



**INFORME FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**



**AUXILIAR DE INGENIERÍA EN LA REHABILITACIÓN VIAL (PAVIMENTACIÓN
EN CONCRETO RÍGIDO) Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO PARA
EL SETP POPAYÁN DEL TRAMO 9A: TRANSVERSAL 9N (CARRERA 9 A LA
VARIANTE), DE LA CIUDAD DE POPAYÁN.**

LEIDY JOHANA JIMÉNEZ VEGA

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
POPAYÁN – CAUCA
2019**



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**INFORME FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**



**AUXILIAR DE INGENIERIA EN LA REHABILITACIÓN VIAL (PAVIMENTACIÓN
EN CONCRETO RIGIDO) Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO PARA
EL SETP POPAYÁN DEL TRAMO 9A: TRANSVERSAL 9N (CARRERA 9 A LA
VARIANTE), DE LA CIUDAD DE POPAYÁN.**

**LEIDY JOHANA JIMÉNEZ VEGA
COD. 100414011555
Cel. 3162345575**

**DIRECTOR:
MG. HUGO LEÓN ARENAS LOZANO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA
POPAYÁN-CAUCA
2019**



NOTA DE ACEPTACIÓN

El Director y los Jurados han evaluado este documento, escuchado la sustentación del mismo por su autora y lo encuentran satisfactorio, por lo cual autorizan a la egresada para que desarrolle las gestiones administrativas para optar al título de Ingeniera Civil.

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Director

Popayán, enero de 2019



DEDICATORIA

“Principalmente quiero dedicarle este trabajo a Dios, El me dio la fortaleza suficiente para alcanzar, con esfuerzo y empeño este logro tan importante para mi vida, a mis padres y a mi hermana por brindarme su apoyo incondicional y sabios consejos, que hicieron de mí, una persona con valores, principios, emprendedora y dedicada a mis estudios, a mi novio por ser la persona que me acompañó en gran parte de mi carrera Universitaria, impulsándome a seguir adelante, a vencer los obstáculos que se me presentaron, por darme su amor y su comprensión. A mis familiares y amigos que estuvieron presentes en este lindo y arduo camino y también, con una inmensa gratitud y un gran cariño, a mis maestros, por brindarme su afecto, sus conocimientos y enseñanzas, los recordaré por siempre. A todos Uds. que aportaron un granito de arena para lograr que este sueño se haga realidad.”



AGRADECIMIENTOS

A Dios gracias por darme la vida, el entendimiento, la sabiduría, la paciencia y la capacidad para ejercer este proyecto de vida, por llenarme de infinitas bendiciones, y por darme la familia hermosa a la cual pertenezco.

A mis padres, por su ejemplo de vida, sus consejos, su entrega, dedicación y apoyo, que me motivaron a emprender el camino de ser profesional, sin su guía no tendría el amor que tengo por mi carrera y las ganas de convertirme en lo que quiero ser, una excelente profesional en Ingeniera Civil.

A mi pareja, por su amor, paciencia, colaboración y dedicación, siempre luchando juntos para alcanzar las metas que nos proponemos, que serán la base para hacer realidad nuestros sueños.

A la Universidad del Cauca por formarme profesionalmente y de manera muy especial a todos los Ingenieros que en su momento me brindaron sus conocimientos y su constante ejemplo de ética profesional en clase y fuera de ella.

A mi director de trabajo de grado, el Ingeniero Hugo León Arenas Lozano. Gracias por su tiempo y su disposición para guiarme y colaborarme en esta última etapa de mi carrera, por darme la oportunidad de aprender a su lado y crecer profesionalmente.



INDICE

	Página
1 INTRODUCCIÓN	16
2 RESUMEN	17
3 OBJETIVOS	19
3.2 Objetivo general	19
3.3 Objetivos específicos	19
4 INFORMACIÓN GENERAL	20
4.1 Entidad receptora	20
4.2 Tutor por parte de la Universidad del Cauca	22
4.3 Tutor por parte de la Entidad receptora	22
4.4 Duración de la pasantía	22
5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	23
5.1 Generalidades	23
5.2 Localización	24
6 EJECUCIÓN DE LA PASANTÍA	26
6.1 CAPITULO 1: ESTUDIOS INICIALES	27
6.1.1. Estudio de la variable Transito	27
6.1.2. Evaluación Deflectométrica	28
6.1.3. Evaluación Geotécnica	30
6.1.4. Unidades homogéneas de diseño	33
6.1.4.1. Unidad homogénea 1, sector entre la intersección con la Variante de Popayán y la abscisa k1+000.	34
6.1.4.2. Unidad homogénea 2, sector k1+000 hasta la glorieta las Brisas.	34
6.2 CAPITULO 2: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	35
6.2.1. Determinación del espesor de la losa según el método de PCA 1984.	35
6.2.2. Solución definitiva de la estructura de pavimento rígido. Primer sector, comprendido entre la intersección con la	35



Variante de Popayán y la abscisa k1+000.	
6.2.3. Solución definitiva de la estructura de pavimento rígido. Segundo sector, comprendido entre la abscisa k1+000intersección a la glorieta Las Brisas.	36
6.2.4. Características del Concreto Hidráulico.	37
6.2.5. Verificación de la resistencia a la flexo tracción del Concreto Hidráulico.	37
6.3. CAPITULO 3: CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RIGIDO.	39
6.3.1. Control del proceso de compactación de la subrasante.	39
6.3.2. Control de calidad de los materiales utilizados para el mejoramiento de la subrasante.	39
6.3.2.1. Suelo granular de fresado (material in situ) para mejoramiento de subrasante.	40
6.3.2.2. Suelo granular (roca muerta) Agregados Puracé, para mejoramiento de subrasante.	41
6.3.3. Control de calidad del material empleado para sub-base:	42
6.3.4. Verificación del grado de compactación de la subrasante y de la sub base.	46
6.4. CAPITULO 4: REVISION DEL PROCESO CONSTRUCTIVO Y CUMPLIMIENTO DEL ARTICULO 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.	49
6.4.1. DISEÑO DE MEZCLA	49
6.4.1.1. Agregado fino.	51
6.4.1.2. Agregado grueso.	56
6.4.2. ACERO	59
6.4.2.1. Pasadores, pasa juntas o dovelas.	59
6.4.2.2. Barras de amarra o anclaje.	61
6.4.2.3 Refuerzo de losas.	63
6.4.3. PROCESO CONSTRUCTIVO.	65
6.4.3.1. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE.	65



6.4.3.2. COLOCACIÓN DEL CONCRETO.	66
6.4.3.2.1. Equipos de puesta en obra del concreto.	66
6.4.3.2.2. Vaciado del concreto.	68
6.4.3.3. VIBRADO.	69
6.4.3.4. PROCESO DE NIVELACIÓN.	69
6.4.3.5. HERRAMIENTAS Y ELEMENTOS PARA EL ACABADO.	70
6.4.3.5.1. Flotador o Enrasador.	70
6.4.3.5.2. Micro texturizado.	71
6.4.3.5.3. Macro texturizado.	72
6.4.3.6. CURADO.	74
6.4.3.7. REMOCIÓN DE FORMALETAS.	75
6.4.3.7.1. Daños al desencofrar.	75
6.4.3.7.2. Hormigueros.	76
6.4.3.8. CORTE DE JUNTAS.	76
6.4.3.9. SELLO DE JUNTAS.	78
6.4.4. REQUISITOS MINIMOS QUE DEBE CUMPLIR LA MEZCLA DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.	80
6.4.5. TRAMO DE PRUEBA.	82
6.4.6. IDENTIFICACION DE LAS LOSAS.	82
6.4.7. CONDICIONES ESPECÍFICAS PARA EL RECIBO.	83
6.5. CAPITULO 5: ESPACIO PÚBLICO.	86
6.5.1. CONFORMACIÓN ESPACIO PÚBLICO.	86
6.5.2. VERIFICACIÓN DE ACABADOS.	89
6.6. CAPÍTULO 6: INCONVENIENTES PRESENTADOS EN EL TRANSCURSO DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.	91
6.6.1. Cambio de bombeo para las dos calzadas.	91
6.6.2. Retrasos en el proceso de excavación a causa de reubicación de redes secas a cargo de entidades privadas.	92
6.6.3. Proceso de extensión y compactación de las capas que	92



conforman el pavimento.	
6.6.4. Resultados de resistencia menores a la del diseño.	93
6.6.5. Presencia de fisuras en 11 losas.	93
7. CONCLUSIONES	95
8. BIBLIOGRAFÍA	97



LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Proyecto Rehabilitación Vial Y Construcción Del Espacio Público Para El SETP Del Tramo 9A.

Figura N° 2: Localización general del proyecto.

Figura N° 3: Perfil Deflectométrico Transversal Novena entre la Variante y Glorieta las Brisas.

Figura N° 4: Perfil de módulos de subrasante (kg/cm²) Transversal Novena entre la Variante y Glorieta las Brisas.

Figura N° 5: Esquema del mejoramiento unidad homogénea 1.

Figura N° 6: Esquema del mejoramiento unidad homogénea 2.

Figura N° 7: Diseño pavimento rígido primer sector – intersección con la Variante de Popayán y la abscisa k1+000.

Figura N° 8: Diseño pavimento rígido segundo sector – abscisa k1+000 a la Glorieta las Brisas.

Figura N° 9: Toma de muestras para el ensayo de Flexo tracción.

Figura N° 10: Grafica curva de gradación material de sub base y franjas de trabajo.

Figura N° 11: Ensayo Densidad de Campo.

Figura N° 12: Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (Ensayo Modificado de Compactación) del material de sub base.

Figura N° 13: Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (Ensayo Modificado de Compactación) de la subrasante.

Figura N° 14: Verificación gradación AGR. FINO N°4 DE RIO CASA BLANCA con los rangos establecidos en la especificación empleada por ARGOS.

Figura N° 15: Verificación gradación AGR. FINO N°4 DE RIO CASA BLANCA con los rangos establecidos en la especificación del INVIAS –ART 500-13.

Figura N° 16: Pasadores de carga.

Figura N° 17: Verificación separación entre dovelas.



Figura N° 18: Barras de amarre.

Figura N° 19: Barras de amarre (Junta longitudinal)- carril exterior, calzada norte.

Figura N° 20: Detalles del reforzamiento de losas con una parrilla de acero.

Figura N° 21: Detalles del reforzamiento de losas con dos parrillas de acero.

Figura N° 22: Refuerzo doble parrilla en construcción de una losa con presencia de cámara de Emtel.

Figura N° 23: Refuerzo doble parrilla en construcción de un reductor de velocidad.

Figura N° 24: Riego de agua sobre la superficie (sub base) a fundir.

Figura N° 25: Instalación de formaletas.

Figura N° 26: Empleo de pines para la fijación de las formaletas.

Figura N° 27: Colocación del concreto.

Figura N° 28: Vibrador de aguja – Proceso de vibrado en fundición de reductor de velocidad.

Figura N° 29: Rodillo.

Figura N° 30: Regleta flotante (flota canal) o Madona.

Figura N° 31 y N°32: Proceso de Micro texturizado.

Figura N° 33: Proceso de Macro texturizado.

Figura N° 34: Cepillo empleado para realizar el Macro texturizado.

Figura N° 35: Medición longitud del cepillo (L=122 cm).

Figura N° 36: Medición ancho y separación de cerdas. (a=4mm, s=2cm).

Figura N° 37: Curado de losas – Cubrimiento con película líquida.

Figura N° 38: Aplicación película líquida de Anti sol.

Figura N° 39: Hormigueros.

Figura N° 40: Equipo con disco de diamante.



Figura N° 41: Ilustración corte de juntas transversales.

Figura N° 42: Ilustración corte de juntas longitudinales.

Figura N° 43: Sello de juntas - Aplicación de silicona autonivelante.

Figura N° 44: Conformación espacio Público.

Figura N° 45: Losetas guía.

Figura N° 46: Losetas toperol.

Figura N° 47: Losetas paradero.

Figura N° 48: Losetas lisas.

Figura N° 49: Adoquines.

Figura N° 50: Bordillo A80.

Figura N° 51: Bordillo A10.

Figura N° 52: Rampas.

Figura N° 53: Espacio Público conformado.

Figura N° 54: Losetas destruidas.

Figura N° 55: Juntas entre bordillos borde de vía.

Figura N° 56: Alineación adoquines.

Figura N° 57: Rotación de las calzadas.

Figura N° 58: Presencia de recamaras.

Figura N° 59: Proceso de conformación de sub base con herramientas manual.

Figura N° 60 y 61: Fisuras presentadas en losas k0+051 y k0+090 Calzada Norte.



LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Repeticiones de carga por eje para el diseño de la estructura.

Tabla N° 2: Resumen de resultados de laboratorio de la caracterización del suelo de subrasante.

Tabla N°3: Resultados de resistencia de la subrasante según estudio del año 2012.

Tabla N° 4: Resultados de resistencia de la subrasante según estudio geotécnico actualizado, realizado en el año 2018.

Tabla N° 5: Consolidado de resultados de los ensayos de flexo tracción, realizados durante la ejecución del proyecto.

Tabla N° 6: Tabla 220-1. Requisitos de los materiales para terraplenes.

Tabla N° 7: Verificación resultados de ensayos realizados a Suelo granular de fresado para mejoramiento de subrasante.

Tabla N° 8: Verificación resultados de ensayos realizados a Suelo granular (roca muerta) para mejoramiento de la subrasante. Agregados Puracé.

Tabla N° 9: Tabla 320-1. Uso típico de las diferentes clases de sub base granular.

Tabla N° 10: Tabla 320-2. Requisitos de los agregados para sub bases granulares.

Tabla N°11: Tabla 320-3. Franjas granulométricas del material de sub base granular.

Tabla N° 12: Resultados de verificación requisitos de los agregados para sub bases granulares Tabla 320-2.

Tabla N° 13: Resultados de verificación franjas granulométricas del material de sub base granular, Tabla 320-3.

Tabla N°14: Verificación del grado de compactación, según resultados obtenidos de densidad máxima de laboratorio y densidades de campo.

Tabla N° 15: Reporte Diseño de Mezcla concreto fraguado normal.

Tabla N° 16: Reporte Diseño de Mezcla concreto fraguado rápido.

Tabla N° 17: Normas utilizadas para la ejecución de los ensayos a los materiales que conforman el concreto.



Tabla N° 18: Tabla 500-1. Granulometría para el agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico.

Tabla N° 19: Tabla 500.3. Granulometría para el agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico.

Tabla N° 20: Verificación criterio del 45% de material retenido entre dos tamices consecutivos.

Tabla N° 21: Tabla 500-2. Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico.

Tabla N° 22: Verificación del cumplimiento requisitos Tabla 500-2.

Tabla N° 23: Tabla 500-3. Granulometrías para el agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico.

Tabla N°24: Tabla 500-4. Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico.

Tabla N° 25: Verificación resultado de ensayos – requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico.

Tabla N° 26: Tabla 500-5. Especificaciones para el material de sello de juntas en pavimentos de concreto hidráulico.

Tabla N° 27: Tabla 500-6. Criterios de diseño para la mezcla de concreto en pavimentos de concreto hidráulico.

Tabla N° 28: Verificación de los requisitos establecidos para el diseño de mezcla de concreto en pavimentos de concreto hidráulico.

Tabla N° 29: Rangos de los resultados de los ensayos de asentamiento y flexo tracción, realizados durante la ejecución del proyecto.

Tabla N° 30: Tabla 500-7. Ensayos de verificación sobre los agregados para pavimentos de concreto hidráulico.

Tabla N° 31: Tabla 500-10. Factor de ajuste del precio unitario por resistencia (FAR).



LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Resolución No.108 del 08 de junio de 2018.

Anexo B: Certificación práctica profesional – Pasantía.



