esmeralda.

Esta intersección Vial se encuentra ubicada en el sector conocido como La Esmeralda, especializado, tradicionalmente, en comercio de galería y callejero. Los analistas de urbanismo consideraron que este sector en los últimos años, se ha venido incorporando al centro de la ciudad ampliando su espacio urbano, debido al impulso que la actividad comercial imprime al sector.

Desde una perspectiva más general, la intersección es el lugar obligado de todos los viajes con origen y/o destino al occidente de la ciudad y todos los vehículos que transitan por la vía Panamericana

El sector aledaño a la intersección o área de influencia directa, está delimitado por la carrera 15 a la carrera 20 entre calles 1N y 7ª. En cuanto a la influencia indirecta se considera el sector centro y occidente de la ciudad, ya que un alto porcentaje de la población reside en el sur – occidente, cuyas principales vías de acceso son las calles 4ª y 5ª.

Sin embargo fue necesario localizar el K0+000 a diecinueve punto treinta y seis metros (19.36 m) del puente que atraviesa el río Molino, que también sirvió como referencia de dicho punto, justo sobre la margen izquierda en sentido oriente-occidente, otro punto de referencia fue una roca grande que no afectó ni el avance de la obra ni el tránsito, además se encontraba en un sitio seguro y durante la ejecución de la obra fijo.

➤ **Relación de las principales actividades a ejecutar por la empresa receptora para el cumplimiento del objeto del contrato**

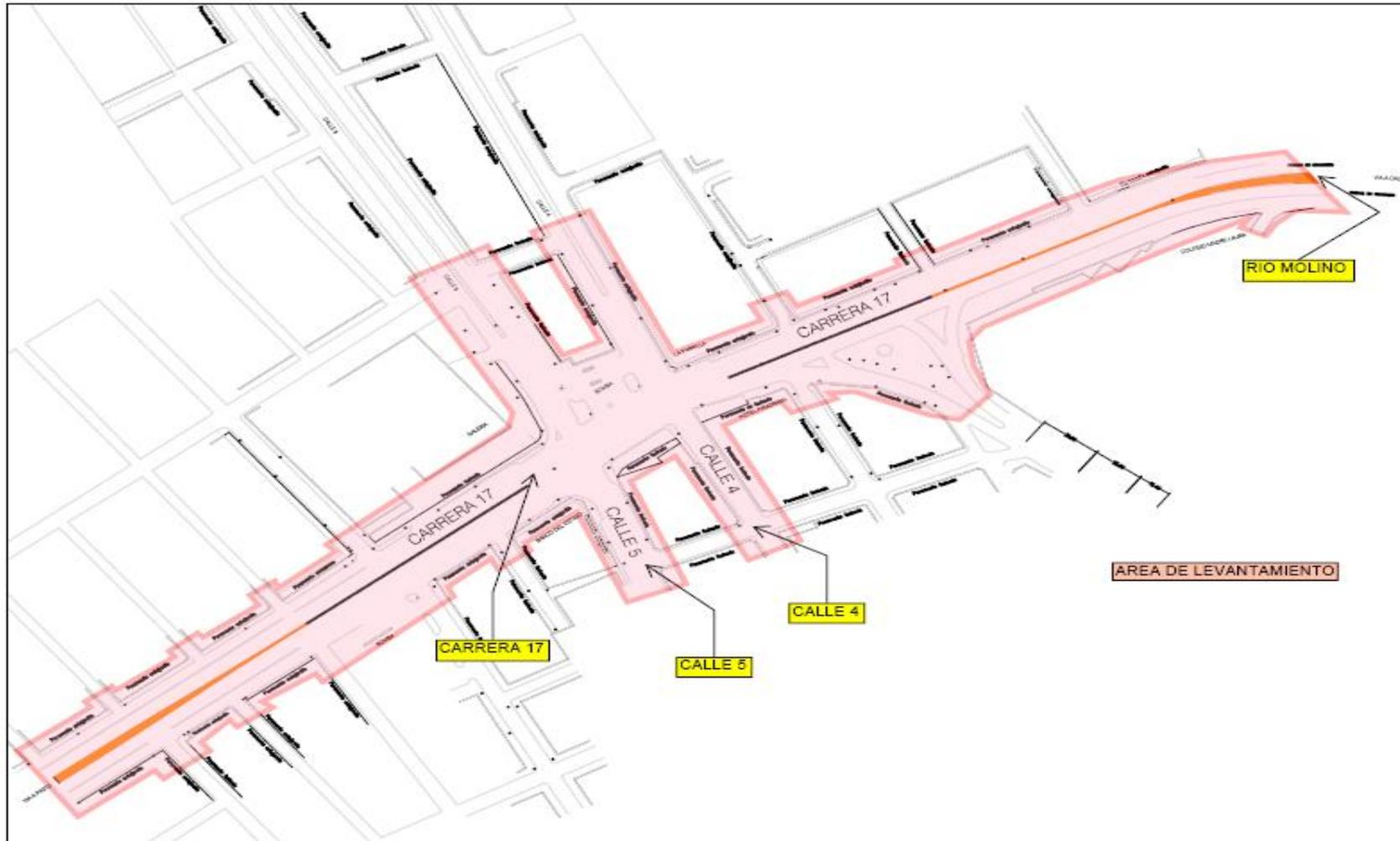
La Empresa Receptora, es decir, el Instituto Nacional de Vías INVIAS, ejerció la Supervisión de cada una de las actividades desarrolladas por la empresa CONSORCIO ESTYMA JMV para el diseño y la construcción del Paso Deprimido en Popayán, para ello se contó con la colaboración de la empresa UNIÓN TEMPORAL PCA TECNOCONSULTA, quienes ejercieron las labores de Interventoría de la obra y diseños.

El INVIAS realizó constantes reuniones junto con el contratista, y el interventor verificando así el avance y proyección de las obras, de acuerdo con el cronograma de actividades propuesto por el contratista.

En el transcurso de la pasantía las actividades supervisadas son las descritas de manera general a continuación:

1. Explanaciones: Excavación en material común.
2. Cimentaciones: Excavaciones incluyendo retiro, hincado de Pilotes en madera de 15 cm de diámetro y de 6 metros de longitud.
3. Drenaje y Subdrenaje.
4. Estructuras en Concreto: Suministro de instalación de acero de refuerzo corrugado de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, losa en concreto para el tablero de la carrera 17 con una resistencia de 3000 psi y losa en concreto para tablero de las calles 4ª y 5ª con una resistencia de 4000 psi.

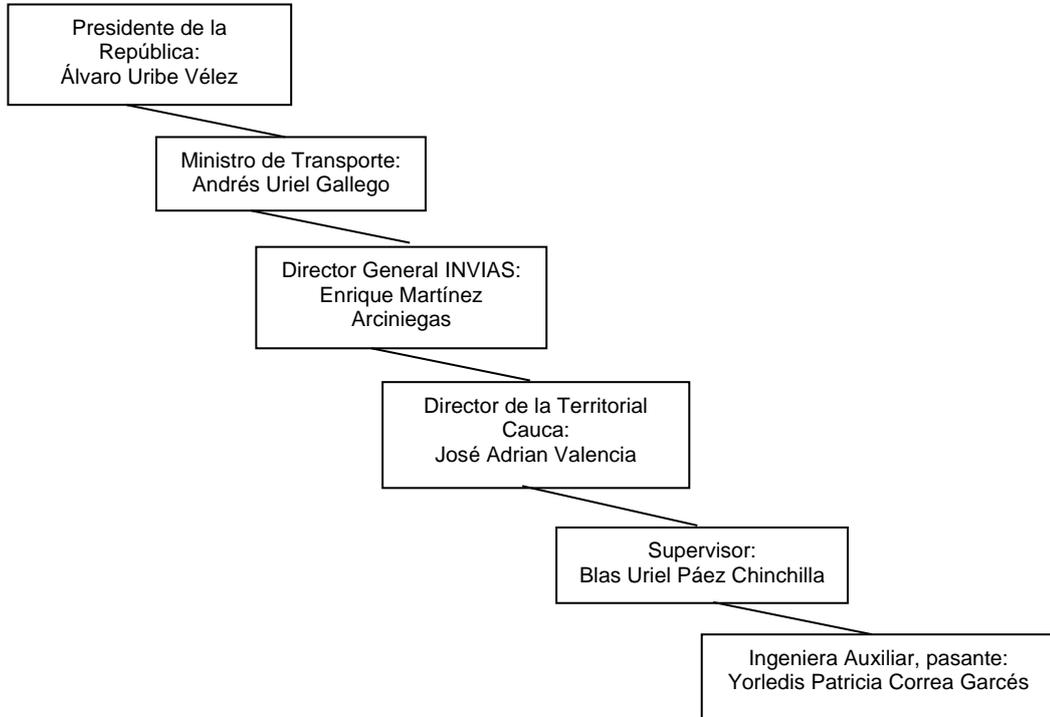
Figura 1: Localización del Proyecto



Fuente: UNIÓN TEMPORAL PCA – TECNO CONSULTA. Informe mensual de Interventoría No. 21. Popayán Octubre de 2009.

➤ **Recursos de la Empresa Receptora para Cumplir con las actividades contratadas**

❖ **Recursos Humanos por parte del INVIAS**



❖ **Recursos Físicos por parte del INVIAS:**

El INVIAS no prestó ningún recurso físico para la elaboración de dicha obra.

❖ **Promedio de Facturación Mensual**

El INVIAS no devengó una facturación mensual, el INVIAS pagó mensualmente un valor aproximado de Treinta y Un Millones de Pesos (\$ 31.000.000)

A continuación se dan a conocer los Recursos que se utilizaron tanto en la Empresa contratista CONSORCIO STYMA JMV como en la Empresa interventora UNION TEMPORAL PCA TECNOCONSULTA.

EMPRESA CONSORCIO STYMA JMV

a. Recursos Humanos

Tabla 2: Personal de Estudios, Diseños y Construcción

Personal para Estudios y Diseños	Cant.	Personal para la Obra	Cant.
Director de Estudios y Diseños.	1	Director de Obra.	1
Especialista en Pavimentos.	1	Ingeniero Residente de Obra.	1
Especialista en Geotecnia.	1	Residente de Tránsito y Señalización.	1
Especialista en Hidráulica.	1	Ingeniero Auxiliar.	1

Personal para Estudios y Diseños	Cant.	Personal para la Obra	Cant.
Especialista Ambiental.	1	Ingeniero Residente Ambiental.	1
Especialista en Estructuras.	1	Ingeniero Residente Social.	1
Especialista en Diseño Geométrico.	1	Ingeniero Coordinador.	1
Especialista Eléctrico.	1	Profesional de Aseguramiento o Gestión de la Calidad.	2
Especialista de Tránsito.	1	Auditor Interno de Calidad	1
		Topógrafo - Inspector.	1
		Cadenero.	Aprox 3
		Maestro de Obra.	1
		Auxiliar Administrativo.	1
		Almacenista.	2
		Laboratorista.	1
		Inspector de Materiales.	1
		Secretaria.	1
		Obreros.	Aprox .20

Fuente: Informe Mensual de Interventoría No. 21 correspondiente al mes de octubre

b. Recursos Físicos

1. Una Estación Total marca Topcon, completamente equipada: 2 prismas, 2 porta prismas, 2 bastones.
2. Equipo de nivelación completo: una mira para nivel digital, Nivel digital Topcon, un nivel de mano.
3. Equipo complementario de Topografía: 2 plomadas, pintura, maceta y clavos de acero.
4. Dos Retroexcavadoras marca Volvo de Orugas.
5. Una Camioneta Toyota Hilux modelo 2007.
6. Un Cargador-Excavadora de cucharón pequeño y de llantas 4 x 4 Marca DEERE 410E.
7. Dos niveles de precisión Marca Leica.
8. Dos Compresores Sall – Air – 185H.
9. Un Compresor Ingersoll Rand.
10. Dos Motobombas Honda.
11. Una Motobomba Forte.
12. Cuatro Apisonadores Manual Ingersoll Rand.
13. Cuatro Apisonadores Manual Wacker.
14. Dos Vibradores Eléctricos Wacker.
15. Un Vibrador de Concreto a gasolina Honda – Wico.
16. Un Motosoldador Miller.
17. Una Motobomba Sumergible Barnes.
18. Una Torre de Iluminación Magnium Serial 791528.
19. Una Torre de Iluminación Magnium Serial 663744736.
20. Una Planta Dosificadora para Concreto Altron 4D 45.
21. Tres Camiones Mixer Mack.
22. Una Camioneta KIA 2700.
23. Una Volqueta Chevrolet USA 891.
24. Una Volqueta Chevrolet USA 878.
25. Once Volquetas alquiladas.
26. Un Minicargador Bobcat MCB - 01.
27. Un Carro de Iluminación Marca CAT.

28. Un Cargador-Compactador a Presión de Rodillo y llantas marca CAT.
29. Un Vibrocompactador Caterpillar modelo Cs 323 de 4.5 toneladas.
30. Tres Pulidoras De Mano Dewalt.
31. Una Cortadora

c. Laboratorios:

1. Laboratorio de Suelos, Materiales, Concretos y Pavimentos GEOFISICA LTDA.
2. Laboratorio de Materiales, Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.
4. Laboratorio de Ingenieros Consultores ESTUDIO DE SUELOS LTDA
5. Laboratorio de Estructuras, Geotecnia y Pavimentos del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes.
6. Productos Pétreos AGREMEZCLAS.

d. Promedio de Facturación Mensual

El promedio de facturación mensual fue de aproximadamente Veinte Millones de Pesos (\$20.000.000).

EMPRESA UNIÓN TEMPORAL PCA TECNOCONSULTA

a. Recursos Humanos

Tabla 3: Personal de Estudios, Diseños y Construcción

Personal de Estudios y Diseños	Cant.	Personal de Obra	Cant.
Director de Interventoría.	1	Director de Interventoría.	1
Especialista en Pavimentos.	1	Ingeniero Residente.	1
Especialista en Geotecnia.	1	Ingeniero Auxiliar.	1
Especialista en Hidráulica.	1	Topógrafo – Inspector.	1
Especialista Ambiental.	1	Inspector de Obra.	1
Especialista en Estructuras.	1		
Especialista en Diseño Geométrico.	1		
Especialista Eléctrico.	1		
Especialista de Tránsito.	1		
Especialista Social.	1		
Ingeniero Coordinador.	1		

Fuente: Informe Mensual de Interventoría No. 21 correspondiente al mes de octubre

b. Recursos Físicos

La empresa Unión Temporal PCA Tecnoconsulta no prestó ningún recurso físico para la elaboración de dicha obra.

c. Laboratorios:

1. Laboratorio de Suelos, Materiales, Concretos y Pavimentos GEOFISICA LTDA
2. Laboratorio de Materiales, Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.
3. Laboratorio de Ingenieros Consultores ESTUDIO DE SUELOS LTDA
4. Consultoría – Diseño – Asesorías GREGORIO RENTERIA – INGENIEROS S.A. GRISA.
5. Laboratorio PATRIA S.A.
6. Productos Pétreos AGREMEZCLAS.

d. Promedio de Facturación Mensual

El promedio de facturación mensual fue de aproximadamente Once Millones de Pesos (\$11.000.000).

2. RELACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ESPECÍFICAS EN LAS CUALES PARTICIPÓ EL PASANTE.

1. Supervisión de los elementos de seguridad industrial necesarios tanto para la etapa de excavación como para la etapa de pavimentación.
2. Supervisar que el área de trabajo estuviera, demarcada y debidamente señalizada para prevenir accidentes controlando el acceso de personas.
3. Supervisar que se cumpliera con el método de excavación definido, para de esta manera ayudar en el drenaje de la estructura ya que la retroexcavadora debía guiar el agua al punto indicado al momento de realizar las excavaciones.
4. Supervisar que la cubierta colocada en el costado Norte del Paso Deprimido fuese continua, suficientemente larga y ancha para que cubriera todo el sector de las obras.
5. Supervisar la evacuación del agua de la abscisa K0+500, con la motobomba, teniendo en cuenta que era un sector altamente inestable y cercano a una bomba de gasolina.
6. Supervisar el arreglo de las pantallas preexcavadas que presentaron hormigueros debido a su proceso constructivo.
7. Supervisar la ubicación de los puntos de control de las pantallas para registrar distancia entre ellas a lo ancho de la calzada (empuje lateral) y los posibles asentamientos que se pudieran presentar.
8. Supervisión a la ejecución de los controles topográficos sobre las pantallas tanto en distancia (ancho de la calzada) como en verticalidad a lo largo del desarrollo de la obra.
9. Supervisar la construcción del colector de aguas lluvias tanto en sentido longitudinal como vertical.
10. Supervisar la construcción de cada una de las cámaras de inspección del colector principal.
11. Supervisar la colocación del filtro de diámetro seis pulgadas (6") así como su conexión a los sumideros tres, cuatro, cinco y seis.
12. Supervisar durante la construcción la estructura del pavimento, verificando si se cumple o no con el diseño establecido el cual variaba de profundidad a lo largo del Puente Deprimido.
13. Supervisar la ejecución del ítem "colocación de los pilotes de control de rebote y mejoramiento de la subrasante", en cuanto a la grilla de distribución.
14. Supervisar la nivelación y compactación de la subrasante, prestando especial atención a la zona donde fue necesario mezclarla con material triturado utilizado para filtro.
15. Supervisar que tanto la tubería como el material de filtro quedara totalmente cubierto por la Geomalla LBO 202 y por el Geotextil NT – 2500, cumpliendo de esta manera con el diseño.

16. Supervisar la nivelación y compactación del material de filtro, teniendo en cuenta que en todo el sector debería existir un espesor de veinticinco centímetros (25 cm).
17. Supervisar la nivelación y compactación del material de reemplazo, teniendo en cuenta que su espesor es variable de acuerdo a la zona que se trabajara.
18. Supervisar la nivelación y compactación de la subbase que consistió en un material bien gradado sin segregaciones evidentes y que tuvo un espesor variable de acuerdo a la zona en que se estaba trabajando.
19. Supervisar la colocación de los aceros para las losas de concreto en las cuales el diseño se los exija.
20. Supervisar que antes de la fundición de las losas estuviera colocado el acero tanto para los andenes, para los separadores New Jersey como para las juntas exigidas por el diseño.
21. Supervisar el empalme que se realizó entre el pavimento flexible y el pavimento rígido, con pavimento MDC – 2 en los accesos al Deprimido.
22. Supervisar la colocación de los aceros y la fundición de las vigas postensadas ubicadas sobre la calle 4ª y calle 5ª.
23. Supervisar la colocación de los aceros y la fundición de las losas de veinte centímetros (20 cm) de espesor de la calle 4ª y calle 5ª.
24. Supervisar la realización de las calibraciones rutinarias a los equipos topográficos utilizados en la obra.
25. Supervisar los controles de calidad sobre el concreto, es decir las pruebas de laboratorio que se le hicieron, para saber si cumplen o no con las normas.
26. Supervisar el arreglo que se le hizo a una de las prensas hidráulicas utilizadas para la prueba de resistencia del concreto, debido a que presentaba inconsistencia en sus resultados.
27. Registrar fotográficamente cada uno de los procesos ejercidos tanto en las etapas de excavación como en las etapas de drenaje y pavimentación.

En el cuadro 1 se hace relación de cada una de las actividades específicas anteriormente nombradas y en las que se participó en el marco de este proyecto indicando el mes o meses en que se realizó cada una de ellas.

Cuadro 1: Relación De Las Actividades Específicas Realizadas En El Marco De Este Proyecto

ACTIVIDAD	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.
Supervisión de los elementos de seguridad industrial.								
Supervisar que el área de trabajo estuviera demarcada y debidamente señalizada.								
Supervisión del cumplimiento del método de excavación definido.								
Supervisión de la cubierta colocada en el costado norte de la obra.								
Supervisión de la evacuación del agua de la abscisa K0+500.								
Supervisión del arreglo de las pantallas preexcavadas que presentaron hormigueros.								
Supervisión de la ubicación de los puntos de control de las pantallas.								
Supervisión a la ejecución de los controles topográficos sobre las pantallas.								
Supervisión de la construcción del colector de aguas lluvias.								
Supervisión de la construcción de cada una de las cámaras de inspección.								
Supervisión de la colocación del filtro de diámetro seis pulgadas (6").								
Supervisión de la construcción de la estructura de pavimento.								
Supervisión de la colocación de los pilotes.								
Supervisión de la nivelación y compactación de la subrasante.								
Supervisión de la colocación de la geomalla LBO-202 y el geotextil NT-2500.								

ACTIVIDAD	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.
Supervisión de la nivelación y compactación del material de filtro.								
Supervisión de la nivelación y compactación del material de reemplazo.								
Supervisión de la nivelación y compactación de la subbase utilizada en la estructura de pavimento.								
Supervisión de la colocación de los aceros de las losas de pavimento rígido.								
Supervisión de la colocación de los aceros de los muros New Jersey, de los andenes y de los pasajuntas.								
Supervisión del pavimento MDC-2 colocado en los accesos al deprimido.								
Supervisión de la colocación de los aceros y fundición de las vigas postensadas.								
Supervisión de la colocación de los aceros y fundición de las losas de la calle cuarta (4ª) y calle quinta (5ª).								
Supervisión de las calibraciones de los equipos topográficos utilizados.								
Supervisión de los controles de calidad al concreto.								
Supervisión del arreglo de una de las prensas hidráulicas utilizada para la prueba de resistencia del concreto.								
Registro fotográfico.								

