



Control de calidad en el proceso constructivo de losas de pavimento rígido en una vía terciaria del municipio de Nariño Antioquia.

Sergio Andrés Martínez Salazar

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Asesor interno: Claudia Helena Muñoz Hoyos, PhD

Asesor Externo: Jefry Zea Buriticá, Esp

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita	(Martinez Salazar, 2023)
Referencia	Martinez Zalazar, S., (2023)., <i>Control de calidad en el proceso constructivo de losas de pavimento rígido en una vía terciaria del municipio de Nariño Antioquia</i> . [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Julio Cesar Saldarriaga Molina

Jefe departamento: Claudia Helena Muñoz Hoyos

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

A mi familia, quien siempre me brindó el apoyo inclusive en los momentos en los cuales quise desistir.

A la empresa CONSOR SAS por el apoyo brindado durante la realización de las prácticas.

Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
1 Objetivos	10
1.1 Objetivo general	10
1.2 Objetivos específicos	10
2 Marco teórico	11
3 Metodología	19
4 Resultados	20
5 Análisis	24
6 Conclusiones	37
Referencias	38

Lista de tablas

Tabla 1. Requisitos del agregado fino para concreto estructural	13
Tabla 2. Granulometría del agregado fino para concreto estructural.	13
Tabla 3. Requisitos del agregado grueso para concreto estructural.	14
Tabla 4. Granulometría del agregado grueso para concreto estructural.	14
Tabla 5. Especificaciones del cemento.....	15
Tabla 6 Propiedades físicas del cemento.....	15
Tabla 7. Criterios de diseño para la mezcla de concreto	18
Tabla 8. Análisis granulométrico del agregado fino	20
Tabla 9. Resultados de ensayos para concreto estructural realizados al agregado fino	20
Tabla 10 Análisis granulométrico del agregado grueso	21
Tabla 11. Resultados de ensayos para concreto estructural realizados al agregado grueso	21
Tabla 12. Resultados de los ensayos de propiedades físicas realizados al cemento	22
Tabla 13. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión	22

Lista de figuras

Figura 1. Perfilado de la subrasante	26
Figura 2. Regado de material de subbase	27
Figura 3 Compactación del material de subbase.....	27
Figura 4. Instalación de formaletas	28
Figura 5. Instalación de formaletas	28
Figura 6. Canastillas de sujeción y dovelas de transferencia de carga.....	29
Figura 7. Lubricación de las dovelas de transferencia	29
Figura 8. Supervisión del concreto fabricado en obra.....	30
Figura 9. Descarga del concreto fabricado en obra.....	30
Figura 10. Vibrado del concreto.....	31
Figura 11. Alisado y acabado del concreto.	31
Figura 12. Barras de amarre en el concreto.....	32
Figura 13. Rayado del concreto.	32
Figura 14. Curado del concreto con agente químico.....	33
Figura 15. Protección de las losas con plástico.....	33
Figura 16. Corte de juntas transversales	34
Figura 17. Despostillamientos de losa por el paso de vehículos.....	35
Figura 18. Despostillamientos de losa y aplastamiento de las barras de amarre	35
Figura 19. Bordes de losa bien acabados	35
Figura 20. Tramo de vía abierto al público	36

Resumen

El control de calidad en una obra de construcción se basa en la verificación técnica y aseguramiento de los estándares exigidos por las normas de construcción con el fin de evitar fallas futuras y practicas deficientes. En el presente informe se verifica la calidad del proceso constructivo de 750 metros lineales de pavimento rígido en la vía terciaria que comunica al municipio de Nariño, Antioquia con el corregimiento de Puerto Venus; en el marco de las prácticas empresariales realizadas entre el 6 de junio y el 6 de diciembre de 2022 como parte del proyecto mejoramiento de las condiciones viales rurales en el municipio de Nariño. La ejecución del control de calidad se realizó siguiendo las especificaciones técnicas del proyecto y las normas Invias. En donde se concluye que los materiales presentes en la mezcla de concreto cumplen las especificaciones mencionadas en este informe y la resistencia a la compresión del concreto se encuentra un 15% por encima de la especificada. La verificación del proceso constructivo fue satisfactoria. Sin embargo, en la inspección de las losas se pudo comprobar la presencia de despostillamientos debido al paso de vehículos.

Palabras clave: Pavimento rígido, Control de calidad, Resistencia a la compresión.

Abstract

Quality control in a construction site is based on technical verification and assurance of the standards required by construction regulations to avoid future failures and poor practices. This report verifies the quality of the construction process of 750 linear meters of rigid pavement on the tertiary road that connects the municipality of Nariño, Antioquia with the township of Puerto Venus; within the framework of business practices carried out between June 6 and December 6, 2022 as part of the project to improve rural road conditions in the municipality of Nariño. The execution of the quality control was carried out following the technical specifications of the project and Invias standards. Where it is concluded that the materials present in the concrete mix meet the specifications mentioned in this report and the compressive strength of the concrete is 15% above that specified. The verification of the construction process was satisfactory. However, in the inspection of the slabs it was possible to verify the presence of chipping due to the passage of vehicles.