1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Resolución FIC-820 de 2014 (reglamento de trabajo de grado en la Facultad de Ingeniería Civil), mediante la cual se establece la modalidad de pasantía como práctica profesional para optar por el título profesional de Ingeniera Civil en la Universidad del Cauca, se realizó una participación activa como auxiliar de Ingeniería brindando apoyo en la supervisión de la ejecución del proyecto **REHABILITACIÓN VIAL (PAVIMENTACIÓN EN CONCRETO RIGIDO) Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO PARA EL SETP (SISTEMA ESTRATEGICO DE TRANSPORTE DE POPAYÁN) DEL TRAMO 9A: TRANSVERSAL 9N (CARRERA 9 A VARIANTE)**, que consistió en el seguimiento del proceso de construcción de una vía doble calzada, de dos carriles cada una, paraderos de buses y espacio público.

En este documento se presenta información inicial del proyecto y de las actividades realizadas durante el periodo de la pasantía, basadas en los objetivos planteados en el anteproyecto, labores requeridas por la Entidad y a la revisión de los criterios dados en el artículo 500 -13 Pavimento de Concreto Hidráulico.

Movilidad Futura S.A.S me brindó la oportunidad de participar en la construcción del proyecto del Tramo 9A, del cual obtuve un gran aprendizaje en ámbitos técnicos y sociales, que contribuyeron a la primer formación profesional y personal.

Como futura egresada en el programa de ingeniería civil de la Universidad del Cauca, ha sido de gran importancia complementar las enseñanzas obtenidas en las aulas y laboratorios de la institución, con la participación en procesos de trabajo, que contemplan el involucrarse en ámbitos constructivos y administrativos en la ejecución de dicho proyecto.



2. RESUMEN

El trabajo de grado en modalidad de pasantía se desarrolló durante el periodo correspondiente entre los meses de agosto y diciembre de 2018, como auxiliar de Ingeniería dando apoyo a la supervisión de la ejecución del proyecto, REHABILITACIÓN VIAL (PAVIMENTACIÓN EN CONCRETO RÍGIDO) Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO PARA EL SETP (SISTEMA ESTRATEGICO DE TRANSPORTE DE POPAYÁN) DEL TRAMO 9A: TRANSVERSAL 9N (CARRERA 9 A VARIANTE).

Las actividades desarrolladas para el cumplimiento de los objetivos propuestos se realizaron durante el periodo de tiempo planeado, sin mayores dificultades, adquiriendo conocimientos prácticos que complementan los conocimientos obtenidos en la universidad.

La pasantía se desarrolló principalmente en oficina, pero de igual forma se plantearon actividades de campo, que complementaban y permitían un mejor desarrollo de la pasantía.

Hubo actividades de oficina referentes a la revisión de informes semanales y mensuales de Interventoría, resultados de ensayos de laboratorio, revisión de Pre Actas y Actas y demás labores requeridas por el tutor de la Entidad, para las cuales se debían realizar las observaciones a que dieran lugar.

Asimismo se establecieron actividades de campo, correspondientes a la revisión del cumplimiento del Artículo 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO, concerniente a los materiales que componen el concreto a emplear en la fundición de las losas, elementos estructurales a utilizar en zonas específicas, procesos constructivos, el curado adecuado del concreto, la revisión de los equipos



empleados en la etapa de construcción de las losas y las condiciones para el recibo de los trabajos.

Obtuve un aprendizaje desde las diferentes áreas que conciernen al adecuado desarrollo del proyecto, como: el trabajo Social, Predial, Ambiental, Forestal y de Redes. Complemento esencial de la parte técnica, área que compete directamente en la formación de mi carrera.

Se realizó visitas de obra para revisar los inconvenientes presentados en los procesos constructivos del pavimento referentes a: reubicación de redes húmedas (acueducto y alcantarillado) y redes secas (telefonía e internet). Verificar la separación de las parrillas de acero, pasadores y barras de amarre, recubrimiento del acero, revisión de las formaletas, vaciado del concreto, manejo del vibrado para lograr un correcto acabado del mismo, supervisión del curado y revisión de las losas después del desformaleteado, en donde se identificaban hormigueros y demás inconvenientes en acabados, verificando los requerimientos solicitados en la obra.

Y en la parte del espacio público se verificó: acabados, alineamiento e inconvenientes presentados como: asentamientos, huellas y deterioro de los elementos (bordillos, adoquines, losetas y franja de ajuste).



3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Participar de manera activa en el desarrollo del proyecto de rehabilitación vial y construcción del espacio público de la vía Transversal novena norte, como auxiliar de Ingeniería dando apoyo a la supervisión de la ejecución de un proyecto del Sistema Estratégico de Transporte, cumpliendo con las actividades asignadas por el Ingeniero Federico C. Lehmann M. supervisor del proyecto por parte del Ente Gestor (Movilidad Futura S.A.S.) y del Ingeniero Diego Acevedo Domínguez, residente de Interventoría.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un seguimiento a las diferentes actividades desarrolladas en la obra durante el tiempo que dure la pasantía, de acuerdo a las visitas del proyecto programadas por la entidad.
- Inspeccionar que la obra se ejecute de acuerdo al Diseño de Pavimentos realizado para la Rehabilitación Vial del Tramo 9A.
- Verificar que la obra se ejecute de acuerdo al ARTICULO 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.
- Apoyar en la revisión de informes mensuales de interventoría y documentación relacionada con el proyecto.
- Apoyar en la revisión de los ensayos de laboratorio entregados por la interventoría.
- Verificar los controles exigidos de los materiales empleados en la ejecución del proyecto.
- Informar oportunamente a la entidad, acerca de daños, falta de suministros, posibles deficiencias en: materiales, procesos constructivos, equipos, mano de obra o cualquier otro factor que pueda afectar la construcción.



4. INFORMACIÓN GENERAL

4.1 ENTIDAD RECEPTORA



Nombre: **MOVILIDAD FUTURA S.A.S.**

NIT: 900323358-2.

Dirección: Carrera 3 # 1-28, Barrio La Pamba.

Teléfonos: 8205898.

Página web: <http://movilidadfutura.gov.co/>

Tipo de sociedad: Sociedad por Acciones Simplificada.

Actividad principal: Planear, ejecutar, implementar, construir y poner en marcha el SISTEMA ESTRATÉGICO DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS de la ciudad de Popayán.

Gerente: **John Felipe Ramírez Bolaños.**

Contratista de obra: Consorcio Cauca 2017.

Contratista de Interventoría: IAR PROYECTOS S.A.S.

Ingeniero Líder de Infraestructura: Luis Alberto García López.

Ingeniero Supervisor del Proyecto: Federico Carlos Lehmann Mosquera.



MISIÓN

“Movilidad Futura S.A.S. gestiona, planea, controla y supervisa la implementación, construcción y puesta en marcha del Sistema Estratégico de Transporte Público de Pasajeros de la Ciudad de Popayán, con principios de economía, eficiencia y sostenibilidad, contribuyendo al desarrollo social, ambiental, cultural y urbanístico”.



VISIÓN

“En el 2021 Movilidad Futura S.A.S., será reconocida como una empresa eficiente en el desarrollo y gestión de la Implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público de pasajeros de la ciudad de Popayán, por su contribución al mejoramiento de la calidad de vida y el desarrollo integral de la Ciudad.”





4.2 TUTOR POR PARTE DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA

MG. Hugo León Arenas Lozano.

4.3 TUTOR POR PARTE DE LA ENTIDAD RECEPTORA

Ingeniero Gerente de la Entidad: John Felipe Ramírez Bolaños.

Ingeniero Líder de Infraestructura: Luis Alberto García López.

Ingeniero supervisor del proyecto: Federico Carlos Lehmann Mosquera.

4.4 DURACIÓN DE LA PASANTÍA

La modalidad adoptada con la que se desarrolló el trabajo de grado tuvo una duración de 576 horas, iniciando el 08 de Agosto y terminando el 28 de diciembre de 2018, teniendo en cuenta que la asistencia se realizó de forma continua de lunes a viernes, 7 horas diarias, debido al horario que maneja la Entidad.

5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.

5.1 GENERALIDADES



Fuente: Documentación Movilidad Futura S.A.S.

Figura N° 1: Proyecto Rehabilitación Vial Y Construcción Del Espacio Público Para El SETP Del Tramo 9A

El Proyecto consiste en la rehabilitación del tramo 9A, transversal 9 N, entre la Glorieta las Brisas y la variante de Popayán. Esta intervención comprendió la demolición de la estructura de pavimento existente y la construcción de una estructura de pavimento en concreto hidráulico, pasando una calzada de doble carril a doble calzada con dos carriles cada una, con un amplio separador en el cual se implementó una ciclo ruta en toda la longitud del tramo. Dicho separador permitió aberturas para construir retornos vehiculares, así mismo, la construcción del espacio público correspondiente a un andén. Además, se proyectaron paraderos de buses o bahías para el cargue y descargue de pasajeros usuarios del transporte público.

Este proyecto surgió como respuesta al aumento de flujo vehicular en la zona, siendo esta vía de gran importancia por su localización y crecimiento de población del sector. Es por ello que fue necesario pensar en un mejoramiento vial y así




capitalizar adecuadamente los niveles de crecimiento económico, integrándolo al PROYECTO DEL SISTEMA ESTRATÉGICO DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS PARA LA CIUDAD DE POPAYÁN.

El Proyecto se construyó por etapas. Se encuentra totalmente construida la calzada norte, tanto en pavimento como en espacio público, en proceso constructivo la calzada sur y posteriormente se realizará la construcción de la ciclo ruta.

5.2 LOCALIZACIÓN



Fuente: Google Maps

SECTOR (COLOR)	DIRECCION
	Intersección (Transversal 9 N con Variante Po payán)
	Transversal 9 N
	Intersección (Transversal 9 N con Glorieta las Brisas)

Fuente: Documentación Movilidad Futura S.A.S.

Figura N° 2: Localización general del proyecto.

El proyecto de **Rehabilitación Vial Y Construcción Del Espacio Público Para El SETP Del Tramo 9A**, carrera 9 a variante (ver figura N°2), vía que de acuerdo a los valores de tránsito de diseño, que son mayores a 5 millones de ejes equivalentes de 80 KN en el carril de diseño, se clasifica como NT3, según el INVIAS.



Es una vía de gran flujo vehicular y peatonal debido a la presencia de varios conjuntos residenciales y colegios. Además del proyecto Centro Comercial Monserrat Plaza, el cual se encuentra aún en construcción y la vía 15 en etapa de planeación, que llegará a empalmar con la transversal 9N. Es fácil encontrar variedad de restaurantes, droguerías y demás servicios complementarios.

Debido a la diferencia de niveles de las viviendas y de conjuntos residenciales se requirió la variación de cotas de la vía, logrando la menor afectación y obteniendo un diseño apropiado, donde no son perceptibles dichas variaciones y se dio un adecuado tránsito peatonal y vehicular. Diseño basado en los requerimientos del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, versión 2008, del Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías.



6. EJECUCIÓN DE LA PASANTÍA

Las actividades se realizaron de acuerdo con lo estipulado en el anteproyecto aprobado por la Universidad del Cauca, mediante la Resolución No.108 del 08 de junio de 2018.

A continuación un resumen de la ejecución de la pasantía, mediante un cronograma de trabajo, donde se indica el total de horas por mes dedicadas al proyecto, cumpliendo con las 576 horas estipuladas por la Universidad.

Semana/Mes	Número de Horas					Total Horas
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1	0	37	42	35	28	
2	32	35	35	35	0	
3	23	39	42	35	42	
4	42	29	28	31	21	
Total Hora/Mes	97	140	147	136	91	611



6.1 CAPÍTULO 1: ESTUDIOS INICIALES

Para el dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido del tramo 9A, Transversal 9N, comprendido entre la Glorieta las Brisas y la variante Norte de Popayán, se utilizó la información de los siguientes estudios, realizados por la Universidad del Cauca y por la firma CITEC Ltda Ingeniería y Geotecnia.

6.1.1. ESTUDIO DE LA VARIABLE TRANSITO:

CUANTIFICACIÓN DE LAS REPETICIONES DE CARGA POR EJE EN EL PERIODO DE DISEÑO:

Con base en el cálculo del número total de vehículos acumulados por cada categoría en el periodo de diseño y la distribución de cargas por eje, se resume en la tabla siguiente, las repeticiones de carga por eje, que permitirán realizar los análisis de sensibilidad y dimensionamiento de la estructura de pavimento rígido.

Tipo de eje	Carga por eje (ton)	Periodo de diseño de 20 años	Periodo de diseño de 30 años
Simple Rueda Simple	2.5	979556	1844925
	4	8162966	15374378
	6	1469334	2767388
Simple Rueda Doble	6	9142522	17219303
	10	10596183	1537438
Tandem Rueda doble	21	408148	768719
	22	448963	845591
Tridem Rueda Doble	24	204074	384359

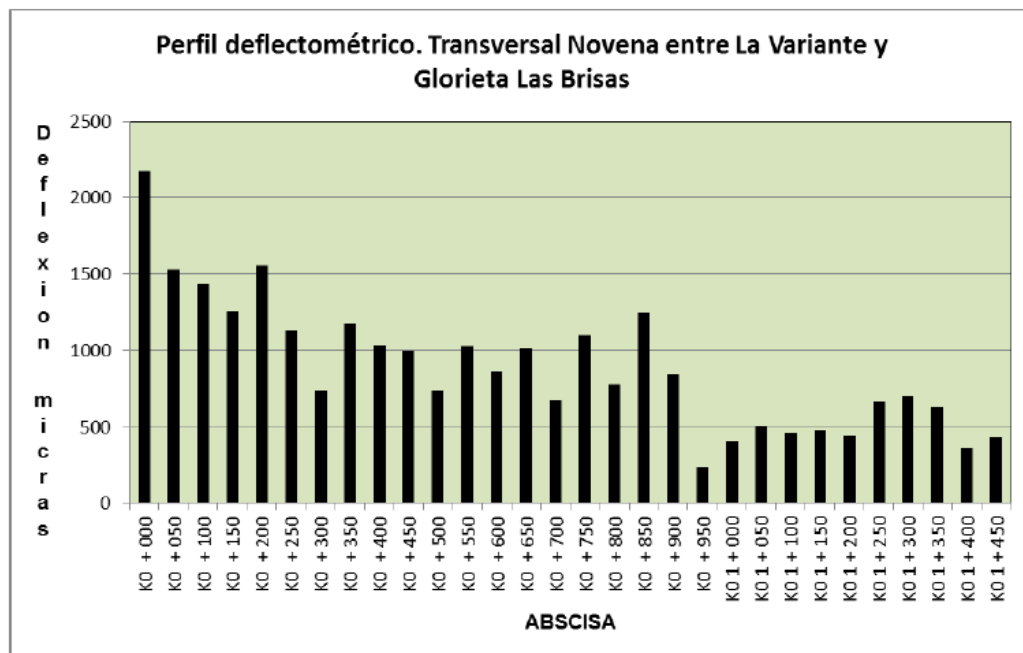
Fuente: Documentación Movilidad Futura S.A.S.

Tabla N°1: Repeticiones de carga por eje para el diseño de la estructura.

6.1.2. EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA:

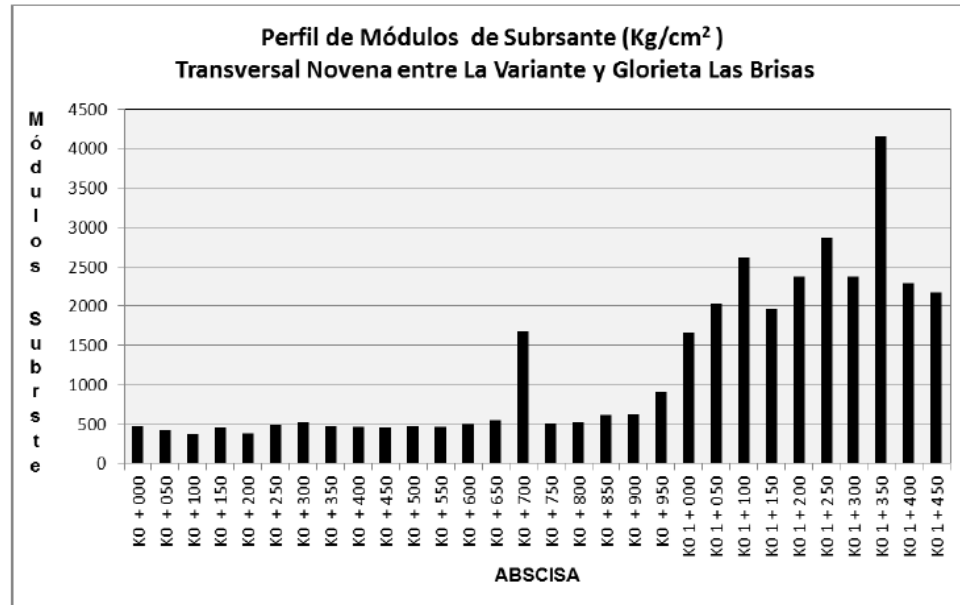
La Universidad del Cauca, realizó una evaluación deflectométrica en el año 2012 para el Sistema Estratégico de Transporte Público de Popayán, utilizando un deflectómetro de impacto FWD KUAB 50, efectuando mediciones cada 50 m, a lo largo de todo el tramo pavimentado, con medidas en los dos carriles.