Fuente: Informes Semanales de actividades principales.

3. RELACIÓN DE LOS ASPECTOS RELEVANTES APRENDIDOS DURANTE LA PASANTÍA

3.1. ASPECTOS APRENDIDOS TEÓRICAMENTE EN EL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL.

Durante la supervisión de las etapas de Excavación y Pavimentación en el proyecto de Estudio, Diseño y Construcción del Paso Deprimido por Popayán, se destacó el hecho de que la aplicabilidad de los conocimientos adquiridos en clase es verdaderamente importante ya que se desarrollaron con más profundidad debido al aspecto práctico y trabajo de campo directo.

A continuación se dan a conocer cuáles fueron los conocimientos básicos aprendidos en clase, utilizados y ampliados durante la etapa de excavación y pavimentación en el proyecto de Estudio, Diseño y Construcción Del Paso Deprimido Por Popayán.

3.1.1. Etapa de excavación.

Antes de iniciar el proceso de excavación y como medida de seguridad industrial, el Consorcio Estyma JMV desarrolló un Plan De Emergencias y Contingencias, basado en el Manual Técnico de Excavaciones de la Empresa de Acueductos y Alcantarillados de Bogotá (EAAB). Norma Ns – 041 y en la Resolución 2400 de 1979. Capítulo – Excavaciones, que tuvo como fin el desarrollo de un procedimiento que minimizó el impacto en cuanto a seguridad industrial producido por dicha actividad.

Dentro del Plan De Emergencias y Contingencias se tuvieron en cuenta de manera general los siguientes riesgos:

- Riesgos Físicos: ruido, vibración y radiaciones no ionizantes.
- Riesgos Químicos: aerosoles sólidos.
- Riesgos Psicolaboral: relaciones humanas.
- Riesgos Biológicos: contaminación vegetal, fungales, móneras – excrementos.
- Riesgos Ergonómicos: carga estática, carga dinámica.
- Riesgos Mecánicos: actos y/o condiciones subestandar.
- Riesgos Locativos: superficies o altura de planos de trabajo.

Teniendo en cuenta que la máxima profundidad de excavación fue de seis (6) metros y siguiendo con el Plan De Emergencias Y Contingencias se realizó una excavación apuntalada con muros pantalla, que son elementos verticales rígidos de concreto armado conformados, por una parte libre y otra empotrada cuya finalidad es la de reducir al máximo las deformaciones del terreno excavado y por otro lado proteger lo mejor posible las construcciones y estructuras vecinas a la excavación e inclusive al interior de la misma.

A lo largo de los 306 m de longitud del puente se colocaron 3595.82 m³ de muros pantalla repartidos en:

- 44 módulos pantallas de 6 m de longitud cada uno.
- 53 módulos pantallas con barretes de 4,5 m de longitud cada uno.
- 4 módulos pantallas con barretes de 4 m de longitud cada uno.
- 4 módulos pantallas de 4 m de longitud cada uno.
- 2 módulos pantallas de 5 m de longitud cada uno.

Para agilizar el desarrollo de la obra el Consorcio Estyma JMV realizó varias tareas de manera simultánea, entre ellas se encuentran la construcción de los muros pantalla y el despeje y desbroce del separador central que tenía la carrera 17, esto para poder proceder con el replanteo y la excavación del deprimido.



Se da inicio a la excavación por el costado Norte, lugar donde hubo necesidad de colocar una cubierta plástica de 120 metros de longitud y 23 metros de ancho debido al mal tiempo, lo que no es conveniente para dicha actividad ya que se trabajó sobre suelo fino muy inestable bajo la acción del agua, además para evitar inconvenientes mecánicos o posibles accidentes.

Costado Norte de la Obra

El proceso de excavación no fue continuo, se inició por el costado Norte, se excavó aproximadamente hasta la abscisa K0+320 que es el inicio de la calle cuarta (4ª), se paró el proceso de excavación por un tiempo, mientras se construía la losa de pavimento de la calle cuarta (4ª), luego se procedió con la excavación hasta cercanías de la abscisa K0+370 aproximadamente, que es donde inicia la calle quinta (5ª) y se trasladó al costado sur del Deprimido la retroexcavadora para proceder con la excavación pero ya en sentido Sur – Norte. Lo anterior se hizo para darle mayor avance y economía a la obra.

La maquinaria utilizada para esta actividad fue una retroexcavadora volvo de orugas y aproximadamente 5 volquetas que garantizaban el trabajo continuo de la retroexcavadora.

Debido a la presencia del nivel freático se indicó que el proceso de excavación debe ayudar al proceso de drenaje, es decir, que el operario de la retroexcavadora, debía guiar el agua a un solo costado del ancho del deprimido, en este caso el agua fue guiada al costado oriental, para que pudiera ser evacuada, ya sea con la tubería dispuesta para esta actividad, o en casos extremos con motobomba, como se hizo en los alrededores de la abscisa K0+500, donde se evidenció gran cantidad de aguas subterráneas que denotaron presencia de manchas aceitosas en su superficie y se percibieron fuertes olores de combustible, esto por la cercanía con la bomba de gasolina Texaco.



Excavación en costado norte



Excavación en costado sur



Nivel freático alto alrededores de la abscisa K0+500

Para tener una idea sobre qué estratigrafía se podría encontrar en el proceso de excavación, el Consorcio hizo dos apiques teniendo como resultado las siguientes estratigrafías:(Ver Anexo 1)

APIQUE NÚMERO 1: PT - 01

Cuadro 2: Estratos encontrados en el apique número uno.

PROFUNDIDAD (m)	ESTRATO
0.00 - 0.30	Placas de Concreto.
0.30 - 2.00	Limo arcilloso gris, de consistencia firme.
2.00 - 2.95	Limo arcilloso amarillo, de consistencia firme con algunas partículas granulares.
2.95 - 4.50	Limo arcilloso amarillo, de consistencia firme con algo de arena.
4.50	Nivel de aguas freáticas
4.50 - 6.40	Limo arcilloso amarillo, de consistencia firme, con algo de arena y pequeñas partículas granulares.
6.40 - 7.50	Lente de arcilla gris clara, de consistencia blanda.

Fuente: Estudio Geotécnico TOMO II

APIQUE NÚMERO 2: PT – 02

Cuadro 3: Estratos encontrados en el apique número dos.

PROFUNDIDAD (m)	ESTRATO
0.00 - 0.30	Estructura de pavimento (Calle 4).
0.30 - 3.00	Limo arcilloso amarillo, de consistencia firme.
3.00 - 6.15	Limo arcillo amarillo de consistencia firme con algunas vetas grises y algunas partículas meteorizadas TM 1".
6.15 - 7.50	Arcilla gris oscura de consistencia blanda, arenosa, con algunas gravas TM 1".

Fuente: Estudio Geotécnico TOMO II

Durante la excavación y remoción de tierras, los estratos se mantuvieron constantes, salvo en el K0+287, aproximadamente, donde surgió un estrato que coincidió con el 5Y 7/2 (explicado con mayor claridad en el literal 3.2.1.), gris claro de la Tabla Munsell y que apareció inmediatamente en la capa superior del estrato final. Este estrato no se mantuvo por mucho espacio, fue intermitente, y apareció justamente en un punto donde el nivel freático hacía mucha presencia.

En la abscisa K0+290 se evidenció actividad biológica caracterizada por raíces ubicadas en la zona central de la vía, sitio donde se encontraba el separador que estaba constituido por un estrato húmico con presencia de pasto y árboles.

En las cercanías a esta misma abscisa, bajo el puente de la calle cuarta, se inició con una remoción de tierras y la posterior excavación, que evidenció una continuidad estratigráfica, salvo en el terreno ubicado inmediatamente bajo el puente, apareciendo una huella con características de material de relleno donde se vieron fragmentos cerámicos y de porcelana, así como madera, cuero, piedras, fragmentos de ladrillo y vidrio de botella.

Entre los puntos K0+405 y K0+480 en sentido Norte – Sur, la excavación se realizó a 4.10 metros y el estrato de arcillas grises estériles apareció a solo 3.40 metros con fuerte incidencia de aguas freáticas; además se evidenció un nuevo estrato correspondiente a las características: 2.5Y 5/3 (explicado con mayor claridad en el literal 3.2.1.) café oliva claro de la Tabla Munsell, el cual apareció inmediatamente por debajo del filtro de la carretera antigua, con mayor presencia en el punto K0+510 frente a la bomba Texaco.

De manera general se puede decir que se encontró un suelo con características geomecánicas pobres y presencia de nivel freático alto y que los estratos encontrados fueron:

Cuadro 4: Estrato encontrados durante la excavación

PROFUNDIDAD (m)	ESTRATO
0.00 - 0.30	Estructura de Pavimento
0.30 - 4.00	Tierra Amarilla de CBR 3
4.00 - 6.50	Tierra Gris Ceniza Volcánica, limo muy fino y plástico de CBR 1

Fuente: Informe Semanal de Interventoría correspondiente a la semana del 26 a 30 de mayo

A medida que se avanzaba en las excavaciones se fueron encontrando algunos hormigueros en el concreto de las pantallas preexcavadas como inconveniente común debido al proceso constructivo empleado.

Para el arreglo de las pantallas primero se hizo la demolición alrededor del hormiguero con el fin de uniformizar las superficie en todo el espesor de la pantalla y de ésta manera dejarle limpio todo el alrededor que se va arreglar, posteriormente se aplicó un aditivo, en este caso fue el sikadur 32 Primer, para garantizar la adherencia entre el concreto nuevo y el concreto viejo, luego se colocó la formaleta o encofrado y se hizo el vaciado de concreto de las mismas características (Tremie) el cual tenía una resistencia de 3000 psi.



Hormiguero en las pantallas



Arreglo del hormiguero en las pantallas



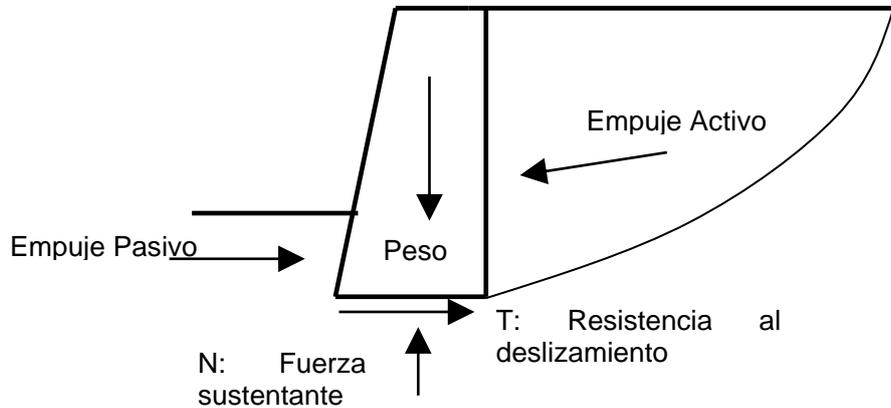
Pantalla Arreglada

En total fueron ciento cuatro (104) unidades y se utilizaron trescientos setenta y nueve punto seis metros cúbicos (379,6 m³) de concreto en reparación de pantallas.

Como la presión del terreno sobre un muro está fuertemente condicionada por la deformabilidad del muro, entendiéndose por tal no sólo la deformación que el muro experimenta como pieza de hormigón, sino también la que en el muro produce la deformación del terreno de cimentación, y sabiendo que cuando la

estructura es un muro de contención, se pueden representar los anteriores fenómenos de la siguiente manera:

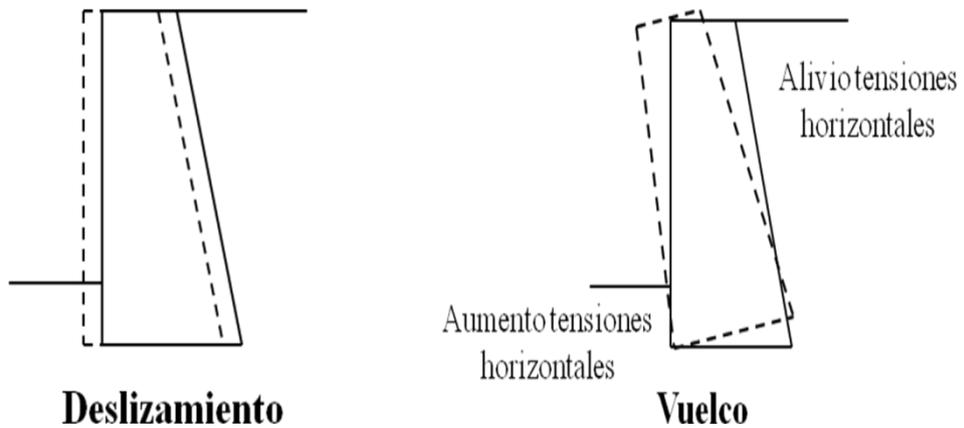
Figura 2: Fuerzas Estabilizantes y Desestabilizantes que Soporta un Muro Pantalla



Fuente: Apuntes de clase de la materia Puentes.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede decir que la falla de un muro de sostenimiento puede ocurrir por vuelco o por deslizamiento a lo largo de su base, paralelamente a su posición original, como se muestra a continuación:

Figura 3: Posibles Fallas de un Muro Pantalla



Fuente: Apuntes de clase de la materia Puentes

Para verificar que los muros pantalla construidos en el Deprimido no presentaran una de las anteriores fallas se materializaron puntos de control de desplazamiento cada 30 metros y se inició el proceso de monitoreo diario con cinta métrica, también se programaron semanalmente mediciones con estación total teniendo como resultado: (Ver Anexo 2).

- En el K0+230 y K0+260 se presentaron variaciones entre 10 mm a 13 mm, en distancia, generando un deslizamiento muy pequeño debido al empuje activo del suelo fino.

- En el K0+410 se presenta una variación de 24 mm y se debe al inicio de la excavación hacia el sur, ya que se hace el retiro del soporte interno, material sin excavar, generando este desplazamiento.
- En promedio desde el K0+408.70 al K0+440 hay un desplazamiento de 20 mm. Este promedio se realiza teniendo en cuenta los sitios de referencia ubicados en K0+408.70, K0+410 y K0+440.
- En el K0+450 se presenta una variación de 23 mm en distancia debido al empuje activo que ejerce el suelo fino.
- En el K0+490 se presenta una variación de 18mm acumulada en coordenadas, muro izquierdo, y en distancia se ha registrado una variación de 17 mm, generando un volcamiento muy pequeño y esto se debe al retiro del material de excavación y al empuje activo del suelo fino.
- En el K0+500, en las pantallas ubicadas en el costado sur se ha registrado una variación en distancia de 10 mm debido al empuje activo del suelo fino.

En general se tiene que de todos los puntos en los que se tomaron medidas, se tuvo una variación máxima de 24 mm y que de acuerdo al Especialista Estructural de interventoría la variación máxima permitida según diseño es de 50 mm, lo que indica que se está dentro de los parámetros establecidos.

Uno de los inconvenientes más destacados durante el proceso de excavación se presentó el primero (1) de septiembre donde se tuvo un daño en una tubería de gas ubicada por la carrera 17 en el costado norte. Se dio asistencia inmediata por parte del equipo de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional (SISO) y se dio aviso a bomberos mientras se atendía con el personal de obra y la cuadrilla ambiental. Sobre el evento se dio aviso de no encender ningún tipo de equipo electrodoméstico a todas las casas alrededor, la policía desvió el tráfico y las reparaciones fueron atendidas por las empresas Gases del Cauca y Alcanos de forma oportuna.

En total se excavaron treinta y tres mil ochocientos setenta y nueve punto ochenta y cuatro metros cúbicos (33879,84 m³), ochocientos cuarenta punto noventa y seis metros cúbicos (840.96 m³) menos de los treinta y cuatro mil setecientos veinte punto ochenta metros cúbicos (34720.80 m³) que se esperaban, todo el material era fino con características geomecánicas pobres y no apto para relleno por lo tanto debió ser llevado al botadero escogido para la obra.

La Escombrera escogida está ubicada en el kilómetro dos (2) sobre la vía Popayán – El Tambo, Municipio de Popayán, y junto al Relleno Sanitario “El Ojito”, es propiedad privada del señor Orlando Revelo y cuenta con todos los permisos necesarios de las entidades competentes como la CRC.

Esta actividad fue recibida a satisfacción por Interventoría mediante el ACTA número diecisiete (17), la cual tuvo un costo aproximado de seiscientos nueve millones ochocientos treinta y ocho mil pesos (\$609.838.000).

3.1.2. Etapa de drenaje.

Después de realizada la excavación se procedió a evacuar el agua que la retroexcavadora había guiado. Para ello se diseñó y construyó un colector en el sector del deprimido el cual cuenta con dieciséis (16) sumideros de 1.5 m x 0.85 m x 1.4 m en concreto, los cuales son los encargados de captar las aguas que escurren por las cunetas.

El diseño completo del colector del deprimido fue realizado por el Ingeniero Luis Guillermo Salazar y fue revisado y aprobado tanto por la empresa Acueductos y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., como por la empresa constructora Consorcio Estyma JMV y por la empresa interventora Unión Temporal PCA – TECNOCONSULTA. (Ver Anexo 3)

Dentro de las características del diseño del colector se encuentran las siguientes generalidades:

- Teniendo en cuenta el peralte de la vía el colector se localizó en el eje de la calzada oriental y para su instalación se utilizó tubería NOVALOC de veinticuatro, dieciséis y diez pulgadas (24", 16" y 10") haciendo el descole en la abscisa K0+019.36, en dirección al Río Molino ya que es un lugar donde la sección del río es mucho más ancha que la luz del puente y esto evita que se represe la tubería.
- En el descole del colector la cota batea fue de 1715.58 metros y la cota terreno fue de 1715.13 metros, teniendo en cuenta que el nivel máximo del Río Molino estimado se encuentra en la cota 1715.53. (Ver Anexo 3)
- La construcción del colector se inició sobre el Río Molino y llega hasta la abscisa K0+503.40, cubriendo de esta manera la totalidad de la longitud que abarca la obra.
- Los sumideros están ubicados sobre las bermas del lado oriental de las dos calzadas teniendo en cuenta el peralte. Son de tipo reja horizontal y la tubería de conducción fue de 10".
- Las pendientes del colector son las siguientes:
 - Tubería de diámetro de 24".
 - ✓ Entre las abscisas K0+000 – K0+019.36, en dirección **norte**, la pendiente es de 7.1%.
 - ✓ Entre las abscisas K0+000 – K0+003.64, en dirección **sur**, la pendiente es de 7.1%.
 - ✓ Entre las abscisas K0+003.64 – K0+408.70, en dirección **sur**, la pendiente es de 0.18%.
 - Tubería de diámetro de 16".
 - ✓ Entre las abscisas K0+408.70 – K0+440.00, en dirección **sur**, la pendiente es de 1.0%.
 - Tubería de diámetro de 10".
 - ✓ Entre las abscisas K0+440.00 – K0+503.40, en dirección **sur**, la pendiente es de 4.5%.

- El diseño y construcción del colector del deprimido también contó con once (11) cámaras de inspección que son las encargadas de recoger y direccionar las aguas de los sumideros. De las once cámaras, nueve (9) se encuentran ubicadas en la calzada oriental del deprimido, la número diez (10) se encuentra ubicada en la calzada occidental del deprimido y la número once (11) se encuentra ubicada por fuera del deprimido en cercanías al Río Molino. (Ver Anexo 3).
- La ubicación de las cámaras de inspección de acuerdo a los sumideros que llegan a ellas es la siguiente:

Tabla 4: Localización de las cámaras de inspección y los sumideros.

CÁMARA DE INSPECCIÓN				SUMIDERO			Tubería Longitud Diámetro 10" (m)
Nº	Abscisas	Cotas		Nº.	Cota a Nivel de rasante	Cota Batea	
		Rasante	Batea				
1	K0+500.00	1722.62	1721.22	S – 1	1722.54	1721.34	2.70
				S – 2	1722.71	1721.51	3.90
2	K0+440.00	1719.74	1718.25	S – 3	1719.66	1718.46	2.70
				S – 4	1719.83	1718.63	3.90
3	K0+410.00	1719.37	1717.93	S – 5	1719.29	1718.09	2.70
				S – 6	1719.46	1718.26	3.90
4	K0+355.98	1719.62	1717.64	S – 7	1720.54	1719.34	2.70
				S – 8	1720.71	1719.51	3.90
5	K0+326.05	1719.88	1717.79	S – 9	1722.80	1721.60	2.70
				S – 10	1722.97	1721.77	3.90
6	K0+294.26	1720.09	1717.73	S – 11	1720.01	1718.81	2.70
				S – 12	1720.18	1718.98	3.90
7	K0+225.80	1722.42	1717.61	S – 13	1722.34	1721.14	2.70
				S – 14	1722.51	1721.31	3.90
8	K0+152.76	1722.77	1717.48	–	–	–	–
				–	–	–	–
9	K0+080.00	1720.45	1717.35	S – 15	1722.37	1721.17	2.70
				S – 16	1722.54	1721.34	3.90
10	K0+069.64	1720.39	1717.33	–	–	–	–
				–	–	–	–
11	K0+003.64	1720.25	1717.21	–	–	–	–
				–	–	–	–

Fuente: Plano, Alcantarillado Pluvial Calzadas Centrales Deprimidas Planta y Perfil.