Keywords: Rigid pavement, Quality control, Compressive strength.

Introducción

Las vías terciarias son aquellas que unen las cabeceras municipales con sus veredas o veredas entre sí. De acuerdo con el Invias, estas deben funcionar en afirmado y en caso de ser pavimentadas deben cumplir con las condiciones geométricas para las vías secundarias. A pesar de que las vías terciarias generalmente manejan menores volúmenes de tránsito, éstas son de gran importancia para el desarrollo económico de las comunidades rurales, ya que su correcto funcionamiento, rehabilitación o pavimentación genera un aumento del turismo, asegura el abastecimiento de los diferentes productos e insumos que requiere la población, se reducen los tiempos de viaje y se alarga el tiempo de vida de los vehículos; generando así un mejoramiento en la calidad de vida de los ciudadanos.

Debido a factores políticos, económicos y sociales, gran parte de las vías terciarias han sido relegadas y olvidadas por los gobiernos locales, departamentales y nacional. La falta de intervención genera un deterioro de éstas, el cual es propiciado por factores como el clima, la hidrología y la topografía. La pavimentación de las vías resuelve varios problemas asociados a estos factores y alarga considerablemente la vida útil de estas.

Antes de la construcción de un proyecto de pavimento rígido es necesario tener de estudios de tránsito y tráfico vehicular, así como estudios geológicos, topográficos, climáticos e hidrológicos de la zona; que permitan realizar el proceso de diseño siguiendo las diferentes metodologías (NTC, INVIAS) que luego serán evaluadas en una etapa de viabilidad económica para finalmente decidir si se ejecuta el proyecto.

El desarrollo de esta práctica académica tiene como objetivo complementar y fortalecer los conocimientos teórico-prácticos adquiridos en la universidad, aplicándolos en la realización e implementación de un control de calidad para la mezcla de concreto hidráulico y acompañamiento del proceso constructivo de 750 metros lineales de pavimento rígido en una vía terciaria del municipio de Nariño Antioquia.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Implementar un control de calidad en el proceso constructivo de un pavimento rígido en el municipio de Nariño, Antioquia de acuerdo con las especificaciones técnicas, normas vigentes (Invias) y ensayos de laboratorio llevados a cabo durante la ejecución del proyecto.

1.2 Objetivos específicos

- Planear la metodología de inspección o verificación del proceso constructivo en la zona de intervención del proyecto
- Analizar la calidad y resistencia de la mezcla de concreto hidráulico através de los resultados de diferentes ensayos de laboratorio.
- Comprobar que los agregados presentes en la mezcla de concreto cumplan con los requisitos de las normas vigentes (Invias) y especificaciones técnicas del proyecto.
- Verificar que la colocación de la mezcla de concreto, así como el acero y otros cumplan con los requisitos y especificaciones del proyecto
- Inspeccionar el estado de las losas de pavimento con el fin de detectar posibles errores constructivos.

2 Marco teórico

A continuación, se presentan los principales conceptos teóricos que sirven como guía para entender la realización de este informe.

Pavimento

Según el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS, 2013), un pavimento es un conjunto de capas de materiales seleccionados (subbase, base y carpeta de rodadura), apoyadas sobre la subrasante de la vía que, deben resistir adecuadamente los esfuerzos inducidos por las cargas de tránsito para las que fue diseñado y el efecto desgastante del clima. Existen dos posibilidades a la hora de construir un pavimento, que este sea flexible o rígido. La selección del tipo de pavimento está determinada por muchas variables entre las que están los criterios técnicos, los factores económicos del país o de la zona, de las fuentes de materiales, su idoneidad y distancia de acarreo, ahorros en energía, materiales y otros que en determinadas ocasiones pueden inclinar la decisión hacia un pavimento (INVIAS, 2013)

Pavimento rígido

Es un pavimento que está constituido por placas de concreto hidráulico apoyadas sobre la subrasante de la vía o sobre una capa de subbase en material seleccionado según lo requiera el diseño (INVÍAS, 2013). Debido a la rigidez y alto módulo de elasticidad del concreto, este tipo de pavimento basa su capacidad portante directamente en la capacidad de la losa y no en la subrasante dado que, a diferencia del pavimento flexible, no lleva una capa de base y solo en ocasiones, dependiendo de las condiciones de diseño y tipo de subrasante de la vía, lleva una capa de subbase (Arroyo & Francia, 2012).

Subrasante

De acuerdo con el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU, 2013), la subrasante es el suelo natural de la vía, es la capa encargada de soportar las cargas que son transmitidas por el pavimento y darle soporte a este. Se extiende hasta una profundidad tal que no afecte la carga de diseño obtenida a través del estudio de tránsito. El espesor de la losa de pavimento depende en gran medida

de la calidad de la subrasante, esta debe cumplir con requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos del agua.