Como resultado de esta evaluación además de obtener los registros deflectométricos se realizó la estimación de los módulos resilientes de la subrasante, información que se considera de gran utilidad, porque permite conocer en forma detallada la respuesta de la subrasante.



Fuente: Documentación Movilidad Futura S.A.S.

Figura N°3: Perfil Deflectométrico Transversal Novena entre la Variante y Glorieta las Brisas.



Fuente: Documentación Movilidad Futura S.A.S.

Figura N°4: Perfil de módulos de subrasante (kg/cm2) Transversal Novena entre la Variante y Glorieta las Brisas.

Evaluando los perfiles de deflexiones y de módulos se pueden establecer dos sectores bien definidos con respuestas diferentes.

El primer sector está comprendido entre la intersección de la Transversal 9ª Norte con la Variante de Popayán, hasta la abscisa K0+950, que se caracteriza por presentar los mayores valores de deflexión, menores valores de módulo resiliente y mayor grado deterioro desde el punto de vista estructural.

El segundo sector que está delimitado desde la abscisa K0+950 hasta la Glorieta de Brisas, se caracteriza por presentar un mejor comportamiento, asociado a bajos valores deflectométricos, altos módulos resilientes en la subrasante y sin presencia de deterioros estructurales.

Los resultados de esta auscultación deflectométrica sirvieron como referencia para la programación de la evaluación geotécnica y para el dimensionamiento del pavimento de este tramo.



6.1.3. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA:

Se tomó como base los estudios realizados en el año 2012 por la Universidad del Cauca: evaluación deflectométrica y geotécnica, y se verificó mediante una evaluación geotécnica complementaria, en los primeros días del mes de febrero del año 2018, realizados por la firma **CITEC Ltda Ingeniería y Geotecnia** de la ciudad de Popayán.

Este estudio contempló la realización de 5 apiques, con la finalidad de ampliar la información de la subrasante en la totalidad del ancho de la vía, y para obtener mayores registros de la resistencia de la subrasante medidos con pruebas de CBR inalterado, analizando su respuesta en condiciones naturales y con inmersión.

Las perforaciones y muestreos se realizaron sobre las zonas de ampliación de la vía, localizadas lateralmente a los lados de la estructura existente, cubriendo la totalidad del tramo. Los apiques se llevaron hasta una profundidad de 1.50 m abajo del nivel de suelo de la subrasante, tomándose muestras en diferentes profundidades, para determinar las condiciones de humedad, plasticidad, y resistencia CBR.

Según la información geotécnica obtenida en las zonas laterales de la calzada existente, se puede establecer que la subrasante, está conformada por un suelo fino limoso de color amarillo oscuro y amarillo con vetas grises y cafés en la mayoría del tramo. Esta capa **subrasante se clasifica según SUCS como un limo de alta compresibilidad MH en todo el tramo.**

Analizando la información de las propiedades físicas de los suelos de subrasante, que se presentan en la siguiente tabla, donde se consignan las condiciones de humedad y plasticidad obtenida en profundidad en los diferentes apiques



realizados, se puede establecer que la subrasante presenta una consistencia media y valores de humedad en un rango de medios a altos (35.7% - 96.5%), valores típicos de los suelos correspondientes a las cenizas volcánicas de la formación Popayán.

Apique	Prof (m)	Wn%	LL %	Lp %	Ip %	Ic	Clasificación SUCS
AP #1 M1	0.50	41.9	122.3	84.3	38.0		MH
AP #1 M2	1.50	91.4	128.4	77.4	51.1		MH
AP# -1 M3	2.00	96.5					
AP#- 2 M1	0.50	63.0					
AP#- 2 M2	0.70	85.9	116.1	63	53.1		MH
AP# -2 M3	1.00	79.34					MH
AP# -2 M4	1.50	90.3					
AP #3 M1	0.50	40.9					
AP #3 M2	0.70	79.6	111.5	78.7	32.8		MH
AP #3 M3	1.0	72.4					
AP# -3 M4	1.50	82.4					
AP #4 M1	0.50	35.7					MH
AP #4 M2	1.00	38.6					
AP #4 M3	1.20	38.8	74.5	42.5	32		MH
AP# -4 M4	1.50	43.3					
AP #5 M1	0.50	41.9					
AP #5 M2	0.60	49.5	79.9	45.5	34.4		MH
AP #5 M3	1.00	47.4					
AP# -5 M4	1.50	46.2					

Fuente: Documentación Movilidad Futura S.A.S.

Tabla N°2: Resumen de resultados de laboratorio de la caracterización del suelo de subrasante.



Sondeo o Apique.	Localización	CBR Medido %	Ensayo PDC		Resultados de Deflectómetro		
			PDC Mm/Golpe	CBR %	Deflexión Máxima mm	Deflexión Último sensor mm	Módulo Resiliente Kg/cm ²
Sondeo No.1	K0+010		65	2.7	1.52	0.135	419
Sondeo No.2	Transversal 9 # 57N-83 K0+120		46	4.0	1.55	0.146	387
Apique No.57	K0+120	5.2					
Sondeo No.3	K0+320		44	4.2	1.03	0.121	465
Sondeo No.4	Transversal 9 # 56N-90 K0+530		60	3.0	0.86	0.113	501
Sondeo No.5	Transversal 9 # 57N-138 K0+720		48	3.8	0.78	0.107	525
Apique No.56	K0+870	5.1			0.24	0.020	635
Sondeo No.6	Diagonal entrada Rincón del Bosque K1+050		38	5.0	0.50	0.028	682 a 1200
Sondeo No.7	Transversal 9 # 61BN-72 K1+230		28	7.0	0.69	0.024	794 a 1200

Fuente: Documentación Movilidad Futura S.A.S.

Tabla N°3: Resultados de resistencia de la subrasante según estudio del año 2012.

Apique	Sitio	Profund (m)	Densidad Seca gr/cc	Sin sumergir		Sumergido		
				Humedad Penetración %	CBRR %	Humedad Penetración	CBR %	% Expa
1	K0+040	0.50	0.968	83.5	11	101.5	5.3	0.12
2	K0+520	0.70	0.888	85.9	5	101.2	2.5	0.22
3	K0+720	0.70	0.970	79.6	6.3	91.6	2.5	0.51
4	K0+870	1.20	1.395	38.8	11	51.9	3	0.37
5	K1+200	0.60	1.412	49.5	6.0	50.03	5.5	0.24

Fuente: Documentación Movilidad Futura S.A.S.

Tabla N°4: Resultados de resistencia de la subrasante según estudio geotécnico actualizado, realizado en el año 2018.



Los resultados de resistencia CBR obtenidos, permitieron establecer que efectivamente no hay uniformidad a lo largo del tramo como lo reportó el estudio del año 2012, y que los valores de resistencia de la subrasante en las condiciones de humedad natural son buenas con valores que oscilan entre 5 y 11%, pero esta respuesta de la subrasante se afecta significativamente cuando se evalúa en condiciones críticas de inmersión, obteniéndose valores en tres apiques menores o iguales al 3%, situación que ameritó el diseño de un mejoramiento de la subrasante para proteger al pavimento en los meses de altos niveles de precipitación, cuando se incrementa la humedad en la subrasante y se disminuye la resistencia. Los suelos presentan valores bajos de expansión (0.12 a 0.5%).

6.1.4. UNIDADES HOMOGENEAS DE DISEÑO:

Según los resultados de resistencia obtenidos en los estudios geotécnicos, se pudo establecer que a lo largo del tramo se presentan dos sectores bien definidos, el primer sector comprendido entre la intersección de la transversal 9ª Norte con la Variante Norte hasta la abscisa K1+00, donde los valores de resistencia son bajas y el segundo sector comprendido entre la abscisa K1+00 hasta la Glorieta Las Brisas, donde las condiciones de resistencia son altas.

Teniendo en cuenta que las zonas laterales de la vía de la transversal 9ª Norte, donde se ampliaría la vía para la construcción de las dos calzadas, se presentaban suelos de subrasante con altas plasticidades, elevados contenidos de humedad y baja resistencia de la subrasante, con valores de CBR cercanos a 2.50% para las condiciones de inmersión, se planteó un mejoramiento de la capacidad de soporte de la estructura del pavimento, utilizando la alternativa combinada de la colocación de un refuerzo con geosintéticos y la construcción de un material de reemplazo que permitió una mejor distribución de los esfuerzos generados por la aplicación de las cargas.

El procedimiento de diseño para el mejoramiento del soporte se realizó utilizando las metodologías de AASHTO y la de J. P Giroud and J. Hands.

6.1.4.1. Unidad homogénea 1, Sector entre la intersección con la Variante de Popayán y la abscisa K1+ 000:

Se analizó los resultados obtenidos por los métodos mencionados anteriormente. Se recomendó en la unidad homogénea 1, reforzar la subrasante, utilizando 35 cm de un material de mejoramiento con CBR mínimo de 15% combinado con una geomalla biaxial, Geomatrix tipo BX30, con resistencia mínima de 20 KN/m. En la siguiente figura se presenta el esquema del mejoramiento de la primera unidad homogénea de diseño.



Figura N°5: Esquema del mejoramiento unidad homogénea 1.

6.1.4.2. Unidad homogénea 2. Sector K1+000. Hasta Glorieta Las Brisas:

La segunda unidad homogénea que comprende el sector entre la abscisa K1+000 hasta la Glorieta Las Brisas, donde la subrasante presentó mejores condiciones de plasticidad, humedad y resistencia, se planteó construir una capa de mejoramiento de 15 cm y posteriormente colocar una geomalla biaxial, Geomatrix tipo BX30, de resistencia mínima a la tracción de 20KN/m, tal como se muestra en el esquema de la figura siguiente:

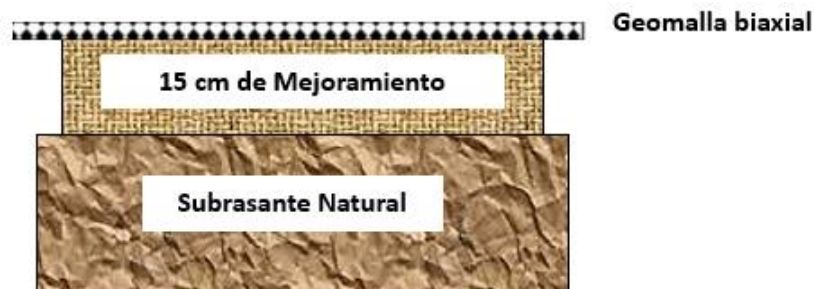


Figura N°6: Esquema del mejoramiento unidad homogénea 2.



6.2. CAPÍTULO 2: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

6.2.1. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA LOSA SEGÚN EL MÉTODO DE PCA 1984:

Con base en el método de diseño de pavimentos rígidos de la **Pórtland Cement Association (PCA) 1984**, se estableció el dimensionamiento del espesor de la losa. La solución de diseño correspondió a 25 cm de espesor de losa de concreto, apoyada sobre una capa de sub base granular de 20 cm, cumple los criterios generales de diseño del método.

Los cálculos del espesor y su verificación para los análisis de Fatiga y Erosión, para los ejes simples de rueda doble, tandem y tridem se efectuaron utilizando los criterios del método PCA y los cálculos de esfuerzos y deflexiones de los ejes simples de rueda simple se efectuaron utilizando la teoría de esfuerzos y deflexiones simplificada de Westergaard.

6.2.2. Solución definitiva de la estructura de pavimento rígido. Primer Sector, comprendido entre la intersección con la Variante de Popayán y la abscisa K1+ 000:

El primer sector del tramo de la transversal 9ª Norte, comprendido entre la intersección con la Variante de Popayán, hasta la abscisa K1+000, donde la subrasante presentó características de resistencia menores al resto del tramo, se recomendó remover la estructura existente, descender hasta la subrasante a una cota de 80 cm y reforzar el apoyo con un mejoramiento, que contempla primero construir una capa de mejoramiento de 35 cm, seguida de una geomalla biaxial de resistencia a la tracción de 20KN/m. Posteriormente construir la nueva estructura de pavimento rígido que contemple una capa de sub base granular de 20 cm, y finalmente una capa de rodadura en concreto hidráulico de 25 cm con módulo de rotura de 4.2 MPa.

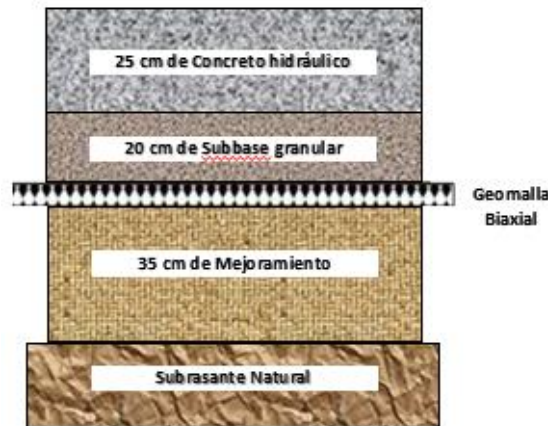


Figura N° 7: Diseño Pavimento rígido primer sector – intersección con la variante de Popayán y la abscisa K1+000.

6.2.3. Solución definitiva de la estructura de pavimento rígido. Segundo Sector, comprendido entre la abscisa K1+000 a la Glorieta Las Brisas:

Sobre estas dos calzadas del segundo sector, comprendido entre las abscisas K1+000 hasta la intersección de la Transversal 9ª Norte con la Glorieta de Brisas, se recomendó remover la estructura flexible existente, descender hasta la subrasante hasta una cota inferior de 60 cm, para construir inicialmente una capa de mejoramiento de 15 cm, luego colocar una geomalla biaxial de resistencia mínima a la tracción de 20KN/m y posteriormente construir la estructura de pavimento rígido que contemple una capa de sub base granular de 20 cm y finalmente construir una capa de rodadura en concreto hidráulico de 25 cm de espesor con módulo de rotura de 4.2 Mpa. Se presenta la solución de este sector.

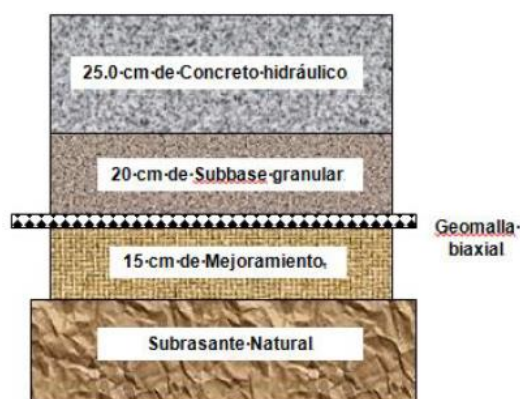


Figura N° 8: Diseño Pavimento rígido segundo sector – abscisa K1+000 a la Glorieta Las Brisas.

6.2.4. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO:

Para el dimensionamiento del pavimento rígido, se ha previsto la utilización de un concreto hidráulico producido en planta, que proporcione un valor mínimo de módulo de rotura a flexión de 4.2 Mpa, con un buen control de calidad. Se adoptan las siguientes características mecánicas del concreto: Módulo de Elasticidad del concreto $E = 280000 \text{ Kg/cm}^2$ y relación de Poisson $\nu = 0.15$, **consideradas en el método de la PCA.**

6.2.5. VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXO TRACCIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO:

Interventoría mantenía un control en la verificación de la resistencia a la Flexo tracción, tomando muestras de concreto por cada jornada de trabajo, las cuales eran ensayadas a los 7 y 28 días de edad.