- En total se tiene 429 ml de tubería de 24" ubicada entre la cámara tres y el descole en el río molino. 31.79 ml de tubería de 16" ubicadas entre la cámara dos (K0+440) y la cámara tres (K0+410.00), 64.40 ml de tubería de 10" ubicada entre la cámara uno (K0+500.) y la cámara dos (K0+440). (Ver Anexo 3).



Proceso constructivo del colector del Deprimido

Para la determinación del nivel máximo del Río Molino (NAME), dato importante para la ubicación del descole del colector, el diseñador tuvo que recurrir a las informaciones dadas por la comunidad residente en el sector por más de treinta (30) años pues no hay estudios que indiquen dicho dato. Por lo anterior y sumándole que la diferencia de cotas entre el nivel máximo y la cota batea del colector en el descole es de cinco centímetros (5 cm), muy pequeña, podemos deducir que no hay total seguridad de que el descole del colector no sea tapado por las aguas del Río Molino en un caso extraordinario de lluvias.

El diseño estructural del cajón del paso deprimido necesitó de un filtro para captar las aguas del nivel freático el cual lo localizaron en el lado izquierdo de la calzada oriental (en sentido norte – sur), se hizo con tubería de drenaje de diámetro seis pulgadas (6”) de PVC y se conectó a los sumideros No 3, 4, 5 y 6 siguiendo con la pendiente de la calzada.

Se determinó, siguiendo con las recomendaciones de los fabricantes de tuberías de PVC para alcantarillados, proveer una estructura de cimentación a fin de evitar la deflección que podría sufrir la tubería debido al peso del material de relleno, por lo tanto se utilizó para el encamado y relleno lateral de la tubería triturado de tamaño entre media pulgada (1/2”) y tres cuartos de pulgada (3/4”) sin finos.

Haciendo caso a la anterior recomendación, en el diseño de drenaje fue necesario hacer que el encamado funcionara como un dren subsuperficial, el cual tiene un espesor de veinticinco centímetros (25 cm) argumentando que “teniendo en cuenta que el nivel freático se encontró a una profundidad promedio de 4.0 m, y que la profundidad de excavación requerida para la construcción de la estructura del pavimento está por debajo de esta cota, se va a generar flujo de agua por debajo de las pantallas de concreto y puede ascender hasta la estructura del pavimento, por esta razón es necesaria la construcción de una capa drenante a lo largo y ancho de la vía”¹. La capa está cubierta por un geotextil NT – 2500 y por una geomalla LBO 202 en sus partes inferior, superior y laterales con un traslapo de treinta centímetros (30 cm).

¹Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.



Detalles del colector

Encamado de la tubería

Dren subsuperficial

Filtro de 6" de diámetro

Como ayuda al sistema general de drenaje, a los muros pantallas se le hicieron lagrimales que guían el agua, que viene del suelo fino que genera el empuje activo en las mismas, a los sumideros y así poderla evacuar.



Lagrimales de los muros pantalla

Uno de los inconvenientes que presentó esta actividad fueron las filtraciones de agua que se originaron en las pantallas preexcavadas y que escurrían por encima de las losas del pavimento rígido del deprimido, principalmente en el costado sur, era un agua fluida color rojizo. La Interventoría comentó que probablemente cuando se pavimenten las vías lentas disminuirá el caudal de estas filtraciones pero que por el momento era absolutamente necesario destapar todos los lagrimales de las pantallas, el Consorcio tuvo que corregir el problema con perforaciones a través de las cuales se encausaron estas aguas hacia los filtros, esto se hizo con la ayuda de un extractor de núcleos facilitado por la empresa GEOFISICA.

El ítem de drenaje fue recibido a satisfacción por la Interventoría mediante el ACTA número dieciocho (18), la cual está distribuida de la siguiente manera:

Tabla 5: Precios de ITEM de Drenaje y Subdrenaje

NOMBRE	UNID.	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Grava Seleccionada para filtros.	M ³	1.557	50.000.00	77.850.000.00
Tubería perforada de 6".	ML	440	90.000.00	39.600.000.00
Tubería PVC alcantarillado 24".	ML	429	280.000.00	120.120.000.00
Sumideros en concreto.	UN.	16	1.200.000.00	19.200.000.00
Tubería de PVC de 16".	ML	32	139.500.00	4.464.000.00
Tubería de PVC de 10".	ML	85	61.375.00	5.216.875.00
Cámaras de inspección.	UN.	11	480.000.00	5.280.000.00
Geomalla LBO – 202	M ²	10.920	7.600.00	82.992.000.00
Geotextil NT - 2500	M ²	10.920	6.854.00	74.845.680.00
TOTAL				429.568.555.00

Fuente: ACTA No. 18 firmado por el Consorcio ESTYMA JMV y por UNION TEMPORAL PCA TECNOCONSULTA.

3.1.3. Etapa de pavimentación.

Teniendo en cuenta que el proyecto Estudio, Diseño y Construcción del Paso Deprimido por Popayán es un proyecto grande que no sólo cuenta con la carrera diecisiete (Cra 17) si no también con la calle cuarta (4ª) y la calle quinta (5ª) y las vías lentas, la etapa de pavimentación contó con tres (3) estudios de diseño que van de acuerdo a las solicitudes de cada una de las vías y a la subrasante encontrada.

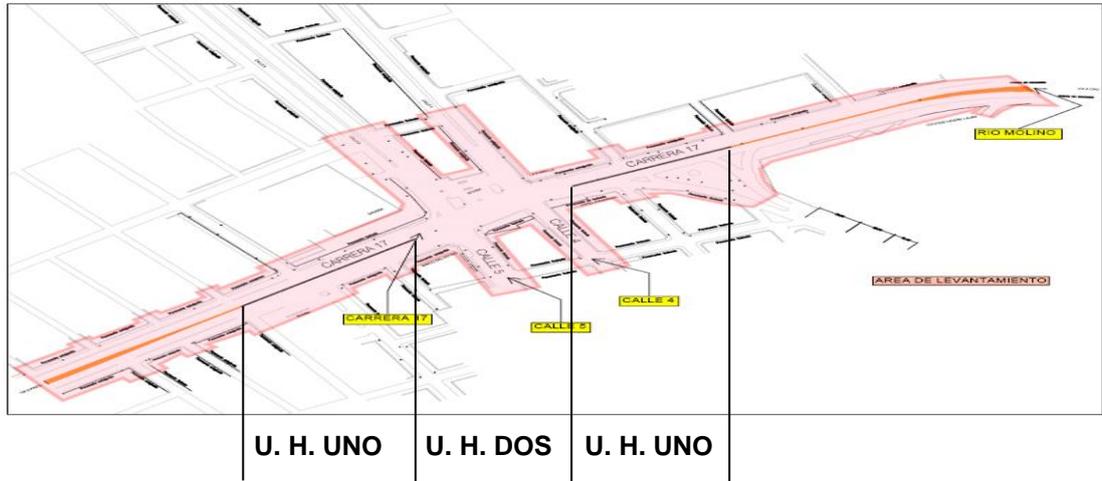
De los tres (3) diseños realizados dos (2) se ejecutaron en el desarrollo de la presente pasantía y son los que a continuación se describen:

3.1.3.1 Diseño y Construcción de la Carrera Diecisiete (Cra 17).

DISEÑO

Para el diseño del pavimento de la carrera diecisiete (Cra 17) y haciendo énfasis en que la función de la subrasante es soportar las cargas que transmite la estructura del pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento y que entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad, se procedió a tomar unas muestras sobre los materiales producto de las excavaciones que se realizaron para la construcción del sistema de alcantarillado y de las pantallas o muros de contención del paso deprimido, encontrando que a lo largo de estas vías hay dos unidades homogéneas de diseño descritas a continuación:

Figura 4: Ubicación de las Unidades Homogéneas



- ✓ **UNIDAD HOMOGÉNEA UNO:** “Es el tramo de vía cuya subrasante está constituida por un suelo fino limoso de color amarillo y amarillo rojizo, esta unidad se localiza en los sectores correspondientes a la entrada y salida del sector deprimido de la vía y en los sitios donde la excavación no alcanza profundidades mayores a los cuatro metros (4 m). La longitud de esta unidad se puede definir con exactitud dadas las condiciones especiales de este proyecto, en el cuál la vía cambia de forma continua de profundidad”².

En esta unidad se tomaron muestras de CBR inalteradas en las excavaciones hechas para la colocación de la tubería de alcantarillado y los resultados de los ensayos de laboratorio proporcionaron la siguiente información:

**Tabla 6: UNIDAD HOMOGÉNEA No.1
Resultados de CBR – Suelo de subrasante
(Suelo fino color amarillo ocre)**

CBR No.	Abs	Cota. (m)	Densidad Seca Gr/cc	SIN SUMERGIR			SUMERGIDO		
				w% Penetración	CBRin 0.1”t	CBRin 0.2”	w% Penetración	CBRin 0.1”t	CBRin 0.2”
1	K0+220	1721.50	0.77	51.2	3.1%	3.0%	92.6	3.2%	2.7%
2	K0+225	1721	0.74	69.7	3.8%	3.3%	98.2	2.4%	2.3%
3	K0+243	1720.4	1.02	49.3	3.1%	3.0%	61.6	3.0%	2.9%
LIMITES DE CONSISTENCIA – SUELO FINO DE SUBRASANTE									
SITIO	COTA (m)	Wnat %	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Indice de Plasticidad %	Clasificación SUCS			
K0+220	1721.50	51.2	103.0	76.6	26.6	MH			
K0+225	1721	69.7	103.2	75.2	28.1	MH			
K0+243	1720.4	49.3	100.5	72.1	28.4	MH			

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

² Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

- ✓ **UNIDAD HOMOGÉNEA DOS:** “Corresponde a los tramos más centrales de la vía en los cuales la profundidad de la excavación es mayor a cuatro metros (4 m). A profundidades mayores a cuatro metros (4 m) se observó la presencia de un suelo fino limo y arcilloso color gris, con algo de roca meteorizada, una consistencia blanda y una humedad alta, lo cual da lugar a resistencias muy bajas”³.

En esta unidad se tomaron muestras de CBR inalteradas en los suelos producto de las excavaciones que se realizaron para la construcción de las pantallas de concreto y los resultados de los ensayos de laboratorio proporcionaron la información relacionada en la siguiente tabla.

**Tabla 7: UNIDAD HOMOGÉNEA No.2
Resultados de CBR – Suelo de subrasante
(Suelo fino color gris)**

CB R No.	Sitio	Prof. (m)	Densidad Seca Gr/cc	SIN SUMERGIR			SUMERGIDO		
				w% Pen.	CBR 0.1”t	CBR 0.2”	w% Pen.	CBR 0.1”t	CBR 0.2”
1	Calle 3 Kra 7	7.80	1.08	--	--	--	53.0	1.5%	1.6%
2	Calle 3 Kra 7	7.80	1.12	--	--	--	55.0	1.4%	1.5%
3	Calle 3 Kra 7	7.30	1.12	--	--	--	56.3	2.8%	3.2%
4	Calle 3 Kra 7	7.30	1.07	54.1	2.5%	2.9%	--	--	--
LIMITES DE CONSISTENCIA – SUELO FINO DE SUBRASANTE									
SITIO	COT A (m)	Wnat %	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Indice de Plasticidad %	Clasificación SUCS			
Calle 3 Kra 7	7.80	55.0	45.5	29.1	16.4	MH			
Calle 3 Kra 7	7.30	54.1	51.0	30.0	21.0	MH			

Nota: La magnitud de los límites encontrados obedece al contenido de roca muerta de este suelo.

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

De manera general se puede decir entonces que para el diseño del pavimento de la carrera diecisiete (Cra 17) se contó con una subrasante con características muy deficientes asociadas a altas plasticidades, elevados contenidos de humedad y baja resistencia, con valores de CBR entre 1.5% y 2.5% y conformada de arcilla amarilla de consistencia media con algunas betas grises en algunos sectores.

Cómo los valores de CBR obtenidos tanto en la Unidad Homogénea uno como en la Unidad Homogénea dos son menores a cinco por ciento (5%) y utilizando la tabla de clasificación cualitativa del suelo según el valor de CBR se puede decir que se contó con una subrasante muy mala en cuanto a la resistencia al corte o esfuerzo cortante.

³ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

Tabla 8: Clasificación y uso del suelo según el valor de CBR

CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
2 – 5	Muy mala	Sub-rasante
5 – 8	Mala	Sub-rasante
8 - 20	Regular - Buena	Sub-rasante
20 - 30	Excelente	Sub-rasante
30 - 60	Buena	Sub-base
60 - 80	Buena	Base
80 - 100	Excelente	Base

Fuente: RAZON DE SOPORTE DE SUELOS COMPACTADOS - ENSAYO DE C.B.R.

En este punto del proyecto, o sea en la etapa del diseño del pavimento, es en donde se ve la importancia de la realización de un buen planteo (cantidad y ubicación) de sondeos y/o apiques de tal forma que permitan darse la mejor idea del tipo de suelo que se encontrará a lo largo del tramo de carretera a construir. Esto para que el diseño del pavimento no quede sobre diseñado o de muy mala calidad, ayudando tanto a la calidad como a la cantidad del proyecto.

Con los resultados de laboratorio de la subrasante obtenidos, se elaboró el diseño del pavimento, diseño que estuvo a cargo de la ingeniera Margarita Polanco y fue revisado y aprobado tanto por el Consorcio Estyma JMV así como por la empresa interventora Unión Temporal PCA TECNOCONSULTA.

El diseño contó con las siguientes generalidades:

- 1) Una de las primeras determinaciones que se tomó fue que el pavimento del Paso Deprimido debía ser rígido (concreto hidráulico) a todo lo largo de la carrera diecisiete (Cra 17) excepto en los accesos al deprimido en donde están las intersecciones entre el pavimento antiguo y el pavimento nuevo. En estas intersecciones se utilizó pavimento flexible tipo MDC – 2.
- 2) Se definió que la estructura de pavimento fuera rígido argumentando que además de resistir las cargas de diseño, ayuda a la economía del proyecto ya que se aprovecha de manera adecuada el aporte que los muros pantallas dan a las losas en cuanto a confinamiento de las mismas.
- 3) Las características climáticas adoptadas para el proyecto fueron las siguientes:

Tabla 9: Características Climáticas

Altitud	1737 msnm
Pluviosidad	2400 mm/año
Humedad Relativa	74%
Temperatura	19°C

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2

- 4) En el estudio de tránsito se realizó una “serie de estadísticas de tránsito promedio diario semanal proyectada para esta vía”⁴.
- 5) De acuerdo con el estudio de tránsito realizado por el Ingeniero Nelson Rivas, con un período de diseño de veinte años, se trabajó el diseño con las siguientes cargas máximas vehiculares y distribución de cargas en cada eje:

Tabla 10: Cargas Máximas Vehiculares y Distribución de Cargas en Cada Eje

TIPO	PESO BRUTO MÁXIMO (Ton)	CARGA (Ton)		
		EJE DELANTERO	EJE TRASERO	EJE REMOLQUE
BUS	10	4	6	
CAMION C2 PEQUEÑO	8.5	2.5	6	
CAMION C2 GRANDE	16	6	10	
CAMION C3	28	6	22 (Tandem)	
CAMION C5	48	7	20.5 (Tandem)	20.5 (Tandem)
CAMION C6	52	7	21 (Tandem)	24 (Tridem)

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

- 6) El estudio de tránsito determinó el transito futuro que solicitará durante el periodo de diseño, expresado en términos de espectros de cargas.

Tabla 11: Transito equivalente para el diseño del mejoramiento de la subrasante

ESPECTRO DE CARGAS			FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR EJE	EJES EQUIVALENTES A 8.2 TONELADAS
TIPO DE EJE	CARGA POR EJE (Ton)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS		
Simple Rueda Simple	2.5	2.909.050	0.02	59.887
	4.0	5.892.925	0.13	795.051
	6.0	2.764.145	0.68	1.887.948
	7.0	387.265	1.27	490.032

⁴ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

TIPO DE EJE	CARGA POR EJE (Ton)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS	FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR EJE	EJES EQUIVALENTES A 8.2 TONELADAS
Simple Rueda Doble	6.0	8.801.975	0.29	2.523.072
	10.0	2.470.685	2.21	5.464.645
TIPO DE EJE	CARGA POR EJE (Ton)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS	FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR EJE	EJES EQUIVALENTES A 8.2 TONELADAS
Tandem	20.5	481.800	3.49	1.680.805
	21.0	146.365	3.84	562.276
	22.0	293.460	4.63	1.357.921
TIPO DE EJE	CARGA POR EJE (Ton)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS	FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR EJE	EJES EQUIVALENTES A 8.2 TONELADAS
Tridem	24.0	146.365	1.19	173.529

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

- 7) “Los factores de equivalencia de carga fueron determinados para unas cargas de referencia de 6.6 toneladas en el eje simple rueda simple, 8.2 toneladas en el eje simple de rueda doble, 15.0 toneladas en el eje Tandem de rueda doble y 23 toneladas en el eje Tridem de rueda doble”⁵;
- 8) Debido a las características tan deficientes de la subrasante en las dos unidades homogéneas, fue necesario incluir en el diseño del pavimento un mejoramiento de la capacidad portante del soporte de la estructura de pavimento, utilizando la alternativa combinada de la colocación de un refuerzo con geosintéticos y la construcción de un material de reemplazo que permitiera una mejor distribución de los esfuerzos generados por la aplicación de las cargas.
- 9) “Utilizando el método AASHTO se diseñó la estructura de pavimento tomando como referencia una estructura de pavimento flexible requerida para las condiciones geotécnicas encontradas, estructura que solamente sirvió como base para la estimación de los espesores de reemplazo”⁶. Los parámetros utilizados en el método AASHTO fueron los siguientes:

⁵ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

⁶ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

Tabla 12: Parámetros utilizados en el método AASHTO

PARAMETROS		VALORES
PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO	Tránsito	15.00 0.000
	Confiabilidad	90%
	Error Estándar Combinado	0.49
	Δ ISP	1.7
ANÁLISIS SOBRE BASE	Modulo Resiliente de Base PSI	30.00 0
	Número Estructural Requerido	3.26
ANÁLISIS SOBRE SUBBASE	Modulo Resiliente de Subbase PSI	15.00 0
	Número Estructural Requerido	4.22
ANÁLISIS SOBRE SUBRASANTE	Modulo Resiliente de Subrasante PSI	3.750
	Número Estructural Requerido	6.61

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

- 10) La estructura base encontrada está compuesta por dieciocho punto cinco centímetros (18.5 cm) de concreto asfáltico, diecisiete centímetros (17 cm) de base granular apoyados sobre setenta y cinco centímetros (75 cm) de material de relleno, conformado por diferentes capas que permiten hacer una transición gradual de los módulos resilientes sobre un apoyo en suelo blando. Los setenta y cinco centímetros (75 cm) corresponden a los siguientes espesores y módulos:

Tabla 13: Espesores y módulos obtenidos por el método AASHTO

Capa de Reemplaza	Espesor cm	Módulo PSI
Sub capa 1	30.0	15.000
Sub capa 2	45.0	7.000

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

- 11) Para determinar los parámetros admisibles tanto en la unidad homogénea uno como en la unidad homogénea dos se utilizaron los siguientes modelos de comportamiento del método Shell:

Tabla 14: Modelos de comportamiento del Método Shell

Criterio de Control	Modelo de Comportamiento Utilizado
Ley de fatiga para controlar la deformación de tracción en la carpeta asfáltica.	$\epsilon_r = (0.85V_b + 1.08) * (E_{mix})^{-0.36} * (N/K)^{-0.2}$ $E =$ Módulo de la mezcla en Newton/m ² $V_b =$ % Volumen de asfalto (12%) $K =$ Factor de carga (10)
Ley de falla para controlar el ahuellamiento en la subrasante con un nivel de confianza del 95%.	$\epsilon_z = 1.8 * 10^{-2} * N^{-0.25}$

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

- 12) Se utilizó un programa computacional Elástico Multicapa para calcular las sollicitaciones críticas en las dos unidades homogéneas.
- 13) Los valores admisibles en la unidad homogénea uno son los siguientes:

Tabla 15: Resumen de Resultados y su comparación con los valores admisibles de la Unidad Homogénea Uno

PARÁMETRO		VALORES		
TRANSITO (N)		15.000.000		
ESTRUCTURA		Espesor cm	Relación Poisson	Módulo Kg/cm ²
Capa de rodadura nueva		18.5	0.35	25000
Sub Base granular		55	0.40	1050
Material reemplazo granular 1		45	0.40	500
Subrasante			0.50	250
Parámetros calculados	ϵ_{t1} Rodadura.	0.000215		
	ϵ_{z6} Subrasante	0.000210		
Parámetros admisibles SHELL	ϵ_{t1} Rodadura.	0.000275		
	ϵ_z Subrasante	0.000289		

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2

- 14) Los valores admisibles en la unidad homogénea dos son los siguientes:

Tabla 16: Resumen de Resultados y su comparación con los valores admisibles de la Unidad Homogénea Dos.