A esta capa se le considera la cimentación del pavimento por lo que, si su resistencia es baja, se requerirán espesores de pavimento mayores para poder soportar las cargas de diseño (Arroyo & Francia (2012). Los tipos de subrasante usados en la norma colombiana se clasifican a través de la Relación de Soporte de California del suelo (CBR), cuyos resultados se pueden correlacionar con el módulo de reacción de la subrasante, el cual es necesario en el proceso de diseño (INVÍAS, 2013).

Sub base

Es una capa del pavimento, compuesta de material granular seleccionado, ubicada entre la subrasante y la losa de pavimento y destinada a soportar, transmitir y distribuir las cargas generadas en el pavimento. Al ser de material granular, ayuda como capa de drenaje y evitando el ascenso del agua por capilaridad, cuyo efecto puede provocar daños en la estructura del pavimento (Arroyo & Francia (2012).

Cuneta

Las cunetas son estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición (INVÍAS, 2009). Las cunetas construidas en zonas en terraplén protegen los bordes de la berma y los taludes del terraplén de la erosión causada por el agua lluvia. Para las cunetas en zonas de corte, los puntos de disposición son cajas colectoras de alcantarillas y salidas laterales al terreno natural en un cambio de corte a terraplén. En las cunetas en terraplén, las aguas se disponen al terreno natural mediante bajantes o alivios y en las cunetas de un separador central las aguas también son conducidas a la caja colectora de una alcantarilla (INVÍAS, 2009).

Concreto Hidráulico

Es una mezcla homogénea conformada por agregados (grava y arena), material cementante, agua, y eventualmente adiciones complementarias (INVÍAS, 2022).

Materiales presentes en la mezcla de concreto hidráulico

Agregado Fino

Se considera como tal, a la fracción que pase el tamiz de 4,75 mm (nro. 4). Debe provenir de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas o escorias siderúrgicas (INVÍAS, 2022). El agregado fino debe cumplir los requisitos que se indican en la tabla 1:

Tabla 1. *Requisitos del agregado fino para concreto estructural*

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Análisis granulométrico de los agregados finos	E-213	Ver tabla 2
Material que pasa el tamiz No 200	E-214	Ver tabla 2
Módulo de finura	E-213	2.3-3.1
Terrones de arcilla y partículas deleznable (%)	E-211	3
Contenido de materia orgánica	E-212	Igual al color de referencia

La gradación se debe ajustar a lo indicado en la tabla 2:

Tabla 2. *Granulometría del agregado fino para concreto estructural.*

Tipo de gradación	Tamiz (mm/U.S Standard)							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.600	0.300	0.150	0.075
	3/8 Pul	Nro 4	Nro 18	Nro 16	Nro 30	Nro 50	Nro 100	Nro 200
Única	Pasa tamiz (%)							
	100	95-100	80-100	50-85	25-60	5-30	0-10	0-3

Fuente: INVÍAS 2022

Agregado Grueso

Se denomina agregado grueso la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (nro. 4). Dicho agregado debe estar compuesto de grava, grava triturada o roca triturada o su combinación o concreto triturado fabricado con cemento hidráulico. Sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Debe estar exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla (INVÍAS, 2022).

La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y construcción del concreto debe ser continua y asemejarse a las teóricas obtenidas al aplicar las

fórmulas de Fuller, Bolomey o cualquier otro método validado por alguna institución técnica de reconocido prestigio nacional o internacional. En la tabla 3 se presentan los requisitos del agregado grueso para losas de concreto hidráulico.

Tabla 3. Requisitos del agregado grueso para concreto estructural.

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Análisis granulométrico de los agregados gruesos	E-213	Ver tabla 4
Desgaste en la máquina de los ángeles a 500 Rev. (%)	E-218	40
Índice de alargamiento (%)	E-230	25
Índice de aplanamiento (%)	E-230	25

Fuente: INVIAS 2022

La gradación se debe ajustar a lo indicado en la tabla 4:

Tabla 4. Granulometría del agregado grueso para concreto estructural.

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
INVIAS		ASTM C33	2 ½"	2 Pul	1 ½"	1 Pul	¾"	½"	3/8"	Nro 4	Nro 8
			Pasa tamiz (%)								
AG-1	Fracción 1: 2 pulgadas a 1 pulgada	3	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-
	Fracción 2: 1 pulgada a No 4	57	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
AG-2	Fracción 1: 1 ½" a ¾"	4	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-
	Fracción 2: ¾" a No 4	67	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
AG-3	1 pulgada a No 4	57	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
AG-4	2 pulgadas a No 4	357	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
AG-5	1 ½" a No 4	467	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
AG-6	1 Pul a ½"	5	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-
AG-7	1 Pul a 3/8 Pul	56	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5		
AG-8	3/4 Pul a 3/8 Pul	6	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-

Fuente: INVIAS 2022

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe tener un valor mayor que 1/3 de la altura de la losa.