Figura N°9: Toma de muestras para el ensayo de Flexo tracción.



Se realizó la respectiva revisión de los resultados de ensayos de flexo tracción, presentados en los informes mensuales de Interventoría, y de presentarse resistencias inferiores a la de diseño, se informaba de forma inmediata al Ente Gestor (Movilidad Futura S.A.S.) para que tomaran los correctivos a que dieran lugar.

En la siguiente tabla se presenta un registro consolidado de los resultados en general obtenidos durante la ejecución del proyecto.

REGISTRO CONSOLIDADO DE RESULTADOS DE LAS RESISTENCIAS DE CONCRETOS			
CALZADA	RESISTENCIA DE DISEÑO (Mpa)	RANGO RESISTENCIAS OBTENIDAS (Mpa)	VERIFICACIÓN
NORTE	4.2	4.2 - 4.8	CUMPLE
SUR		4.1 - 4.4	CUMPLE

Tabla N°5: Consolidado de resultados de los ensayos de flexo tracción, realizados durante la ejecución del proyecto.



6.3. CAPÍTULO 3: CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RIGIDO

MATERIALES QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO:

Fuente de sub base: Conexpe

Fuente del material de mejoramiento: Material in situ y Agregados Puracé.

6.3.1. CONTROL DEL PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE:

Especificación para subrasante:

Interventoría realizó la verificación de acuerdo al Artículo 210-13 Excavación de la Explanación, Canales y Préstamos:

“Para el control de compactación de la subrasante, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones humedad-peso unitario”

Para este proyecto se especifica que el grado de compactación sea $\geq 90\%$.

Se realizó la revisión de los informes mensuales entregados por Interventoría, donde se presentaron los resultados de ensayos de humedad-peso unitario (ensayo de compactación) que sería la base para evaluar el grado de compactación del material en campo, mediante el ensayo de densidad de campo, con los cuales se llevó un control y la respectiva verificación del cumplimiento del grado de compactación de la subrasante, para la respectiva liberación de tramos que permitieron la continuación de las labores.

6.3.2. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE:

Especificación para suelo de mejoramiento:

Interventoría realizó la verificación de acuerdo al Artículo 230-13 Mejoramiento de la subrasante con adición de materiales, y la calidad de los materiales para mejoramiento de subrasante que debían cumplir los requisitos exigidos en el numeral 220.2 del artículo 220 “Terraplenes”, para los denominados suelos seleccionados.



CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUELOS SELECCIONADOS	SUELOS ADECUADOS	SUELOS TOLERABLES
Partes del terraplén a las que se aplican		Todas	Todas	Cimiento y Núcleo
Tamaño máximo, mm	E-123	75	100	150
Porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) en masa, máximo	E-123	80	80	-
Porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) en masa, máximo	E-123	25	35	35
Contenido de materia orgánica, máximo (%)	E-121	0	1.0	1.0
Límite líquido, máximo (%)	E-125	30	40	40
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-126	10	15	-
CBR de laboratorio, mínimo (%) (Nota 1)	E-148	10	5	3
Expansión en prueba CBR, máximo (%)	E-148	0.0	2.0	2.0
Índice de colapso, máximo (%) (Nota 2)	E-157	2.0	2.0	2.0
Contenido de sales Solubles, máximo (%)	E-158	0.2	0.2	-

Fuente: Artículo INVIAS 220-13 TERRAPLENES.

Tabla N°6: Tabla 220-1. Requisitos de los materiales para terraplenes.

No se realizó la revisión de la franja de gradación del material de mejoramiento, debido a que no hay especificación de la gradación para este material. Solo se realizó la verificación del TM y los demás ensayos mencionados en la tabla 220-1.

6.3.2.1. Resultados de ensayo: Suelo granular de fresado para mejoramiento de subrasante, material in situ.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	RESULTADO DEL ENSAYO	CUMPLE O NO CUMPLE
Tamaño máximo, mm	E-123	75	CUMPLE
Porcentaje que pasa el tamiz de 2mm (No. 10) en masa	E-123	30.6	CUMPLE



Porcentaje que pasa el tamiz 75 μm (No. 200) en masa	E123	8.6	CUMPLE
Contenido de materia orgánica, (%)	E-121	No se hizo el ensayo	-----
Límite líquido (%)	E-125	23.5	CUMPLE
Índice de plasticidad (%)	E-126	2.7	CUMPLE
CBR de laboratorio (%)	E-148	21.4	CUMPLE
Expansión en prueba CBR (%)	E-148	0.3	CUMPLE
Índice de colapso, máximo (%)	E-157	No se hizo el ensayo	-----
Contenido de sales solubles, máximo (%)	E-158	Nos e hizo el ensayo	-----

Tabla N°7: Verificación resultados de ensayos realizados a Suelo granular de fresado para mejoramiento de subrasante.

El material de fresado cumple con todos los requisitos de calidad especificados para ser mejoramiento de subrasante, el porcentaje de expansión se acepta en vista de que el valor es muy cercano a cero.

6.3.2.2. Resultados de ensayo: Suelo granular (roca muerta) para mejoramiento de la subrasante, - Agregados Puracé.

De este material sólo se reportan ensayos de granulometría y limite líquido y plástico.

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INV	RESULTADO DEL ENSAYO	CUMPLE O NO CUMPLE
Tamaño máximo, mm	E-123	100	NO CUMPLE
Porcentaje que pasa el tamiz de 2mm (No. 10) en masa	E-123	8.5	CUMPLE
Porcentaje que pasa el tamiz 75 μm (No. 200) en masa	E123	3.3	CUMPLE
Contenido de materia orgánica, (%)	E-121	No se hizo el ensayo	
Límite líquido (%)	E-125	33.7	NO CUMPLE
Índice de plasticidad (%)	E-126	6.8	CUMPLE
CBR de laboratorio (%)	E-148	No se hizo el ensayo	



Expansión en prueba CBR (%)	E-148	No se hizo el ensayo	
Índice de colapso, máximo (%)	E-157	No se hizo el ensayo	
Contenido de sales solubles, máximo (%)	E-158	Nos e hizo el ensayo	

Tabla N°8: Verificación resultados de ensayos realizados a Suelo granular (roca muerta) para mejoramiento de la subrasante, -Agregados Puracé.

Se puede observar que la granulometría del material es muy gruesa, no cumple con el requisito de tamaño máximo y además el valor de límite líquido supera el valor máximo permitido, Interventoría realizó las recomendaciones para dar manejo a estas dos características y así trabajar con un material que cumpla.

6.3.3. CONTROL DE CALIDAD DEL MATERIAL EMPLEADO PARA SUB-BASE:

Especificación para sub-base INVIAS, Artículo 320-13:

Se definen tres clases de sub-base granular en función de la calidad de los agregados (clases A, B y C). Las clases de sub- base granular se usarán como se indica en la Tabla 320 - 1, en función del nivel de tránsito del proyecto.

CLASE DE SUB-BASE GRANULAR	NIVEL DE TRÁNSITO
Clase C	NT1
Clase B	NT2
Clase A	NT3

Fuente: Artículo INVIAS 320 – 13 SUB BASE GRANULAR.

Tabla N° 9: Tabla 320-1. Uso típico de las diferentes clases de sub base granular.

REQUISITOS DE CALIDAD PARA LOS AGREGADOS:

Los agregados empleados para la construcción de la sub-base granular deberán satisfacer los requisitos de calidad indicados en las siguientes tablas:



CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUB-BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones (%)	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	35	30
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.	E-148	30	30	40

Fuente: Artículo INVIAS 320-13 SUB BASE GRANULAR.

Tabla N°10: Tabla 320-2. Requisitos de los agregados para sub bases granulares.

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	50.0	37.5	25.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2"	1 ½"	1"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA									
SBG-50	100	70-95	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SBG-38	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %				6 %			3 %

Fuente: Artículo INVIAS 320-13 SUB BASE GRANULAR

Tabla N°11: Tabla 320-3. Franjas granulométricas del material de sub-base granular.

Además el tamaño máximo nominal no deberá exceder de 1/3 del espesor de la capa compactada. ($1/3 * 20 \text{ cm} = 6.67 \text{ cm} / 2.54 \text{ cm} = 2.6''$).



A continuación, la verificación de los Requisitos presentados en la tabla 320-2 y 320-3, de los agregados para sub bases granulares:

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUB BASE GRANULAR	RESULTADO ENSAYO	VERIFICACIÓN
		CLASE A		
DUREZA (O)				
Desgaste en la maquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%). 500 revoluciones (%)	E-218	50	37,7	CUMPLE
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	30	NO SE REALIZÓ ESTE ENSAYO	
DURABILIDAD (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). Sulfato de sodio. Sulfato de magnesio.	E-220	12	----	----
		18	Fracción fina = 6	CUMPLE
			Fracción gruesa = 3	CUMPLE
LIMPIEZA (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	19,1	CUMPLE
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	2,6	CUMPLE
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	CUMPLE
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	Fracción fina = 1,2	CUMPLE
			Fracción gruesa = 0,2	CUMPLE
RESISTENCIA DE MATERIAL (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.	E-148	40	91	CUMPE

Tabla N°12: Resultados de verificación requisitos de los agregados para sub bases granulares Tabla 320-2.



Abertura Tamiz (mm)	% Pasa	SBG-50		SBG-38	
76,2	100				
63,5	100				
50,8	100	100	100		
38,1	100	70	95	100	100
25,4	85	60	90	75	95
12,7	64	45	75	55	85
9,53	59	40	70	45	75
4,75	47	25	55	30	60
2	35	15	40	20	45
0,425	20	6	25	8	30
0,075	11,1	2	15	2	15

Tabla N°13: Resultados de verificación franjas granulométricas del material de sub-base granular, Tabla 320-3.

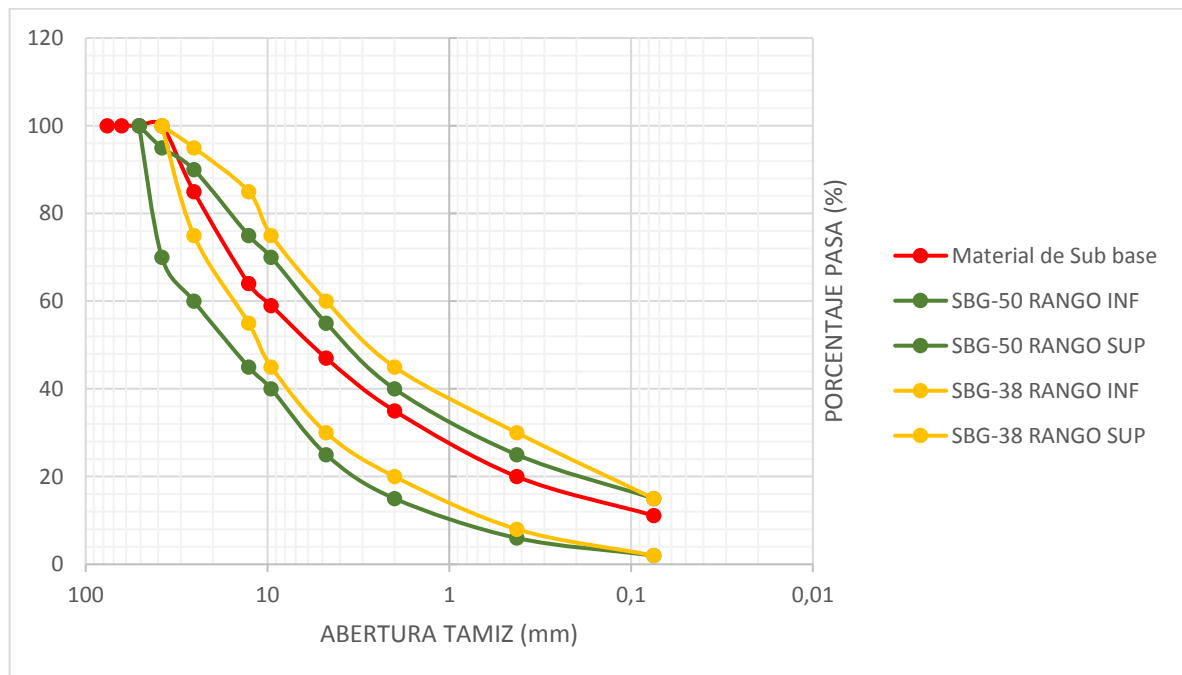


Figura N°10: Grafica curva de gradación material de sub base y franjas de trabajo.

El material cumple con las franjas granulométricas SBG-38, descritas en la el Artículo 320-13, tabla 320-3.

De igual forma al realizar la verificación del TMN, se puede determinar que el material empleado para sub base cumple con el requerimiento, presentando un $TMN = 25.4\text{mm} = 1''$, menor a 2.6".

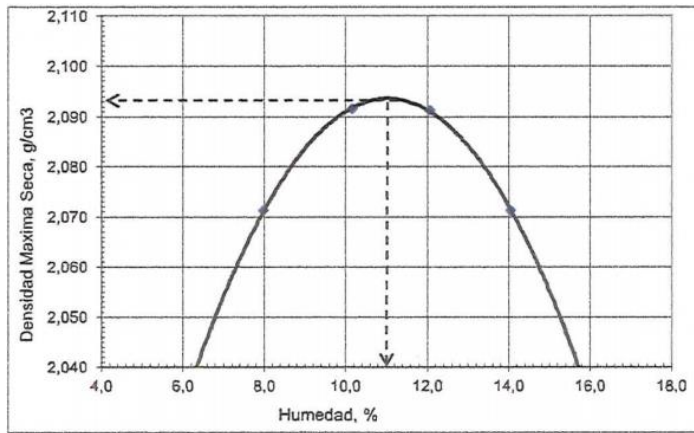
6.3.4. VERIFICACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE Y DE LA SUB BASE:

Los controles de compactación fueron efectuados mediante ensayos de densidad de campo, realizados por la Interventoría, para permitir la liberación de tramos y continuar con las actividades correspondientes a la etapa del proyecto.

Interventoría realizó la toma de densidades de la subrasante y de la sub-base proyectadas según lo solicitado por el Contratista.



Figura N°11: Ensayo Densidad de Campo.



CLASIFICACION DE SUELO

SUCS GP -GM

Gravedad especifica de la fraccion gruesa: 2,663 g/cm³

RESULTADOS DE ENSAYO

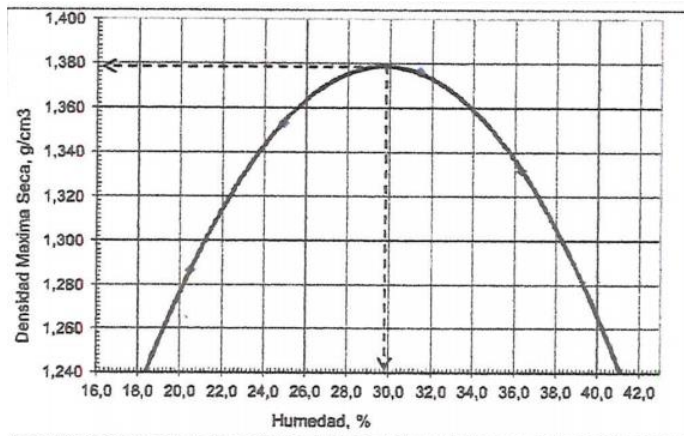
Humedad óptima: 11,0 %

Densidad Seca máx: 2,093 g/cm³

Densidad Seca máx: 2093 Kg/m³

Fuente: Geofísica S.A.S. – Resultado de ensayos.

Figura N° 12: Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (Ensayo Modificado de Compactación) del material de sub base.



CLASIFICACION DE SUELO

SUCS *

Gravedad especifica de la fraccion gruesa: * g/cm³

RESULTADOS DE ENSAYO

Humedad óptima: 29,8 %

Densidad Seca máx: 1,378 g/cm³

Densidad Seca máx: 1378 Kg/m³

Fuente: Geofísica S.A.S. – Resultado de ensayos.