PARÁMETRO		VALORES		
TRANSITO (N)		15.000.000		
ESTRUCTURA		Espesor cm	Relación Poisson	Módulo Kg/cm ²
Capa de rodadura nueva		18.5	0.35	25000
Sub Base granular		55	0.40	1050
Material reemplazo granular 1		80	0.40	500
Subrasante			0.50	150
Parámetros calculados	ϵ_{t1} Rodadura.	0.000214		
	ϵ_{z6} Subrasante	0.000183		
Parámetros admisibles SHELL	ϵ_{t1} Rodadura.	0.000275		
	ϵ_z Subrasante	0.000289		

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

- 15) Para determinar el espesor total de los materiales granulares convertidos en un material de subbase, se utilizó la ecuación general de Número Estructural propuesta por el método AASHTO, ajustándola a las condiciones del modelo de dos capas estructurales de concreto asfáltico y

material granular tipo subbase que se estaba considerando. La ecuación es la siguiente:

$$SN = a_1 * H_1 + a_3 * H_3 * m_3$$

Donde:

a_1 = Coeficiente estructural del concreto asfáltico.
 H_1 = Espesor en pulgadas de la capa de rodadura.
 a_3 = Coeficiente estructural promedio del material de subbase.
 H_3 = Espesor en pulgadas de la capa de subbase.
 m_3 = Coeficiente de drenaje del material de subbase.

- 16) Los parámetros utilizados para la unidad homogénea uno son los siguientes:

Tabla 17: Parámetros y Valores en la Unidad Homogénea Uno

PARÁMETROS		VALORES
PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO	Tránsito	15.000.000
	Confiabilidad	90%
	Error Estándar Combinado	0.49
	Δ ISP	1.7
ANÁLISIS SOBRE SUBRASANTE	Modulo Resiliente de Subrasante PSI	2250
	Número Estructural Requerido	6.50
CAPA DE RODADURA	Coeficiente estructural	0.44
	Espesor de análisis	18.5 cm
MATERIAL DE SUBBASE GRANULAR	Coeficiente estructural promedio	0.10
	Coeficiente de drenaje	0.90
	Espesor total de subbase calculado (H_3)	90 cm

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

- 17) Los parámetros utilizados para la unidad homogénea dos son los siguientes:

Tabla 18: Parámetros y Valores en la Unidad Homogénea Dos

PARAMETROS		VALORES
PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO	Tránsito	15.000.000
	Confiabilidad	90%
	Error Estándar Combinado	0.49
	Δ ISP	1.7
ANÁLISIS SOBRE SUBRASANTE	Modulo Resiliente de Subrasante PSI	2250
	Número Estructural Requerido	7.67
CAPA DE RODADURA	Coeficiente estructural	0.44
	Espesor de análisis	18.5 cm
MATERIAL DE SUBBASE GRANULAR	Coeficiente estructural promedio	0.10
	Coeficiente de drenaje	0.90
	Espesor total de subbase calculado (H_3)	125 cm

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

- 18) Como el CBR de la subrasante es menor a tres por ciento (3%) en las dos unidades homogéneas se puede decir que se trabajó en un suelo contracto – expansivo por lo que el diseño de la estructura de pavimento necesitó de una geomalla LBO 202 con una resistencia a la tensión de 20 KN/m, la cual colocada sobre un material con CBR igual a 1.5% proporcionó un valor de coeficiente de aporte de la geomalla a la capa granular de la estructura de 1.44 (LCR = 1.44) lo que contribuyó con la disminución del espesor total de subbase, calculado con la siguiente ecuación:

$$H_3 = \frac{SN - a_1 \times H_1}{a_3 \times LCR \times m_3}$$

- 19) El espesor de la capa de mejoramiento se calculó teniendo en cuenta “que en el diseño de la estructura está considerado que la losa de concreto se apoyará sobre una subbase granular de diez pulgadas (10”) de espesor o 25 cm”⁷.

Tabla 19: Parámetros que se utilizaron para calcular el espesor de material de reemplazo colocado entre el geotextil y la subbase granular en las dos unidades homogéneas

PARAMETROS		VALORES
Número Estructural Aportado por los granulares $a_3 \cdot H_3 \cdot m_3 = 0.10 \cdot 34 \cdot 0.90 = 3.06$		3.06
Capa de Subbase Granular.	Coeficiente estructural	0.11
	Espesor	25 cm
	Coeficiente de drenaje	0.90
Materiales granulares de reemplazo.	Coeficiente estructural	0.10
	Coeficiente de drenaje	0.90
	Espesor de material de reemplazo calculado	57.5 cm
Espesor Total de Reemplazo Asumido		60.0 cm

Fuente: Diseño De La Estructura del Pavimento Para Las Vías Principales. Volumen 2.

- 20) Atendiendo la sugerencia del ingeniero residente de Interventoría, Jesús Eduardo Bonilla, se redujo el espesor de material de reemplazo de 60 cm a 45 cm por la construcción de la capa drenante de 25 cm, sugerencia que se consideró viable teniendo en cuenta que el material de mejoramiento es un material tipo afirmado con inferiores características mecánicas que el material de la capa drenante la cual no quedó con un elevado nivel de compactación. “Los 25 cm de material de filtro proporcionan un aporte estructural equivalente al 60% del aporte estructural de material de reemplazo (15 cm)”⁸.
- 21) La determinación de los módulos de reacción combinados del soporte de la losa se hizo teniendo en cuenta que:

⁷ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

⁸ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

- Los valores de resistencia de la subrasante adoptados son CBR igual a 2.5% en la unidad homogénea uno y CBR igual a 1.5% en la unidad homogénea dos.
 - No se consideró el aporte que puede proporcionar el material de filtro.
 - Tanto en la unidad homogénea uno como en la unidad homogénea dos el material sobre el filtro, es decir, el espesor de material de reemplazo más el espesor de material de subbase tuvieron un módulo Resiliente equivalente a 500 Kg/cm².
 - La estimación del módulo de reacción para las dos unidades se realizó utilizando la recomendación de la PCA. “De los resultados obtenidos, se adoptó para el diseño del espesor de la losa de concreto en todo el proyecto, un módulo de reacción combinado de 35.0 Mpa/m”⁹.
- 22) La capa de subbase granular de 25 cm de espesor tiene como función uniformizar el apoyo de la losa y controlar futuros problemas de bombeo.
 - 23) Para el concreto de la losa se utilizó un concreto hidráulico producido en planta con un módulo de rotura a flexión de 4.2 Mpa (42.0 Kg/cm²).
 - 24) El factor de seguridad de carga es de 1.2 teniendo en cuenta que se trata de una vía de tránsito importante, en donde circularan vehículos pesados sin ninguna restricción.
 - 25) El dimensionamiento de la estructura de pavimento se realizó teniendo los parámetros calculados por el método AASHTO pero siguiendo los lineamientos del método de diseño de pavimentos rígidos de la PCA 1984.
 - 26) El valor del Módulo Dinámico asumido para el análisis estructural utilizando el Método Racional, es el valor correspondiente al módulo para la temperatura de la mezcla asfáltica en la ciudad de Popayán, el cual corresponde a un valor de 25000 Kg/cm², argumentando que “cuando se utiliza el valor del módulo según los criterios del método AASHTO, este se debe determinar para una temperatura de 68 grados Fahrenheit, o 20 grados centígrados, con el fin de estimar el coeficiente estructural correspondiente a la mezcla asfáltica, tal como está consignada en la figura 2.5 de la página II – 18 de la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO (Guide For Design Pavement Structures 1993)”¹⁰. (Ver Anexo 10)
 - 27) “La información sintetizada de la tabla de diseño y de verificación estructural, para el espectro de carga y condiciones de resistencia del apoyo, una vez construido el mejoramiento, permiten corroborar que la estructura diseñada con 25 cm de espesor de losa apoyada sobre una subbase de 25 cm de espesor, cumple

⁹ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

¹⁰ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

los criterios generales de diseño del método PCA, debido a que los consumos totales de fatiga y erosión, en todos los casos son menores a los valores admisibles de 100%, presentándose entonces en el diseño de la vía principal, una reserva de diseño en el caso de presentarse eventualmente cargas superiores en magnitud y frecuencia a las contempladas en el diseño” ¹¹. (Ver Anexo 8)

28) Inicialmente se consideró una sola estructura de pavimento rígido para la carrera diecisiete (Cra 17) argumentando que “el cálculo del espesor y la verificación estructural, teniendo en cuenta los análisis de fatiga y erosión, se realizan considerando que después de los mejoramientos propuestos para cada unidad de diseño, las características de la subrasante son equiparables para las dos unidades, por lo tanto se efectúa un solo dimensionamiento para todo el tramo en estudio y se establece un espesor homogéneo tanto de la capa de subbase, como de la losa de concreto” ¹². Pero por recomendación del ingeniero estructural de Interventoría, Armando Palomino Infante, se colocaron losas de concreto reforzado, lo que hace que cambien los espesores de la capa de subbase y la losa de concreto de la estructura anteriormente diseñada, en los accesos al deprimido dividiendo de esta manera la carrera diecisiete (Cra 17) en dos zonas así:

- **ZONA 1:** Se encuentra en los accesos Norte y Sur al Paso Deprimido, es decir, en el lado norte entre abscisas K0+160 y K0+230 y en el lado sur entre abscisas K0+500 y K0+600.
- **ZONA 2:** Tramo de pantallas preexcavadas entre los accesos Norte y Sur, que se encuentra entre las abscisas K0+230 y K0+500.

29) Con el fin de no modificar el espesor de la subbase sino más bien modificar el espesor de la losa de concreto, reduciéndola cinco centímetros, se tuvo en cuenta que el resultado del análisis mostró que para las condiciones más críticas de la subrasante, el módulo de reacción del soporte de la losa, resulta igual a 3.47 kg/cm^3 , similar al valor adoptado inicialmente, de 3.50 kg/cm^3 , en el diseño de la estructura de pavimento.

30) Para el diseño del pavimento rígido con losas reforzadas se trabajó con los siguiente parámetros:

- Resistencia de la Subrasante CBR = 1.5%
- Módulo Resiliente equivalente de los dos materiales colocados encima del filtro igual a 500 Kg/cm^2 .
- Módulo de reacción combinado igual a 3.3 Kg/cm^3 .

¹¹ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

¹² Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

- 31) Los resultados del análisis para el diseño del pavimento rígido con losas reforzadas demostraron que la disminución de cinco centímetros (5 cm) en el espesor de la subbase y el incremento en cinco centímetros (5 cm) en el espesor de las losas beneficia, considerablemente, el comportamiento futuro de la estructura del pavimento, al resultar muy bajos los valores de consumo de fatiga y erosión, estableciéndose que la losa así diseñada obedece más a necesidades de tipo estructural con el fin de garantizar la estabilidad de los muros laterales de contención, más que a las solicitaciones de las cargas del tránsito. (Ver Anexo 8)
- 32) Los diseños de la estructura de pavimento determinados, de acuerdo con la zona a construir son los siguientes:

Figura 5: Estructuras de Pavimento de acuerdo a la Zona a Construir

ZONA 1		ZONA 2	
	Concreto Hidráulico con 30 cm de espesor		Concreto Hidráulico con 25 cm de espesor
	Subbase Granular con 20 cm de espesor		Subbase Granular con 25 cm de espesor
	Mejoramiento con 20 cm de espesor		Mejoramiento con 45 cm de espesor
	Capa Drenante con 25 cm de espesor		Capa Drenante con 25 cm de espesor
	Subrasante Natural		Subrasante Natural

Fuente: Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2

- 33) La longitud máxima de las losas es de 4.64 m, éste valor se reduce de acuerdo con la geometría de la vía garantizando un número exacto de doscientos cincuenta y seis (256) losas, y realizando las intersecciones correspondientes, el ancho de las losas será el correspondiente al ancho de cada carril, es decir, tres punto cincuenta metros (3.50 m), respetando la relación de esbeltez que debe estar comprendida en el rango longitud/ancho entre (1 a 1.4).
- 34) Para el control de las grietas transversales ocasionados por los esfuerzos de tracción en la retracción del concreto y control de las grietas causados por el alabeo del pavimento se colocaron juntas transversales de contracción a las cuales se les garantizó su transferencia transversal de carga entre losas adyacentes con pasadores de carga de diámetro uno punto veinticinco pulgadas (1 ¼”), redondos, lisos, de cuarenta y seis centímetros (46 cm) de longitud y espaciadas treinta centímetros (30 cm) (Ver Anexo 9 y 11)

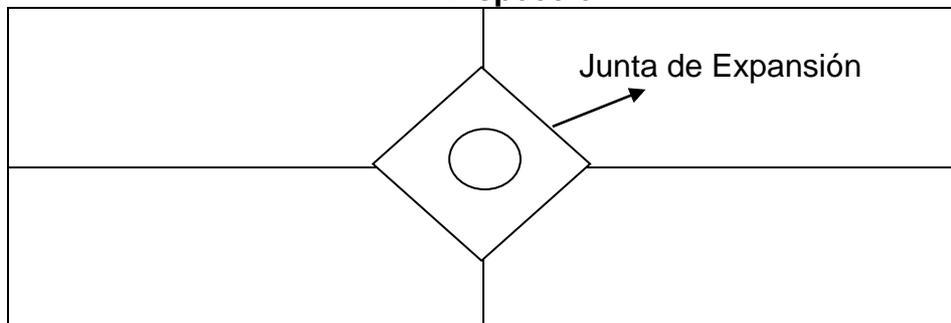
Figura 6: Localización en Planta de las Juntas Transversales

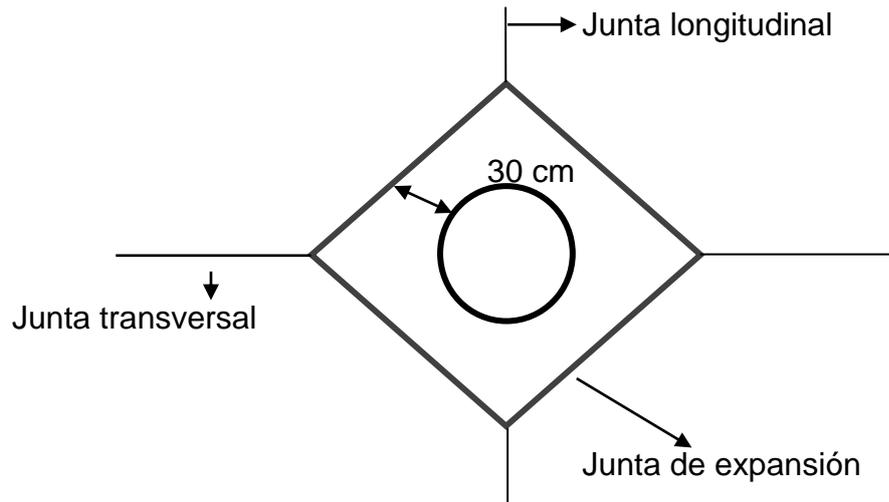
Junta Transversal	→		

Fuente: Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

- 35) Las juntas transversales de construcción fueron de tipo C en los lugares predeterminados para finalizar el colado del día y de tipo D en los lugares donde hubo que suspender el colado por más de treinta minutos (30 min). Los pasajuntas de las juntas transversales tipo C son de acero redondo liso, con diámetro uno punto veinticinco pulgadas (1 ¼”), longitud igual a cuarenta y seis centímetros (46 cm) y espaciadas treinta centímetros (30 cm), mientras que los pasajuntas de las juntas transversales tipo D son de acero redondo corrugado con diámetro cinco octavos de pulgada (5/8”), con longitud igual a cien centímetros (100 cm) y espaciadas treinta centímetros (30 cm). (Ver Anexo 9).
- 36) Como la geometría del proyecto presenta un cambio de dirección fue necesario diseñar y construir juntas de expansión con dovelas tipo 1 y con pasajuntas de acero redondo liso, con diámetro uno punto veinticinco pulgadas (1 ¼”), de cuarenta y seis centímetros (46 cm) de longitud y espaciadas treinta centímetros (30 cm). (Ver Anexo 9)
- 37) Debido a la presencia de cámaras de inspección se diseñaron y construyeron juntas de expansión tipo 2 sin pasajuntas, ya que la modulación de las losas ayudó a que dichas estructuras coincidieran con la junta transversal pues de ésta manera se evitaron las posibles fisuras que aparecería por retracción del concreto.

Figura 7: Remodulación de Losas por Presencia de Cámaras de Inspección

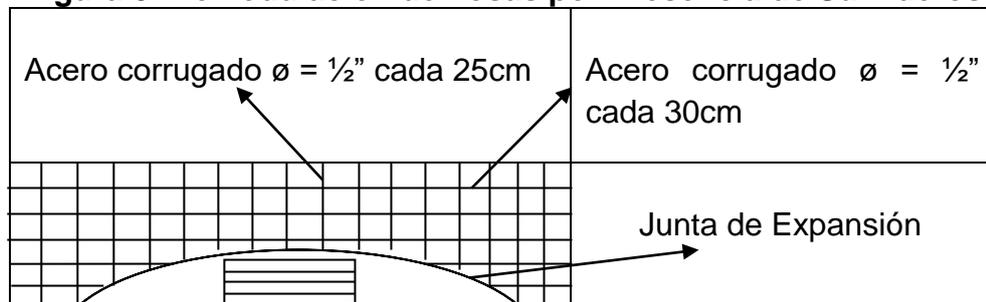




Fuente: Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2

- 38) En cuanto a la modulación de las losas teniendo en cuenta los sumideros, se puede decir que por la longitud entre las cámaras y los sumideros fue necesario dejar los sumideros dentro de las losas correspondientes. No se pudo hacerlas coincidir con la junta transversal lo que indicó que es necesario en dichas losas, armar una parilla de acero de media pulgada (1/2") en ambas direcciones.

Figura 8: Remodulación de Losas por Presencia de Sumideros



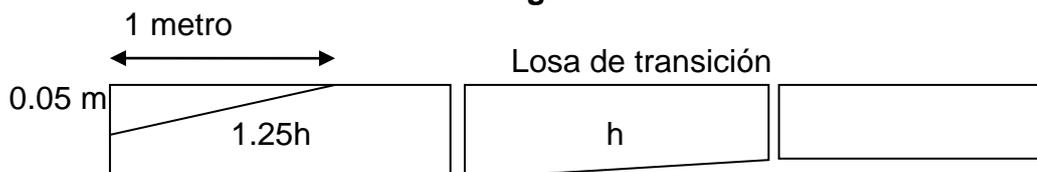
Fuente: Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

- 39) Ya que la modulación de las losas mostró que no todas tienen una forma rectangular o cuadrada, fue necesario diseñar y construir una parrilla de acero de media pulgada (1/2") en ambas direcciones, separadas cada treinta centímetros (30 cm) en las losas de geometría compleja, sin dejar de lado sus respectivas juntas. (Ver Anexo 11)
- 40) El sello de todas las juntas se hizo primeramente con un sello de plástico no adherente de polietileno y luego con silicón, garantizando así "la hermeticidad del espacio sellado, la adherencia del sello a las caras de la junta, la resistencia a la fatiga por tracción a compresión, el arrastre por las llantas de los vehículos, la resistencia a la acción de la gravedad y el calor, con materiales estables y elásticos"¹³. (Ver Anexo 9)

¹³ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

- 41) También hubo necesidad de diseñar y construir juntas longitudinales con barras de amarres con el propósito de evitar el desplazamiento de las losas, las barras de amarre son barras corrugadas de cinco octavos de pulgada (5/8") de diámetro, longitud ochenta centímetros (80 cm) y espaciadas noventa centímetros (90 cm). En el diseño se consideró que "los aceros concebidos como junta longitudinal son suficientes en la eventualidad de generarse esfuerzo por las pantallas dispuestas en los bordes laterales de las calzadas deprimidas, no ha sido considerada en el diseño de la estructura de pavimento, por considerar que el diseño estructural de las pantallas garantiza la estabilidad de las mismas"¹⁴.
- 42) El diseño del pavimento de la carrera diecisiete (Cra 17) también consideró que para la unión entre el pavimento rígido simple con el pavimento rígido reforzado era necesario una zona de transición cada uno de los accesos del deprimido. Dicha zona de transición es de pavimento rígido cuya estructura es exactamente igual, sólo que el espesor de la capa de mejoramiento se va reduciendo de cuarenta y cinco centímetros (45 cm) a veinte centímetros (20 cm). Estas zonas de transición constan de cinco metros (5 m) de longitud. (Ver Anexo 11)

Figura 9: Transición de Pavimento Rígido Simple a Pavimento Rígido Reforzado



Fuente: Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

- 43) Para control de rebote y deformación del suelo a nivel de subrasante y debido a que el suelo firme se encuentra a mucha profundidad, la Interventoría, a través de un concepto del especialista en Vías Terrestres y Geotecnólogo Hugo Edmundo Daza Delgado, indicó que era necesario diseñar y colocar pilotes, por lo que tanto el Consorcio Estyma JMV como la Unión Temporal PCA TECNOCONSULTA decidieron colocar trescientos setenta y ocho (378) pilotes de madera, (Eucalipto de 15 centímetros de diámetro), enterrados a seis metros (6 m) de profundidad y por lo menos separados treinta centímetros (30 cm) entre ellos ubicados entre las abscisas K0+240 y K0+490 y con una distribución en "tresbolillo". (Ver Anexo 4).