Cemento hidráulico

El cemento usado en la construcción de pavimentos rígidos debe cumplir las siguientes especificaciones:

Tabla 5. *Especificaciones del cemento*

Denominación	Norma	Tipo de Requisitos que establece la norma
Cemento hidráulico especificado por desempeño	NTC 121	-Propiedades de desempeño - No hay restricciones sobre la composición del cemento o sus ingredientes
Cemento Portland	ASTM C150	-Ingredientes - Proporciones -Composición Química Requisitos Físicos
Cemento hidráulico adicionado	ASTM C595	

Fuente: INVIAS 2022

La composición química para el cemento no está especificada. Sin embargo, debe cumplir las siguientes propiedades físicas:

Tabla 6 *Propiedades físicas del cemento*

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Tiempo de fraguado (Min)	NTC 118	45-420
Cambio de longitud en autoclave (%)	NTC 107	0.8
Resistencia a la compresión 3-7-28 días (MPa)	NTC 220	8-15-24
Contenido de aire (%)	NTC 224	12

Fuente: INVIAS, 2022

Agua

Cuanta menos agua se utilice en la mezcla mejor será la calidad de esta, la reducción del agua puede afectar en la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto, en su adherencia, con el acero de refuerzo, a la variación de sus dimensiones por humedecimiento y secado y los agrietamientos por contracción, resistencia al intemperismo y permeabilidad.

Juntas

Las juntas son parte importante de los pavimentos de concreto y se hacen con el fin de controlar los esfuerzos que se presentan en el concreto como consecuencia de los movimientos de contracción y de dilatación del material y a los cambios de temperatura y humedad, entre la cara superficial y la de soporte de las losas de concreto. Es importante realizar los cortes cuando el concreto haya alcanzado la resistencia suficiente, ni mucho tiempo antes que provoque la generación de desportillamientos de las losas, ni muy tarde, de manera que deje que en el concreto se empiecen a formar patrones de agrietamiento.

Primero se deben realizar los cortes transversales y luego los longitudinales, para evitar que la separación entre juntas transversales sea mayor entre la menor medida de cinco metros (5 m) o veinticuatro (24) veces el espesor. Estas deben ser continuas, y al igual que en las juntas longitudinales, se debe realizar un corte inicial con un ancho de tres milímetros (3 mm) y a una profundidad de al menos un tercio ($1/3$) del espesor de la losa de concreto, con el fin de inducir la falla controlada.

Para la formación de juntas, se deben utilizar cortadoras con discos diamantados, operadas por mano de obra calificada para dicho trabajo. Estas juntas deben contener un material sellante que puede ser: sellos asfálticos aplicados en caliente, elastómeros (siliconas, poliuretanos o material equivalente), o sellos preformados. En los documentos del proyecto se debe especificar el tipo de material de sello por emplear en las juntas de las losas (INVIAS, 2022).

Dovelas de transferencia de carga

Cualquier sistema de transferencia de carga con dovelas utilizado en las losas de concreto debe tener la suficiente resistencia a la corrosión para soportar el ambiente en el que se utilice durante la vida útil prevista de la estructura del pavimento. Por esta razón, las barras de transferencia deben llevar una película de anticorrosivo (base del tipo epoxi-zinc o equivalente avalada por el interventor) en la totalidad de la dovela, de acuerdo con la especificación AASHTO M 254.

Las barras deben tener las siguientes características:

- Acero redondo y liso.
- Con límite de fluencia (f_y) mínimo de cuatrocientos veinte megapascales (420 MPa).
- Ambos extremos de los pasadores deben ser lisos y estar libres de rebabas cortantes, o de cualquier imperfección o deformación que restrinja su deslizamiento libre dentro del concreto
- Las barras de acero, cuando estas se requieran según el proyecto, deben cumplir la NTC 161. (INVIAS, 2022).

Barras de amarre

En las juntas que muestren los documentos del proyecto y/o en los sitios en que indique el interventor, se deben colocar barras de amarre, con el propósito de evitar el desplazamiento de las losas y la abertura de las juntas. En general, las barras de amarre no deben ser dobladas y enderezadas. Sin embargo, si por razones constructivas es absolutamente indispensable doblarlas y enderezarlas con expresa autorización del interventor, se debe utilizar un acero con límite de fluencia (f_y) de doscientos ochenta megapascales (280 MPa).

En este caso, el constructor debe rediseñar el sistema de barras de amarre para acomodarlo a la nueva resistencia y ductilidad. Cuando el proyecto contemple la colocación de barras de amarre, estas se deben instalar en forma perpendicular a la junta longitudinal, con la separación mostrada en los documentos del proyecto. Deben quedar aproximadamente a la mitad del espesor de la losa y en forma paralela a la superficie del pavimento, con una mitad a cada lado de la junta. (INVIAS, 2022).

Curado del concreto

Durante el tiempo de fraguado, el concreto debe ser protegido contra el lavado por lluvia, contra la insolación directa, el viento y la humedad ambiente baja. El curado del concreto se debe realizar en todas las superficies libres, incluyendo los bordes de las losas, por un periodo no inferior a siete días (7 d) y, de ser posible, se debe prolongar hasta diez días (10 d). Existen diferentes tipos de curado como la aplicación de humedad, cubrimiento con compuestos químicos que forman membrana, cubrimientos con membrana, retardantes de evaporación y barreras contra viento y sol

(INVIAS, 2022). La selección del tipo de curado, así como el momento adecuado para su aplicación, dependen de las características específicas del proyecto, tales como las condiciones ambientales y el tipo de mezcla, el curado del concreto debe seguir los lineamientos de la guía ACI 308R, Guía para curado del concreto. (INVIAS, 2022).