Figura N° 13: Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (Ensayo Modificado de Compactación) de la subrasante.



VERIFICACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN				
MATERIAL	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	DENSIDAD MÁXIMA DE LABORATORIO (g/cm ³)	RANGO RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN (%)	VERIFICACIÓN
SUBRASANTE	>=90%	1,378	90.0 - 95.0	CUMPLE - SE LIBERA TRAMO
			86.0 - 88.0	SE RECOMPACTA Y SE LIBERA TRAMO
SUB BASE	>=95%	2,093	95.0 - 101.0	CUMPLE - SE LIBERA TRAMO
			93.0	SE RECOMPACTA Y SE LIBERA TRAMO

Tabla N°14: Verificación grado de compactación, según resultados obtenidos de densidad máxima de laboratorio y densidades de campo.

Además del ensayo de densidad de campo, se realizó un ensayo de carga de forma empírica. Que consistió en pasar por encima de la capa, una volqueta doble troque cargada (22.4 T), de presentarse ahuellamiento se levantaba el material que conformaba la capa, se humedecía o secaba según lo requerido y se compactaba nuevamente. Y de no presentarse ahuellamiento se liberaba el tramo para la continuación de las labores.

Finalmente se realizaba una prueba de carga de la sub base antes de fundir las losas, empleando un Mixer cargado ($2.4 \text{ t/m}^3 * 7\text{m}^3 + 6 \text{ T} = 22.8 \text{ T}$), de presentarse ahuellamiento se cancelaba la fundición, se levantaba la sub base, se mezclaba con cemento, se compactaba y nuevamente se realizaba el chequeo del grado de compactación. De lo contrario se procedía a realizar la fundición.



6.4. CAPITULO 4: REVISIONES ARTICULO 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO

6.4.1. DISEÑO DE MEZCLA:

Para la fundición de las losas se emplearon dos diseños de mezcla. Un concreto de fraguado normal para la fundición de las losas en general y un concreto de fraguado rápido - fast track, para losas específicas, dispuestas en sitios donde se requería su pronta apertura al tránsito, es decir, entradas al centro geriátrico, colegios y conjuntos residenciales.

A Continuación los reportes de los diseños de mezcla, empleados en la fundición de las losas:

CONCRETOS ARGOS		
REPORTE DISEÑO DE MEZCLA		
CÓDIGO	PO41200000	
DESCRIPCIÓN	C. PAVIMENTO MR 42 , TM 1"	
RESISTENCIA DE DISEÑO (Kg/cm ²)	42	
EDAD ESP. (Días)	28	
ASENTAMIENTO (Pulgadas)	4" +o- 1"	
RELACIÓN (A/MC)	0.472	
CEMENTANTE (Kg)	381	
% ADICIÓN	3	
REL. AR/AGR	0.36	
ADITIVOS	ADITIVO PLASTIFICANTE- RETARDANTE	1525
	ADITIVO REDUCTOR DE AGUA	1906

Tabla N°15: Reporte del Diseño de la Mezcla de Concreto de fraguado normal.



CONCRETOS ARGOS		
REPORTE DISEÑO DE MEZCLA		
CÓDIGO	UO41201200	
DESCRIPCIÓN	PAVIMENTO PLASTICO MR 42 , TM 1" RA7D	
RESISTENCIA DE DISEÑO (Kg/cm²)	42	
EDAD ESP. (Días)	7	
ASENTAMIENTO (Pulgadas)	4" +o- 1"	
RELACIÓN (A/MC)	0.416	
CEMENTANTE (Kg)	445	
% ADICIÓN	0	
REL. AR/AGR	0.36	
ADITIVOS	ADITIVO PLASTIFICANTE-RETARDANTE	1780
	ADITIVO REDUCTOR DE AGUA	2225

Tabla N°16: Reporte del Diseño de la Mezcla de Concreto de fraguado Rápido.

El reporte de los ensayos realizados a las materias primas que conforman el concreto, elaborado por ARGOS se efectúan de acuerdo a las siguientes normas:

ENSAYO	NORMA
PASA 200	NTC 78
MATERIA ORGANICA	NTC 127
GRANULOMETRIA	NTC 77
MASA UNITARIA	NTC 92
DENSIDAD Y ABSORCIÓN	NTC 237 Y NTC 176
ABRASIÓN Y DESGASTE	NTC 98 Y NTC 93
SANIDAD EN SULFATO DE SODIO	NTC 126
TERRONES DE ARCILLA	NTC 589
PARTICULAS LIVIANAS	NTC 130
EQUIVALENTE DE ARENA	INV E133
CARAS FRACTURADAS	INV E227

Tabla N°17: Normas utilizadas para la ejecución de los ensayos a los materiales que conforman el concreto.



DATOS DISEÑO DE MEZCLA:

- ✓ El cemento empleado para los diseños de mezcla es cemento hidráulico de uso general – Portland tipo 1, marca Argos.
- ✓ La Arena proviene de arenas naturales de río.
Fuente: Río Casa Blanca.
- ✓ La Grava proviene de trituración.
Fuente: La Calera.

6.4.1.1. AGREGADO FINO:

El agregado fino deberá satisfacer el requisito granulométrico señalado en la tabla 500-1.

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)						
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.600	0.300	0.150
	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
% PASA							
UNICA	100	95-100	80-100	80-85	25-60	10-30	2-10

Fuente: Artículo INVIAS 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Tabla N° 18: Tabla 500-1 Granulometría para el agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
Normal	Alternativo	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	No. 4	95 – 100
2.36 mm	No. 8	80 – 100
1.18 mm	No. 16	50 – 85
600 µm	No. 30	25 – 60
300 µm	No. 50	10 – 30
150 µm	No. 100	2 – 10

Fuente: Artículo INVIAS 500-07 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Tabla N°19: Tabla 500.3 Granulometría para el agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico.



Se realiza una corrección en la tabla 500-1 (Artículo 500-13) con la información del Artículo 500 versión 07, en el porcentaje pasa del tamiz N°16, el rango es 50-85 y no es 80-85.

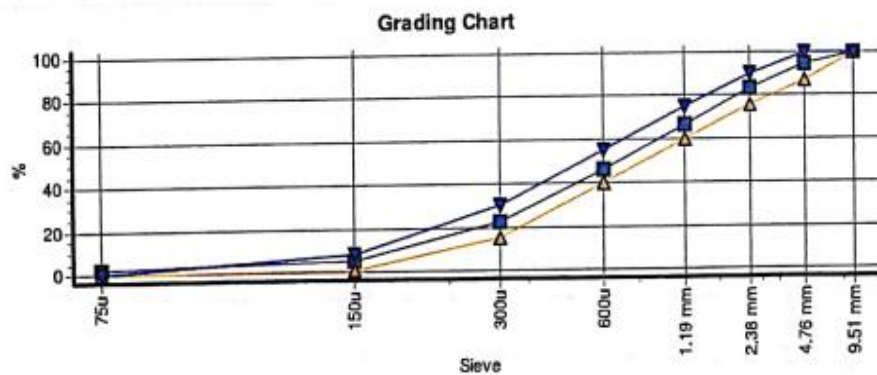
ARGOS entrega la respectiva gradación del material fino empleado en la elaboración del concreto y verifican que dicha gradación se encuentre dentro de los rangos de la especificación empleada.

461694800000 - AGR FIN N°4 DE RIO CASABLANCA.

Sample ID :	405	Customer :	
Sample Date :	2018/04/05	Project :	
Sample By :	HIDALGO HAROLD EMILIO	Laboratory :	MPY - PLANTA POPAYAN
Supplier :		County :	
Supplier Source :		Specification :	461694800000
Supplier Reference No :		Class :	

Sieve (mm)	% Passing	Specification		Testing Results
		Min	Max	
9.51 mm	100.0	100.0	100.0	Uncompacted 1547
4.76 mm	94.6	87.0	100.0	Compacted 1720
2.38 mm	83.3	76.0	90.0	Absorption 3.18
1.19 mm	67.5	60.0	75.0	Particle Density 2474
600u	46.1	40.0	55.0	Fineness Modulus 2.81
300u	22.5	15.0	30.0	Cont. Materia Organica 3.00
150u	5.3	1.0	8.0	P200 x lavado - Masa de tara 192.80
75u	1.6	0.0	0.0	P200 x lavado - Masa + muestra inicial 958.40
				P200 x lavado - Tara + Muestra lava 949.10

Comments :



Fuente: Documentación Interventoría.

Figura N° 14: Verificación gradación AGR FINO N°4 DE RIO CASA BLANCA con los rangos establecidos en la especificación empleada por ARGOS.

De igual forma se confirma que la gradación este dentro del rango dado por el INVIAS – Artículo 500-13, Tabla 500-1, obteniendo el siguiente resultado, indicado en la curva de distribución granulométrica.

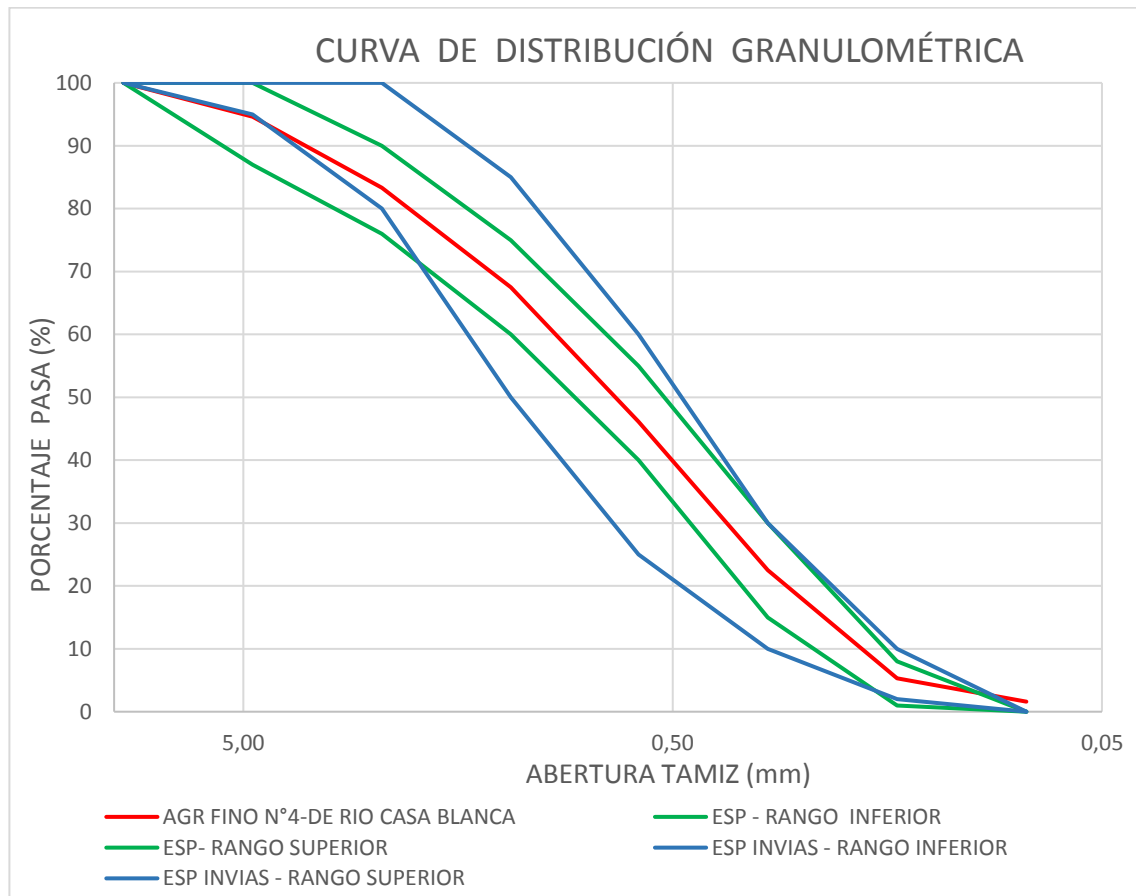


Figura N°15: Verificación gradación AGR FINO N°4 DE RIO CASA BLANCA con rangos establecidos en la especificación del INVIAS –ART 500-13.

Se puede determinar que el material empleado en la elaboración del concreto cumple con la especificación referente a la gradación.

El agregado fino también deberá cumplir con los siguientes requisitos:

La gradación del agregado fino escogida para el diseño de la mezcla no podrá presentar más del 45% de material retenido entre dos tamices consecutivos. Se realiza la verificación en la siguiente tabla:



Abertura tamiz (mm)	%pasa Agregado fino	% pasa entre tamices	%	Sumatoria % pasa entre dos tamices consecutivos
9,51	100			
		5,4	5,49	
4,76	94,6			16,97
		11,3	11,48	
2,38	83,3			27,54
		15,8	16,06	
1,19	67,5			37,8
		21,4	21,75	
0,6	46,1			45,73
		23,6	23,98	
0,3	22,5			41,46
		17,2	17,48	
0,15	5,3			21,24
		3,7	3,76	
0,075	1,6			
TOTAL (% PASA):		98,4		

Tabla N°20: Verificación criterio del 45% de material retenido entre dos tamices consecutivos.

Se presenta una de las sumatorias del % pasa entre dos tamices consecutivos mayor al 45%, en solo un 0.73%, por lo cual, se acepta y se permite el empleo de dicho material para la elaboración del concreto.

La gradación cumple con el requisito del módulo de finura (2.3 a 3.1), según el reporte de Argos, presentando para este material un módulo de finura de 2.81.



Además, el agregado fino deberá cumplir con las especificaciones referentes a los ensayos descritos en la tabla 500-2.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)		
- Sulfato de sodio	E-220	10
- Sulfato de magnesio		15
Limpieza (F)		
Índice de plasticidad (%)	E-125 y E-126	NP
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	60
Terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	0.5
Material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200), máximo (%).	E-14	3
Contenido de materia orgánica (F)		
Color más oscuro permisible	E-212	Igual a muestra patrón
Características químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄ ²⁻ , máximo (%)	E-233	1.2
Absorción (O)		
Absorción de agua, máximo (%)	E-222	4

Fuente: Artículo 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Tabla N°21: Tabla 500 - 2. Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico

Verificando el reporte de Argos se puede determinar que el material es apropiado para la fabricación del concreto a emplear en la fundición de las losas, como se indica a continuación:

Ensayo	Resultado	Especificación	Unidad	Verificación
Durabilidad:				
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%).				
Sulfato de Sodio	----	10	%	----
Sulfato de Magnesio	----	15		----
Limpieza:				
Índice de plasticidad (%)	----	NP	%	----
Equivalente de arena, mínimo (%)	92	60	%	CUMPLE



Terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	1.60	3	%	CUMPLE
Partículas Livianas, máximo (%)	0.15	0.5	%	CUMPLE
Material que pasa el tamiz de 75µm (No. 200), máximo (%)	1.40	3	%	CUMPLE
Contenido de materia orgánica:				
Color más oscuro permisible	----	Igual a muestra patrón	----	----
Características químicas:				
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄ , máximo (%)	0.05	1.2	%	CUMPLE
Absorción:				
Absorción de agua, máximo (%)	2.76	4	%	CUMPLE

Tabla N°22: Verificación del cumplimiento requisitos Tabla 500-2.

6.4.1.2. AGREGADO GRUESO:

Gradación: Debido a que el material grueso empleado en la elaboración del concreto tiene un tamaño máximo nominal de 25mm (1"), No se requiere realizar el ajuste a la gradación según lo señalado en la tabla 500-3.

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
	63.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	
	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	No. 4	No. 8	
% PASA										
AG 1	Fracción 1: 2 ½" a 1"	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	
	Fracción 2: 1 ½" a No.4	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
AG 2	Fracción 1: 2" a ¾"	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-
	Fracción 2: 1" a No. 4	-	-	-	100	90-100	-	20-5	0-10	0-5
AG 3	1 ½" a No. 4	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5

Fuente: Artículo INVIAS 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Tabla N°23: Tabla 500 - 3. Granulometrías para el agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico.