Cabe anotar que dentro del concepto geotécnico de Interventoría, en un principio, se indicaba que era necesario la protección de la madera con creosota y/o emulsión asfáltica, argumentando que con la sola saturación del suelo circundante no era suficiente para garantizar la conservación del pilote, pues se conoce que la descomposición orgánica proviene del crecimiento de hongos y se creía que podía comenzar en las partes que

¹⁴ Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

estuvieran por encima de la “tabla de agua freática”¹⁵ prosiguiendo esta, aún cuando la “tabla de agua” se restableciera y cubriera el pilote en su totalidad. Pero el especialista en geotecnia Edgar Forero del Consorcio Estyma JMV aclaró que no era necesario debido a que los pilotes están localizados bajo la rasante mejorada y en condición de saturación, convenciendo de esta manera a la parte interventora de hacer caso omiso a la indicación inicial, es decir, a los pilotes no se les colocó dicha protección ni se les hizo tratamiento alguno, tan solo fueron descortezados.

La Grilla de separación de pilotes de control de rebote y mejoramiento de subrasante, de acuerdo a la ubicación en zona de rampas y la zona de máximo desnivel, es de la siguiente manera: (Ver Anexo 4).

Tabla 20: Grilla de separación de los pilotes.

ZONA	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	SEPARACIÓN TRANSVERSAL (m)	SEPARACIÓN LONGITUDINAL (m)
1	K0 + 240	K0 + 300	2.80	4.50
2	K0 + 300	K0 + 430	2.80	3.23
3	K0 + 430	K0 + 490	2.80	4.50

Fuente: Informe HDD-04-27-09-Nº11 del especialista en geotecnia Hugo Edmundo Daza Delgado de la Empresa interventora UNION TEMPORAL PCA TECNOCONSULTA.

- 44) Cómo se mencionó en la etapa de excavación en los alrededores de la abscisa K0+500 se encontró una variación de estratos, es decir se trabajó con una subrasante distinta a la anteriormente mencionada, con características más deficientes, CBR igual a 1%, lo que obligo a que el diseño de la estructura de pavimento en este sector fuera el siguiente:

Figura 10: Estructuras de Pavimento de las Losas que están encima de las abscisas K0+500 y K0+525

	Concreto Hidráulico con 30 cm de espesor
	Subbase Granular con 20 cm de espesor
	Mejoramiento con 45 cm de espesor
	Capa Drenante con 25 cm de espesor
	Subrasante Natural

Fuente: Diseño de la Estructura Del Pavimento Para Vías Principales. Volumen 2.

¹⁵ Informe HDD-04-27-09-Nº11 del especialista en geotecnia Hugo Edmundo Daza Delgado de la Empresa interventora UNION TEMPORAL PCA TECNOCONSULTA.

CONSTRUCCIÓN

La parte inicial de la construcción de la estructura de pavimento consistió en nivelar con un nivel de precisión marca Leica la subrasante, proceso en el cual no hubo inconvenientes, tan solo en los alrededores de la abscisa K0+500, en cercanías a la bomba Texaco, en donde fue necesario mejorar la subrasante mezclándola con el agregado que se utilizó para el filtro, debido a la alta inestabilidad del suelo por la presencia de un nivel freático muy alto que impedía su compactación.

Este proceso se hizo en capas, es decir primero se esparció de manera muy somera poca cantidad de material de filtro que garantizara la mínima estabilidad del terreno, es decir, que soportara el apisonamiento efectuado por uno de los obreros, luego se le colocó encima otra cantidad de material de filtro y se procedió a apisonar con uno de los Apisonadores Manual Wacker dejando la subrasante en el nivel indicado. Nivelada la subrasante se procedió con la hinca de pilotes entre las abscisas correspondientes y con la ayuda de la comisión de topografía se garantizó que cumplieran con la distribución dispuesta en el diseño.

No se puede decir que los pilotes quedaron totalmente derechos pues el proceso de hincado no fue el más adecuado ya que se hizo con el cucharón de una de las retroexcavadoras y sin ninguna otra ayuda que garantizara la verticalidad del pilote, además que se debe decir que dicha máquina no tiene como función la hinca de pilotes.

Después de nivelar e hincar los pilotes se procedió con la compactación de la subrasante, actividad que se realizó con un Compactador¹⁶ (provisto de una hoja topadora) a presión de rodillo y llantas marca CAT. En total se conformaron y compactaron ocho mil novecientos metros cuadrados (8900 m²) de subrasante.



Compactación con una máquina Marca CAT CS323C

¹⁶ La máquina utilizada es un compactador marca CAT CS323C provisto en su parte delantera de una hoja topadora (como la de un bulldozer), inmediatamente detrás de esta hay un rodillo liso y es propulsado por llantas.

Teniendo el sistema de drenaje instalado, los pilotes hincados y la subrasante adecuada se extendió el geotextil NT-2500, el cual es el encargado de proteger el material de filtro, y sobre éste se extendió la geomalla LBO 202 la cual es la encargada de mejorar la subrasante.

Cabe anotar que la geomalla debería ir primero pero que por sugerencias del ingeniero estructural de interventoría, contando con la aprobación de los especialista en pavimentos del Consorcio Estyma JMV, se colocó primero el geotextil, teniendo en cuenta que no alteraba para nada el trabajo de la estructura de pavimento y si colaboraba aún más con el sistema de drenaje, aislando un poco más las aguas freáticas evitando de ésta manera que entre a la estructura de pavimento.

El geotextil y la geomalla fueron colocados al mismo tiempo y la técnica fue la de ir extendiendo los rollos a medida que se iba adecuando la construcción y se podía construir el resto de la estructura de pavimento. Cuando se iba a empezar un rollo nuevo, los obreros se aseguraban que entre el geotextil ya puesto y el geotextil nuevo hubiese un traslapo de por lo menos treinta centímetros (30 cm) por recomendación del especialista en pavimentos tanto del contratista como de la parte interventora, asegurándose de esta manera que ninguna parte del material de filtro quedara descubierto y se dañara la estructura del pavimento.

Extendido el geotextil y la geomalla se procedió a regar y nivelar el material de filtro que como ya se indicó anteriormente, es un triturado limpio de tamaño entre media pulgada (1/2") y tres cuartos de pulgada (3/4"), medida hecha a simple vista sin pruebas de laboratorio que lo confirmaran. Este material de filtro, tanto en la zona uno como en la zona dos tienen un espesor de veinticinco centímetros (25 cm) y fue nivelado por el cargador Bobcat MCB - 01 de llantas y compactado con el vibrocompactador Caterpillar modelo Cs 323 de 4.5 toneladas.



Colocación del geotextil Nt – 2500



Colocación de la geomalla y el material de filtro

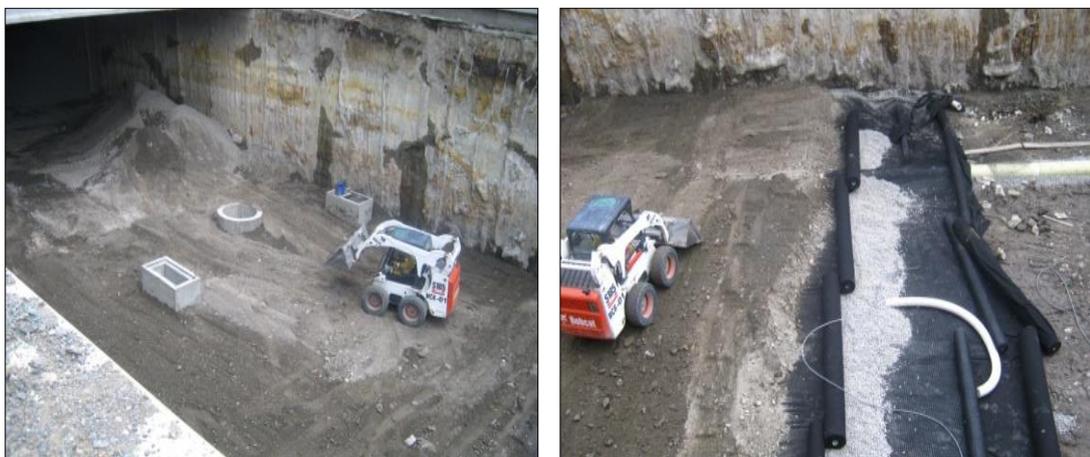


Nivelación del material de filtro

Como el espesor del material de filtro era pequeño, no fue necesario compactarlo por capas, sino que se niveló y compactó en una sola capa. Una vez realizada ésta actividad se procedió a terminar de colocar la Geomalla LBO 202 y el Geotextil NT-2500, en ese orden.

Para continuar con el mejoramiento de la subrasante se procedió a colocar la capa de material de reemplazo el cual consistió en un suelo tipo afirmado bien gradado con tamaños desde una y media pulgada (1/2”), medida hecha a simple vista sin pruebas de laboratorio que confirmaran que cumple con la norma 231-07 del INVIAS. Las capas se colocaron con un espesor variable de acuerdo a la zona en la que se encontraba. La nivelación de este material se hizo con el cargador Bobcat MCB - 01 de llantas y compactado por el apisonador manual wacker

En la zona dos fue necesario compactar el material de mejoramiento en dos capas ya que su espesor es muy grande y se hizo primero en una capa de veinte centímetros (20 cm) y luego con una capa de veinticinco centímetros (25 cm). En total se nivelaron y compactaron tres mil cien metros cúbicos (3100 m³) de material de reemplazo.



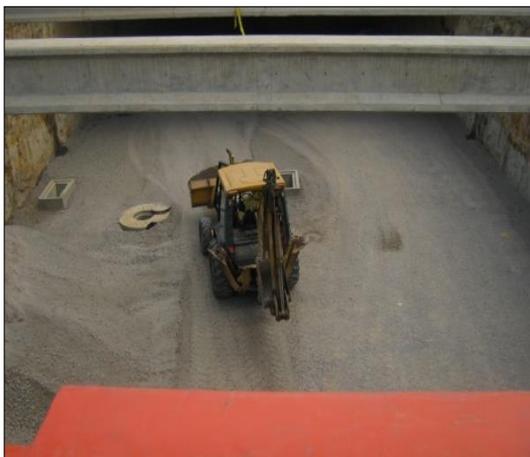
Nivelación del material de reemplazo



Compactación del material de reemplazo

Terminada la nivelación y compactación del material de mejoramiento se continuó con la nivelación y compactación del material de subbase el cual tuvo una distribución granulométrica uniforme con tamaños desde tres cuartos de pulgada ($3/4''$), medida hecha a simple vista sin pruebas de laboratorio que confirmaran que este material cumple con la norma 320-07 del INVIAS. Su espesor también variaba de una zona a otra, veinte y veinticinco centímetros (20 cm – 25 cm), pero sin embargo en ambas zonas la compactación se hizo en una sola capa ya que los espesores no son muy grandes.

Este material fue nivelado por la Excavadora–Cargador de cucharón pequeño y de llantas 4 x 4 Marca DEERE 410E y compactado por la Compactadora–Niveladora a Presión de Bolillo y llantas marca CAT.



Nivelación del material de subbase



Compactación del material de subbase

Se debe tener en cuenta que tanto el material de filtro como el de mejoramiento y subbase se debieron compactar hasta obtener un noventa y cinco por ciento (95%) del proctor modificado, y que para dicho control se debió realizar ensayos en el campo (prueba del cono de arena) y controlar la energía de compactación suministrando las pasadas necesarias de la máquina que cumpliera esta función. Dichas pruebas de laboratorio se hicieron pero en ningún momento fue posible obtener los resultados por lo que no se puede asegurar que se cumplió tanto en granulometría como en densidad exigidas por el INVIAS.

De manera general se puede decir que las capas de compactación tuvieron un espesor de veinte centímetros (20 cm) y veinticinco centímetros (25 cm) lo que nos indica que no en todos los casos se cumplió con la norma del INVIAS que dice:

“En todo caso, la cantidad de material extendido deberá ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de subbase compactada por construir es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se deberá colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm)”¹⁷.

De acuerdo con los criterios aprendidos en clase se supone que se aceptó sobrepasar cinco centímetros (5 cm) en el espesor de compactación ya que no influenciaban mucho en dicho proceso pero si generaba más gasto si se hubiese hecho en dos capas y alargaba un poco más el tiempo de construcción de la obra.

Otro aspecto a tener en cuenta es que la nivelación de cada uno de los materiales que componen la estructura de pavimento no se hizo con la

¹⁷ Subtítulo 320.4.5. del Artículo 320 – 07 de la Norma INVIAS.

maquinaria adecuada (motoniveladora) sino con cargadores los cuales no garantizan que la nivelación sea la indicada pues no cumplen dicha función. Se debe pensar que esta determinación se tomó teniendo en cuenta la economía del proyecto y considerando que no alteraba mucho el trabajo y la composición de dicha estructura.

Finalizada la compactación y adecuación de cada una de las capas se procedió con la construcción de las losas de concreto de la siguiente manera:

La diferencia entre la zona uno y la zona dos radica en que unas losas son reforzadas y las otras no, pero el método constructivo es exactamente el mismo, teniendo en cuenta el diseño de la sección transversal primero se instalaron los siguientes aceros:



Losas de zona dos



Losas de zona uno



Losas de zona dos que requirieron refuerzo debido a su geometría

Cuadro 5: Distribución de los aceros de acuerdo a la zona a construir

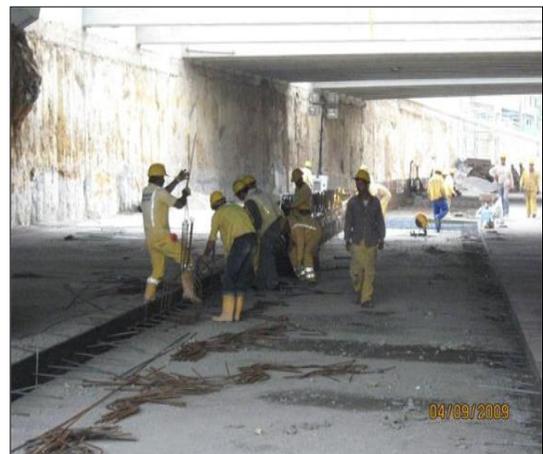
Zona de Construcción	Losa Externa	Losa Interna
ZONA UNO	Acero No. 4 en ambas direcciones, cada 30 cm.	Acero No. 4 en ambas direcciones, cada 30 cm.
	Acero No. 5 para las barras de amarre de la junta longitudinal, cada 90 cm. (Ver Anexos 10 y 12)	Acero No. 5 para las barras de amarre de la junta longitudinal, cada 90 cm. (Ver Anexos 10 y 12)
	Acero No. 10 para las pasajuntas de las juntas transversales, cada 30 cm. (Ver Anexos 10 y 12)	Acero No. 10 para las pasajuntas de las juntas transversales, cada 30 cm. (Ver Anexos 10 y 12)
		Acero No. 4 para los muros New Jersey, cada 20 cm. (Ver Anexo 14)
ZONA DOS	Acero No. 5 para las barras de amarre de la junta longitudinal, cada 90 cm. (Ver Anexos 10 y 12)	Acero No. 5 para las barras de amarre de la junta longitudinal, cada 90 cm. (Ver Anexos 10 y 12)
	Acero No. 10 para las pasajuntas de las juntas transversales, cada 30 cm. (Ver Anexos 10 y 12)	Acero No. 10 para las pasajuntas de las juntas transversales, cada 30 cm. (Ver Anexos 10 y 12)
		Acero No. 4 para los muros New Jersey, cada 20 cm. (Ver Anexo 14)

Fuente: Proceso constructivo de las losas del pavimento rígido. (Trabajo de campo).

Todos los aceros fueron colocados y distribuidos de acuerdo al diseño, es decir, con el diámetro de acero exigido y garantizando las separaciones correspondientes con unos tubos, unos de madera y otros de PVC, que tuviese dichas medidas.



Aceros del andén



Aceros del separador New Jersey

Para la colocación de los aceros de los muros New Jersey fue necesario primero fundir una de las losas internas y luego si colocar dichos aceros amarrándolos a las barras de amarre de la junta longitudinal y por último fundir la losa interna del otro lado de la sección transversal.

Con la distribución de los aceros adecuada se continuó el proceso armando la formaleta, que de manera general contó con un ancho aproximado de tres metros (3 m) y longitud variable entre tres punto ocho metros (3.8 m) y cuatro punto seis metros (4.6 m) de acuerdo a la losa. Era una formaleta metálica con agujeros en todo el perímetro y espaciadas cada treinta centímetros (30 cm) con sus puntos de apoyo y/o anclaje a la subbase distribuida de la siguiente manera:

Figura 11. Distribución de los puntos de apoyo y/o anclaje de la formaleta a la subbase



Fuente: Proceso constructivo de las losas de pavimento rígido de la zona uno

Para tener más control de las dilataciones que se presentan en las juntas, se le adecuó un sello plástico no adherente de polietileno amarillo de quince centímetros (15 cm) de ancho por quince milímetros (15 mm) de grosor a todo el perímetro de la formaleta.



Colocación de los aceros, formaleta y del adherente de polietileno para la fundición de las losas

Terminada la colocación del acero y la formaleta se procede a vaciar el concreto, el cual era trasladado desde la planta de concreto hasta el punto de fundición en una Mixer marca Mack con la finalidad de que éste se mantuviera en movimiento y no se fraguara dentro del carro.

El concreto hidráulico utilizado en estas losas contó con la siguiente especificación: (Ver Anexo 6)

Tabla 21: Especificación del Concreto Bombeable de 4000 PSI

AGREGADOS	PESO EN Kg	δ
Cemento Arte, Argos	380	1,400
Arena Puerto Tejada	668	1,463
Grava ¾ CONEXPE	950	1,436
Agua	208	1,000
Plastiment TM-20	1.52	1,400
Sikaer-D	1.52	1,000
A/C		0.55

Fuente: Oficio Especificación del concreto de 4000 PSI del Consorcio Estyma JMV

Se utilizó un concreto de 42kg/cm² como lo exigió el diseño al cual se le agregó el aditivo Plastiment para retardar su tiempo de fraguado y de ésta manera facilitar el transporte, colocación, vibrado y el acabado del mismo. Otro aditivo empleado fue el Sikaer – D el cual es un controlador de aire en la mezcla. Se debe aclarar que no se conoce cuáles fueron los controles de humedad que la planta de concreto Estyma JMV tuvo en cuenta para que no se perdiera la relación de agua cemento de la mezcla.

Mientras se iba vaciando el concreto, éste se vibraba con un vibrador de concreto a gasolina Honda – Wico que en ocasiones se cambiaba a un vibrador eléctrico los cuales tenían como función reducir al máximo los vacíos. Para darle textura al mismo solo se utilizó el codal, no se utilizó ni regla vibratoria ni ningún otra máquina que garantizara que la vibración llegue a todas las partes de la mezcla y le diera textura. Tanto la constructora como Interventoría argumentaron que no se utilizaba regla vibratoria porque la vía era muy irregular y era un espesor considerable.

Cabe anotar que como la Mixer dejaba el concreto en un solo punto, este era llevado al resto de la losa por medio de palas el cual es un método un poco rudimentario ya que se pueden generar más vacíos en el concreto, pero funcional por lo que era muy importante garantizar que la vibración llegara a todos los lugares de la fundición.

El codal fue manejado por dos operarios y como ya se mencionó, cumplía con la función de darle textura al concreto y de esta manera repasar los niveles, función que se complementó al realizarle la microtextura con el flotador para nivelar que constó de una lamina de acero que se pasó por la superficie. Ésta lamina debía estar mojada antes de su uso para que no se pegara al concreto.

Una vez dada la textura, la microtextura y repasados los niveles a la superficie de la losa, se esperó de veinte a treinta minutos (20 a 30) a que el concreto fraguara un poco, es decir, estuviera un poco endurecido y se realizó la macrotextura de la superficie de la losa con un rallador metálico (peine) que tenía sus dientes separados cada dos centímetros y era manejado por un solo operario.

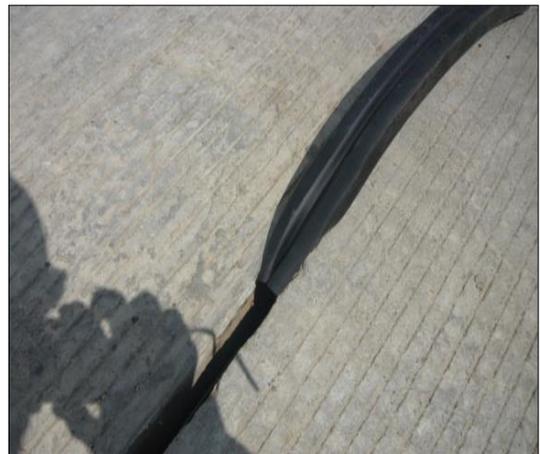
Se hizo el macrotexturizado evitando a toda costa su aplicación tardía, pues esto obligaba a ejercer una mayor presión sobre el rayador, es decir, mayor profundidad, lo que terminaría extrayendo el agregado del concreto y dejando un acabado irregular. La profundidad estuvo en el rango entre tres y seis

milímetros (3 mm y 6 mm) lo que es suficiente como para que haya buena fricción en la capa de rodadura sin levantar agregado grueso de la mezcla ni ocasionar molestias en el tránsito.