Resistencia del concreto

Se debe proveer la resistencia del concreto solicitada en los documentos y las especificaciones del proyecto. Esta no debe ser menor de veintiocho megapascuales (28 MPa), y debe cumplir los especificado en la Tabla 7

Tabla 7. *Criterios de diseño para la mezcla de concreto*

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Modulo de rotura a veintiocho días, Min en MPa	INV E-414/NTC 2871	
-Tránsito NT1		3.8
-Tránsito NT2		4.0
-Tránsito NT3		4.2

Fuente: INVIAS, 2022

3 Metodología

1. Revisión bibliográfica y recolección de información

Para la realización del presente informe fue necesaria la recolección de información acerca de los procesos constructivos de fabricación, colocación, desencofrado, curado y puesta en servicio del pavimento rígido. Dicha información se obtuvo de documentos como las especificaciones técnicas del proyecto y de normas colombianas aplicables a la construcción de pavimentos rígidos como las especificaciones generales de construcción de carreteras (INVIAS 2022), manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito (INVIAS 2008), manual de drenaje para carreteras (INVIAS 2013).

2. Visitas a campo e inspección del proceso constructivo

Una vez realizada la recolección de información se procede a realizar las visitas periódicas a campo con el objetivo de reconocer el terreno y verificar el proceso constructivo de las losas que incluye la correcta colocación de la mezcla de concreto hidráulico, acero de refuerzo, pasadores de carga, formaletas, desencofrado, curado, juntas de dilatación, sellado de juntas y texturizado.

3. Toma de muestras y ensayos de laboratorio

Se realizaron ensayos de laboratorio con el objetivo de evaluar las propiedades granulométricas de los agregados, generar un diseño de mezcla y obtener la resistencia a la compresión de las muestras de concreto a los 7,14 y 28 días. Los ensayos fueron realizados en el laboratorio VACAB del municipio de La Dorada.

4. Control de calidad, evaluación del estado del concreto y análisis de resultados.

Se realiza un control de calidad a los materiales de la mezcla de concreto hidráulico, que incluyen cemento, agregado grueso, agregado fino y agua. Este control de calidad está basado en los diferentes resultados de los ensayos de laboratorio, y la interpretación de las observaciones de los procesos constructivos.

4 Resultados

Análisis granulométrico de los agregados de la mezcla de concreto

Agregado Fino

El agregado fino utilizado en la mezcla de concreto fue obtenido de canteras aledañas a los ríos Samaná y Moro, el ensayo de granulometría lo clasificó como una arena gruesa y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 8. *Análisis granulométrico del agregado fino*

TAMIZ	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	ESPECIFICACION
	% PASA	% PASA	% PASA	% PASA	NTC 174 ASTM C33
3/8"	97.6	98.6	99.5	97.8	100
N° 4	95.3	96.2	96.2	95.2	95-100
N° 8	83.5	83.6	80.9	86.9	80-100
N° 16	70.6	70.11	72.7	57.6	50-85
N° 30	45.0	43.6	39.8	36.8	25-60
N°50	15.7	13.5	9.6	18.8	5-30
N° 100	3.8	2.2	5.4	6.7	0-10
N° 200	0.0	0.0	1.2	2.8	0-3

Adicionalmente, se realizaron ensayos los siguientes ensayos:

Tabla 9. *Resultados de ensayos para concreto estructural realizados al agregado fino*

Característica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Especificación
Material que pasa tamiz # 200	0.0	0.0	1.3	2.8	0-3%
Modulo de Finura	2.86	2.4	2.35	3.4	2.3-3.1%
Terrones de Arcilla y partículas delezables	1.3	3.2	2.5	2.7	3%

Contenido de materia orgánica	Mas claro que el color de referencia	Igual al color de referencia o de la placa orgánica nro. 3			
-------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------------------------------

Agregado Grueso

El agregado grueso usado en la mezcla de concreto fue obtenido de canteras certificadas del municipio de Rionegro, Antioquia. El análisis granulométrico arrojó los siguientes resultados:

Tabla 10 *Análisis granulométrico del agregado grueso*

TAMIZ	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	ESPECIFICACION
	% PASA	% PASA	% PASA	% PASA	NTC 174 ASTM C33 % PASA
1 1/2"	100	100	100	100	100
1	96.9	100	100	96.4	100
3/4"	91.6	91.3	87.6	91.3	100-90
1/2 "	41.4	47.5	52.9	53.4	77.5-55.0
3/8"	21.3	33.0	25.2	33.2	55.0-20.0
N° 4	6.9	8.3	6.8	5.9	10-0.0
N° 8	5.9	5.2	4.9	5.2	5.0-0.0