El TMN del agregado no deberá superar 1/3 del espesor de diseño del pavimento.

Verificando:

$$1/3 * 25 \text{ cm} = 8.33 \text{ cm} / 2.54 = 3.28''.$$

El agregado grueso de referencia N°57 TM 1IN CALERA cumple con este requisito, presenta un TM:1 1/2" y un TMN:1", menor a 3.28",

Además el agregado grueso deberá cumplir los requisitos de calidad señalados en la Tabla 500 - 4:

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	40 8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	30
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	90 75
Durabilidad (O)		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	10 15
Limpieza (E)		
Terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%).	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%).	E-221	0.5
Geometría de las partículas (F)		
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), mínimo (%)	E-227	60
Partículas planas y alargadas (relación 5:1), máximo (%)	E-240	10
Características químicas (O)		
Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como SO_4^{2-} , máximo (%)	E-233	1.0
Reactividad álcali - agregado grueso y fino: Concentración SiO_2 y reducción de alcalinidad R Nota: ver numeral 500.2.1.5.3	E-234	$\text{SiO}_2 \leq R$ cuando $R \geq 70$ $\text{SiO}_2 \leq 35 + 0.5R$ cuando $R < 70$

Fuente: Artículo INVIAS 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Tabla N°24: Tabla 500 - 4. Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico



Según el reporte de Argos, los resultados de los ensayos realizados al agregado grueso, material empleado para la elaboración del concreto son los siguientes:

Ensayo	Resultado - AGR GRU N°57 TM 1IN CALERA	Especificación	Unidad	Verificación
Dureza:				
Desgaste en la maquina de los Ángeles (Gradación A), Máximo (%) -500 Revoluciones -100 Revoluciones	19	40 8	%	CUMPLE
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	----	30	%	----
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos -Valor seco, mínimo (KN) -Relación húmedo/seco, mínimo (%)	----	90 75	%	----
Durabilidad:				
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) -Sulfato de sodio -Sulfato de magnesio	----	10 15	%	----
Limpieza:				
Terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	0.20	3	%	CUMPLE
Partículas livianas, máximo (%)	0.00	0.5	%	CUMPLE
Geometría de las partículas:				
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), mínimo (%)	----	60	%	----
Partículas planas y alargadas (relación 5:1), máximo (%)	3.00	10	%	CUMPLE
Características químicas:				
Proporción de sulfatos de material combinado, expresado como SO ₄ , máximo (%)	----	1.0	%	----
Reactividad álcali - agregado grueso y fino: Concentración SiO ₂ y reducción de alcalinidad R	----	SiO ₂ ≤ R cuando R ≥ 70 SiO ₂ ≤ 35 + 0.5R cuando R < 70	----	----

Tabla N°25: Verificación resultado de ensayos - Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico.

6.4.2. ACERO:

Se realizó la verificación del acero empleado para la adecuada construcción de las losas, pasadores para las juntas transversales, barras de amarre para las juntas longitudinales y parrillas para el acero de refuerzo.

6.4.2.1. Pasadores, pasa juntas o dovelas:



Figura N°16: Pasadores de carga.

DISEÑO DE PASADORES PARA TRANSFERENCIA DE CARGA EN LA JUNTAS TRANSVERSALES:

Para controlar el efecto erosivo de las cargas de los vehículos pesados, se ha previsto la utilización de pasadores de carga en las juntas transversales. Atendiendo las recomendaciones de la PCA y del Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías de bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vías, se recomienda que en pavimentos con espesores de losa de 25 cm, se use pasadores de acero liso con las siguientes dimensiones: diámetro de 1.25 pulgadas, longitud de 45 cm y espaciamiento centro a centro entre pasadores de 30 cm.

COLOCACIÓN DE PASADORES:

Los pasadores se disponen, con anterioridad al vertido del concreto, sobre canastas de varillas metálicas empleando grafil #6, suficientemente sólidas y con uniones soldadas que se fijan a la base de un modo firme.

Se deben revestir con una capa de grasa que permite el libre movimiento de estos elementos dentro del concreto e impida su oxidación.

Especificación INVIAS:

- Acero redondo, liso, con límite de fluencia (f_y) mínimo= 280 Mpa.
- El diámetro de las barras debe ser $1/8$ del espesor de las losas. $1/8 (25\text{cm}) = 3.125 / 2.54 = 1.23 = 1.25''$
- Longitud de barras: 45 cm.
- Espaciamiento centro a centro entre pasadores = 30 cm. La primer dovela debe ir a 15 cm del borde de losa.

Verificación:



Figura N°17: Verificación separación entre dovelas.

- Acero redondo y liso, con $f_y=280$ Mpa.
- El diámetro de las dovelas es de $1 \frac{1}{4}'' = 1.25''$: N°10.
- Longitud de dovelas: 45 cm.
- El espaciamiento centro a centro es de 30 cm.

Con lo cual se puede determinar el cumplimiento de las especificaciones para el uso de estos elementos.

6.4.2.2. Barras de amarre, o anclaje:



Figura N°18: Barras de amarre.

DISEÑO DE BARRAS DE ANCLAJE EN JUNTAS LONGITUDINALES:

Las barras de anclaje se colocaran a lo largo de la junta longitudinal para amarrar las losas y asegurar que la carga se transfiera a través de la junta. El área de acero requerida se proporcionará con barras No. 4 (1/2 pulg), de acero corrugado, de resistencia a la fluencia de = 4200 Kg/cm², espaciadas cada 1.0 m, tratando de que cada losa tenga un amarre mínimo de tres barras.

COLOCACIÓN DE BARRAS DE AMARRE:

Las barras se instalan en forma perpendicular a la junta longitudinal, con la separación mostrada en los planos, (0.75m y de 1m).

Quedan aproximadamente a mitad del espesor de la losa y en forma paralela a la superficie del pavimento, con una mitad a cada lado de la junta.

Como la pavimentación se realiza entre formaletas fijas, las varillas se instalan de forma manual dentro de las formaletas, de manera que una mitad de ellas penetre dentro de la franja de concreto recién colocada.

Especificación INVIAS:

- Límite de fluencia $f_y=420$ Mpa, $f_y = 4200$ Kg/cm².
- Barras de acero corrugado N°4.
- Longitud barras de anclaje = 1m.
- Espaciadas cada metro.

Verificación:

- El acero empleado tiene un $f_y = 420$ Mpa.
- Barras de acero corrugado, $\frac{1}{2}$ " de diámetro.
- Se emplean barras de 0.85m y de 1m.
- Espaciadas cada 0.75m y cada 1m. (Dependiendo la longitud de las losas, se busca dejar como mínimo 3 barras por losa).

Con lo cual se puede determinar el cumplimiento de las especificaciones para el uso de estos elementos.

Numeral 500.2.2.2: “En general, las barras de amarre no deberán ser dobladas y enderezadas; sin embargo, si por razones constructivas es absolutamente indispensable doblarlas y enderezarlas con expresa autorización del Interventor, se deberá utilizar un acero con límite de fluencia (f_y) de 280 Mpa (2800 kg/cm²); en este caso, el Constructor deberá rediseñar el sistema de barras de amarre para acomodarlo a la nueva resistencia, rediseño que deberá ser verificado y aprobado por el Interventor.”



Figura N°19: Barras de amarre (Junta longitudinal) – Carril exterior, calzada norte.

En el desarrollo del proyecto en general, se requería doblar las barras de amarre con un fin constructivo, permitir el paso del Mixer, para la fundición de las losas del carril faltante. Dicho dobles se realizaba una sola vez. Empleando el mismo sistema de barras de amarre, no se realizaba un rediseño con nueva resistencia. Acero de las barras con límite de fluencia (f_y) de 480 Mpa.

6.4.2.3. Refuerzo de las losas (Numeral 500.2.2.3):

Este refuerzo se emplea en losas con aberturas en su interior para acomodar elementos tales como pozos de inspección o sumideros.

Para el refuerzo de las parrillas se emplea barras corrugadas de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, espaciadas cada 25 cm, con límite de fluencia (f_y) de 420 Mpa.

Se utiliza una parrilla, para losas donde no se conserven los rangos de las dimensiones superficiales establecidas, en la modulación de las losas de concreto, relación de esbeltez superficial Largo/Ancho (0.8-1.20), relación Longitud/Espesor (Longitud de la losa (mayor dimensión en planta) superior a 24 veces el espesor de la misma).

La parrilla se instala en la zona superior de la losa, a una distancia de 7.5 cm del nivel superior de esta.

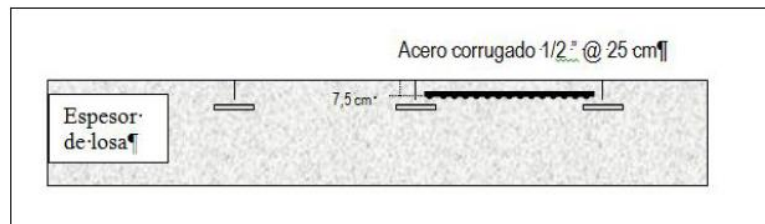


Figura N°20: Detalles del reforzamiento de losas con una parrilla de acero.

Y doble parrilla para las losas donde además de afectarse la geometría tradicional de las losas (losas cuadradas y losas rectangulares con relación largo /ancho entre 0.8 a 1.2), se presentan internamente la presencia de obras de drenaje superficial, cámaras y pozos de inspección que afectan la continuidad de las masas de concreto, situación que puede generar fisuras por efectos térmicos y de carga.

Estas parrillas se construirán en la zona superior e inferior de las losas a una distancia de 7.5 cm del nivel superior e inferior de la losa.

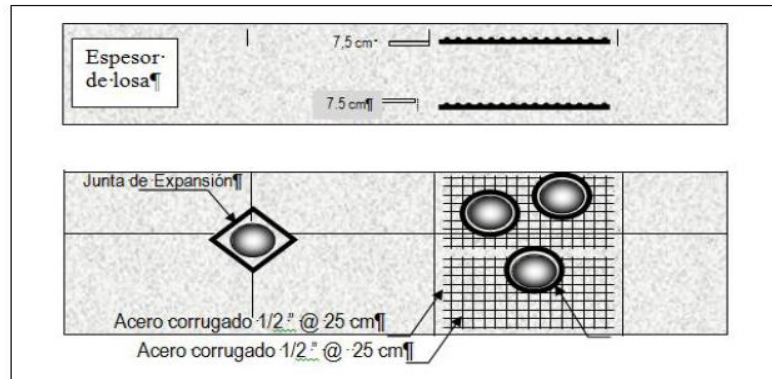


Figura N°21: Detalles del reforzamiento de losas con dos parrillas de acero



Figura N°22: Refuerzo doble parrilla en construcción de una losa con presencia de cámara de Emtel.



Figura N°23: Refuerzo doble parrilla en construcción de un reductor de velocidad.

6.4.3. PROCESO CONSTRUCTIVO:

6.4.3.1. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE:

La mezcla no se extiende, hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar, tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos o definidas por el Interventor.

Inmediatamente antes de verter el concreto, se humedecerá la superficie de apoyo del pavimento, sin que se alcance la saturación, para prevenir pérdidas rápidas en la humedad de la mezcla.



Figura N°24: Riego de agua sobre la superficie (su base) a fundir.

Las caras interiores de las formaletas deben estar siempre limpias, sin restos de concreto u otras sustancias adheridas a ellas. Antes de verter el concreto, dichas caras se cubren con la misma grasa que se aplica a las dovelas. De esta forma se evita la adherencia del concreto a las formaletas.

El alineamiento de las formaletas, tanto en planta como en perfil, deberá ser correcto.

6.4.3.2. COLOCACIÓN DEL CONCRETO (Numeral 500.4.11):

6.4.3.2.1. Equipos de puesta en obra del concreto:

La colocación del concreto se puede realizar mediante extendido entre formaletas fijas o con equipos de formaletas deslizantes.

“En general, el extendido entre formaletas fijas solo se recomienda para vías con nivel de tránsito uno (NT1) o para elementos especiales en vías de alto tránsito, tales como intercambiadores, remates, áreas pequeñas y similares. **Para vías con tráficos mayores (NT2 y NT3), se recomienda el extendido con equipos de formaletas deslizantes.**”

Sin embargo el uso de las formaletas deslizantes no es eventual en Colombia, Se emplea el extendido entre formaletas fijas.



Figura N°25: Instalación de formaletas.



Figura N°26: Empleo de pines para la fijación de las formaleas.

Formaletas:

Especificación INVIAS:

- Las secciones de formaleta para la construcción no deberán tener una longitud menor de 3m.
- Su altura será igual al espesor del pavimento por construir.
- formaletas metálicas.
- El ancho de la base debe ser mayor o igual al 80% el espesor del pavimento y nunca menor de 20cm: $80\% \cdot 25\text{cm} = 20\text{ cm}$.
- En la mitad de su espesor y a los intervalos requeridos, las formaletas tendrán orificios para insertar a través de ellos las barras de amarre, cuando ellas estén contempladas en el proyecto de las obras.
- La fijación de las formaletas al suelo se hará mediante pasadores de anclaje adecuadamente separados, que impidan cualquier desplazamiento vertical u horizontal a causa de la presión de la mezcla y de la vibración del equipo.

Revisión:

- La longitud de las formaletas es de 2.40 y 3m.
- La altura de las formaletas es de 23 y 24 cm. Espesor de las losas: 25 cm.
- Se emplean formaletas metálicas.
- El ancho de la base de las formaletas es de 20 – 24 cm.

- las formaletas vienen provistas con orificios en la mitad de su espesor que permiten espaciar las barras de amarre según el diseño, permitiendo la colocación de mínimo 3 barras por losa.
- Se emplean 3 pasadores de anclaje o pines por formaleta.

Con lo cual se puede determinar el cumplimiento de las especificaciones para el uso de estos elementos.

6.4.3.2.2. Vaciado del concreto:



Figura N°27: Colocación del concreto.

La caída libre de la mezcla, desde el vehículo de transporte en el momento de la descarga no debe ser mayor de un metro y medio (1.5 m), procurando que ello ocurra lo más cerca posible del lugar definitivo de colocación, para reducir al mínimo las posteriores manipulaciones.

Se realizó el vaciado del concreto con una altura de 1m aproximadamente.

Debido a que la puesta en obra se realizó entre formaletas fijas, el concreto se distribuyó uniformemente y, una vez extendido, se compactó por vibración,

empleando vibradores de aguja y se enrasó con elementos adecuados, obteniendo una superficie uniforme, lisa y libre de irregularidades, marcas y porosidades. Teniendo especial cuidado en la consolidación de los bordes de la losa.

6.4.3.3. Vibrado:

- Equipo para el vibrado del concreto:

Para lograr la consolidación adecuada del concreto, será indispensable añadir vibración interna por medio de vibradores de agujas. Procedimiento que se realiza una vez finalizado el vaciado del concreto, colocando el vibrador en puntos distribuidos en toda el área de la losa y durante máximo 3 segundos en cada punto.



Figura N°28: Vibrador de aguja - Proceso de vibrado en fundición de reductor de velocidad.

6.4.3.4. PROCESO DE NIVELACIÓN:

Seguido del proceso de vibrado se realiza la nivelación, mediante el uso del rodillo, herramienta manual, que se desplaza sobre las formaletas fijas, en sentido longitudinal y producen simultáneamente la consolidación y la nivelación de la superficie del pavimento.



Figura N°29: Rodillo.

En áreas localizadas, inaccesibles al equipo convencional, se realiza la extensión y la consolidación del concreto mediante el uso de una regla vibratoria ligera.

6.4.3.5. HERRAMIENTAS Y ELEMENTOS PARA EL ACABADO (Numeral 500.3.4):

6.4.3.5.1. Flotador o enrasador (Numeral 500.3.4.1):

Esta herramienta manual de acabado superficial, tiene una superficie metálica, lisa y rígida, provista de un mango largo articulado que al ser rotado, acciona un mecanismo de elevación, que le permite el deslizamiento planeando sobre la superficie del concreto. Tiene bordes ligeramente curvos, evitando que se hunda en el concreto fresco.



Figura N°30: Regleta flotante (flota canal) o Madona.