El peine siempre estuvo en buenas condiciones y cada vez que se iba a utilizar debía estar limpio, es decir, sin tener rastros de concreto de la anterior aplicación. Para la guía de las líneas también se utilizó el codal, para darle mayor uniformidad a la distribución del rallado.

Realizada la macrotextura se esperó de tres a cuatro (3 a 4) horas, es decir, cuando la losa estuviera caliente para empezar a hacer el corte de las juntas transversales. Los sitios de los cortes estaban debidamente marcados, pues se debía coincidir en la mitad de los aceros de los pasajuntas.

Para terminar el acabado de la losa se hizo el sello de las juntas tal y cual como se especificó en el diseño de las mismas.



Sello de las juntas



Sello de las juntas

Durante los siete días de fraguado del concreto la losa se protegió con una arena bien gradada, fina, limpia y humedecida la cual fue extendida una vez el concreto estuviera endurecido, es decir, dicha arena se utilizó como antisol. En estos mismos siete (7) días de fraguado se realizó el curado rociándole agua a la losa dos veces por día para de esta manera asegurar que el concreto alcanzara el setenta por ciento (70%) de la resistencia a la compresión requerida.

En las losas en donde hubo necesidad de construir juntas de expansión, el proceso fue exactamente el mismo al anteriormente descrito solo que se colocó el acero exigido por el diseño y se construyeron mucho después de haber fundido las losas normales de la carrera diecisiete (Cra 17) con ayuda del aditivo sikadur primer.



Modulación de la losa, cámaras de inspección



Fundición New Jersey

Los separadores New Jersey están ubicados en el centro de la sección transversal del deprimido, son de concreto y están reforzados con acero número cuatro (No. 4) como ya se dijo anteriormente. Debido a su esbeltez se trabajaron con formaleta metálica lisa sostenida con puntales de madera cada veinte centímetros (20 cm). En la parte adosada a las losas tienen un ancho de cincuenta centímetros (50 cm) y en la parte de arriba tienen un ancho de quince centímetros (15 cm). (Ver Anexo 13).

En la construcción de los separadores New Jersey se presentaron algunos problemas de hormigueros debido a que le faltó más tiempo de vibrado al concreto. También hubo problemas en el acabado final, pues tenía pequeñas ondulaciones debido a la falta de ajuste uniforme en la parte alta de la formaleta y a la presión que el concreto ejerce sobre la misma. Los problemas se solucionaron repellando de manera muy somera los hormigueros y lijando también de manera muy somera las pequeñas salidas que presentaba el separador central.



Fundición del separador New Jersey



Ondulamiento en el separador



Hormigqueo en el separador New Jersey



Corrección del hormigqueo en el separador

Para la elaboración de los andenes se utilizó formaleta metálica lisa de veinticinco centímetros (25 cm) de altura por cincuenta centímetros (50 cm) de ancho a todo lo largo del deprimido, sostenida con puntales de madera cada metro (1 m). Los andenes también son en concreto reforzado con acero corrugado número cuatro (No. 4). En la cara superior del andén se hizo el mismo rayado que se le aplicó a las losas del paso deprimido con el rallador metálico, con el fin de darle rugosidad a la superficie. (Ver Anexo 13).

De manera general se puede decir que el mismo cuidado que se tuvo en la fundición del concreto en las losas de pavimento rígido, en cuanto a curado y fraguado, se tuvo en la fundición tanto del separador New Jersey como de los andenes. En total se hicieron quinientos tres metros lineales (503 ml) de separadores centrales New Jersey y de andenes.

En los accesos a la carrera diecisiete (Cra 17) se hizo una transición entre pavimento rígido nuevo y pavimento flexible existente con pavimento flexible tipo MDC-2 del cual solo se habla de manera general teniendo en cuenta que no fue posible obtener el diseño del mismo.

Las características de estas capas con las siguientes:

➤ **Materiales utilizados**

- ✓ Material de arrastre del Río La Paila
- ✓ Material de arrastre del Río Pance
- ✓ Arena del Río La Paila
- ✓ Asfalto sólido Apiay Ecopetrol 60 - 70

➤ **Formula de Trabajo**

- ✓ Asfalto óptimo: 5.3%
- ✓ Peso Unitario Bulk: 2462 gr/cm²
- ✓ Estabilidad: 1420 kg
- ✓ Flujo: 3.3 mm
- ✓ Vacios Totales: 4.90%
- ✓ Vacios en los agregados: 15.71%
- ✓ Vacios llenos de Asfalto: 68.80%

➤ **Temperaturas de Trabajo**

- ✓ Agregados 160°C
- ✓ Mezcla 150°C
- ✓ Compactación 130°C

➤ **Dosificación de los agregados**

- ✓ Base ¾" Río La Paila 50%
- ✓ Base ¾" Río Pance 38%
- ✓ Arena de Río La Paila 12%

➤ **Coefficiente de pulimiento acelerado igual a 0.47**

Para la construcción de la estructura de pavimento se debieron remover las capas de rodadura que existían y parte de los materiales granulares existentes y compactar los granulares remanentes que quedaron sobre la subrasante, dicha estructura tuvo un espesor de ochenta centímetros (80 cm) de subbase granular.

En total se construyeron trescientos sesenta y ocho metros cúbicos (368 m³) de pavimento MDC-2 con longitud en cada acceso al deprimido de cincuenta centímetros (50 cm). Su estructura estuvo constituida sólo por subbase granular. No fue necesario capa de mejoramiento y contó con un espesor de ochenta centímetros (80 cm)

Finalmente se tienen las siguientes dimensiones en la sección transversal típica: (Ver Anexo 12)

- ✓ Sección libre del deprimido dieciséis punto setenta metros (16.70 m)
- ✓ Doble calzada de ocho punto treinta y cinco metros (8.35 m)
- ✓ Cero punto cincuenta metros (0.50 m) para el separador New Jersey
- ✓ Cero punto cinco metros (0.50 m) para el andén
- ✓ Ancho de calzada libre de siete punto sesenta metros (7.60 m)
- ✓ Carriles tiene tres punto ocho metros (3.8 m) de ancho.

3.1.3.2 Diseño y Construcción de la Calle cuarta (4ª), Calle quinta (5ª) y en los treinta metros (30 m) más próximos al puente

DISEÑO

Una de las exigencias del diseño es que el pavimento tanto en la calle cuarta (4ª), en la calle quinta (5ª) como en los treinta metros (30 m) próximos al puente es construirlo con pavimento rígido. Este diseño fue elaborado por la Ingeniera Margarita Polanco y contó con las siguientes generalidades.

- 1) Se establecieron los siguientes espectros de carga tanto para la calle cuarta (4ª) como para la calle quinta (5ª).

Tabla 22: Espectro de Cargas Calle 4 y Calle 5

TIPO DE EJE	CARGA PØR EJE (Ton)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS CALLE 4	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS CALLE 5
Simple Simple	2.5	1.569.865	1.569.865
	4.0	22.859.585	28.218.880
	6.0	1.036.235	1.936.325
	7.0	62.870	41.610
Simple Doble	6.0	24.429.450	29.788.745
	10.0	858.115	1.894.350
Tandem	20.5	41.610	41.610
	21.0	41.975	20.805
	22.0	178.120	41.975
Tridem	24.0	41.975	20.805

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

- 2) Con el fin de determinar el espectro de todas las posibles cargas que solicitarán la estructura del pavimento en la zona de acceso al puente “se consideraron los tránsitos de las vías de tráfico lento en los sentidos norte-sur y sur-norte, los cuales se adicionaron a los tránsitos inicialmente determinados sobre las vías correspondientes a la calle cuarta (4ª) y calle quinta (5ª) respectivamente” ¹⁸ dando como resultado los siguientes espectros de carga:

¹⁸ Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

Tabla 23: Espectro de Cargas en las Intersecciones con la Calle 4 y la Calle 5

TIPO DE EJE	CARGA PÒR EJE (Ton)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS CALLE 4	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS CALLE 5
Simple Simple Rueda	2.5	565.312	571.882
	4.0	1.567.894	5.271.987
	6.0	1.725.647	1.488.908
	7.0	62.269	266.304
Simple Doble Rueda	6.0	2.133.206	5.843.869
	10.0	1.574.391	1.153.692
Tandem	20.5	117.968	131.254
	21.0	3.285	200.677
	22.0	151.256	335.216
Tridem	24.0	3.285	200.677

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

- 3) Con lo anterior se obtuvo que el espectro de cargas para el tránsito acumulado es el siguiente:

Tabla 24: Espectro de Cargas para el Tránsito Acumulado en las Intersecciones

Calle 4

TIPO DE EJE	CARGA PÒR EJE (Ton)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS CALLE 4	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS CALLE 5
Simple Simple Rueda	2.5	1.978.191	1.984.761
	4.0	22.141.521	25.845.614
	6.0	2.658.259	2.421.520
	7.0	118.852	322.887
Simple Doble Rueda	6.0	24.119.711	27.830.374
	10.0	2.346.695	1.925.996
Tandem	20.5	155.417	168.703
	21.0	41.063	238.455
	22.0	311.564	495.524
Tridem	24.0	41.063	238.455

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

Calle 5

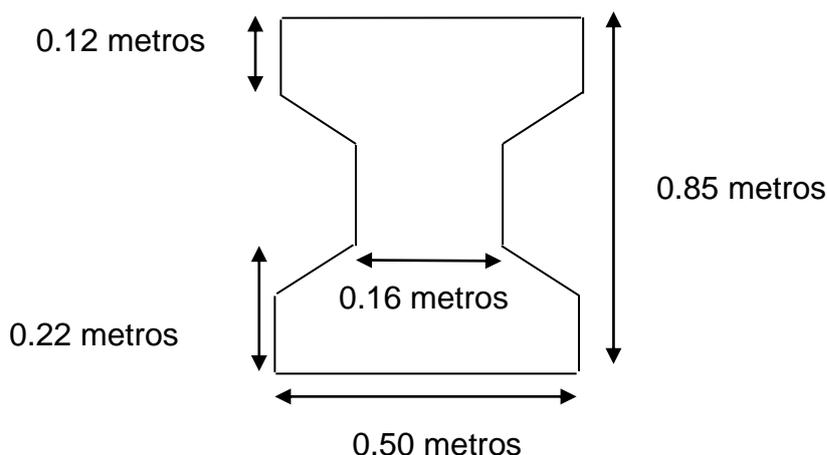
TIPO DE EJE		CARGA PÒR EJE (Ton)	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS CALLE 4	REPETICIONES DE CARGA ESPERADAS CALLE 5
Simple Simple	Rueda	2.5	1.978.191	1.984.761
		4.0	26.964.886	30.668.979
		6.0	3.468.340	3.231.601
		7.0	99.718	303.753
Simple Doble	Rueda	6.0	28.943.077	32.653.740
		10.0	3.279.306	2.858.607
Tandem		20.5	155.417	168.703
		21.0	22.010	219.402
		22.0	189.034	372.994
Tridem		24.0	22.010	219.402

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

- 4) Como la estructura es una superestructura tipo Box coulvert, se tuvieron que diseñar vigas postensadas separadas cada dos metros centro a centro (2 m c.a.c.) con el fin de apoyar la placa de concreto reforzado de veinte centímetros (20 cm) colocada tanto en la calle cuarta (4^a) como en la calle quinta (5^a), por lo que se tiene que las losas de la calle cuarta (4^a) y la calle quinta (5^a) son losas de un puente simplemente apoyado y para sus diseños se utilizaron los espectros de carga de cada una de ellas.

Se diseñaron vigas en forma de I de concreto de 5000 psi y con las siguientes dimensiones: (Ver Anexo 14)

Figura 12: Dimensiones de las vigas postensadas



Fuente: Diseño de Planta Viga Postensada y Detalle de Ductos

5) Las losas tanto de la calle cuarta (4ª) como de la calle quinta (5ª) se diseñaron de concreto reforzado con un espesor de veinte centímetros (20 cm) y el refuerzo con acero número cuatro (No. 4) y con las siguientes dimensiones:

- Calle 4: veintidós metros (22 m) por diecisiete punto seis metros (17.6 m) y veinte centímetros (20 cm) de espesor.
- Calle 5: Cuarenta metros (40 m) por diecisiete punto seis metros (17.6 m) y veinte centímetros (20 cm) de espesor.

6) Para los treinta metros (30 m) próximos al puente tanto de la calle cuarta como de la calle quinta se realizaron cuatro apiques ubicados hacia los sectores occidental y oriental del puente y se les realizaron las pruebas de laboratorio como estratigrafía y CBR cuyos datos dieron como resultado:

“... a partir de ellas se puede concluir que en el sector occidental de la calle 4 y calle 5, el espesor de la actual losa de concreto es de 20 cms, y se encuentra apoyada sobre materiales de diferentes características, en la calle 4 la subbase está constituida por un material de afirmado color habano con gravas de origen aluvial y en la calle 5 por un suelo fino limoso color amarillo con vetas grises. La subrasante en este sector se encuentra a aproximadamente 0.60m de profundidad y sus características mecánicas son mejores que en el sector oriental de las mismas calles.

En el sector oriental de la calle 4 y calle 5, el espesor de la actual losa de concreto es de 20,0 cms, y la subbase está constituida por roca muerta en la calle 4 y por un afirmado arenoso de origen aluvial en la calle 5, debajo de la subbase hay un relleno de características variables, en la calle 4 está constituido por un suelo fino color café y en la calle 5 por un agregado grueso de origen aluvial. En este sector la subrasante se encuentra a profundidades variables entre 0.60m y 1.05m y tiene una consistencia muy baja.”¹⁹

7) Con los resultados anteriores y para facilidad del diseño se consideraron dos unidades homogéneas de diseño así:

- **UNIDAD HOMOGÉNEA UNO:** “Está conformada por el tramo de vía que se construirá en el sector occidental del puente”²⁰

Las características físicas y mecánicas se presentan en la siguiente tabla:

¹⁹ Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

²⁰ Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

**Tabla 25: UNIDAD HOMOGÉNEA Uno
Resultados de CBR – Suelo Subrasante**

CBR No.	Sitio	Densidad Seca Gr/cc	SIN SUMERGIR			SUMERGIDO		
			w% Pen.	CBRin 0.1”t	CBRin 0.2”	w% Pen.	CBRin 0.1”t	CBRin 0.2”
2	Calle 4 Occidente	1.36	70.1	6.7%	7.9%	96.6	3.9%	3.8%
4	Calle 5 Occidente	1.42	66.0	11.0%	8.3%	76.6	6.0%	5.8%
LIMITES DE CONSISTENCIA – SUELO FINO DE SUBRASANTE								
SITIO		Wnat %	Límite Líquido %	Límite Plástico %		Indice de Plasti. %		Clasificación SUCS
Calle 4		70.1	110.0	75.6		34.4		MH
Calle 5		66.0	89.5	69.1		23.7		MH

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

- **Unidad Homogénea Dos:** “Está conformada por el tramo ubicado en el sector oriental del puente”²¹

Las características físicas y mecánicas se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 26: UNIDAD HOMOGÉNEA DOS
Resultados de CBR – Suelo Subrasante**

CBR No.	Sitio	Densidad Seca Gr/cc	SIN SUMERGIR			SUMERGIDO		
			w% Pen.	CBRin 0.1”t	CBRin 0.2”	w% Pen.	CBRin 0.1”t	CBRin 0.2”
1	Calle 4 Oriente	1.11	98.8	4.0%	3.7%	108.1	1.9%	1.5%
4	Calle 5 Oriente	1.40	66.0	4.2%	3.6%	93.8	3.0%	2.5%

²¹ Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

LÍMITES DE CONSISTENCIA – SUELO FINO DE SUBRASANTE					
SITIO	Wnat %	Límite Líquido %	Límite Plástico %	Índice de Plasticidad %	Clasificación n SUCS
Calle 4 Oriente		108.5	85.4	23.1	MH
Calle 5 Oriente	98.8	89.5	68.8	20.8	MH

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

- 8) Debido a las características tan deficientes de la subrasante encontrada en el sector oriental tanto de la calle cuarta (4ª) como de la calle quinta (5ª), fue necesario incluir en el diseño del pavimento un mejoramiento de la capacidad portante del soporte de la estructura de pavimento, utilizando la alternativa combinada de la colocación de un refuerzo con geosintéticos y la construcción de un material de reemplazo que permitiera una mejor distribución de los esfuerzos generados por la aplicación de las cargas.
- 9) “Utilizando el método AASHTO se diseñó la estructura de pavimento tomando como referencia una estructura de pavimento flexible requerida para las condiciones geotécnicas encontradas, estructura que solamente sirvió como base para la estimación de los espesores de reemplazo”²².

Los parámetros utilizados en el método AASHTO fueron los siguientes:

Tabla 27: Parámetros utilizados en el método AASHTO

PARAMETROS		VALORES
PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO	Tránsito	15.000.000
	Confiabilidad	90%
	Error Estándar Combinado	0.49
	Δ ISP	1.7
ANÁLISIS SOBRE BASE	Modulo Resiliente de Base PSI	30.000
	Número Estructural Requerido	3.26
ANÁLISIS SOBRE SUBBASE	Modulo Resiliente de Subbase PSI	15.000
	Número Estructural Requerido	4.22
ANÁLISIS SOBRE SUBRASANTE	Modulo Resiliente de Subrasante PSI	3.000
	Número Estructural Requerido	7.07

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

²² Estudio Geotécnico y Diseño. Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

- 10) La estructura base encontrada está compuesta por dieciocho punto cinco centímetros (18.5 cm) de concreto asfáltico, diecisiete centímetros (17 cm) de base granular, treinta centímetros (30 cm) de subbase apoyados sobre un material de relleno, conformado por diferentes capas que permiten hacer una transición gradual de los módulos resilientes sobre un apoyo en suelo blando hasta lograr un espesor de mejoramiento igual a cincuenta y cinco centímetros (55 cm):

“Considerando que las condiciones de diseño para una posible estructura rígida con espesores de losa superiores a 20.0cm y capa de subbase mínima de 20.0 cm, los espesores del prediseño anteriormente encontrados para la estructura de pavimento flexible, se incrementan hasta un espesor de 20.0 cm en la capa de rodadura y 20.0cms en la capa de subbase granular”²³.

- 11) Para determinar el espesor total de los materiales granulares convertidos en un material de subbase, se utilizó la misma ecuación que en el diseño de las losas de pavimento rígido de la carrera diecisiete (Cra 17), es decir la ecuación general de Número Estructural propuesta por el método AASHTO, ajustándola a las condiciones del modelo de dos capas estructurales, una de concreto asfáltico y otra de material granular tipo subbase. La ecuación es la siguiente:

$$SN = a_1 * H_1 + a_3 * H_3 * m_3$$

Donde:

- a_1 = Coeficiente estructural del concreto asfáltico.
- H_1 = Espesor en pulgadas de la capa de rodadura.
- a_3 = Coeficiente estructural promedio del material de subbase.
- H_3 = Espesor en pulgadas de la capa de subbase.
- m_3 = Coeficiente de drenaje del material de subbase.

- 12) Los parámetros utilizados para la unidad homogénea uno son los siguientes:

Tabla 28: Parámetros y Valores encontrados con la Ecuación General de Número Estructural

PARAMETROS		VALORES
PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO	Tránsito	15.000.000
	Confiabilidad	90%
	Error Estándar Combinado	0.49
	Δ ISP	1.7
ANÁLISIS SOBRE SUBRASANTE	Modulo Resiliente de Subrasante PSI	3000
	Número Estructural Requerido	7.06

²³ Estudio Geotécnico y Diseño. Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

PARAMETROS		VALORES
CAPA DE RODADURA	Coefficiente estructural	0.44
	Espesor de análisis	20 cm
MATERIAL DE SUBBASE GRANULAR	Coefficiente estructural promedio	0.10
	Coefficiente de drenaje	0.90
	Espesor total de subbase calculado (H ₃)	100 cm

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

- 13) Como el CBR de la subrasante de la Unidad Homogénea dos es menor a tres por ciento (3%) se puede decir que se trabajó en un suelo contracto – expansivo por lo que el diseño de la estructura de pavimento necesitó de una geomalla LBO 202 con una resistencia a la tensión de 20 KN/m, la cual colocada sobre un material con CBR igual a 2% proporcionó un valor de coeficiente de aporte de la geomalla a la capa granular de la estructura de 1.39 (LCR = 1.39) lo que contribuyó con la disminución del espesor total de subbase, calculado de la siguiente manera:

$$H_3 = \frac{SN - a_1 \times H_1}{a_3 \times LCR \times m_3}$$

- 14) El espesor de la capa de mejoramiento se calculó teniendo en cuenta “que en el diseño de la estructura está considerado que la losa de concreto se apoyará sobre una subbase granular de ocho pulgadas (8”) de espesor o 20 cm”²⁴.