En la tabla 11 se presentan los resultados de las pruebas a las que fueron sometidas las muestras de agregado grueso

Tabla 11. *Resultados de ensayos para concreto estructural realizados al agregado grueso*

Característica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Especificación
Desgaste en la máquina de los ángeles 500 rev.	22	15.7	15.7	16.2	Max 40%
Índice de alargamiento	12 %	11.7%	11.7%	11.7%	Max 25%
Índice de aplanamiento	15%	9%	10%	10%	Max 25%

Cemento hidráulico

Los Resultados de las pruebas de propiedades físicas del cemento hidráulico son entregados directamente por el fabricante (Alion) y se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12. Resultados de los ensayos de propiedades físicas realizados al cemento

Característica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Especificación (NTC 121)
Tiempo de fraguado (min)	193	192	191	45-420
Cambio de longitud en autoclave	0 %	0 %	0 %	Max 0.8%
Resistencia a la compresión (3d)	10	10	10	Min 8 MPa
Contenido de aire (En volumen de mortero)	No se especifica	No se especifica	No se especifica	Max 12%

Resistencia a la compresión del concreto

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión cada 50 metros cúbicos para diferentes muestras de concreto, tal como lo especifican los documentos del proyecto. Los ensayos de resistencia se realizaron en el laboratorio VACAB de La Dorada, Caldas.

Tabla 13. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión

Muestra No	Estructura fundida	Especificación (PSI) (INVIAS 2022)	Edad (días)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Fc desarrollo (PSI)	% Desarrollo
1	Pavimento Rígido	3500	7	373.92	38129	3082	88
2	Pavimento Rígido	3500	7	346.94	35358	2858	82
3	Pavimento Rígido	3500	14	450.83	45972	3716	106
4	Pavimento Rígido	3500	14	455.00	46397	3751	107

5	Pavimento Rígido	3500	28	756.86	76789	4012	115
5	Pavimento Rígido	3500	28	776.37	78985	3987	114

5 Análisis

Se realizó un análisis de los resultados recolectados por medio de pruebas de laboratorio y observación en campo. A continuación, se verificará que los ensayos cumplan con las especificaciones técnicas. Adicionalmente, se realizará un análisis del proceso constructivo.

Materiales presentes en la mezcla de concreto

Esta sección incluye el control de calidad y análisis de los diferentes materiales que forman la mezcla de concreto.

Agregado fino

El agregado fino para la realización de la mezcla de concreto hidráulico debía cumplir los requisitos de granulometría mostrados en la tabla 2. De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 8 se puede afirmar que en general el agregado cumple con las especificaciones. Para el tamiz de 3/8" existe una variación del porcentaje que no pasa de alrededor del 2%, esto puede deberse a la inadecuada selección y separación de los materiales en la cantera. La granulometría para el resto de los tamices cumple con las especificaciones exigidas. El porcentaje de material que pasa el tamiz # 200 cumple con lo especificado en la tabla 2.

Aparte de la granulometría, el agregado fino debe cumplir con otras especificaciones como módulo de finura y contenido de partículas indeseables. En promedio, el módulo de finura cumple con lo especificado en la tabla 3. La cantidad de terrones de arcilla y partículas deleznable en promedio es inferior al 3% lo que cumple con lo especificado en la tabla 3. Adicionalmente, el contenido de materia orgánica también se ajusta a lo especificado en la tabla 3 en donde se obtuvieron colores más claros que la muestra de referencia. El agregado fino se acepta y cumple con lo especificado en el proyecto.

Agregado grueso

La gradación del agregado grueso se debe ajustar a lo especificado en la tabla 4. De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 10, se puede observar que la granulometría cumple con lo especificado en todos los tamices, excepto por el tamizado # 8 en donde se queda retenido más del 5.3 % de material. Esto indica que el agregado presenta más cantidad de finos de los que se permite

por norma. Sin embargo, esta variación en promedio no supera un 0.3%. De acuerdo con la granulometría, el tamaño máximo nominal del agregado grueso es $\frac{3}{4}$ " el cual es un valor aceptable ya que la losa de concreto tiene una altura de 200 mm.

Las otras especificaciones para el agregado grueso incluyen dureza, durabilidad e índice de forma de las partículas (ver tabla 3). El ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles a 500 revoluciones arrojó valores que van desde el 22 al 16.2 en porcentaje. Estos valores cumplen con la especificación la cual no debe superar el 40 % .

El ensayo de índice de alargamiento arrojó resultados que varían entre el 11 y el 12%, estos resultados se ajustan a la especificación que permite máximo un 25%. Así mismo, el índice de aplanamiento de las partículas arroja un valor entre el 9 y el 15% lo que está dentro de lo permitido en las especificaciones técnicas. De acuerdo con la granulometría, el tamaño máximo nominal del agregado grueso es $\frac{3}{4}$ " el cual es un valor aceptable ya que la losa de concreto tiene una altura de 200 mm. El agregado grueso se acepta y cumple con lo especificado en el proyecto.