6.4.3.5.2. Micro texturizado (Numeral 500.3.4.2):



Figura N°31 y N°32: Proceso de Micro texturizado.

Para realizar el proceso de micro texturizado de las losas se emplea tela de yute. Se pasa en sentido longitudinal a la vía luego de haber realizado el allanado. La tela no deberá tener costuras internas que dejen marcas en la superficie del pavimento.

6.4.3.5.3. Macro texturizado (Numeral 500.3.4.3):



Figura N°33: Proceso de Macro texturizado.



Figura N°34: Cepillo empleado para realizar el Macro texturizado.

El macro texturizado, se realiza utilizando un cepillo de forma transversal en la superficie del concreto, para dejar una textura estriada.

Medidas del cepillo según especificación:

- Cuerpo principal en forma de rastrillo o peine de 80 cm de largo, con dientes metálicos flexibles y un mango.
- Los dientes del peine deberán tener un ancho de cerda de tres más o menos un milímetro ($3 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$).
- Separaciones entre dientes adecuadas de manera de minimizar el ruido producido por el tránsito automotor al circular sobre el concreto endurecido. Recomendándose valores promedio al azar, de trece milímetros (13 mm) o veintiséis milímetros (26 mm).

Verificación de las medidas del cepillo empleado en obra:



Figura N°35: Medición longitud del cepillo. ($L=122 \text{ cm}$).



Figura N°36: Medición ancho y separación de cerdas. ($a = 4 \text{ mm}$, $s = 2 \text{ cm}$).

Con lo cual se puede determinar el cumplimiento de las especificaciones para el uso de este elemento.

6.4.3.6. CURADO (Numeral 500.4.17):

El curado del concreto se podrá llevar a cabo por medio de:

- Humedad.
- Cubrimiento con películas líquidas.
- Cubrimiento con membranas.

El curado del concreto se realiza después del acabado final, cuando el concreto empieza a perder el brillo superficial, es decir, pasados aproximadamente 45 min. Mediante una sola aplicación de la película impermeable, en todas las superficies libres incluyendo los bordes de las losas.



Figura N°37: Curado de losas – Cubrimiento con película líquida.

Para el concreto empleado en la fundición de las losas del proyecto, se realiza el curado con película líquida, mediante la aspersion de ANTI SOL color rojo de SIKA sobre la superficie del pavimento.

-Equipos para el curado del concreto:

La aplicación de la película líquida de curado se realiza empleando una bomba o fumigadora, que permite esparcir el anti sol de forma homogénea sobre las losas de concreto.



Figura N°38: Aplicación película líquida de Anti sol.

En épocas de altas temperaturas se emplea la aplicación de ANTI SOL y por los siguientes 3 a 4 días se aplica agua. Y para épocas de bajas temperaturas (con presencia de lluvias) solamente se aplica el ANTI SOL.

6.4.3.7. REMOCIÓN DE FORMALETAS (Numeral 500.4.18.):

El desformaletado se realiza pasadas 8 horas de haber terminado la fundición para concreto de fraguado normal y pasadas 6 horas, para concreto de fraguado rápido. En cualquier caso, el Interventor podrá aumentar o reducir el tiempo, en función de la consistencia alcanzada por el concreto.

6.4.3.7.1. Daños al desencofrar:

Cuando se desencofra las losas, pueden presentarse algunos daños en los bordes que se conocen como desportillados, estos son resanados empleando el epóxico Sikadur 32 prime.

6.4.3.7.2. Hormigueros:



Figura N°39: Hormigueros.

Debido al mal vibrado en el momento de la fundición, aparecen estos orificios (ver Figura N°39) que deben ser resanados. En la obra se realizaron estos resanes empleando un epóxico, Sikadur 32 prime.

6.4.3.8. CORTE DE JUNTAS (Numeral 500.4.19):



Figura N° 40: Equipo con disco de diamante.

Equipos de corte: Para el corte de las juntas se emplea equipos con disco múltiple de diamante que permiten obtener resultados adecuados, de 16" de diámetro y su potencia es de 14CV, no obstante en las especificaciones se establece el uso de equipos de cuando menos dieciocho caballos (18CV).

Se procede a realizar el corte de las juntas una vez el concreto haya presentado las condiciones de endurecimiento propicias para su ejecución y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados, iniciando con el corte de las juntas transversales y seguidas del corte de las juntas longitudinales. Empleando discos de diamante que se enfrían con agua.

El inicio de los trabajos de corte se realiza entre 4 a 6 horas después de haber colocado el concreto y termina antes de 12 horas.

Se realiza un corte inicial de un ancho de 3mm y a una profundidad de $1/3$ del espesor de la losa de concreto ($25/3 = 8.3$ cm), con el fin de inducir la falla controlada. Posteriormente, se realiza un ensanchamiento del corte para poder alojar el material de sello.

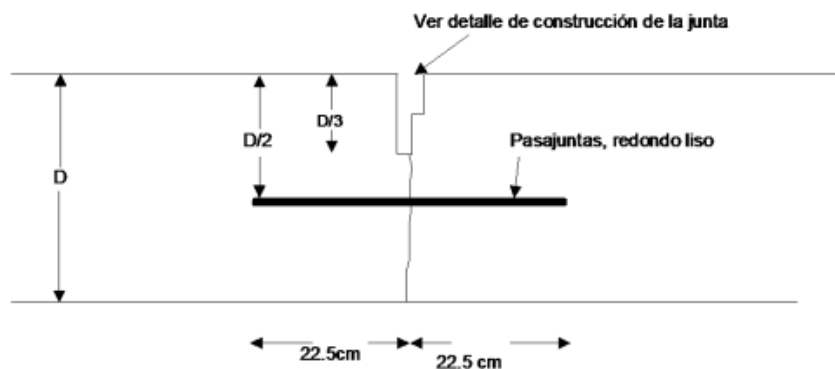


Figura N°41: Ilustración corte de juntas transversales.

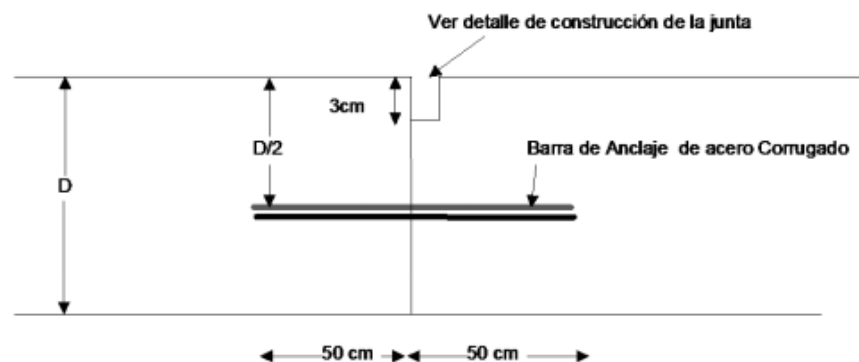


Figura N°42: Ilustración corte de juntas longitudinales.

6.4.3.9. SELLO DE JUTAS:

El sistema de sellado de juntas debe garantizar la hermeticidad del espacio sellado, la adherencia del sello a las caras de la junta, la resistencia a la fatiga por tracción y compresión, el arrastre por las llantas de los vehículos, la resistencia a la acción del agua, los solventes, los rayos ultravioletas, la acción de la gravedad y el calor, con materiales estables y elásticos.



Figura N°43: Sello de juntas - Aplicación de silicona autonivelante.

-Equipos para la inserción del sello:

Para la colocación del sello se emplea la pistola de calafeteo, equipo recomendado por los fabricantes del material de sello.

Antes de realizar el sello de las juntas, se debe garantizar la limpieza total de la junta y la eliminación de todos los residuos del corte, mediante el uso de agua y aire a presión.



-Equipos de lavado, secado y sellado de juntas:

Bombas de agua de bajo consumo y alta presión: Para el correcto lavado de las juntas se podrán utilizar bombas de agua de bajo consumo y de alta presión. La presión será, como mínimo, de 10 Mpa, según las especificaciones. En obra se emplea una manguera para realizar este proceso.

Compresores de aire: Para el correcto secado de las juntas se podrán utilizar compresores de aire, de 1 Mpa y caudal de setenta litros por segundo (70l/s), según las especificaciones. En obra se emplea un soplete.

-Productos para las juntas (Numeral 500.2.5):

El material de sello podrá ser de silicona o de aplicación en caliente, el cual deberá cumplir las especificaciones de la Tabla 500-5.

TIPO DE SELLO	ESPECIFICACIÓN ASTM
Sello de silicona	D5893, tipo autonivelante
Sello de aplicación en caliente	D 6690

Fuente: Artículo INVIAS 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Tabla N° 26: Tabla 500-5. Especificaciones para el material de sello de juntas en pavimentos de concreto hidráulico.

Para el sello de las juntas se emplea silicona autonivelante de SIKAFLEX y la Tirilla o cordón de respaldo, de referencia Cordón SIKA roll.

-Instante de aplicación del sello (Numeral 500.4.21.1):

Se realiza el sello de las juntas pasados 8 a 15 días de edad del concreto, en el momento de la aplicación del componente de sello se verifica las condiciones climáticas. No debe haber lluvia ni fundados temores de que ella pueda ocurrir.



6.4.4. REQUISITOS MÍNIMOS QUE DEBE CUMPLIR LA MEZCLA DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO:

Se presenta a continuación la verificación de los requisitos descritos en la Tabla 500-6 que debe cumplir la mezcla de concreto, a emplear en la fundición de las losas.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Resistencia a la flexotracción a veintiocho (28) días, mínimo (MPa): - Tránsito NT1 - Tránsito NT2 - Tránsito NT3 (Nota 1)	E-414	3.8 4.0 4.2
Contenido de cemento en masa por m ³ de concreto, mínimo (kg) - Concreto de fraguado normal - Concreto de fraguado rápido (técnica fast-track)	-	300 350
Relación agua / material cementante, máximo - Concreto de fraguado normal - Concreto de fraguado rápido (técnica fast-track)	-	0.48 0.45
Asentamiento (mm): - Formaleta fija - Formaleta deslizante	E-404	25 a 50 13 a 38

Fuente: Artículo INVIAS 500-13 pavimento de concreto hidráulico.

Tabla N°27: Tabla 500-6. Criterios de diseño para la mezcla de concreto en pavimentos de concreto hidráulico.

A continuación se realiza la verificación de los criterios de diseño mencionados en la tabla 500-6:



CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO	CONDICIÓN PROYECTO	VERIFICACIÓN
Resistencia a la flexión a veintiocho (28) días, mínimo (Mpa): Tránsito NT1 Tránsito NT2 Tránsito NT3	E - 414	3.8 4.0 4.2	Vía NT3, con una resistencia mínima de 4.2 Mpa	CUMPLE
Contenido de cemento en masa por m ³ de concreto, mínimo (Kg) Concreto de fraguado normal Concreto de fraguado rápido (técnica fast-track)	----	300 350	381	CUMPLE
Relación agua/material cementante, máximo Concreto de fraguado normal Concreto de fraguado rápido (técnica fast-track)	----	0.48 0.45	0.472	CUMPLE
Asentamiento (mm) Formaleta fija Formaleta deslizante	E - 404	25a 50 13 a 38	4 +o- 1" : 76.2 - 127 mm	NO CUMPLE

Tabla N°28: Verificación de los requisitos establecidos para el diseño de mezcla de concreto en pavimentos de concreto hidráulico.

En la medida de lo posible se realizaba para cada dosificación empleada, el control de la consistencia (INV E-404).

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en la calzada norte y la sur, se encuentran dentro de los siguientes rangos:

RESULTADO ENSAYOS DE ASENTAMIENTO		
CALZADA	ASENTAMIENTO DE DISEÑO (pulg)	ASENTAMIENTO DE ENSAYO (mm)
NORTE	4 ½" – 5 ½"	114.3 – 139.7
SUR	4 – 5 1/8"	101.6 - 127.1

Tabla N°29: Rango de los resultados obtenidos en el ensayo de asentamiento, realizados durante la ejecución del proyecto.



6.4.5. TRAMO DE PRUEBA (Numeral 500.4.3):

“Aceptados por el Interventor la fórmula de trabajo y el informe con el diseño de la mezcla, se procederá a la realización de un tramo de prueba con el mismo equipo, velocidad de puesta en obra y espesor de pavimento que se vayan a utilizar en la obra. La construcción de este tramo de prueba, de mínimo cien metros (100 m) de longitud en dos (2) carriles, será obligatoria en proyectos diseñados para NT3. Su obligatoriedad para niveles de tránsito menores deberá ser establecida en los documentos contractuales del proyecto.”

El tramo de prueba se realizó el 17 de mayo del año 2018 sobre el carril exterior de la calzada norte, fundiendo 7 losas, 21 m³, verificando se cumplieran las condiciones adecuadas para su desarrollo antes y después de la fundición.

El tramo sirve para verificar las condiciones de elaboración de la mezcla, comprobar que la colocación es adecuada y que los medios de vibración disponibles son capaces de consolidar adecuadamente el concreto en todo el espesor del pavimento; Siendo los resultados del primer tramo satisfactorios, obteniendo un pavimento con las condiciones exigidas. Se procede a la construcción del pavimento contratado.

6.4.6. IDENTIFICACIÓN DE LAS LOSAS (Numeral 500.4.12):

La especificación indica que se debe realizar la identificación de todas las losas, y se debe imprimir en un sitio previsto para una de sus esquinas. En obra, se tiene la identificación de cada una de las losas en planos y documentación, y se realiza la marcación en físico cada 10 losas. La caracterización se realiza de la siguiente forma:

Calzada norte: las losas van numeradas desde la #1 a la #410. Los carriles internos identificados solo con numeración y los carriles externos, identificados con la numeración acompañada de la letra N.

Calzada sur: las losas van numeradas desde la #700 a la #880. Los carriles internos identificados solo con numeración y los carriles externos, identificados con la numeración acompañada de la letra S.



6.4.7. CONDICIONES ESPECÍFICAS PARA EL RECIBO Y TOLERANCIAS (Numeral 500.5.2):

Calidad de los agregados (Numeral 500.5.2.3):

No se ha realizado la verificación de la calidad de los agregados, que se determina mediante la realización de los ensayos que se relacionan en la Tabla 500-7, con la frecuencia indicada en ella.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Composición (F)		
Granulometría	E-123	1 por jornada
Módulo de finura	E-123	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos - Seco y húmedo	E-224	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos	E-220	1 por mes
Limpieza (F)		
Impurezas en agregado grueso	E-237	1 por semana
Índice de plasticidad	E-125,126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Terrones de arcilla y partículas delezables	E-211	1 por semana
Partículas livianas.	E-221	1 por semana
Material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200)	E-214	1 por semana
Geometría de las partículas (F)		
Partículas fracturadas mecánicamente	E-227	1 por jornada
Partículas planas y alargadas	E-240	1 por semana

Fuente: Artículo INVIAS 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Tabla N°30: Tabla 500-7. Ensayos de verificación sobre los agregados para pavimentos de concreto hidráulico.

Calidad de materiales:

Interventoría solicita los certificados de calidad por lote de producción, expedidos por los fabricantes. Certificados del acero, productos químicos, producto para el sello de juntas y de los prefabricados empleados en la construcción del espacio público.



Resistencia (Numeral 500.5.2.7.3):

El promedio de la resistencia de las dos (2) probetas de la misma mezcla y de la misma edad se considera como el resultado de un ensayo. Los valores de resistencia a siete (7) días se emplearán únicamente para controlar la regularidad de la calidad de la producción del concreto, mientras que los obtenidos a veintiocho (28) días se emplearán en la comprobación de la resistencia del concreto para su aceptación.

La resistencia de la mezcla se evalúa en términos de su resistencia a la flexión (norma de ensayo INV E414). Los resultados de este análisis se califican, para efectos de aceptación, aceptación con sanción (o reducción de precio) o rechazo. Como se indica a continuación:

Criterio de aceptación de la resistencia a la flexión del concreto (Numeral 500.5.2.7.3.2.):

Se considera como “lote”, que se acepta o rechaza en bloque, la menor cantidad de pavimento construida con el mismo tipo de mezcla que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.
- Trescientos cincuenta metros cúbicos (350 m³) de concreto colocado.