Tabla 29: Parámetros que se utilizaron para calcular el espesor de material de reemplazo colocado entre el geotextil y la subbase granular en la unidad homogénea dos

PARAMETROS		VALORES
Número Estructural Aportado por los granulares $a_3 \times H_3 \times m_3 = 0.10 \times 34 \times 0.90 = 3.06$		2.55
Capa de Subbase Granular.	Coefficiente estructural	0.11
	Espesor	20 cm

²⁴ Estudio Geotécnico y Diseño. Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

PARAMETROS		VALORES
	Coeficiente de drenaje	0.90
Materiales granulares de reemplazo.	Coeficiente estructural	0.10
	Coeficiente de drenaje	0.90
	Espesor de material de reemplazo calculado	49.0 cm
Espesor Total de Reemplazo Asumido		500.0 cm

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente

- 15) “Teniendo en cuenta el estudio geotécnico realizado, los valores de resisitencia de CBR de la subrasante, obtenidos en los 4 apiques realizados y en el mejoramiento propuesto para el sector oriental de las calles 4 y 5, se adopta por correlación un valor de módulo de reacción de la subrasante de 3.0 Mpa”²⁵
- 16) La capa de subbase granular de 20 cm de espesor tiene como función uniformizar el apoyo de la losa y controlar futuros problemas de bombeo.
- 17) Para el concreto de la losa se utilizó un concreto hidráulico producido en planta con un módulo de rotura a flexión de 4.2 Mpa (42.0 Kg/cm²).
- 18) El factor de seguridad de carga es de 1.2 teniendo en cuenta que se trata de una vía de tránsito importante donde circularan vehículos pesados sin ninguna restricción.
- 19) Inicialmente se diseñaron los espesores de las losas de concreto para el período normal de diseño de estas estructuras que corresponde a veinte (20) años y posteriormente se realizo un diseño del espesor de la losa de concreto de estos accesos, guardando correspondencia con el período de diseño normal de los puentes, que supera los veinte (20) años, para lo cual se incremento el espectro de cargas como mínimo para un período de diseño de cuarenta (40) años, obteniendo los siguientes resultados:

²⁵ Estudio Geotécnico y Diseño. Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

Tabla 30: Resultados de los consumos de Fatiga y Erosión para un Período de Diseño de 20 años

		Espesor de Losa	Consumo de Fatiga	Consumo de Erosión
Calle 4	Calle 4 + Tráfico lento S-N	23.0	0	43
	Calle 4 + Tráfico lento N-S	23.0	0	24
Calle 5	Calle 5 + Tráfico lento S-N	23.0	0	36
	Calle 5 + Tráfico lento N-S	23.0	0	16

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente

Tabla 31: Resultados de los consumos de Fatiga y Erosión para un Período de Diseño de 40 años

		Espesor de Losa	Consumo de Fatiga	Consumo de Erosión
Calle 4	Calle 4 + Tráfico lento S-N	25.0	0	35
Calle 5	Calle 5 + Tráfico lento S-N	25.0	0	28

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente

- 20) En los anteriores análisis se puede evidenciar que para un período de diseño de veinte (20) años la estructura con veintitrés centímetros (23 cms) de losa garantiza el cumplimiento de los criterios de fatiga y erosión contemplados por el método de diseño, pero “considerando la importancia del proyecto, la longitud de los accesos y la incidencia tan alta de la variación del espesor de la losa en la vida de servicio de la estructura de pavimento, donde con un pequeño incremento de 2cms en el espesor de la losa es factible duplicar el período de diseño, se recomienda entonces colocar un espesor de losa de 25cms, apoyados sobre una capa de subbase de 20 cms y los materiales de relleno acordes con la resistencia de la subrasante determinada en cada unidad de diseño”²⁶. (Ver Anexo 8)
- 21) Los diseños de la estructura de pavimento determinados en los treinta metros más próximos al puente, de acuerdo a la unidad a construir son los siguientes:

²⁶ Estudio Geotécnico y Diseño. Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

Figura 13: Estructuras de Pavimento de acuerdo a la Unidad a Construir

UNIDAD HOMOGÉNEA 1	UNIDAD HOMOGÉNEA 2
Concreto Hidráulico con 25 cm de espesor	Concreto Hidráulico con 25 cm de espesor
Subbase Granular con 20 cm de espesor	Subbase Granular con 20 cm de espesor
Subrasante Natural	Mejoramiento con 50 cm de espesor
	Subrasante Natural

Fuente: Estudio Geotécnico y Diseño Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente

- 22) El dimensionamiento de la estructura de pavimento se realizó teniendo los parámetros calculados por el método AASHTO pero siguiendo los lineamientos del método de diseño de pavimentos rígidos de la PCA 1984.
- 23) La longitud máxima de las losas es de 4.64 m, éste valor se reduce de acuerdo a la geometría de la vía, el ancho de las losas será el correspondiente al ancho de cada carril respetando la relación de esbeltez que debe estar comprendida en el rango longitud/ancho entre (1 a 1.4).
- 24) Para el control de las grietas transversales y longitudinales ocasionados por los esfuerzos de tracción en la retracción del concreto, para control de las grietas causados por el alabeo del pavimento y por el método constructivo se diseñaron juntas transversales de contracción, juntas transversales de construcción y juntas longitudinales con las mismas características de las juntas diseñadas para el pavimento rígido de la carrera diecisiete (Cra 17). (Ver Anexo 9)
- 25) Con el fin de conseguir una continuidad estructural, entre los puentes y el pavimento de acceso y controlar las deflexiones por las diferencias de rigidez en el apoyo, por la presencia de las losas inferiores de aproximación que abarca la mitad de las calzadas lentas se recomienda “reforzar las dos primeras losas a cada lado del puente hasta complementar la intrsección de las vías lentas con las calles 4 y 5 con una parrilla de barillas de ½”, espaciadas cada 30 cm”²⁷

²⁷ Estudio Geotécnico y Diseño. Estructura de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente.

CONSTRUCCIÓN

Esta parte del proyecto se inició con la construcción de las vigas postensadas para lo cual fue necesario nivelar, con el nivel de precisión, el suelo sobre el cual iban a ser construidas para garantizar la horizontalidad de las vigas.

Posteriormente se armó la formaleta para hacer un cimientito pequeño utilizando formaleta metálica en forma angular lo que facilitaba su anclaje pues por su forma no fue necesario de puntos de apoyo; sin embargo la formaleta tenía dichos puntos, también metálicas, cada veinte centímetros (20 cm). En ocasiones se armaba formaleta con puntos de apoyo con la misma separación que los de la formaleta metálica.

Las formaletas anteriormente mencionadas fueron ubicadas a lo ancho del puente con una longitud de diecisiete punto seis metros (17.6 m), y cada formaleta formaba una franja de cincuenta y cinco centímetros (55 cm) y con una separación entre franjas de dos metros (2 m).

Después de ubicadas las formaletas se procedió a vaciar una lechada de cemento, lo cual es un concreto pobre con la siguiente especificación:

Tabla 32: Especificación de la Lechada de Cemento

AGREGADOS	PESO
Cemento Arte, Argos	50 kilos
Intraplast	600 gramos
Sikament	400 gramos
Agua	20 litros

Fuente: Oficio Diseño Lechada de Cemento del Consorcio Estyma JMV

La función del cimientito es la de garantizar horizontalidad, verticalidad y limpieza a la hora de la fabricación de las vigas postensadas, éste cimientito contó con un espesor de diez centímetros (10 cm).

Después de fundida la lechada de cemento se procedió con la colocación de los aceros número seis (No. 6) de las vigas postensadas, separadas cada diez centímetros (10 cm), teniendo en cuenta que el principio básico de las vigas postensadas consiste en aplicar una fuerza de compresión en la sección que contrarreste los esfuerzos de tracción producidos por la flexión. Para ello se colocaron cables de acero de alta resistencia denominados tendones, los cuales formaron torones trenzados de siete (7) hilos con un diámetro de tres octavos de pulgada (3/8"). Dichos torones trenzados pasaron a lo largo del elemento y transmiten su fuerza generalmente en los extremos.



Colocación de los aceros y formaleta de las vigas postensadas



Cabezal de una de las vigas con sus aceros



Puntales de la formaleta de las vigas postensadas



Trenza de aceros para el postensado de las vigas

Considerando que tanto en la calle cuarta (4^a) como en la calle quinta (5^a) fue necesario colocar una riostra debido a la longitud de las vigas, dentro de la colocación del acero de las vigas se dejó colocado el acero de la riostra el cual es un acero corrugado número tres (No. 3) espaciado cada veinte centímetros (20 cm).

Una vez distribuidos los aceros se continuó con la adecuación de la formaleta metálica lisa la cual tenía puntales de madera cada quince centímetros (15 cm) con pasadores cada setenta centímetros (70 cm) y con las dimensiones previstas por el diseño.

Terminada la colocación de los aceros y adecuada la formaleta se procedió con la fundición del concreto el cual tuvo que ser vaciado con bomba estacionaria ya que el acero dejó muy poco espacio para dicha actividad. El concreto utilizado fue de 5000 psi el cual tiene las siguientes características:

Tabla 33: Especificación del concreto de 5000 PSI

AGREGADOS	PESO EN Kg	δ
Cemento Arte, Argos	460	1,400
Arena Puerto Tejada	744	1,447
Grava 1/2" CONEXPE	920	1,436
Agua	210	1,000
Plastiment TM – 20	1.84	1,400
SIKAER – D	1.84	1,000
A/C	0.46	

Fuente: Oficio Especificación del concreto de 5000 PSI del Consorcio Estyma JMV

En la fundición de estas vigas se tuvo los mismos cuidados que en la fundición de las losas de concreto en el fraguado y curado del mismo.

Al tener ya fundidas las vigas se procedió con la fundición de las riostras las cuales están ubicadas a cinco metros (5 m) y a trece metros (13 m) medidos desde el lado oriental de las vigas. Dichas riostras tienen diferentes luces. Las de la calle quinta (5ª) cuarenta metros (40 m) de longitud y las de la calle cuarta (4ª) veintidós metros (22 m) de longitud, pero todas con una sección transversal de sesenta y un centímetros por veinte centímetros (61 cm X 20 cm).



Colocación de aceros y formaleta de las riostras

La formaleta empleada para las riostras era una formaleta lisa, metálica con puntales de madera cada quince centímetros (15 cm) y pasadores cada treinta centímetros (30 cm).

Después de veintiocho días de haber fundido las vigas postensadas, es decir, cuando el concreto tiene el cien por ciento (100%) de su resistencia, se les aplicó el esfuerzo mediante una fuerza excéntrica producida por un cable que tenía una inclinación ligera respecto al eje del elemento y con la ayuda de un gato portátil y anclajes permanentes, es decir los tendones postensados se tensionaron y luego se anclaron mecánicamente en los extremos mediante cuñas.

De manera general se puede decir que en la calle quinta (5^{ta}) se le colocaron veintiún (21) vigas postensadas de diecisiete punto sesenta metros (17.60 m) de longitud con la separación antes mencionada y son las encargadas de sostener una losa de concreto reforzado de cuarenta metros (40 m) por diecisiete punto seis metros (17.6 m) y de veinte centímetros (20 cm) de espesor. En la calle cuarta (4^a) se le colocaron doce (12) vigas encargadas de sostener una losa de concreto reforzado de veintidós metros (22 m) por diecisiete punto seis metros (17.6 m) y de veinte centímetros (20 cm) de espesor.



Distribución de las vigas postensadas



Adecuación de la formaleta para las losas



Colocación de los aceros para las losas



Fundición del concreto



Textura de la superficie de rodadura

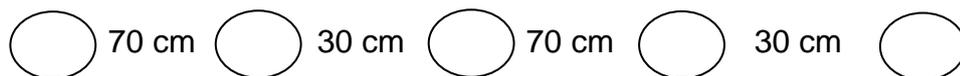


Arena para fraguado

Tanto la calle quinta como la calle cuarta fueron hechas con acero número cuatro (No. 4) colocado en ambos lados y espaciados cada treinta centímetros (30 cm) además se hicieron con el mismo concreto de 4000 PSI que se utilizó en las losas de la carrera diecisiete (Cra 17) por lo que se tuvo los mismos cuidados en el vaciado, fraguado y curado del concreto.

En cuanto a la formaleta utilizada en la calle cuarta (4ª) y en la calle quinta (5ª) fue una formaleta con base de madera sostenida por unos puntales colocados cada veinte centímetros (20 cm) y eran en forma aporcada que iban entre las vigas, en cuanto al perímetro se utilizó formaleta de madera con sus puntos de apoyo y/o anclaje distribuidos de la siguiente manera:

Figuras 14: Distribución de los puntos de apoyo y/o anclaje de la formaleta lateral de la calle 4 y de la calle 5



Fuente: Proceso constructivo de las losas de pavimento rígido de la calle 4 y de la calle 5

Cabe anotar que antes de la colocación de la formaleta fue necesaria la distribución no sólo del acero de la losa sino también del acero número seis (No. 6) de las vigas de amarre que iban en los laterales del deprimido.

En la abscisa K0+270 se colocó la losa de retorno de doce metros (12 m) de longitud por diecisiete punto seis metros (17.6 m) de ancho que contó con las mismas características de las placas anteriores.

El proceso constructivo de estas placas fue el mismo proceso utilizado para las losas de la carrera 17. La única diferencia encontrada es que en los sectores donde se dejaron los cabezales de las vigas postensadas se les fundió el concreto mucho después de haber fundido la losa. Para darle uniformidad a toda la losa y garantizar la adherencia del concreto nuevo con el concreto viejo se utilizó el aditivo Sikadur Primer (el mismo aditivo utilizado para el arreglo de las pantallas).



Losas de aproximación a las losas que están sobre las vigas

La parte inicial de la construcción del pavimento en los treinta metros (30 m) más cercanos al puente consistió en nivelar con un nivel de precisión marca Leica y compactar con un Cargador–compactador²⁸ la subrasante. Proceso en el cual no hubo ningún inconveniente.

Teniendo nivelada y compactada la subrasante se procedió con la colocación del la geomalla LBO 202 la cual es la encargada de mejorar la subrasante, pero tan sólo en el sector oriental.

Extendido el geotextil y la geomalla en el sector oriental, se procedió a regar y nivelar el material de reemplazo el cual consistió en un suelo tipo afirmado bien gradado con tamaños desde una y media pulgada (1/2”), medida hecha a simple vista sin pruebas de laboratorio que lo confirmaran. La nivelación de este material se hizo con una Excavadora–Cargador de cucharón pequeño y de llantas 4 x 4 Marca DEERE 410E y compactado por una Compactadora–Niveladora a Presión de rodillo y llantas marca CAT.

En este sector fue necesario compactar el material de mejoramiento en dos capas ya que su espesor era muy grande, cada una de veinticinco centímetros (25 cm) de espesor.

Terminada la nivelación y compactación del material de mejoramiento se continuó con la nivelación y compactación del material de subbase el cual tuvo una distribución granulométrica uniforme con tamaños desde tres cuartos de pulgada (3/4”), medida realizada a simple vista sin pruebas de laboratorio que lo confirmaran. Su espesor fue de veinte y veinticinco centímetros (25 cm) y su compactación se hizo en una sola capa ya que el espesor no es muy grande. Este material fue nivelado por la Excavadora–Cargador de cucharón pequeño y de llantas 4 x 4 Marca DEERE 410E y compactado por la Compactadora–Niveladora a Presión de Bolillo y llantas marca CAT.

²⁸ Compactadora – Niveladora: es un compactador marca CAT provisto en su parte delantera de una hoja topadora (como la de un bulldozer), inmediatamente detrás de esta hay un rodillo liso y es propulsado por llantas.

Se debe tener en cuenta que tanto el material de filtro como el de mejoramiento y subbase se debieron compactar hasta obtener un noventa y cinco por ciento (95%) del proctor modificado, y que dicho control se debió realizar con ensayos en el campo (prueba del cono de arena) y controlando la energía de compactación suministrando las pasadas necesarias de la máquina que cumpliera esta función en cada capa. Dichas pruebas de laboratorio se hicieron pero en ningún momento fue viable obtener los resultados por lo que no se puede asegurar que se cumplió tanto en granulometría como en densidad exigidas por el INVIAS.

De manera general se puede decir que las capas de compactación tuvieron un espesor de veinte centímetros (20 cm) y veinticinco centímetros (25 cm) lo que indica que no en todos los casos se cumplió con la norma del INVIAS que establece:

“En todo caso, la cantidad de material extendido deberá ser tal, que el espesor de la capa compactada no resulte inferior a cien milímetros (100 mm) ni superior a doscientos milímetros (200 mm). Si el espesor de sub base compactada por construir es superior a doscientos milímetros (200 mm), el material se deberá colocar en dos o más capas, procurándose que el espesor de ellas sea sensiblemente igual y nunca inferior a cien milímetros (100 mm)”²⁹.

De acuerdo con los criterios aprendidos en clase, se supone que se aceptó sobrepasar cinco centímetros (5 cm) en el espesor de compactación ya que no influenciaban mucho en dicho proceso pero si generaba mucho más gastos si se hubiese hecho en dos capas y alargaba un poco más el tiempo de construcción de la obra.

Otro aspecto a tener en cuenta es que la nivelación de cada uno de los materiales que componen la estructura de pavimento no se hizo con la maquinaria adecuada (motoniveladora) sino con cargadores los cuales no garantizan que la nivelación sea la indicada pues no cumplen dicha función, se debe pensar que esta determinación se tomó teniendo en cuenta la economía del proyecto y considerando que no alteraba mucho el trabajo y la composición de dicha estructura.

Finalizada la compactación y adecuación de cada una de las capas se procedió con la construcción de las losas, teniendo en cuenta que en ambas unidades las losas son de concreto sin refuerzo, la distribución de los aceros fue la siguiente:

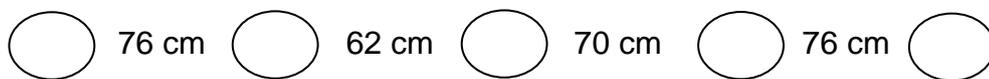
- Acero No. 5 para las barras de amarre de la junta longitudinal, cada 90 cm. (Ver Anexos 9)
- Acero No. 10 para las pasajuntas de las juntas transversales, cada 30 cm. (Ver Anexos 9)

²⁹ Subtítulo 320.4.5. del Artículo 320 – 07 de la Norma INVIAS.

Todos los aceros fueron colocados y distribuidos de acuerdo al diseño, es decir, con el número de acero exigido y garantizando las medidas correspondientes con unos tubos, unos de madera y otros de PVC, que tuviese dichas medidas.

Con la distribución de los aceros adecuada se continuó el proceso armando la formaleta, que de manera general contó con un ancho de aproximadamente tres metros (3 m) y longitud variable entre tres punto ocho metros (3.8 m) y cuatro punto seis metros (4.6 m) de acuerdo a la losa, era una formaleta metálica con agujeros en todo el perímetro y espaciadas cada treinta centímetros (30 cm) con sus puntos de apoyo y/o anclaje a la subbase distribuida de la siguiente manera:

Figuras 15: Distribución de los puntos de apoyo y/o anclaje de la formaleta a la subbase



Fuente: Proceso constructivo de las losas de pavimento rígido en los 30 m más próximos al puente.

Terminada la colocación del acero y la formaleta se procede a vaciar el concreto, el cual era trasladado desde la planta de concreto hasta el punto de fundición en una Mixer marca Mack con la finalidad de que éste se mantuviera en movimiento y no se fraguara dentro del carro.

El concreto hidráulico utilizado en estas losas contó con la misma especificación que el utilizado en las losas de la carrera diecisiete (Cra 17). En la fundición del concreto se tuvieron los mismos cuidados en el vaciado, textura, fraguado y curado que se tuvo en la fundición de las losas de la carrera diecisiete (Cra 17). (Ver Anexo 6)

Para terminar el acabado de la losa se hizo el sello de las juntas tal y cual como se especificó en el diseño de las mismas.

Las losas reforzadas a las que se refiere el diseño fueron colocadas inmediatamente después de las losas de la calle cuarta (4ª) y la calle quinta (5ª) tanto en el sector oriental como en el sector occidental, el proceso constructivo fue exactamente igual al empleado en las losas de concreto reforzado de la carrera diecisiete (Cra 17) pero con el acero exigido en el diseño.

Durante toda esta etapa se mantuvieron recogiendo muestras de las losas anteriormente mencionadas para pruebas de laboratorio cuyos resultados demuestran que el concreto siempre estuvo en buenas condiciones y con la resistencia requerida. En cuanto a la granulometría del material de mejoramiento, de subbase y el defiltro en la carrera diecisiete (17) se puede decir que a simple vista parece ser que cumplen con las exigencias hechas por las normas pero como ya se dijo anteriormente no se pudo obtener pruebas de ello.

Como las muestras de concreto se tomaron tanto en planta como en la obra se pudo comparar que éste fue manejado de manera adecuada y en los tiempos establecidos. Uno de los inconvenientes que se tuvo en este tema fue que se necesitó calibrar la prensa hidráulica del consorcio pues estaba presentando resultados totalmente erróneos. (Ver Anexo 7)



Muestras de concreto para la prueba de Resistencia

Haciendo la elongación de las vigas postensadas colocadas para la calle cuarta y la calle quinta se puede decir que están dentro del rango de elongación y cumplen con la resistencia requerida. (Ver Anexo 14).

En cuanto al pavimento flexible tipo MDC-2 se puede decir que si cumplió con las especificaciones de la norma ya que sus resultados de laboratorio así lo demuestran. (Ver Anexo 5)

En la losa de la calle cuarta se presentaron fisuras desde cero punto dos milímetros (0.2 mm) de ancho hasta un milímetro (1 mm) que permitían el paso del agua a través de ella, esto debido a una falla por retracción de fraguado.

Se decidió reparar con el aditivo Sikadur 35 Hi mod LV que es un adhesivo con base en resina epóxica de alta resistencia, baja viscosidad, insensible a la humedad, especial para relleno de grietas por gravedad en concreto horizontal.

El arreglo de dichas losas se hizo teniendo en cuenta que para el aditivo utilizado se debía garantizar que el concreto tuviera más de veintiún (21) días de colocado.

El procedimiento para el arreglo de las fisuras fue el siguiente:

- Se Limpió y secó bien las fisuras ya que debían estar libres de polvo y grasas para buscar que el epóxico pudiera penetrar en ellas y sellar correctamente.
- Se confeccionó una contención a lo largo de la grieta para que el producto a verter penetrara por gravedad en la fisura y no fluyera evitando así que se perdiera en zonas diferentes a la grieta.

- Se mezclaron los componentes del aditivo hasta tener un color uniforme para proceder a su vertimiento en el pequeño dique de contención.
- Se protegió de la lluvia hasta que se secó al tacto.

El ítem de pavimentación fue recibido a satisfacción por Interventoría mediante el ACTA número dieciocho (18), la cual está distribuida de la siguiente manera:

Tabla 34: Precios de ÍTEM de Pavimentación

NOMBRE	UNID	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Concreto MR 42	M ³	2111.82	958.361.00	2.023.885.927.00
Vigas Postensadas	M ³	201.60	1.227.257.00	247.415.011.20
Tensionamiento de vigas	Tn - M	1.109.00	1.339.00	1.484.951.00
Losas de aproximación	ML	124.00	958.361.00	118.836.764.00
New Jersey	ML	503.00	182.829.00	91.962.987.00
Empalme calle 4ª: Subbase, mejoramiento	M ³	178.50	140.000.00	24.990.000.00
Geomalla LBO - 202	M	1.500.00	6.377.00	9.565.500.00
Geotextil No Tejido 2500 X 3.5m	M	1.500.00	3.716.00	5.574.000.00
Concreto 4000 psi	M ³	300.00	275.882.80	82.764.840.00
Formaleta	M ²	2.500.00	84.500.00	211.250.000.00
Acero corrugado 4200 Kg/cm ²	Kg	66.623.00	4.205.00	280.149.715.00
Alambre	Kg	6.000.00	2.262.00	13.572.000.00
Demolición de pavimentos, pisos, andenes y bordillos de concreto	M ²	16.791.49	5.488.00	92.151.697.00
Material de mejoramiento	M ³	1.061.90	38.804.00	39.082.168.00
Subbase Granular (Incluye Transporte)	M ³	3.887.90	70.000.00	272.153.000.00
Base Granular (Incluye Transporte)	M ³	1.090.00	80.000.00	87.200.000.00
Emulsión Asfáltica CRL-1	L	8.773.92	2.104.00	18.460.327.68
Mezcla densa en caliente Tipo MDC-2		877.39	482.851.00	423.648.638.90
Pilotes en madera de 6 metros	ML	2.250	130.000	292.500.000.00
TOTAL				4.336.647.527.00

Fuente: ACTA No. 18 firmado por el Consorcio ESTYMA JMV y por UNION TEMPORAL PCA TECNOCONSULTA.

3.1.4. Generalidades³⁰

- Teniendo en cuenta que el método utilizado para la construcción de muros pantalla no permitió darle un buen acabado a la estructura, se colocaron sobre el andén y en el tramo comprendido por los muros pantalla unos muros falsos en mampostería que contiene vigas cinta y columnetas de quince por quince centímetros (15 cm x 15 cm), reforzadas con acero corrugado número tres (No. 3) y con acero corrugado número dos (No. 2). (Ver Anexo 13).



Muros Falsos con Columnetas de 15 cm X 15 cm

- Las columnetas tienen altura variable y se colocan a cero punto quince metros (0.15 m) del muro pantalla y cada cuatro metros (4 m) a lo largo del deprimido dentro de la sección donde se encuentran los muros pantalla. En total se hicieron dos mil cuatrocientos ochenta y dos punto cuatro metros cuadrados (2482.4 m²) de muros fachada. (Ver Anexo 13).
- En los accesos al deprimido, más exactamente en los costados laterales en donde no se hicieron muros pantallas, se construyeron muros fachada con acero corrugado número cuatro (No 4) en ambas direcciones.



Construcción de muros en los accesos al deprimido

³⁰ Detalles visto en el transcurso de la presente pasantía



Empalme entre muros del acceso al deprimido y muros falsos

- Para darle mayor sostenibilidad a las pantallas se les construyeron en la parte de arriba Vigas de Amarre de tal forma que une tres módulos de pantalla aproximadamente, es decir tienen dieciocho metros lineales (18 ml) de pantalla, cuyas dilataciones se marcaron con cortadora o pulidora para dilataciones de las mismas y cuestiones estéticas.



Viga de amarre de los muros pantalla

- El estudio de tránsito hecho por el ingeniero Nelson Rivas Muñoz dio como resultados seis alternativas de diseño del Paso Deprimido por Popayán, las cuales varían de acuerdo a la circulación de la cantidad de vehículos estimada. (Ver Anexo 15).
- De acuerdo con cada una de las seis (6) alternativas de diseño mencionadas anteriormente, el ingeniero Especialista en Diseño Geométrico Carlos Ignacio Paz hizo el diseño de la sección transversal, las cuales varían de la una a la otra en dimensiones, pero que en general cuentan con un gálibo de cuatro punto ocho metros (4.8 m), un peralte máximo de cuatro por ciento (4%), dos andenes, dos calzadas y un separador central New Jersey. (Ver Anexo 12)

- No se contemplaron bermas en las seis alternativas de diseño de la sección transversal argumentando que el Manual de Diseño Geométrico Vigente es para carreteras y no para vías urbanas.
- La alternativa de diseño finalmente escogida fue la alternativa número uno (No. 1), pero se aclaró que una vez puesta en funcionamiento la intersección, trabajará de manera temporal como si fuera la alternativa seis (No. 6). (Ver Anexo 15).
- En cuanto a Seguridad Industrial y Salud Ocupacional (SISO) se hizo una capacitación por semana de diferentes temas relacionados con la seguridad de los trabajadores, temas como Sistema de Alarma, Normas de Seguridad en obra, vida saludable, funciones del residente SISO, uso y mantenimiento de elementos de protección personal, etc. También se conformó una brigada de emergencia que cubrió el tema de primeros auxilios y otra brigada que tomo el tema de evacuación. Se realizaron brigadas de salud y se capacitó a los obreros sobre el procedimiento de excavaciones y cada una de estas actividades tuvo seguimiento por la parte interventora y por el supervisor del INVIAS. (Ver Anexo 16)



Obreros con implementos de seguridad industrial

- Se construyó un campamento en donde se guardaron todos los materiales utilizados, es necesario destacar que no contó con todas las medidas de protección para el acero, pues éste se colocaba en la parte de afuera de la casa del campamento y se tapaba con un plástico que en ocasiones no cubría en su totalidad el acero generando de esta forma corrosión en los mismos.

3.2. ASPECTOS NUEVOS APRENDIDOS EN EL TRANCURSO DEL DESARROLLO DE LA PASANTÍA.

En el transcurso de esta pasantía se pudo constatar que aunque se adquieren la mayoría de los conocimientos teóricos en la universidad, a la hora de trabajar la persona es totalmente nueva en todos los aspectos, debido a que en la práctica no sólo se toman soluciones técnicas sino también prácticas que no

deben alterar para nada el funcionamiento de la obra, pero que en cambio si ayudan en el avance de la misma.

En cada paso de la construcción se adquirieron conocimientos nuevos, pues combinar procedimientos constructivos con el porqué de dichos procedimientos dan una visión más detallada de cómo es que se quieren las cosas y cuál va a ser su funcionalidad, además de que en todo momento se tiene presente la estética, economía y durabilidad de la obra.

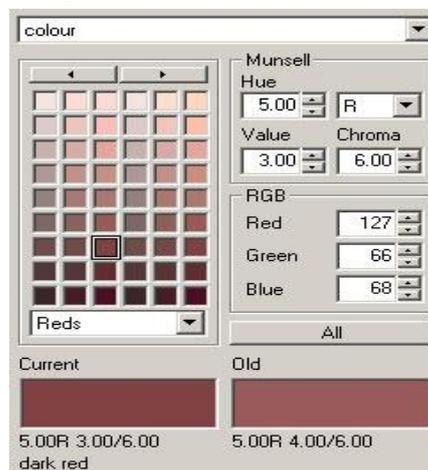
Sin embargo, en la obra utilizaron un método muy rápido de clasificación de suelos en el campo el cual nunca se vió en la universidad. Es por esto que lo describo a continuación:

3.2.1. Tabla Munsell

Es un método de clasificación de suelos que se usa cuando se presenta dificultad para profundizar y obtener un claro origen del suelo. Es una clasificación que se hace de manera rápida y cuya modalidad es la de comparar el color del suelo encontrado con los colores que tiene la matriz o la tabla de Munsell la cual ya tienen una descripción previa.

Al utilizar este método se debe registrar el nombre del suelo utilizando los nombres y notaciones que la Tabla da. Es requisito tomar el color del suelo húmedo a la capacidad de campo, es decir cuando desaparezcan las películas de agua al suelo humedecido y también cuando esté seco al aire.

Figura 16: Tabla Munsell



Fuente: Tabla de Munsell, aplicación en arqueología (Página de Internet)

En la tabla Munsell un color queda definido por tres variables que son:

- **Matiz:** Se determina por la longitud de onda dominante de la luz visible reflejada.
- **Brillo:** Es una medida de la intensidad del color por unidad de superficie, cuantitativamente es igual a la raíz cuadrada del porcentaje de la luz visible que ha sido reflejada.

➤ **Saturación:** Es la pureza relativa del color espectral dominante.

Los colores acromáticos: blanco, gris y negro serán los carentes de matiz y saturación. El valor del brillo puede variar entre cero para el negro absoluto a 10 para el blanco absoluto. La notación para la saturación consiste en números de 0 al 20. El color se determina mediante la comparación con una tabla de colores.

La tabla de Munsell, es la que se utiliza habitualmente. En esta tabla los colores se agrupan por matices, de forma que los colores que aparecen en una misma hoja tienen el mismo matiz.

Para suelos se emplea la parte de la carta que corresponde a la formación de matices con los colores rojo y amarillo. La notación para designar el matiz consiste en emplear letras que indican el color de la longitud de onda dominante: R para el rojo, RY para rojo-amarillo y Y para el amarillo precedidas por los números: 0; 2.5; 5; 7.5; 10. Dentro de cada letra el matiz resulta más amarillo y menos rojo a medida que aumente el valor del número. Los colores acromáticos se designan por la letra N.

En cada hoja de las tablas Munsell, el brillo se ordena verticalmente y en orden creciente de abajo hacia arriba. La saturación se ordena horizontalmente y en orden creciente de izquierda a derecha. El color del suelo se representa por las anteriores notaciones colocadas según se indica: Matiz brillo/ saturación

Un ejemplo claro de las notaciones es que para un color de matiz 7,5 YR, brillo 5 y saturación 6 será: 7,5 YR 5/6. El color blanco tendrá la notación N10/0, el color negro: N 0/0 y un gris de brillo 5: N 5/0.

Se debe tener en cuenta que la probabilidad de exacta coincidencia de un color con uno de la tabla Munsell es menor que 1%.

La rueda del color de Munsell tiene las tonalidades "primarias" siguientes:

- Rojo
- Amarillo
- Verde
- Azul
- Púrpura

También tiene las tonalidades "terciarias" siguientes:

- Amarillo-Rojo
- Verde-Amarillo
- Azul-verde
- Púrpura-Azul
- Rojo-Púrpura

4. COMPARACIÓN DE LOS OBJETIVOS CONSIGNADOS EN EL PROYECTO DE PASANTÍA Y LOS OBJETIVOS LOGRADOS AL TÉRMINO DE LA MISMA.

Gracias a la colaboración prestada tanto por la empresa constructora Consorcio Estyma JMV, de la empresa interventora Unión Temporal PCA TECNOCONSULTA y del Supervisor del INVIAS Ingeniero Blas Uriel Páez Chinchilla de manera general se puede decir que se cumplió los objetivos previstos en el anteproyecto presentado al Departamento de Vías y Transporte de la Universidad del Cauca.

A continuación se describe la manera cómo se dió cumplimiento de los objetivos propuestos:

Cuadro 6: Cumplimiento De Los Objetivos Propuestos

OBJETIVOS PROPUESTOS	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES
Supervisar el proceso de excavación, teniendo en cuenta el material a excavar, las diferentes profundidades, el equipo utilizado y el método de excavación empleado.	Se hizo continúa presencia en la etapa de excavación, prestando especial atención al método empleado por la retroexcavadora Volvo y teniendo en cuenta que la profundidad máxima de excavación era de seis metros (6 m).
Supervisar si el material excavado se puede reutilizar y si no es así, verificar a que botadero es llevado y si dicho lugar cumple con las normas.	Analizando los resultados de las pruebas de laboratorio hechas al material obtenido en los apiques uno y dos se determinó que el material excavado no era reutilizable y por lo tanto se decidió llevarlo al botadero del señor Orlando Revelo que hasta el momento cumplía con las normas.
Supervisar el contínuo monitoreo que se le debe hacer a las paredes de la excavación para evitar posibles grietas y de esta manera tener calidad en la obra.	Teniendo en cuenta que era una excavación apuntalada con muros pantallas, se le realizaron monitoreos diarios a las mismas.
Supervisar el proceso de construcción del pavimento del Paso Deprimido por Popayán, teniendo en cuenta los diseños y los materiales a utilizar.	En esta parte se debió estudiar detenidamente el diseño realizado por la Ingeniera Margarita Polanco, pero como no fue posible, se basó en unos informes posteriores al diseño el cual incluía unos arreglos.
Supervisar si se tienen o no el cuidado necesario para el almacenamiento de los materiales y de esta manera evitar posibles retrasos en la obra por falta de cuidados.	Se hizo una observación diaria al almacén de la empresa constructora.

OBJETIVOS PROPUESTOS	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES
Supervisar si tanto la empresa constructora como la empresa interventora realizan las diferentes pruebas de laboratorio en el campo, como lo indica la norma del INVIAS.	Se hizo observación diaria de si se le hacía las pruebas de laboratorio, de acuerdo a lo que se estaba haciendo en la obra.
Supervisar si la obra está debidamente delimitada para evitar accidentes, teniendo en cuenta que la empresa constructora debe informar a la comunidad del sector de la obra y a la comunidad en general las zonas que van a estar cerradas, por cuanto tiempo y cuáles son las vías alternas.	Se realizaron observaciones diarias al cerramiento de la obra, el cual en muchas ocasiones fue dañado por la comunidad en general. Se observó que la empresa constructora hacía constantes reuniones con los veedores para explicarles el proceso en el que se encontraba la obra.
Supervisar si la empresa constructora cumple con los requerimientos exigidos en cuanto a Seguridad Social y Salud Ocupacional (SISO).	Se hizo la observación diaria a todos los trabajadores quienes por exigencia de la empresa debían cambiarse en el almacén, para de esta manera tener mayor control.

Se debe decir, que fue muy difícil obtener documentos que legalmente son públicos pero que la empresa constructora Estyma JMV no lo consideró así y por lo tanto el préstamo fue mínimo.

Se entiende que esta era una obra muy grande que implicaba muchas personas por lo que genera cierto hermetismo y estrés a su directora de obra, pero también se debió tener en cuenta de que mi pasantía era única y exclusivamente la supervisión.

CONCLUSIONES

Se trabajó una excavación apuntalada con muros pantalla con el fin de reducir al máximo las deformaciones del terreno excavado y para proteger lo mejor posible las construcciones y estructuras vecinas. Este último objetivo fue cumplido a cabalidad debido a que las quejas de los propietarios de dichas construcciones cercanas a la obra fueron mínimas y la mayoría por agrietamientos en las paredes debidas a la humedad y a la vibración del terreno.

En temporada de lluvias fue necesario colocar una cubierta plástica en el costado norte de la obra.

La empresa constructora en el afán de cumplir con el tiempo pactado, dividió la etapa de excavación en dos partes, es decir, se inició en el costado norte excavando hasta la abscisa K0+370 aproximadamente luego se empezó a excavar en el costado sur terminando con todo el proceso de excavación.

Los estratos encontrados se mantuvieron constantes aunque en algunos sectores se encontraron de manera intermitente un estrato no esperado por los estudios de suelos.

En la excavación se encontró un suelo con características geomecánicas pobres y presencia de nivel freático alto.

Debido al proceso constructivo de las pantallas se tuvieron que utilizar trescientos setenta y nueve punto seis metros cúbicos (379.6 m^3) de concreto en reparación de las mismas.

Teniendo en cuenta que la variación máxima de los puntos de control de las pantallas fue de veinticuatro milímetros (24 mm) y que la variación máxima permitida era cincuenta milímetros (50 mm) se puede decir que las pantallas tienen la estabilidad requerida, pues resisten tanto fuerzas de deslizamiento como fuerzas de volcamiento.

En total se excavaron treinta y tres mil ochocientos setenta y nueve punto ochenta y cuatro metros cúbicos (33879.84 m^3) de material fino no apto para relleno.

De manera general se evacuó el agua del deprimido con un colector que tuvo descole en el Río Molino y contó con dieciséis (16) sumideros.

Debido al alto nivel freático y a que Popayán es una zona de alta pluviosidad fue necesario incluir dentro del drenaje y como ayuda al colector un filtro de seis pulgadas (6") y además un encamado de veinticinco centímetros (25 cm) de espesor de material triturado.

La estructura de pavimento tanto en la zona uno como en la zona dos contó con una subrasante constituida por arcilla amarilla de consistencia media, con algunas betas grises y completamente saturada de agua.

La estructura de pavimento, en todo el sector del deprimido, se diseñó con el método de la PCA.

En los accesos al deprimido se diseñaron losas de concreto MR 42 reforzada y en el tramo ubicado entre las pantallas se diseñaron losas de concreto MR 42 simple.

Debido a que la subrasante tuvo una consistencia media se colocaron trescientos setenta y ocho (378) pilotes para control de rebote del suelo y mejoramiento de la subrasante.

En total se conformaron y compactaron ocho mil novecientos metros cuadrados (8900 m²) de subrasante.

Fue necesaria la colocación de un Geotextil NT – 2500 y de una Geomalla LBO 202 las cuales tienen como función no sólo mejorar la subrasante si no también proteger en su totalidad el material de filtro.

Se nivelaron y compactaron tres mil cien metros cúbicos (3100 m³) de material de reemplazo que va encima del material de filtro cubierto por la geomalla y el geotextil.

En la fundición de las losas de concreto se tuvieron todos los cuidados pertinentes en cuanto a nivelación, fraguado y distribución de los aceros.

En las losas de concreto reforzada se usó una malla de acero corrugado y en las losas de concreto simple se usó para las juntas acero liso.

La sección transversal del deprimido contó con dos andenes, uno en cada extremo, y con un separador central New Jersey.

Para darle mayor esbeltez al deprimido se colocaron muros falsos en mampostería y de medidas variables.

Fue necesario realizar un empalme entre el pavimento flexible y el pavimento rígido en los accesos al deprimido, con pavimento MDC – 2

En cuanto a la colaboración prestada por parte del Consorcio, para el estudio a los diseños elaborados, fue nula argumentando que son privados y que no los prestan a nadie.

BIBLIOGRAFÍA

- ARENAS L. Hugo L. Teoría de Pavimentos. Unicauca.
- ARENAS L. Hugo L. Material pedagógico de pavimentos.
- CONSORCIO ESTYMA JMV. Informes Semanales de Actividades Principales. Popayán 2009.
- GALVIS, Fernando. Apuntes de clase de puentes. Popayán 2009.
- GONZALEZ, Isabel Prieto. Nociones Básicas sobre la Cerámica en la Arqueología. [en línea]. Madrid España. [Citada en 03 de febrero, de 2010]. Disponible en Internet: URL: http://www.dearqueologia.com/tabla_munsell.htm
- MANUAL DE PRODUCTOS SIKA. 2007.
- NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS INVIAS.
- NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS NTC. Ingeniería Civil y Arquitectura.
- POLANCO, Margarita. Diseño de la Estructura del Pavimento Para Vías Principales Volumen 2. Popayán 2009.
- POLANCO, Margarita. Estudio Geotécnico Tomo II. Popayán 2009
- POLANCO, Margarita. Estudio Geotécnico y Diseño Estructuras de Pavimento Calle 4 y Calle 5 en los 30.0 m más próximos al puente. Popayán 2009.
- RIVERA L. Gerardo A. Concreto Simple. Unicauca. 1992.
- SALAZAR, Luis Guillermo. Plano Alcantarillado Pluvial Calzada Centrales Deprimidas Planta y Perfil. Popayán 2009.
- UNION TEMPORAL PCA-TECNOCONSULTA, CONSORCIO ESTYMA JMV. Acta No. 17. Popayán 2009.
- UNION TEMPORAL PCA-TECNOCONSULTA, CONSORCIO ESTYMA JMV. Acta No. 18. Popayán 2009.
- UNION TEMPORAL PCA-TECNOCONSULTA. Informe HDD-04-27-09 No. 11. Popayán 2009.
- UNION TEMPORAL PCA-TECNOCONSULTA. Informe Mensual de Interventoría No. 21. Popayán Octubre de 2009.