Cemento Hidráulico

Según los resultados de la tabla 12 de propiedades físicas del cemento, se tiene lo siguiente:

El tiempo de fraguado varia de 191 a 193 minutos, lo que esta dentro del rango permitido en las especificaciones técnicas. Las muestras no presentan cambios en la longitud en el ensayo de autoclave. La resistencia a la compresión a los 3 días arrojó un valor de 10 MPa lo cual se encuentra dentro del rango de las especificaciones.

Verificación de la resistencia del concreto

De acuerdo con la tabla 13, para los primeros 7 días se obtuvo una resistencia de 3082 psi equivalente al 88% de la resistencia total. A los catorce días se alcanzó un valor de de 3716 en promedio equivalente al 107% y a los 28 días la resistencia alcanzó 4012 psi equivalente a un 115% de la resistencia total. Los resultados anteriores indican que el concreto fabricado en obra tiene una resistencia por encima de la requerida.

Verificación Del Proceso Constructivo

En esta sección se detalla la verificación del proceso constructivo llevado a cabo durante la estancia de práctica en el proyecto mejoramiento de las condiciones viales rurales en el municipio de Nariño. Este proceso se realiza con el fin de ejercer el control de calidad y asegurar los requisitos exigidos por el contratante.

1. Perfilación, nivelación y compactación del terreno

Este trabajo consiste en la ejecución de todo el movimiento de tierra necesario para adecuar un área a los niveles previstos para la construcción de la vía. El corte de materiales de préstamo cuando éstos sean necesarios, la evacuación de materiales inadecuados que se encuentran en las áreas sobre las cuales se va a construir, la disposición final de los materiales y la conformación y compactación de las áreas donde se realizará la obra.

Antes de iniciar la instalación de formaletas y el vaciado del concreto, se realizan las respectivas excavaciones para ensanchar y llevar la subrasante a los niveles previstos en el diseño (figura 1). En algunos casos se realizan llenos según lo demandado en los planos.

Figura 1. *Perfilado de la subrasante*



Luego de realizar las excavaciones y cortes en la subrasante, se procede a realizar el regado del material de subbase y su conformación en la vía a través de explanaciones hasta alcanzar el espesor de diseño que según las especificaciones es de 150 mm.

Figura 2. *Regado de material de subbase*



Posteriormente se procede a realizar la compactación del material de subbase hasta obtener una densidad seca mayor al 95% del ensayo Proctor Modificado. La humedad del material se controla de manera que permanezca en el rango requerido para obtener la densidad especificada.

Figura 3 *Compactación del material de subbase*



2. Instalación de formaletas

Previo al inicio del vaciado del concreto, se procede a instalar las formaletas metálicas de 3 metros (figuras 4 y 5). Es importante resaltar que el área donde se instalan las formaletas y se realiza el vaciado debe estar completamente limpia y sin restos de materiales indeseados como escombros, basuras, agregados o materia orgánica. La longitud instalada de las formaletas es siempre la necesaria para completar la jornada planeada sin atrasos por falta de la misma. Tales formaletas deben estar niveladas y alineadas con la cota de diseño y no se permite que estén torcidas.

Figura 4. Instalación de formaletas



Figura 5. *Instalación de formaletas*



3. Colocación de las canastillas de sujeción y dovelas de transferencia de carga

Debido a que el diseño contempla vaciados continuos, se requiere de unas canastillas en acero que soporten los pasadores de carga. Las dovelas de transferencia deben ser de acero liso y redondo y se cortan de acuerdo a lo especificado en los planos.

Antes de iniciar el vaciado de las losas, se procede a colocar las canastillas de sujeción y las dovelas de transferencia de carga (figura 6). Estas últimas, deben estar alineadas entre sí y deben ser paralelas a la junta longitudinal. Para evitar desviaciones más allá de lo especificado, es necesario que las dovelas estén ligeramente soldadas en un extremo. Para prevenir la adherencia de las barras de transferencia con el concreto y permitir su libre movimiento, estas se lubrican con grasa en su totalidad (figura 7).

Figura 6. *Canastillas de sujeción y dovelas de transferencia de carga*



Figura 7. *Lubricación de las dovelas de transferencia*



4. Vaciado y manejo del concreto en el sitio de obra

Debido a la dificultad de acceso, el concreto fue fabricado en obra mediante el uso de concretadoras. Antes de realizar la mezcla de concreto, se debe supervisar el manejo de los agregados (figuras 8 y 9) para evitar segregación, degradación o contaminación con sustancias indeseables. Previo a realizar el vaciado del concreto, se verifica que los materiales utilizados se dosifiquen en las proporciones fijadas en el diseño de mezcla, controlando las humedades de los materiales.

Figura 8. *Supervisión del concreto fabricado en obra*



Figura 9. *Descarga del concreto fabricado en obra*



5. Vibrado, alisado, y acabado del concreto.

Cuando el concreto ya está colocado, se realiza el vibrado (figura 10) con el objetivo de compactar, retirar las burbujas de aire y evitar vacíos y oquedades en éste. Posterior al vibrado, se realiza el alisado y acabado de la superficie de concreto utilizando un codal metálico de 3m (figura 11).