Para la aceptación o rechazo del lote de pavimento de concreto, se definen 3 niveles de calidad:

Nivel de aceptación a satisfacción: si el valor de resistencia de un lote es igual o superior a 90%, el lote de pavimento se acepta y se paga al precio unitario del contrato.



Nivel de aceptación con sanción: si el valor de resistencia del lote está entre 50% y 89%, el lote de pavimento se podrá aceptar con sanción, consiste en la aplicación de una reducción al precio unitario del contrato para el pago del lote por medio de un factor de ajuste de precio (FAR) que se aplicará según lo definido en la Tabla 500-10.

Nivel de rechazo: si el valor de resistencia del lote es inferior a 50%, el constructor deberá demoler el lote de pavimento objeto de la controversia y reemplazo a sus expensas, con otro de calidad satisfactoria; el producto de la demolición será de su propiedad.

PDL, %	FAR FACTOR DE AJUSTE DE PRECIO UNITARIO	PDL, %	FAR FACTOR DE AJUSTE DE PRECIO UNITARIO	PDL, %	FAR FACTOR DE AJUSTE DE PRECIO UNITARIO
90 a 100	1.000	73	0.915	56	0.795
89	0.995	72	0.910	55	0.788
88	0.990	71	0.905	54	0.780
87	0.985	70	0.900	53	0.773
86	0.980	69	0.893	52	0.765
85	0.975	68	0.885	51	0.758
84	0.970	67	0.878	50	0.750
83	0.965	66	0.870	Rechazo	
82	0.960	65	0.863		
81	0.955	64	0.855		
80	0.950	63	0.848		
79	0.945	62	0.840		
78	0.940	61	0.833		
77	0.935	60	0.825		
76	0.930	59	0.818		
75	0.925	58	0.810		
74	0.920	57	0.803		

Fuente: Artículo INVIAS 500-13 PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Tabla N°31: Tabla 500- 10. Factor de ajuste del precio unitario por resistencia (FAR).

6.5. CAPÍTULO 5: ESPACIO PÚBLICO

6.5.1. CONFORMACIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO:

La estructura del espacio Público está conformado por: 10 cm de sub base, una capa de arena de 4 cm y finalmente la instalación de los elementos que conforman el andén, los cuales tienen 6 cm de espesor.



Figura N°44: Conformación Espacio público.

Los elementos que conforman el espacio público son:

a. Losetas guía:

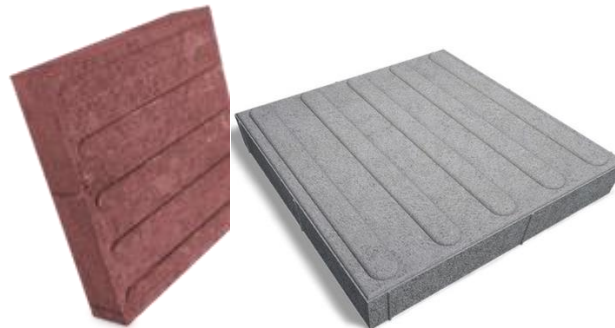


Figura N°45: Losetas guía.

Losetas empleadas como pavimento modulado para la construcción de andenes, que permiten dar una orientación de continuidad segura a personas con discapacidad visual.

b. Loquetas Toperol:



Figura N°46: Loquetas toperol.

Loquetas toperol o alerta, se emplean para indicar a las personas en condición de discapacidad visual, riesgo de caída o de golpe. Se instalan dentro de los andenes frente a la presencia de algún obstáculo como: poste y materas, al terminar e iniciar el andén, antes y después de un vado, para indicar el espacio de ingreso de vehículos, entre otros.

c. Loquetas paradero:



Figura N°47: Loqueta paradero.

Loquetas que indican a personas en condición de discapacidad visual, el lugar adecuado para tomar el transporte. Se instalan este tipo de loquetas en paraderos de buses o bahías para el cargue y descargue de pasajeros usuarios del transporte público.

d. Loquetas lisas:



Figura N°48: Loquetas lisas.

Losetas de 20x20 y de 20x10, empleadas para la configuración de los andenes, que complementan los espacios donde no van las losetas guía y las losetas toperol.

e. Adoquines:



Figura N°49: Adoquines.

Permiten complementar la configuración de los andenes. Son empleados para realizar ajustes.

f. Bordillos:

Se empleó bordillo A80 para el espacio público, A10 para el borde de vía y rampas para accesos vehiculares.



Figura N°50: Bordillo A 80.



Figura N°51: Bordillos A10.



Figura N°52: Rampas.

En la siguiente imagen se puede apreciar el espacio público conformado, empleando rampas de acceso vehicular, losetas toperol indicando el acceso de vehículos y la presencia de un obstáculo (poste), losetas guía, losetas lisas, adoquines y bordillo A80.



Figura N°53: Espacio Público conformado.

6.5.2. VERIFICACIÓN DE ACABADOS:

Se verificaron los acabados del espacio público y se visualizaron algunos inconvenientes, mencionados a continuación, que deberán ser corregidos por parte del Contratista:

- ✓ Asentamiento de losetas, losetas sueltas, adoquines porosos y acabados inadecuados.
- ✓ Falta de conciencia de los habitantes del sector, que pasan los vehículos por encima de los andenes y ocasionan la destrucción de los elementos que lo conforman. Se requirió el remplazo de estos.



Figura N°54: Losetas destruidas.

- ✓ Inadecuado acabado de las juntas entre bordillos del borde de vía.



Figura N°55: Juntas entre bordillos borde de vía.

- ✓ Adoquines desalineados.



Figura N°56: Alineación adoquines.

6.6. CAPÍTULO 6: INCONVENIENTES PRESENTADOS EN EL TRANCURSO DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

6.6.1. Cambio de bombeo para las dos calzadas:

Uno de los inconvenientes presentados inicialmente fue la no presencia del alcantarillado para la conducción de aguas lluvias dentro de la calzada norte (sentido oriente – occidente), razón por la cual era necesario realizar dicha conducción. Al no estar estimados estos costos en el presupuesto inicial del contrato, se plantea resolver este inconveniente tomando como medida cambio de bombeo, pasando de sección en bombeo a sección girada, dejando el drenaje de aguas lluvias de las dos calzadas hacia el lado sur.

Los sumideros están ubicados en las dos calzadas, en la calzada norte se dejó los sumideros existentes en las bocacalles y se construyeron sumideros de captación lateral en el empalme de la calzada con la ciclo ruta y para la calzada sur (sentido occidente – oriente) sumideros de captación superficial.

Este cambio resultó beneficioso para el proyecto, al poder bajar la cota de la calzada sur, permitiendo empalmar con los conjuntos residenciales y demás viviendas que en el momento tenían dificultad por las pendientes de salida.

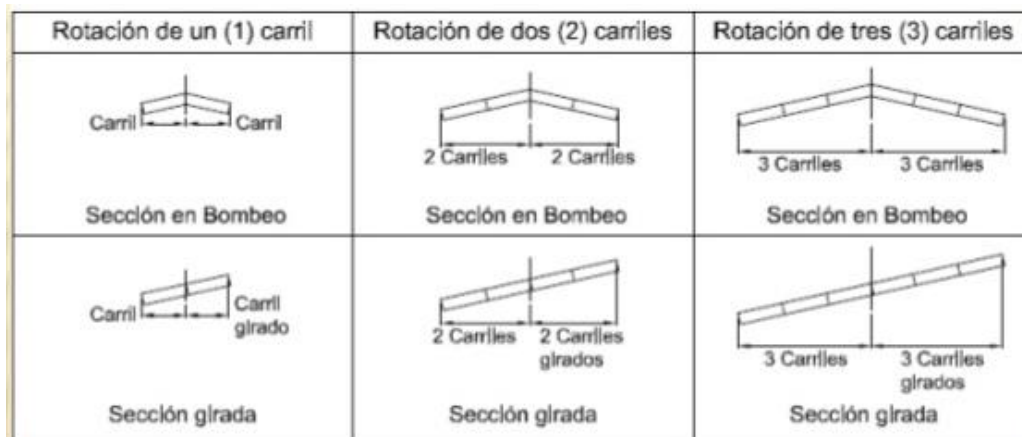


Figura N°57: Rotación de las calzadas.

6.6.2. Retrasos en el proceso de excavación a causa de la reubicación de redes secas y húmedas a cargo de entidades privadas:

A pesar de haber realizado la planeación del proyecto, se presentaron diferentes inconvenientes en la ejecución de la obra, que ocasionó retrasos.

Entidades como: Movistar, Alcantarillado y Acueducto de Popayán, no colaboraron de forma eficiente, generando retrasos en la ejecución de la obra. A diferencia de otras entidades: Energética de Occidente, Claro y Emtel, que realizaron de manera oportuna la reubicación de redes y ductos que iban apareciendo a medida que avanzaba la excavación y así permitieron la continuación de los procesos constructivos del pavimento y del espacio público.

6.6.3. Proceso de extensión y compactación de las capas que conforman el pavimento:

La presencia de recamaras de entidades como Emtel, Acueducto y Alcantarillado de Popayán y otras, impedían el paso de la maquinaria para realizar un adecuado proceso de extensión y compactación de las capas del pavimento, fue necesario emplear herramientas y equipos manuales en la conformación de ciertas zonas.



Figura N°58: Presencia de recamaras.



Figura N°59: Proceso de conformación de sub base con herramienta manual.

Seguido de este proceso se realizaba la compactación empleando un saltarín.

6.6.4. Resultados de resistencia menores a la del diseño:

Con el concreto se presentaron inconvenientes frente a los resultados de Resistencia a la Flexión, obteniendo valores de resistencia menores a las del diseño (4.2 Mpa), tomando como medida, la confirmación del resultado en testigos ensayados a los 90 días. Al no obtener la resistencia de diseño o mayor a esta, se aplicó por parte de Interventoría, el factor de ajuste del precio unitario por resistencia (FAR) Tabla 500-10 para el correspondiente pago del Contratista.

6.6.5. Presencia de fisuras en 11 losas:

También se presentó un inconveniente que cabe mencionar, después de la fundición de las losas del carril externo entre K0+051 y K0+090 calzada norte, aparece la fisuración de once losas en sentido transversal, con más de 3 fisuras por losa, generando la necesidad de recibir un concepto técnico de los especialistas en pavimentos de la interventoría y del proveedor Argos, quienes concluyeron que las causas de falla fueron condiciones ambientales (temperatura y viento) del día de fundición, las cuales aceleraron de forma súbita el fraguado del concreto, generando una fisuración prematura, antes de que fueran cortadas las losas a la medida de la modulación. Para lo cual fue requerido la demolición total de las losas.

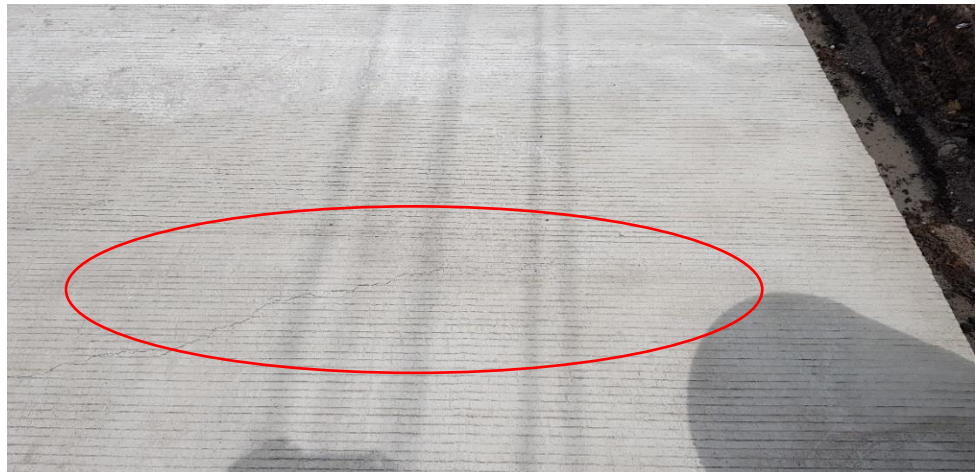


Figura N°60 y 61: Fisuras presentadas en losas K0+051 y K0+090.



7. CONCLUSIONES

- ✓ El trabajo de oficina es la función principal cuando se hace parte de una Entidad que lleva el control de las actividades realizadas por el contratista y la interventoría y avala para su posterior pago.
- ✓ Fue esencial para mi desarrollo profesional, aprender de los procesos que se llevaron a cabo en la ejecución del proyecto, de acuerdo a las actividades de diseño, contratación, revisión y aprobación de pagos realizadas por la Entidad, actividades de construcción realizadas por el Contratista y la supervisión a cargo de la Interventoría.
- ✓ La conformación de un buen grupo de trabajo, incluyendo las diferentes áreas requeridas para el desarrollo del proyecto: ingenieros civiles, ambientales, forestales, arquitectos, geotecnólogos, Ecólogos, maestros oficiales, ayudantes, entre otros, fue de gran importancia en el rendimiento y calidad del proyecto.
- ✓ Fue útil participar en los comités técnicos, donde se verificó el cumplimiento de las actividades desde la programación de obra hasta la fecha evaluada, por cada uno de los componentes del proyecto (AMBIENTAL, FORESTAL, SOCIAL, TÉCNICO, PREDIAL, REDES Y ESPACIO PÚBLICO), con inquietudes y opiniones que tenía el personal de trabajo. Logrando una retroalimentación, que permitía planear los trabajos a realizar en la siguiente semana o mes y corregir las deficiencias o contratiempos presentados.
- ✓ Con el avance del proyecto se puede apreciar los resultados positivos para los habitantes de la zona de influencia directa e indirecta, una infraestructura vial que capitaliza adecuadamente los niveles de



crecimiento económico, un espacio público accesible e incluyente, permitiendo una movilidad tranquila y segura para niños, adultos mayores, personas con movilidad reducida, entre otros. Además, un embellecimiento de la zona y una mejora en el tránsito vehicular.

- ✓ El uso de elementos y prácticas de protección, es muy importante, no solo por cumplimiento legal, sino por la protección integral de las personas que trabajan en la ejecución de cualquier proyecto de este tipo. En el desarrollo de esta obra se presentaron inconvenientes con algunos obreros, que se negaban a usar los elementos de protección, lo cual conllevaba a un llamado de atención como primera medida y de incurrir nuevamente en la falta, se prescindía de sus servicios.

- ✓ El trabajo de grado en modalidad de pasantía fue una experiencia realmente gratificante, me permitió reafirmar y aplicar los conocimientos obtenidos en la Universidad, además de empezar a conocer el ámbito laboral que enfrentaré en el ejercicio de mi carrera como Ingeniera Civil.



8. BIBLIOGRAFIA

- MOVILIDAD FUTURA S.A.S. Documentación interna del proyecto REHABILITACIÓN VIAL Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO PARA EL SETP POPAYÁN DEL TRAMO 9A: TRANSVERSAL 9N (CARRERA 9 A LA VARIANTE), DE LA CIUDAD DE POPAYÁN (CAUCA).
- PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO ARTÍCULO 500 – 13. Disponible en internet: <http://giv.com.co/invias2013/500%20PAVIMENTO%20DE%20CONCRETO%20HIDRAULICO.pdf>
- INTERVENTORIA IAR PROYECTOS S.A.S. Documentación requerida en la verificación del cumplimiento ART. 500 – INVIAS.
- GRUPO SIKA. Manual productos Sika 2015. 2017. Colombia. Disponible en internet: file:///C:/Users/JOHANA/Downloads/coht_Sikadur%2032%20Primer.pdf
- SIKA – Hoja de datos del producto. Disponible en internet: file:///C:/Users/JOHANA/Downloads/co-ht_Sikadur%2032%20Primer.pdf



ANEXOS

- ANEXO A: RESOLUCION No.108 DE 08 DE JUNIO DE 2018.
- ANEXO B: CERTIFICACIÓN PRÁCTICA PROFESIONAL – PASANTÍA.