Figura 10. *Vibrado del concreto.*



Figura 11. *Alisado y acabado del concreto.*



6. *Instalación de barras de amarre*

Una vez el concreto se haya moldeado y fraguado lo suficiente, se colocan las barras de acero de $\frac{1}{2}$ pulgada (figura 12) que servirán para evitar desplazamientos en la losa y separaciones en las juntas. Estas barras se colocan justo en la mitad del espesor de la placa y son perpendiculares a las juntas longitudinales.

Figura 12. *Barras de amarre en el concreto*



7. Texturizado y cepillado del concreto

Una vez comprobado el acabado superficial y cuando el brillo producido por el agua haya desaparecido, se le proporcionará al pavimento una textura estriada con un rastrillo metálico dejando en la superficie del concreto canales de aproximadamente 5 mm de espesor (figura 13).

Figura 13. *Rayado del concreto.*



8. Protección y Curado del concreto

El concreto se debe proteger durante el tiempo de fraguado contra el lavado por lluvia, la insolación directa, y el viento. El curado se realiza con antisol blanco mediante aspersion por bomba de riego (Figura 14).

Figura 14. *Curado del concreto con agente químico*



Para efecto de protección por lluvias, se cubre la losa de concreto con plástico negro del ancho de la misma o superior (Figura 15). Es importante que el plástico no esté rasgado, perforado o tenga imperfecciones debido a que a través de estos se puede filtrar el agua lluvia y generar lavado del concreto.

Figura 15. *Protección de las losas con plástico.*



9. Corte y sellado de juntas

El corte de las juntas se debe efectuar una vez el concreto haya alcanzado la resistencia suficiente para soportar el peso de la máquina y no se vea afectado el acabado. Las juntas se realizaron de manera longitudinal y transversal al eje de la vía (figura 16). Se verificó que el corte tuviera una profundidad de $1/3$ de la losa de concreto como lo indica la especificación del Invias.

Figura 16. *Corte de juntas transversales*



El sello de juntas se realizó utilizando un cordón de respaldo Tipo SikaRod de 3/8” en la parte del fondo y Sikaflex 401 Pavement como material de sello.

Inspección visual del estado de las losas

Se realizaron varias visitas al sitio de obra con el fin de realizar una inspección visual de las losas que fueron colocadas durante el tiempo de ejecución del proyecto. Debido a una problemática social con la comunidad de la zona de influencia del proyecto, no fue posible realizar un cierre total de vía como lo demandaba el PMT, por lo tanto, la construcción se realizó con paso a un carril lo cual generó algunos inconvenientes que afectaron el estado de las losas como despostillamientos en los bordes de las juntas longitudinales y aplastamiento de algunas barras de amarre (figuras 17 y 18). Sin embargo, los resultados de la inspección fueron satisfactorios y no encontraron problemas que pudieran afectar la calidad y el servicio en las losas de concreto (figuras 19 y 20).

Figura 17. *Despostillamientos de losa por el paso de vehículos*



Figura 18. *Despostillamientos de losa y aplastamiento de las barras de amarre*



Figura 19. *Bordes de losa bien acabados*



Figura 20. *Tramo de vía abierto al público*



6 Conclusiones

Los diferentes ensayos realizados a los materiales de la mezcla de concreto cumplen con las especificaciones del proyecto y las normas Invias, por lo que se puede concluir que estos materiales son aptos para la construcción del pavimento rígido.

Los ensayos de resistencia a la compresión realizados a los 7, 14 y 28 días determinaron que la resistencia de la mezcla de concreto se encuentra por encima de la especificada en los documentos del proyecto.

Se pudo comprobar que a lo largo de la ejecución del proyecto se realizaron buenas prácticas constructivas relacionadas con el manejo y dosificación de los agregados, control de humedad, colocación del acero y concreto, así como el curado de las losas.

Se pudo comprobar despostillamientos en algunas losas debido al paso de vehículos, para estos casos, se recomienda restringir el paso de vehículos y un cierre total de vía.

Referencias

- Arroyo, H., Francia, N. (2012). Diseño y conservación de pavimentos rígidos. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/504>
- ASTM International [ASTM]. (2008). C-293, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)
- Higuera, C. (2011). Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. ISBN 978-958-660-152-8
- Instituto de Desarrollo Urbano [IDU]. (2013). Guía de diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.
- Instituto Nacional de vías [INVÍAS]. (2008). Manual de diseño geométrico de carreteras
- Instituto Nacional de vías [INVÍAS]. (2009). Manual de drenaje para carreteras
- Instituto Nacional de vías [INVÍAS]. (2012). Glosario de Manual de diseño geométrico de carreteras. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/glosarios/1017-glosario-manual-diseno-geometrico-carretera/file>
- Instituto Nacional de vías [INVÍAS]. (2013). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.
- Instituto Nacional de vías [INVÍAS]. (2022). Especificaciones generales de construcción de carreteras.
- Londoño, C. (2004). Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto.