



**Evaluación de la calidad de los materiales empleados en la pavimentación de la vía
Quebradita – Jaiperá en el municipio de Urrao, Antioquia**

Lubín García Moreno

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero de Materiales

Asesor
Francisco Javier Bolívar Osorio, PhD.

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Materiales
Medellín, Antioquia, Colombia
2022

Cita	García Moreno [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] L. García Moreno, “Evaluación de la calidad de los materiales empleados en la pavimentación de la vía Quebradita – Jaiperá en el municipio de Urrao, Antioquia”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.



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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Francisco Javier Herrera.

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.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. OBJETIVOS	10
A. Objetivo general	10
B. Objetivos específicos	10
III. MARCO TEÓRICO	11
A. Proceso constructivo de una vía en pavimento rígido	11
1. Instalación de base granular	12
2. Instalación de losa de concreto de 3.8 MPa	13
B. Ensayos requeridos en agregados pétreos	15
C. Ensayos requeridos en las mezclas	19
IV. METODOLOGÍA	21
A. Ejecución de los trabajos en el seguimiento de la base granular	22
B. Requisitos de calidad de los agregados para bases granulares	24
C. Ejecución de los trabajos en el seguimiento de la losa de concreto	25
D. Requisitos de calidad de los agregados para la losa de concreto	28
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	32
A. Seguimiento base granular	32
1. Materiales	32
2. Control de calidad de los materiales	33
B. Seguimiento losa de concreto	38
1. Materiales	38
2. Control de calidad de los materiales	39
C. Deficiencias en el proceso constructivo	46
VII. CONCLUSIONES	48
REFERENCIAS	50

LISTA DE TABLAS

TABLA I PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO	11
TABLA II DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO DE 3.8 MPA	15
TABLA III ENSAYOS REQUERIDOS POR EL INVIAS EN AGREGADOS PÉTREOS	16
TABLA IV REQUISITOS DE LOS AGREGADOS PARA BASES GRANULARES	24
TABLA V FRANJA GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL DE BASE GRANULAR	25
TABLA VI FRANJA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO DEL CONCRETO	28
TABLA VII REQUISITOS DEL AGREGADO FINO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS	28
TABLA VIII FRANJA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUEDO DEL CONCRETO	30
TABLA IX REQUISITOS DEL AGREGADO GRUESO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS	30
TABLA X VARIABLES DE DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO	32
TABLA XI RANGO DE VALORES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS EMPLEADOS PARA LA BASE GRANULAR	34
TABLA XII SEGUIMIENTO CONTROL DE PROCEDENCIA	34
TABLA XIII SEGUIMIENTO CONTROL DE PRODUCCIÓN	36
TABLA XIV RANGO DE VALORES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS FINOS PARA EL CONCRETO	39
TABLA XV RANGO DE VALORES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS GRUESOS PARA EL CONCRETO	40
TABLA XVI SEGUIMIENTO CONTROL DE PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS DEL CONCRETO	40
TABLA XVII MÓDULO DE ROTURA DE LAS PROBETAS DE CONCRETO ENVIADAS AL LABORATORIO	44

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación de la vía Quebradita - Jaiperá. Municipio de Urrao, Antioquia	9
Fig. 2. Zona de almacenamiento de materiales barrio Jaiperá, municipio de Urrao, Antioquia.	23
Fig. 3. Suministro, extensión y compactación de la base granular.	23
Fig. 4. Límites franja granulométrica de material para base granular	25
Fig. 5. Fuente de agregado fino - Río Penderisco	26
Fig. 6. Clasificadora manual del agregado fino	26
Fig. 7. Carmix empleada para el mezclado, transporte y extensión del concreto hidráulico	27
Fig. 8. Instalación de toldo de protección durante las épocas de lluvias en la obra	28
Fig. 9. Límites franja granulométrica para el agregado fino del concreto	29
Fig. 10. Límites franja granulométrica para el agregado grueso del concreto	30
Fig. 11. Sección típica de la vía	32
Fig. 12. Fuente de material - Balustrera La Aná	33
Fig. 13. Material agregado con contenido arcilloso - Protección de la humedad del ambiente.	35
Fig. 14. Curva granulométrica del material empleado en la base granular.	38
Fig. 15. Granulometría del agregado fino proveniente del río Penderisco	42
Fig. 16. Granulometría del agregado grueso proveniente de Agregados El Tonusco LTDA	43
Fig. 17. Vigas elaboradas en obra de pavimentación Urrao, Antioquia	43
Fig. 18. Resistencia de las vigas de concreto a los 7 y 28 días de fraguado	46
Fig. 19. Fracturas en distintas placas de la obra de pavimentación.	47

RESUMEN

El Municipio de Urrao está ubicado en la región suroccidental del Departamento de Antioquia a una distancia de Medellín de 157 km por la vía Urrao-Betulia y a 80 km de fuentes de material de agregados fino y grueso certificadas y con registro minero. Es así como la utilización de materiales provenientes de fuentes de materiales ubicadas en el municipio requiere el acompañamiento por parte de un profesional con el fin de evaluar la calidad de estos materiales en la ejecución de proyectos viales, como lo es la pavimentación de la vía Quebradita – Jaiperá en el municipio de Urrao.

Para el desarrollo de esta práctica académica se realizó por una parte el seguimiento y la evaluación de la calidad de los agregados gruesos provenientes de la Balastrea La Aná, los cuales fueron empleados en la base granular de la estructura del pavimento, en una proporción 60/40, siendo el segundo componente y del cual se debía lograr un porcentaje mínimo de compactación del 80%. Además se realizó el seguimiento y la evaluación de la calidad de la arena provenientes del río Penderisco, los cuales fueron empleados como agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico de la estructura del pavimento, el cual debía lograr un módulo de rotura de 3.8 MPa.

Semanalmente se enviaron a los laboratorios aliados de la empresa muestras de los agregados empleados tanto en la producción de la base como del concreto con el fin de verificar el cumplimiento de los ensayos requeridos por el INVIAS, permitiendo que, en conjunto con una adecuada selección, transporte y almacenamiento de los materiales, se logaran los requerimientos técnicos del proyecto.

***Palabras clave* — Concreto hidráulico, agregados fino y grueso, módulo de rotura, porcentaje de compactación.**

ABSTRACT

The Municipality of Urrao is in the southwestern region of the Department of Antioquia at 157 km from Medellin via the Urrao-Betulia road and 80 km from certified sources of fine and coarse aggregate material and with mining registration. This is how the use of materials from sources of materials located in the municipality requires the accompaniment of a professional to evaluate the quality of these materials in the execution of road projects, such as the paving of the Quebradita road. – Jaiperá in the municipality of Urrao.

For the development of this academic practice, on the one hand, the monitoring and evaluation of the quality of the coarse aggregates from the Balastrera La Aná was carried out, which were used in the granular base of the pavement structure, in a proportion 60/ 40, being the second component and of which a minimum percentage of compaction of 80% had to be achieved. In addition, the monitoring and evaluation of the quality of the sand from the Penderisco River was carried out, which were used as fine aggregate in the preparation of the hydraulic concrete of the pavement structure, which should achieve a modulus of rupture of 3.8 MPa.

Samples of the aggregates used both in the production of the base and the concrete were sent weekly, allowing the technical requirements of the project to be achieved, together with an adequate selection, transport, and storage of the materials.

Keywords — Hydraulic concrete, fine and coarse aggregates, modulus of rupture, compaction percentage.

I. INTRODUCCIÓN

El municipio de Urrao está situado hacia la parte suroccidental del Departamento de Antioquia y al noroeste de Colombia, sobre la parte norte de la Cordillera Occidental y en la cuenca del río Atrato. Localizado a 06° 19.021' de latitud norte y 076° 08.065' de longitud al oeste de Greenwich. Dista de Medellín 157 Km por la vía Urrao - Betulia, posee una extensión de 2556 km², la altura de la cabecera es de 1800 m.s.n.m. y las alturas del territorio oscilan entre los 100 m.s.n.m. y 4.080 m.s.n.m. en el Cerro de Campanas, máxima altura de la Cordillera Occidental en Antioquia. Pertenece a la subregión Suroeste y a la zona Penderisco, conformada por los municipios de: Urrao, Betulia, Concordia y Salgar.

Urrao cuenta con un deficiente y mal estado de la malla vial urbana, esto se manifiesta principalmente en el mal estado de la carpeta de rodadura en la mayor parte de la extensión de las calles y avenidas del Municipio, en las calles en afirmado, en la estrechez de las secciones viales y en el deterioro de las vías principales. La intercomunicación entre los diferentes barrios entre sí y con el centro del casco urbano es deficiente generando congestión en sus vías por el elevado flujo vehicular.

De la magnitud del estado de las vías se puede decir que, del 28.34 km de vías urbanas, 8.05 km están en afirmado y 17.32 km están pavimentadas, la cuales se deben mejorar por deterioro. De los corredores en afirmado se tiene la vía que conduce desde la zona céntrica del Municipio hacia el barrio Jaiperá, denominada como la vía Quebradita – Jaiperá, con una extensión de aproximadamente 1.2 km. En la **Fig. 1** se muestra la ubicación de esta vía.

Actualmente, de acuerdo con el estudio de tránsito, por esta vía transitan alrededor de 786 vehículos promedio semanales, con un promedio diario de 112 vehículos, con un incremento durante los fines de semana y en temporada. De acuerdo con información que reporta la Secretaría de Tránsito y Transporte del Municipio, se presentan un promedio de 6 accidentes de tránsito semanales y 4 de ellos son debido al mal estado de las vías. Además, se presenta un tiempo de viaje adicional de 20 minutos en promedio por cada 1000 metros de trayecto en la carrera 31 y 30 entre las calles 33 y 39.

La Administración Municipal de Urrao, teniendo conocimiento de la problemática anteriormente descrita, suscribió con la Gobernación de Antioquia – Secretaría de Infraestructura Física, el convenio interadministrativo No 4600011454 de 2020 cuyo objeto es “Aunar esfuerzos entre el Departamento de Antioquia y el Municipio de Urrao, para la ejecución de las actividades de mejoramiento de vías urbanas en el municipio asociado”, por el cual se ejecutará la pavimentación de 856 metros de la vía Quebradita – Jaiperá en pavimento rígido.

Al iniciar las labores en el Municipio de Urrao, se identifica que el municipio no cuenta con una cantera certificada para la extracción del material de acuerdo con el PBOT vigente y la

Corporación Autónoma Regional. Sin embargo, por sus cuencas hídricas, sus ríos y su orografía, el municipio cuenta con abundante material de la zona, resultando posible extraer material de río y de peña para la pavimentación de la vía, teniendo en cuenta que éste debe superar los controles de calidad adoptados por la empresa de acuerdo con las exigencias del diseño entregado por la Administración Municipal.

Para ello, la empresa Consorcio IRÓ realizó ensayos de granulometría del material del río, de los cuales se obtuvo un resultado favorable respecto a si era viable hacer uso de estos materiales en el proyecto de pavimentación, incluyendo el diseño de la mezcla de concreto y su respectiva dosificación de tal forma que se pudieran cumplir los requerimientos exigidos por los diseños estructurales. Posteriormente, se dieron indicaciones al practicante de ingeniería de materiales durante su proceso de entrenamiento para el proceso de selección del material, seguimiento de la calidad y control de dosificaciones que le permitan realizar la evaluación de la calidad de los materiales empleados en la pavimentación durante todo el tiempo de ejecución de la obra.

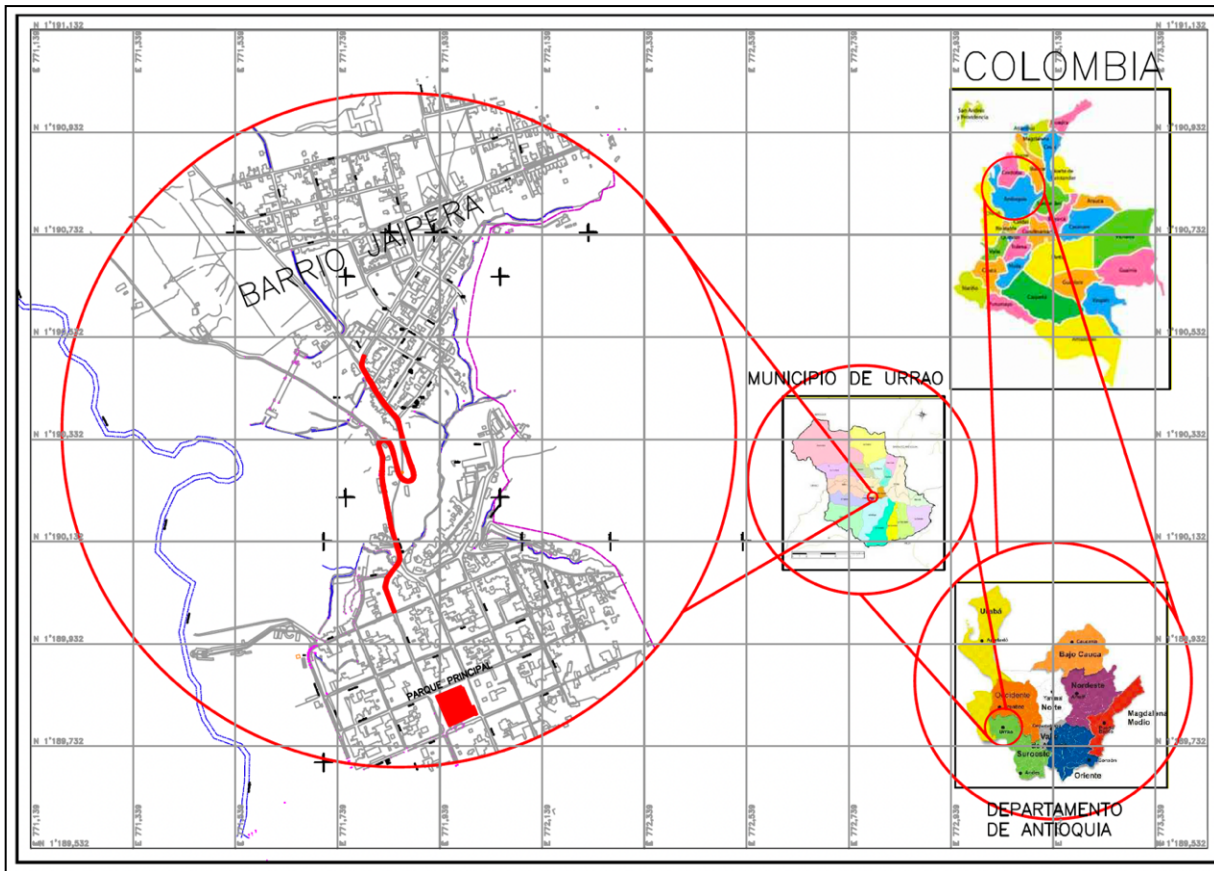


Fig. 1. Ubicación de la vía Quebradita - Jaiperá. Municipio de Urrao, Antioquia

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar la calidad de los materiales empleados en la pavimentación de la Vía Quebradita – Jaiperá del Municipio de Urrao.

B. Objetivos específicos

- Seleccionar los materiales finos y gruesos en la fuente que van a ser empleados en la obra de tal forma que cumplan los parámetros de acuerdo con los estándares de calidad.
- Adecuar los materiales a utilizar en la obra de acuerdo con su uso final dentro del proceso de pavimentación.
- Verificar la dosificación de la base granular y de la mezcla del concreto de acuerdo con los diseños de la estructura.
- Analizar los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a la base granular y la estructura de pavimento.

III. MARCO TEÓRICO

A. Proceso constructivo de una vía en pavimento rígido

Un proceso constructivo es el conjunto de fases, sucesivas o solapadas en el tiempo, necesarias para la materialización de un edificio o de una infraestructura. Si bien el proceso constructivo es singular para cada una de las obras que se pueda concebir, si existen algunos pasos comunes que siempre se deben realizar [1]. En la **TABLA I** se presenta el proceso constructivo de una vía en pavimento rígido y que abarca las actividades que se llevaron a cabo durante la realización de la práctica académica.

TABLA I
PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

Actividad	Proceso
Excavación mecánica	Excavación y nivelación de las zonas donde se va a construir la vía, se realiza de acuerdo a la sección transversal indicada en los planos constructivos.
Conformación de la vía	Consiste en dejar la vía apta para la aplicación de la base incluyendo el mejoramiento de la subrasante. Se compacta la capa de sello y se verifica que la subrasante esté al nivel indicado en los planos.
Instalación de base granular	Con el material de base sobre la superficie de la subrasante, éste se extiende haciendo uso de una motoniveladora con un espesor uniforme de manera que al compactarlo quede al nivel indicado.
Instalación de losa de concreto 3.8 MPa	Distribución homogénea del concreto a todo lo largo y ancho de la vía, evitando el exceso o falta de concreto. El texturizado se realiza en forma transversal y debe hacerse cuando el concreto aún se encuentra en estado plástico.
Instalación de acero de refuerzo	Las dovelas son barras de acero liso, completamente engrasadas se localizan en la mitad del espesor de la losa garantizando el paralelismo entre el eje longitudinal de vía, el plano de la base y las barras, que a su vez deben ser paralelas entre sí
Construcción de juntas de dilatación	Con este proceso se busca inducir grietas de forma controlada en el pavimento, se realizan dos cortes: el primero para aliviar y controlar grietas ocasionadas por la retracción plástica y el segundo para alojar el material del sello.
Sellado de juntas	Antes de sellar se debe limpiar la junta en forma integral para librarla de los restos de lechada, compuesto curador y agentes extraños. El sello debe resistir expansiones y contracciones. Es necesario verificar que la cavidad se encuentre seca antes de aplicar el sellador.
Instalación de cordón prefabricado	Instalación de bordillo prefabricado en concreto en el perímetro de la vía, esto con el fin de garantizar un adecuado confinamiento de la vía y además la separación entre vías y andenes.

Durante el desarrollo de la práctica la instalación de la base granular y la losa de concreto de 3.8 MPa serán las actividades objeto del seguimiento y evaluación de la calidad de los agregados

fino y grueso a ser empleados, teniendo en cuenta que las fuentes de estos materiales están ubicadas en el municipio de Urrao y no cuentan con la certificación de cantera correspondiente.

1. Instalación de base granular

Esta actividad comprende el suministro, transporte, colocación, conformación y compactación de capas de materiales granulares destinados a servir como base estructural de pavimentos. La base se construirá sobre la subrasante preparada o sobre el afirmado existente. El material se colocará en una o varias capas de acuerdo con los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los planos o determinados por la interventoría y el trabajo podrá extenderse a las bermas y zonas laterales que indique el respectivo proyecto.

El espesor de la capa será de 15 centímetros. La superficie de la base deberá quedar perfilada de acuerdo con las cotas proyectadas y uniformemente compactada. Las cotas de la superficie terminada no podrán diferir en más de 2mm con relación a las cotas de la superficie teórica proyectada y el espesor del material no podrá ser menor que el proyectado (0.15). Después de terminado cualquier tramo de la base, se deberá efectuar su conservación hasta la entrega final y definitiva de las obras. La conservación deberá incluir la escarificación, reconfiguración y compactación de las áreas que hayan sido deformadas o destruidas por cualquier causa. La conservación incluye también la colocación del material adicional que sea necesario y el mantenimiento hasta su entrega final. La superficie de la base granular debe quedar completamente nivelada y uniforme para garantizar que las placas de concreto tengan un espesor y un apoyo uniformes.

Materiales: Los materiales para la conformación de la base deberán ser agregados naturales clasificados. Las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los diferentes materiales se resumen en las especificaciones dadas por INVIAS, cuyos requisitos granulométricos se presentan en la especificación respectiva. El material para utilizar deberá estar libre de materia vegetal, terrones de arcilla, tierra, sustancias deletéreas o cualquier elemento objetable y deberá tener una naturaleza tal que, al esparcirse y compactarse, produzca una superficie firme y bien unida. Además, deberá estar compuesta de partículas duras o fragmentos de piedra o grava, con llenante mineral finamente dividido, de manera que pueda obtenerse una capa firme y compactada. No podrá contener exceso de finos que lo hagan demasiado plástico, pero tampoco deberá ser tan limpio que carezca totalmente de plasticidad.

Para la construcción de bases granulares, será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica. Para prevenir segregaciones y garantizar

los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que se produzca deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente o viceversa.

Ensayos para realizar: El material se colocará y extenderá en capas de espesor no mayor de 0.15 m, medido antes de la compactación. El material se remojará o se oreará si fuere necesario, hasta obtener un contenido de humedad cercano al óptimo y se compactará hasta obtener como mínimo el 95% de la densidad seca máxima correspondiente al ensayo Proctor Modificado.

2. *Instalación de losa de concreto de 3.8 MPa*

Este trabajo consiste en la elaboración, transporte, colocación y vibrado de una mezcla de concreto hidráulico, con un módulo de rotura de 3.8 MPa, como estructura del pavimento; la ejecución de juntas, el acabado, el curado y demás actividades necesarias para la correcta construcción del pavimento, de acuerdo con los lineamientos, cotas, secciones y espesor indicados en esta especificación y teniendo en cuenta los pavimentos existentes.

La mezcla no se extenderá 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, esta superficie consistirá en una base para pavimento tipo INVIAS con una compactación del 95 % del Proctor modificado y la mezcla será de 0.15 cm de espesor.

Antes de verter el concreto, se saturará la superficie de apoyo de las losas sin que se presenten charcos o, si el proyecto lo contempla, se cubrirá con papel especial o material plástico con traslapos no inferiores a ciento cincuenta milímetros (150 mm) y plegándose lateralmente contra las formaletas, cuando éstas se utilicen. El traslapo se hará teniendo en cuenta la pendiente longitudinal y transversal, para asegurar la impermeabilidad. En todos los casos, se prohibirá circular sobre la superficie preparada, salvo las personas y equipos indispensables para la ejecución del pavimento.

Después de comprobar el acabado superficial y hacer las correcciones necesarias y cuando el brillo producido por el agua haya desaparecido, se le dará al pavimento una textura transversal homogénea, en forma de estriado, por la aplicación manual o mecánica de un cepillo con púas de plástico, alambre u otro material aprobado por el Interventor, en forma sensiblemente perpendicular al eje de la calzada, de tal forma que las estrías tengan unos dos milímetros (2mm) de profundidad.

Durante el tiempo de fraguado, el concreto deberá ser protegido contra el lavado por lluvia, la insolación directa, el viento y la humedad ambiente baja. Durante el período de protección, que en general no será inferior a tres (3) días a partir de la colocación del concreto, estará prohibido

todo tipo de tránsito sobre él. El pavimento se dará al servicio cuando el concreto haya alcanzado una resistencia a flexo tracción del noventa por ciento (90%) de la especificada a siete (07) días.

No se debe permitir ningún método de manejo de los agregados que pueda causar segregación, degradación, mezcla de agregados de distintos tamaños o contaminación con el suelo.

El cemento se debe almacenar en sitios secos y aislados del suelo. Si se trata de cemento en sacos, el almacenamiento del cemento no se hará en pilas de más de siete sacos de altura y se deberá rechazar todo el cemento que tenga más de dos meses de almacenamiento.

Los componentes de la mezcla se introducirán en la mezcladora de acuerdo con una secuencia previamente establecida y deberá contar con la aprobación de la Interventoría. Los materiales integrantes del concreto se deben mezclar durante el tiempo necesario para obtener una homogeneidad adecuada y en principio no deberá ser inferior a un minuto desde el momento en que la totalidad de los materiales han sido introducidos en la mezcladora.

El tambor de la mezcladora deberá operar con una velocidad entre 14 y 20 revoluciones por minuto. Cuando la mezcladora haya estado detenida más de 30 minutos, se limpiará completamente antes de volver a utilizarla.

Materiales:

- Cemento.
- Agregado grueso: El agregado grueso para hormigón será grava lavada de río, roca triturada o una combinación de las dos, limpia, dura, sana y durable, uniforme en calidad y libre de pedazos blandos, quebradizos, alargados, laminados, roca desintegrada, material orgánico, cal, arcilla o cualquier otra sustancia indeseable. La calidad de material sometido a la prueba de desgaste en la máquina de los Ángeles no debe sobrepasar un desgaste del 40% en peso.

Los tamaños de los agregados gruesos podrán variar entre ½” y 1½”. Los agregados no pueden presentar planos de exfoliación definidos, y deben provenir de piedras o rocas de grano fino. Para muros y losas, con espesor menor de 20 cm, especialmente en vigas canales el tamaño máximo será de ¾”.

- Agregado fino: La calidad de la arena de río será uniforme, limpia, densa y libre de lodos y materia orgánica. El tamaño debe estar comprendido entre 0.5 y 2 mm muy bien gradada. Se deberá hacer periódicamente los ensayos de las muestras de las arenas, para cerciorarse de la bondad de esta en cuanto al contenido de arcilla y de materia orgánica.

- Agua: El agua para las mezclas de concreto, deberá ser limpia y sin ácidos, aceite, sales, limos, materiales orgánicos o cualquier sustancia que pueda perjudicar la calidad, resistencia o durabilidad del concreto. En caso de agua de calidad dudosa deberá someterse a pruebas de laboratorio para permitir su posible utilización.

Los agregados y el cemento para la fabricación del concreto se dosificarán por peso, en las proporciones fijadas en el diseño de la mezcla, controlando las humedades de los materiales (Ver **TABLA II**). Para la elaboración del diseño se utilizó una muestra de triturado de 1 ½” gris procedente de la cantera Agregados El Tonusco y una muestra de arena gris y café procedente de río Penderisco con cemento argos estructural.

TABLA II
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO DE 3.8 MPA

Asentamiento [Cm]	A/C	C	Arena	Triturado	
7.6	0.58	1	2.2	2.9	Peso
			1.6	2.3	Volumen

Ensayos para realizar: Las especificaciones dadas por el diseñador definirán los niveles de resistencia y consistencia a exigir al concreto. Se especificará la resistencia a flexo tracción en probetas prismáticas fabricadas y curadas según la Norma ASTM C31 y el control de campo se podrán efectuar mediante el ensayo de este tipo de probetas según la norma ASTM C78 o el de tracción indirecta según la norma NTC 722.

Por cada 50 m³ de mezcla se tomará una muestra compuesta por 4 probetas de las cuales se fallarán 2 a 7 días y 2 a 28 días. Los especímenes fallados a 7 días se utilizarán para controlar la regularidad de la calidad de la producción del concreto, pero serán los fallados a los 28 días los que se utilicen para evaluar la resistencia del concreto. El promedio de la resistencia de los especímenes tomados simultáneamente de la misma mezcla se considera como un ensayo. Ningún valor de un ensayo estará a más de 0.2 MPa (2 kgf/cm²) por debajo de la resistencia a flexo tracción especificada por el diseñador y el promedio de cualquier grupo de 4 ensayos consecutivos deberá ser igual o mayor que la resistencia a flexo tracción especificada por el diseñador más 0.2 MPa (2 kgf/cm²).

B. Ensayos requeridos en agregados pétreos

En el marco del proyecto semanalmente se debían tomar muestras de los agregados pétreos para ser ensayados en los laboratorios aliados de la constructora, siendo ellos los encargados de realizar todo el ejercicio práctico y suministrar, posteriormente, los resultados de los ensayos, para lo cual el practicante debía verificar el cumplimiento o no cumplimiento de los resultados de acuerdo con lo exigido en la norma. En la **TABLA III**, se presenta, de manera sucinta, la descripción de los

ensayos realizados en los agregados pétreos utilizados durante la ejecución de la obra de pavimentación.

TABLA III
ENSAYOS REQUERIDOS POR EL INVIAS EN AGREGADOS PÉTREOS

Nombre	Norma	Descripción
Determinación del límite líquido de los suelos	INV-E-125-13	Se procesa la muestra de suelo para remover cualquier porción retenida en el tamiz de 425 μm (No. 40). El límite líquido se determina mediante tanteos, en los cuales una porción de la muestra se esparce sobre una cazuela de bronce que se divide en dos partes con un ranurador, permitiendo que esas dos partes fluyan como resultado de los golpes recibidos por la caída repetida de la cazuela sobre una base normalizada. El límite líquido multipunto, Método A, requiere 3 o más tanteos sobre un rango de contenidos de agua, cuyos resultados se dibujan para establecer una relación a partir de la cual se determina el límite líquido. El método de un punto, Método B, usa los datos de dos tanteos realizado con un solo contenido de agua, multiplicado el valor obtenido por un factor de corrección.
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	INV-E-126-13	El límite plástico se determina presionando de manera repetida una pequeña porción de suelo húmedo, de manera de formar rollos de 3.2 mm (1/8") de diámetro, hasta que su contenido de agua se reduce a un punto en el cual se produce el agrietamiento y/o desmoronamiento de los rollos. El límite plástico es la humedad más baja con la cual se pueden formar rollos de suelo de este diámetro, sin que ellos se agrieten o desmoronen. El índice de plasticidad se calcula sustrayendo el límite plástico del límite líquido.
Equivalente de arena de suelos y agregados finos	INV-E-133-13	Un volumen normalizado de suelo o de agregado fino y una pequeña cantidad de solución floculante se colocan en un cilindro de plástico graduado y se agitan, para que las partículas de arena pierdan la cobertura de material arcilloso o similar. La muestra es posteriormente "irrigada", usando cierta cantidad de solución floculante, para forzar al material arcilloso o similar a ar en suspensión sobre la arena. Después de un período de sedimentación, se determinan las alturas del material arcilloso y fino floculado y de la arena en el cilindro. El equivalente de arena es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.
Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados	INV-E-211-13	Este ensayo es de importancia fundamental para aprobar el empleo de agregados destinados a la elaboración de concretos hidráulicos. Para los agregados gruesos, el porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales, deberá ser un promedio basado en el porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales en cada fracción, ponderado de acuerdo con la granulometría de la muestra original antes de la

Nombre	Norma	Descripción
		<p>separación o, preferiblemente, la granulometría promedio del suministro representado por la muestra. Si el agregado contiene menos del 5% de cualquiera de los tamaños especificados en la norma, no se deberá ensayar dicho tamaño sino que, para fines del cálculo del promedio ponderado, se deberá considerar que contiene el mismo porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznable que el tamaño inmediatamente mayor o inmediatamente menor, cualquiera de ellos que se halle presente.</p>
<p>Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los ángeles</p>	<p>INV-E-218-13</p>	<p>Este ensayo mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas, el cual depende de la granulometría de la muestra de ensayo. A medida que gira el tambor, una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. Entonces, la muestra y las esferas ruedan dentro del tambor, hasta que la pestaña las levanta y se repite el ciclo. Tras el número especificado de revoluciones, se retira el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación, como un porcentaje de pérdida.</p>
<p>Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio</p>	<p>INV-E-220-13</p>	<p>Este ensayo determina la resistencia de los agregados pétreos cuando deben soportar la intemperie en concretos y otras aplicaciones. Este efecto se simula sometiendo los agregados a inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguida de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables de las partículas del agregado. La fuerza de expansión interna, derivada de la rehidratación de la sal después de re-inmersión, simula la expansión del agua por congelamiento.</p>
<p>Determinación del valor del 10% de finos</p>	<p>INV-E-224-13</p>	<p>Se compacta en un cilindro metálico una muestra de agregado de tamaño especificado, aplicándole golpes con una varilla. La muestra compactada se somete gradualmente a un esfuerzo de compresión, a causa del cual sus partículas se van fragmentando en una cuantía que depende de su resistencia al aplastamiento. El grado de fragmentación del agregado se evalúa mediante el tamizado del espécimen a través de un tamiz de 2.36 mm (No. 8), luego de terminada la compresión. El procedimiento se realiza con varias cargas de compresión, con el fin de establecer la carga con la cual se produce en el agregado un 10 % de finos.</p>

Nombre	Norma	Descripción
<p>Índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras</p>	<p>INV-E-230-13</p>	<p>El ensayo de índice de aplanamiento consiste en dos operaciones sucesivas. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en fracciones. Luego, cada una de las fracciones se criba empleando para ello tamices de barras paralelas colocadas a separaciones $3/5[(d_i + D_i)/2]$. Las partículas que pasen el tamiz son consideradas planas. En lugar de los tamices de barras paralelas, se puede utilizar un calibrador con ranuras cuyas aberturas son del mismo tamaño de las separaciones de las barras de los tamices.</p> <p>El ensayo de índice de alargamiento consiste en dos operaciones sucesivas. En primer lugar, mediante el uso de tamices, se divide la muestra en fracciones. Luego, cada fracción se analiza utilizando un calibrador de longitudes, el cual tiene barras verticales separadas a distancias $9/5[(d_i + D_i)/2]$. Se considera que todas las partículas retenidas por las barras son alargadas.</p>
<p>Valor de azul de metileno en agregados finos</p>	<p>INV-E-235-13</p>	<p>El ensayo consiste en añadir de manera sucesiva pequeñas dosis de una solución de azul de metileno a una suspensión de la muestra de ensayo en agua. Después de cada dosis se comprueba la absorción de solución colorante por parte la muestra, realizando una prueba de coloración sobre papel de filtro para detectar la presencia de colorante libre. Una vez confirmada la presencia de colorante libre, se calcula el valor de azul de metileno, expresado en gramos de colorante absorbido por kilogramo de la fracción granulométrica ensayada.</p>
<p>Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato Micro-Deval</p>	<p>INV-E-238-13</p>	<p>El ensayo Micro-Deval es una medida de la resistencia a la abrasión y de la durabilidad de agregados pétreos, como resultado de una acción combinada de abrasión y molienda con esferas de acero en presencia de agua. Una muestra con granulometría normalizada se sumerge inicialmente en agua durante un lapso no menor de una hora. La muestra se coloca entonces en un recipiente de acero de 20 cm de diámetro, con 2.0 litros de agua y una carga abrasiva, consistente en 5000 g de esferas de acero de 9.5 mm de diámetro. Recipiente, agregado, agua y carga se rotan a 100 rpm hasta por 2 horas, dependiendo del tamaño de las partículas. Posteriormente, se lava la muestra y se seca en el horno. La pérdida es la cantidad de material que pasa el tamiz de 1.18 mm (No 16), expresada como porcentaje de la masa seca original de la muestra.</p>

Nota: Elaboración propia a partir de [2].

C. Ensayos requeridos en las mezclas

- **CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA INV-E-148-13 [2]**

Este método de ensayo se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, incluyendo materiales reciclados, para su empleo en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles.

El ensayo CBR se utiliza en el diseño de pavimentos. En el ensayo, un pistón circular penetra una muestra de suelo a una velocidad constante. El CBR se expresa como la relación porcentual entre el esfuerzo requerido para que el pistón penetre 2.54 o 5.08 mm (0.1 o 0.2") dentro de la muestra de ensayo, y el esfuerzo que se requirió para penetrar las mismas profundidades una muestra patrón de grava bien gradada.

Este método se emplea para determinar el CBR de una muestra compactada en un molde especificado. Es de responsabilidad de quien exige la ejecución de ensayos, especificar la finalidad del ensayo para satisfacer sus protocolos o los requerimientos específicos del diseño. Entre las posibles finalidades se pueden mencionar las siguientes:

- El ensayo se debe realizar sobre cada punto de un ensayo de compactación realizado de acuerdo con las normas de ensayo INV E– 141 o INV E–142. En este caso, el molde CBR con el disco espaciador especificado en esta norma tendrá el mismo volumen del molde de compactación de 152. 4 mm (6”).
- Se emplea otra alternativa para la determinación del CBR del material compactado a unos valores específicos de humedad y densidad o, alternativamente, se establecen unos rangos de humedad y densidad para realizar los ensayos. En este caso, se requiere elaborar varias muestras de ensayo, usando dos o tres energías de compactación que permitan abarcar el rango requerido.
- **MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A FLEXIÓN (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS MEDIOS) NTC 2871 [3]**

Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con las normas ASTM C 42, ó ASTM C 31 ó ASTM C 192. Los resultados se calculan y reportan como el módulo de rotura. La resistencia que se determina variará si existen diferencias en el tamaño del espécimen, su preparación, condiciones de humedad, curado, o si la viga ha sido fundida o cortada al tamaño requerido.

Los resultados de este método de ensayo se pueden usar para determinar el cumplimiento con las especificaciones o como base para operaciones de dosificación, mezcla y colocación de concreto. Se utiliza en ensayos de concreto para la construcción de losas y pavimentos.

El espécimen de ensayo consiste en una viga de longitud L y altura menor a un tercio de su longitud; debe tener una luz libre entre apoyos igual a tres veces su altura, con una tolerancia del 2%. Los lados de la viga deben formar ángulos rectos con la cara superior e inferior. Todas las superficies deben ser lisas y libres de huellas, muescas, agujeros o inscripciones.

El ensayo de flexión sobre especímenes curados en húmedo se debe realizar tan pronto como sea posible luego de su remoción del sitio de curado. La carga se debe aplicar de manera continua sin cambios bruscos de velocidad, a una velocidad que incremente constantemente el esfuerzo sobre la cara en tensión hasta que ocurra la fractura.

Si la fractura ocurre en la superficie de tensión y fuera del tercio medio de la luz libre en más del 5% de ésta, los resultados del ensayo se deberán descartar.

IV. METODOLOGÍA

La primera etapa del Proyecto de Pavimentación de vías urbanas en el Municipio de Urrao, Antioquia, tenía un plazo establecido de seis meses, cuya meta era la pavimentación en concreto hidráulico de 856 metros lineales, dentro de los cuales estaría inscrito el semestre de práctica. Con el fin de lograr el objetivo general denominado “Evaluar la calidad de los materiales empleados en la pavimentación de la Vía Quebradita – Jaiperá del Municipio de Urrao” se contemplaron las siguientes actividades:

Objetivo Específico 1: Seleccionar los materiales finos y gruesos en la fuente que van a ser empleados en la obra de tal forma que cumplan los parámetros de acuerdo con los estándares de calidad.

- Se revisaron los diseños estructurales y las especificaciones técnicas de la obra: esta actividad consistió en adquirir todo el contexto y antecedentes de la pavimentación, así como la apropiación de todos los requerimientos técnicos para la correcta ejecución de la obra civil.
- Se visitó el sitio de la fuente de materiales, las playas del río para la arena, y la peña en el caso del triturado, con el fin de realizar el seguimiento a los materiales que ingresaban a la obra, su fuente y la disposición de estos durante su almacenamiento: con esta actividad se pretendía garantizar el cumplimiento de los parámetros exigidos para todos los materiales que ingresaban a la obra por medio de una inspección visual, así como el adecuado almacenamiento que permitió que sus propiedades se conservaran o realizarse la evaluación de las actividades necesarias para que estas se cumplieran en el momento en que fueron empleados, como era el caso de la humedad.
- Se planearon las cantidades diarias y se garantizó el suministro de materiales necesarios de acuerdo con las actividades del cronograma de obra: esta actividad garantizó el abastecimiento continuo de materiales para la obra de tal forma que se pudiera cumplir con el rendimiento semanal programado, cumpliendo así con el cronograma de obra presentado al municipio.

Objetivo Específico 2: Adecuar de los materiales a utilizar en la obra de acuerdo con su uso final dentro del proceso de pavimentación.

- Se trasladaron los materiales a la zona de adecuación y se supervisó su correcta preparación: En el caso de la arena de río y el material de peña, estos debían ser limpiados de cualquier material vegetal u orgánico, además de pasar por las mallas de la clasificadora para garantizar el tamaño del grano.
- Se dispusieron los materiales en un lugar limpio y seco hasta el momento en que iban a ser empleados en la obra.

Objetivo Específico 3: Verificar la dosificación de la base granular y de la mezcla del concreto de acuerdo con los diseños de la estructura.

- Se verificó la dosificación de la base granular y de la mezcla de concreto del pavimento rígido de acuerdo con los diseños de la estructura: con esta actividad se buscaba dar garantía de que se lograra la densidad de campo exigida para la base granular y la resistencia a la flexión de la losa de concreto, toda vez que estas dependían en gran parte de la dosificación empleada.
- Se supervisaron las actividades de la mano de obra calificada y no calificada durante los procesos constructivos: la calidad y el acabado final de los materiales dependían de la correcta ejecución de los procedimientos constructivos que eran ejecutados por todo el personal de la obra.

Objetivo Específico 4: Analizar los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a la base granular y la estructura de pavimento.

- Se supervisó la toma de muestra para los ensayos de laboratorio y sus resultados de acuerdo con lo exigido en los diseños: con esta actividad se buscaba realizar un seguimiento durante la toma de muestras para los ensayos, de acuerdo con lo exigido en las normas, así como la revisión de los resultados entregados por el laboratorio para la verificación de las propiedades de los materiales de acuerdo con lo establecido en los diseños.
- Se elaboró un informe con el seguimiento de las actividades anteriormente descritas y la evaluación de los materiales empleados en la obra.

A. . Ejecución de los trabajos en el seguimiento de la base granular

Una vez suministrada la información por parte de la empresa Consorcio IRÓ, se estableció un plan de trabajo en conjunto entre el residente del constructor y la interventoría del proyecto respecto al suministro de la base granular, como se describe a continuación:

Una visita semanal por parte del practicante a la segunda fuente del material, la Balustrera La Aná, con el fin de establecer las cantidades de material a extraer semanalmente de acuerdo con el rendimiento de la obra y verificar la calidad del material grueso extraído de acuerdo con la inspección visual realizada en el entrenamiento del proyecto.

El material era transportado a la zona de almacenamiento de materiales ubicado en el barrio Jaiperá del municipio, donde se mezclaba con el material proveniente de la primera fuente de material, Agregados El Tonusco LTDA, en una proporción 60/40 entre la primera y segunda fuente respectivamente.

En el sitio de campo, el material se disponía en un cordón de sección uniforme, de tal forma que se podía verificar su homogeneidad, y que de acuerdo con el estado en que se encontrara el material, en ocasiones se debía humedecer, y en otras ocasiones airear, de tal forma que se pudiera

obtener la humedad óptima de acuerdo con los requisitos establecidos en la **TABLA IV** y a la inspección visual realizada en el entrenamiento del proyecto.



Fig. 2. Zona de almacenamiento de materiales barrio Jaiperá, municipio de Urrao, Antioquia.

Posteriormente, la motoniveladora extendía el material sobre la calzada, previa preparación de la superficie existente, donde se verificó en cada ocasión que no existieran irregularidades y las cotas y pendientes fueran las apropiadas de acuerdo con la sección de la vía y su respectivo bombeo como se establece en la **Fig. 11** del presente documento.

Una vez extendido el material, el vibro compactador realizaba la compactación del material, se verificó en campo que, con tres pasadas del rodillo, el material lograba la densidad seca especificada en el proyecto.



Fig. 3. Suministro, extensión y compactación de la base granular.

B. Requisitos de calidad de los agregados para bases granulares

Los agregados para la base granular por utilizar en el proyecto debían satisfacer los requisitos de calidad indicados en la **TABLA IV**. El laboratorio a cargo de realizar los ensayos descritos en la **TABLA IV** los debía realizar bajo la luz de la norma indicada en la **TABLA III** del marco teórico, y era obligación del practicante revisar los resultados y verificarlos de acuerdo con los requerimientos aquí expuestos de forma cualitativa indicando si cumplían o no, y en caso de que no cumplieran reportar inmediatamente al residente constructor y a la interventoría del proyecto.

TABLA IV
REQUISITOS DE LOS AGREGADOS PARA BASES GRANULARES

Característica	Norma de ensayo INVIAS	Valor requerido
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)		
- 500 revoluciones	E-218	40
- 100 revoluciones		8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	30
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos		
- Valor en seco, mínimo (kN)	E-224	70
- Relación húmedo/seco, mínimo (%)		75
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)		
- Sulfato de sodio	E-220	12
- Sulfato de magnesio		18
Limpieza (F)		
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2
Geometría de partículas (F)		
Índice de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35
Resistencia del material (F)		

Característica	Norma de ensayo INVIAS	Valor requerido
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado.	E-148	≥ 80

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos, el material debía dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja que se muestra en la **Fig. 4** sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa de acuerdo con los valores señalados en la **TABLA V**.

TABLA V
FRANJA GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL DE BASE GRANULAR

Tipo de gradación	Tamiz (mm/ U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	¾"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% Pasa							
BG - 38	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15

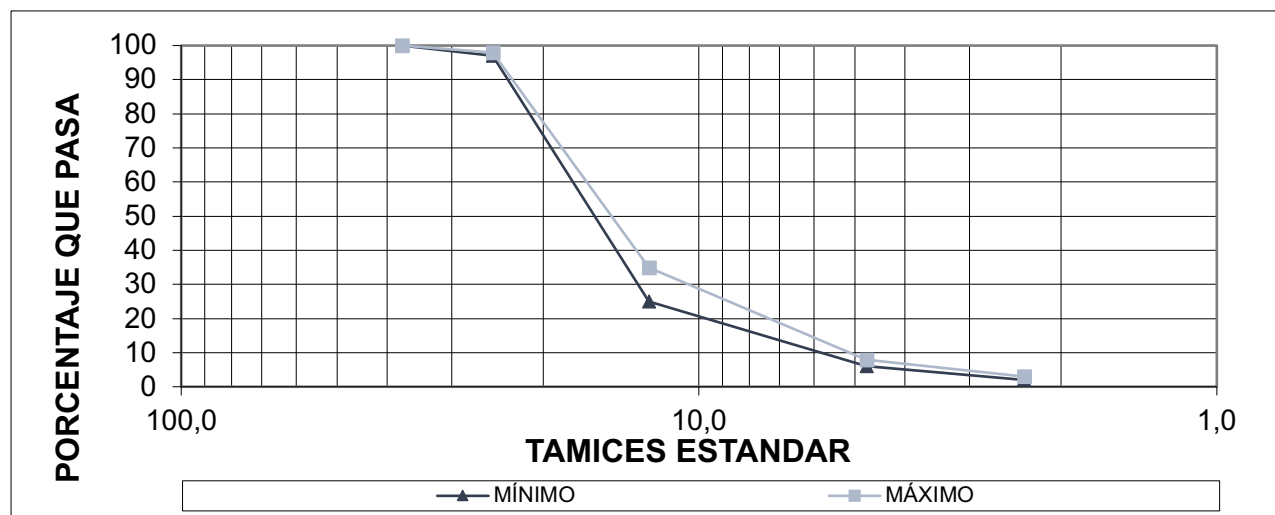


Fig. 4. Límites franja granulométrica de material para base granular

C. Ejecución de los trabajos en el seguimiento de la losa de concreto

El Río Penderisco Nace en el cerro Plateado entre los municipios de Urrao, Carmen de Atrato y Betulia, y aguas arriba del casco urbano cuenta con bancos de arena explotados de forma artesanal por una asociación de areneros.

Para el proyecto de pavimentación se requirió al practicante realizar visitas a la fuente del material con el fin de realizar una inspección visual de la arena, de tal forma que se cargara al vehículo de transporte única y exclusivamente aquella que estuviera limpia de materia orgánica, material arcilloso y partículas de tamaños significativos a simple vista, para posteriormente acompañar el transporte de la arena hacia la zona de almacenamiento para su posterior selección y tamizado (Ver **Fig. 5**).



Fig. 5. Fuente de agregado fino - Río Penderisco

En la zona de acopio y almacenamiento de materiales se contaba con una clasificadora con un tamiz de 4.75 mm (No. 4) por medio del cual se pasaba la arena natural proveniente del río Penderisco (Ver **Fig. 6**).



Fig. 6. Clasificadora manual del agregado fino

La mezcla de los agregados, el cemento y el agua se realizaba por medio de una carmix, camión hormigonera autocargable, cuya capacidad era de tres metros cúbicos, teniendo en cuenta la dosificación consignada en la **TABLA II** y la humedad de los agregados, en especial el fino, que si bien se almacenaba y cubría de forma adecuada, la humedad relativa del municipio y las semanas de lluvia presentes en el municipio durante el mes de septiembre, hicieron que se requiriera menos agua respecto a la planteada en la dosificación inicial.

Los agregados fino y grueso se acopiaban de forma separada, evitando que se produjeran contaminaciones entre ellos, además, dado que la superficie de la zona de almacenamiento no se encontraba pavimentada, no se utilizaron los quince centímetros inferiores de los acopios.

La mezcla y amasado de los materiales se realizaba de tal forma que todo el agregado estuviera uniformemente distribuido en el concreto fresco, y todas las partículas total y homogéneamente cubiertas de pasta de cemento. El concreto se transportaba desde la zona de acopio hasta la obra al tiempo que el tambor de la carmix continuaba girando y mezclando el material para posteriormente ser extendido en el sitio de la obra, el cual ya había sido preparado y contaba con la colocación de las formaletas y el acero de las juntas. Además, se debía verificar que, transcurrida una hora desde el momento del mezclado y descargue del concreto, éste ya se hubiera colocado, vibrado y acabado en el lugar definitivo.



Fig. 7. Carmix empleada para el mezclado, transporte y extensión del concreto hidráulico

Una vez extendido el material y antes de que comenzara a fraguar el concreto, se le daba al pavimento una textura transversal homogénea, en forma de estriado, mediante el uso manual de un peine de dientes metálicos de forma perpendicular al eje de la calzada. Finalmente, durante los siguientes 7 días posteriores al vaciado de las losas se realizó el curado del concreto aplicando agua en forma de rocío fino. Además, durante el fraguado del concreto, en épocas de lluvia, se colocaron

toldos que cubrieran la superficie de tal forma que no se lavaran los agregados finos y el cemento de la mezcla y no se disminuyera la resistencia solicitada del concreto.



Fig. 8. Instalación de toldo de protección durante las épocas de lluvias en la obra

D. Requisitos de calidad de los agregados para la losa de concreto

El agregado fino debía satisfacer los requisitos granulométricos señalados en la **TABLA VI**, teniendo en cuenta que la gradación del agregado fino escogido para la mezcla no podía presentar más de 45% de material retenido entre dos tamices consecutivos y su módulo de finura se debía encontrar en 2.3 y 3.1.

TABLA VI
FRANJA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO DEL CONCRETO

Tipo de gradación	Tamiz (mm/ U.S. Standard)							
	37.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15
	¾"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
	% Pasa							
ÚNICO	-	100	95-100	80-100	80-85	25-60	10-30	2-10

El agregado fino debía cumplir, además, los requisitos de calidad indicados en la **TABLA VII**.

TABLA VII
REQUISITOS DEL AGREGADO FINO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Característica	Norma de ensayo INVIAS	Valor requerido
	Durabilidad(O)	
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220	

Característica	Norma de ensayo INVIAS	Valor requerido
- Sulfato de sodio		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 deleznales, máximo (%)	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	0,5
Material que pasa el tamiz 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, máximos (%)	E-233	1.2
Absorción (O)		
Absorción de agua, máximo (%)	E-222	4

En la **Fig. 9** se presentan las curvas de los límites mínimo y máximo de la franja granulométrica para el agregado fino del concreto.

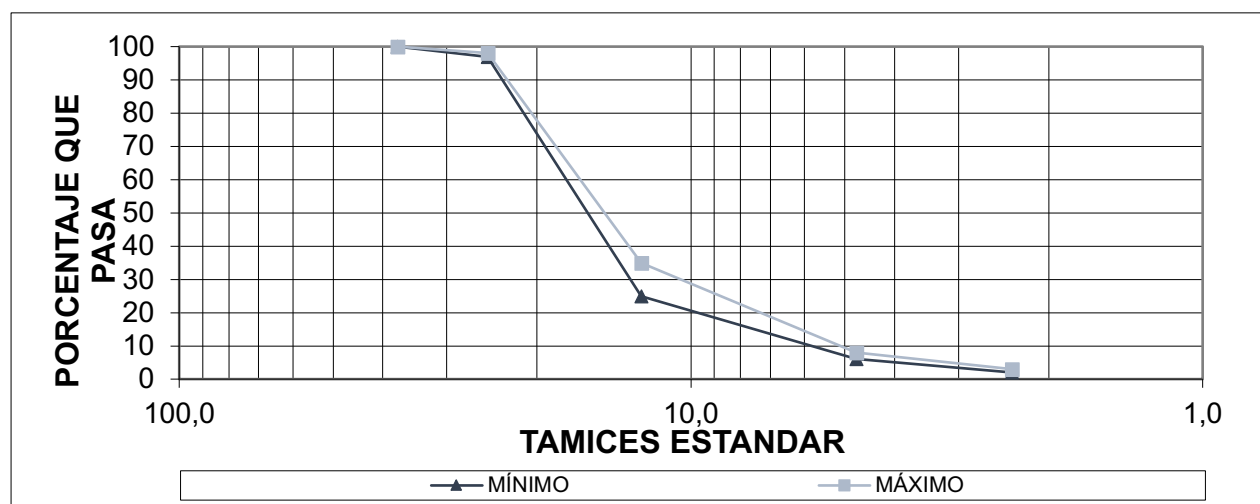


Fig. 9. Límites franja granulométrica para el agregado fino del concreto

El agregado grueso debía satisfacer los requisitos granulométricos señalados en la **TABLA VIII**, teniendo en cuenta que la gradación del agregado fino escogido para la mezcla no podía presentar más de 45% de material retenido entre dos tamices consecutivos y su módulo de finura se debía encontrar en 2.3 y 3.1.

TABLA VIII
FRANJA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUEDO DEL CONCRETO

Tipo de gradación	Tamiz (mm/ U.S. Standard)							
	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36
	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	No. 4	No. 8
% Pasa								
AG-3	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5

El tamaño máximo nominal del agregado no debía superar un tercio (1/3) del espesor del diseño del pavimento, correspondiente a 23 cm, es decir, se debía inspeccionar que no hubiera presencia de partículas superiores a 8 cm. Dado que la fuente del material del agregado grueso fue una cantera certificada, este requisito se verificó y cumplió en cada lote de material que llegaba a la zona de almacenamiento de la obra.

En la Fig. 10 se presentan las curvas de los límites mínimo y máximo de la franja granulométrica para el agregado fino del concreto.

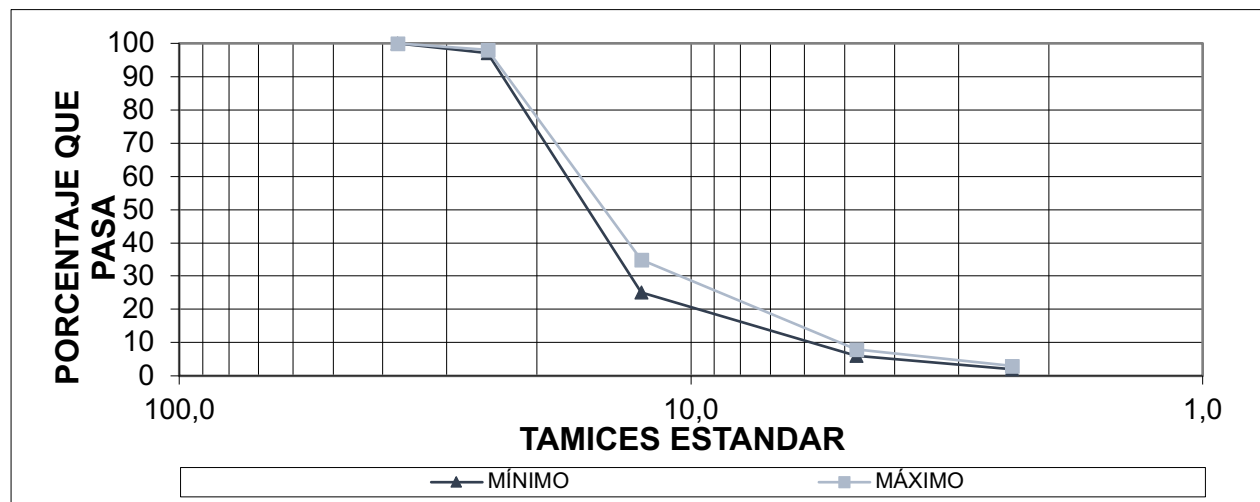


Fig. 10. Límites franja granulométrica para el agregado grueso del concreto

El agregado fino debía cumplir, además, los requisitos de calidad indicados en la TABLA IX.

TABLA IX
REQUISITOS DEL AGREGADO GRUESO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Característica	Norma de ensayo INVIAS	Valor requerido
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)	E-218	

Característica	Norma de ensayo INVIAS	Valor requerido
- 500 revoluciones		40
- 100 revoluciones		8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	30
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos		
	E-224	90
- Valor en seco, mínimo (kN)		75
- Relación húmedo/seco, mínimo (%)		
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)		
	E-220	
- Sulfato de sodio		10
- Sulfato de magnesio		15
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	0.5
Geometría de partículas (F)		
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), mínimo (%)	E-227	60
Partículas planas y alargadas (relación 5:1), máximo (%)	E-240	10

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para la correcta ejecución de la práctica académica, la empresa Consorcio IRÓ entregó al practicante todos los documentos que hacían parte integral del proyecto, a continuación, se detalla la información más relevante del proyecto.

Para el diseño del pavimento se empleó el manual de diseño de pavimentos de concreto de INVIAS, el cual emplea los diseños propuestos por la AASHTO en 1993 y la PCA en 1984. Las variables de diseño consideradas se presentan en la **TABLA X**.

TABLA X
VARIABLES DE DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO

Variable	Valor
Subrasante	CBR: 4%
Módulo de rotura del concreto	MR: 3.8 MPa
Tránsito de diseño	TPDs: 1001 a 2500 vehículos/semana
Período de diseño	20 años

De acuerdo con las variables de diseño definidas, se pudo calcular una losa de concreto rígido de 23 centímetros de espesor y un módulo de rotura de 3.8 MPa. La losa debía ser apoyada sobre un material de base o subbase con un espesor de 15 centímetros. En la **Fig. 11** se detalla la sección típica de la vía considerando los espesores de la estructura del pavimento.

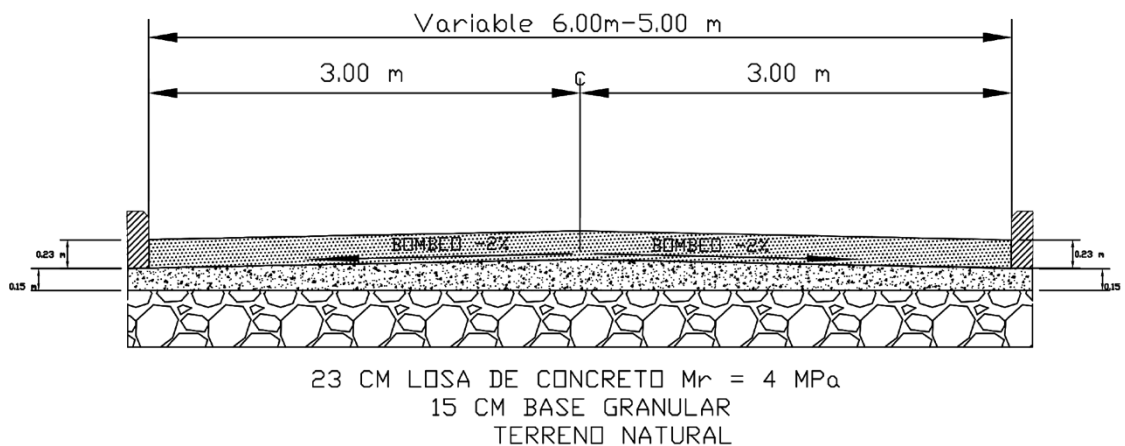


Fig. 11. Sección típica de la vía

A. Seguimiento base granular

1. Materiales

La base granular consiste en una capa de 15 centímetros de espesor, la cual estaba conformada por agregados naturales clasificados. De acuerdo con lo establecido en los diseños del

proyecto, las partículas de los agregados debían ser duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica u otras sustancias perjudiciales.

Fuente de Material: AGREGADOS EL TONUSCO LTDA, ubicada en los municipios de Sopetrán – Santa Fe de Antioquia, para la exploración y explotación de un yacimiento de arenas y gravas naturales.

Fuente de Material: Balastrea La Aná, ubicada en el Municipio de Urrao, para la exploración y explotación de gravas naturales.



Fig. 12. Fuente de material - Balastrea La Aná

2. *Control de calidad de los materiales*

Semanalmente se tomaron cuatro muestras representativas de cada fuente de material; de Agregados El Tonusco LTDA se tomaban en la zona de almacenamiento, una vez que las volquetas descargaban el material; y, de la Balastrea La Aná, se tomaban las muestras durante la visita periódica que realizaba el practicante. Además de que se verificaba que el material de descapote de las fuentes haya sido retirado adecuadamente y haber descartado todas las vetas de material granular inadecuado.

Las muestras eran enviadas a la empresa ENSASE – Ensayos y Asesorías de Materiales para suelos, pavimentos y concretos, quién debía realizar los ensayos de la norma E-218, E-238, E-133, E-211, E-230 y E-148 especificados en la **TABLA III**, y cuyos resultados fueron

verificados por el practicante. En la **TABLA XI** se presenta el rango de valores obtenidos en los diferentes ensayos realizado en las muestras enviadas al laboratorio.

TABLA XI
RANGO DE VALORES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS EMPLEADOS PARA LA BASE GRANULAR

Ensayo	Fuente de material	Rango de valores obtenidos
Dureza (O)		
E-218: Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)	Agregados El Tonusco	26 - 32
	Balastrea La Aná	31 - 40
E-238: Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	Agregados El Tonusco	19-24
	Balastrea La Aná	22-29
Limpieza (F)		
E-211: Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	Agregados El Tonusco	0.8 – 1.2
	Balastrea La Aná	1.7 – 2.1*
*Durante la tercera semana del proyecto el rango varió entre 5.8% – 6.2%		
Geometría de partículas (F)		
E-230: Índice de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	Agregados El Tonusco	23 - 25
	Balastrea La Aná	22 - 28

En la **TABLA XII** se presenta el seguimiento semanal del control de procedencia una vez se realizaba la verificación y comparación de los resultados frente a los valores requeridos en la **TABLA IV**.

TABLA XII
SEGUIMIENTO CONTROL DE PROCEDENCIA

Semana	No. Muestras enviadas al laboratorio	Observaciones de los resultados
1. Del 09 de agosto al 14 de agosto.	8	Cumplieron todos los requisitos.
2. Del 16 de agosto al 21 de agosto.	8	Cumplieron todos los requisitos.
3. Del 23 de agosto al 28 de agosto.	8	El material proveniente de La Aná no cumplió con el Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable; siendo así se suspendió el uso de este material, hasta que las condiciones de la fuente mejoraran.
4. Del 30 de agosto al 04 de septiembre.	4 – No se trabajó con material de La Aná	Cumplieron todos los requisitos.

Semana	No. Muestras enviadas al laboratorio	Observaciones de los resultados
5. Del 06 de septiembre al 11 de septiembre.	4 – No se trabajó con material de La Aná	Cumplieron todos los requisitos.
6. Del 13 de septiembre al 18 de septiembre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
7. Del 20 de septiembre al 25 de septiembre.	0	Debido a las condiciones climáticas el rendimiento de la obra disminuyó y no fue necesario suministrar más material.
8. Del 27 de septiembre al 02 de octubre.	0	Debido a las condiciones climáticas el rendimiento de la obra disminuyó y no fue necesario suministrar más material.
9. Del 04 de octubre al 09 de octubre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
10. Del 11 de octubre al 16 de octubre.	8	Cumplieron todos los requisitos.

Durante la semana número 3 del proyecto, comprendida entre el 23 y 28 de agosto, los resultados de los ensayos de tres de las cuatro muestras de la segunda fuente del material, Balastrera La Aná, arrojaron un porcentaje del 6% en el contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable (Ver **Fig. 13**). Toda vez que los resultados fueron insatisfactorios, se tomaron dos muestras adicionales del material, repitiéndose la prueba, la cual fue nuevamente insatisfactoria, por lo que se decidió, en conjunto con la interventoría, suspender la extracción de este material y su utilización en el proyecto de pavimentación. Al inspeccionar la Balastrera se evidenció que el corte actual del talud presentaba alto contenido de material arcilloso, el cual afectaba la limpieza del material, el índice de plasticidad y no se lograba adquirir la humedad óptima bajo los parámetros previamente establecidos en el proyecto.



Fig. 13. Material agregado con contenido arcilloso - Protección de la humedad del ambiente.

Se visitó la Balastrea La Aná semanalmente con el fin de evaluar el estado del material en el talud de corte; dos semanas después de que La Balastrea fue explotada por otros sectores de la construcción en el Municipio, se evidenció que el material contenía menos material arcilloso, por lo que se enviaron nuevamente cuatro muestras al laboratorio, de las cuales se cumplieron los requisitos de la **TABLA IV**.

Por otra parte, el practicante debía estar a cargo de examinar las descargas a los acopios en las zonas de almacenamiento y ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, presentaran restos de tierra vegetal, materia orgánica y tamaños superiores a los especificados en la **TABLA IV**. En algunas ocasiones fue necesario acopiar por aparte aquellos materiales que presentaban una anomalía evidente en su aspecto como una coloración distinta o segregación.

El material se mezclaba en la zona de almacenamiento en el barrio Jaiperá, en una proporción 60/40 entre la primera y segunda fuente respectivamente, y semanalmente se tomaban 2 muestras las cuales eran enviadas a la empresa ENSASE – Ensayos y Asesorías de Materiales para suelos, pavimentos y concretos para realizar un ensayo de granulometría de acuerdo con la Especificación E-123 del INVIAS, y cuyos resultados debían ajustarse a lo requerido en la **TABLA V**, y presentar una curva granulométrica dentro de los límites mostrados en la **Fig. 4**. Igualmente, una vez que se extendía el material, y era compactado, se programaba semanalmente en sitio un ensayo modificado de compactación por parte de la empresa ENSASE – Ensayos y Asesorías de Materiales para suelos, pavimentos y concretos de acuerdo con la Norma E-142 del INVIAS. En la **TABLA XIII** se presenta un resumen del registro semanal de los resultados entregados por el laboratorio.

TABLA XIII
SEGUIMIENTO CONTROL DE PRODUCCIÓN

Semana	Proporción material Fuente 1/ Fuente 2	Observaciones de los resultados
1. Del 09 de agosto al 14 de agosto.	60/40	Inicialmente se tenía una proporción 45/55, sin embargo, el material proveniente de la segunda fuente contenía partículas con mayor cantidad de gradación gruesa que fina, por lo que se ajustó la proporción a 60/40. Granulometría cumple - Curva suave. CBR: 82%
2. Del 16 de agosto al 21 de agosto.	60/40	Granulometría cumple - Curva suave. CBR: 81%
3. Del 23 de agosto al 28 de agosto.	100/0	Granulometría cumple - Curva suave. CBR: 86%
4. Del 30 de agosto al 04 de septiembre.	100/0	Granulometría cumple - Curva suave. CBR: 88%

Semana	Proporción material Fuente 1/ Fuente 2	Observaciones de los resultados
5. Del 06 de septiembre al 11 de septiembre.	100/0	Granulometría cumple - Curva suave. CBR: 87%
6. Del 13 de septiembre al 18 de septiembre.	60/40	Granulometría cumple - Curva suave. CBR: 82%
7. Del 20 de septiembre al 25 de septiembre.	60/40	Granulometría cumple - Curva suave. CBR: 82%
8. Del 27 de septiembre al 02 de octubre.	60/40	No se tomaron muestras toda vez que el rendimiento de la obra disminuyó y se trabajó con el mismo lote de la semana anterior.
9. Del 04 de octubre al 09 de octubre.	60/40	Granulometría cumple - Curva suave. CBR: 84%
10. Del 11 de octubre al 16 de octubre.	60/40	Granulometría cumple - Curva suave. CBR: 85%

En la **Fig. 14** se presenta la granulometría del material durante diferentes semanas de la ejecución del proyecto de pavimentación. Durante la primera semana se tenía definida una proporción de 45/55 de la primera y segunda fuente de material respectivamente, sin embargo, al realizar la granulometría del material se evidenció que no se ajustaba a la gradación requerida en la **Fig. 4** y en la **TABLA V** toda vez que el agregado de la Balastrea La Aná, después de ser triturado y limpiado, contenía un alto porcentaje de material grueso el cual se quedaba retenido en más del 50% en las primeras mallas del tamiz; siendo así, se modificó la proporción de las fuentes del material a una relación 60/40, con lo cual se obtuvo una gradación más ajustada a los límites requeridos, definiéndose así el plan de trabajo para el correcto suministro de la base del proyecto y que fue debidamente avalada por la interventoría del proyecto.

Durante la semana 3, 4 y 5 del proyecto se suspendió el uso del material proveniente de la Balastrea La Aná dado que los resultados enviados por el laboratorio indicaron que dicho material tenía un contenido de material arcilloso de aproximadamente del 6%, siendo así todo el material fue suministrado por Agregados El Tonusco; como se puede observar en la **Fig. 14** la curva correspondiente a la Semana 4, cuya proporción es 100/0 se ajusta con valores cercano al promedio de los límites de la franja granulométrica de la **Fig. 4**, siendo esto consecuencia de los procesos de trituración y clasificación realizados en la cantera certificada respecto a los procesos de trituración y clasificación realizados de forma artesanal en la Balastrea La Aná; sin embargo, las curvas correspondientes a la Semana 1, cuya proporción es 60/40, y a la Semana 9, con igual proporción, también se encuentran dentro de los límites de la franja granulométrica de la **Fig. 4**, aunque con menor porcentaje de material pasante a través de las mallas de menor diámetro, esto en concordancia con los mayores tamaños resultantes del material de la Balastrea.

Por otra parte, los resultados obtenidos en el ensayo del CBR fueron satisfactorios en tanto cumplieron el valor mínimos exigido en los estudios y diseños suministrados por la entidad correspondientes a un valor de 80%. Como se puede evidenciar en la **TABLA XIII**, los valores más altos de CBR se obtuvieron cuando se empleó únicamente material proveniente de la cantera Agregados El Tonusco, esto debido a la calidad del material suministrado por dicha fuente y que como se puede observar en la **TABLA XI** sus propiedades de dureza, geometría de partículas y limpieza presentaron rangos más ajustados a lo exigido. Sin embargo, la utilización de los agregados de la segunda fuente, la Balastrea La Aná, no afectó la calidad final del producto, en tanto se cumplieron los requisitos mínimos exigidos.

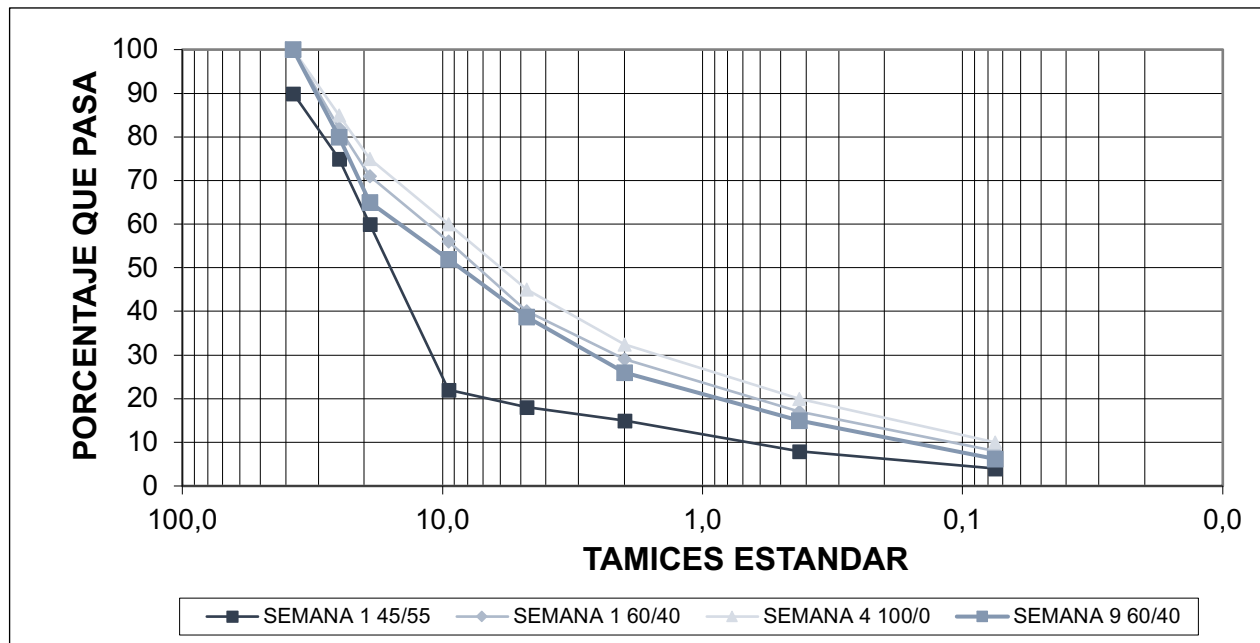


Fig. 14. Curva granulométrica del material empleado en la base granular.

B. Seguimiento losa de concreto

1. Materiales

El concreto hidráulico empleado en el proyecto de pavimentación consistía en una mezcla homogénea de cemento sin adiciones, agua, agregados fino y grueso, sin aditivos.

- Cemento: Se utilizó cemento estructural Portland Tipo I de Argos
- Agregado Fino: Arena gris y café procedente del Río Penderisco
- Agregado Grueso: Triturado 1 ½” gris procedente de Agregados El Tonusco

Para la producción de un metro cúbico de concreto, de acuerdo con la dosificación indicada en la **TABLA II**, se requerían las siguientes cantidades en peso con el fin de lograr la resistencia solicitada de 3.8 MPa:

- Cemento: 330 kg = 7.8 sacos de 42.5 kg
- Arena: 756 kg
- Triturado: 1002 kg
- Agua: 200 kg

2. Control de calidad de los materiales

Semanalmente se tomaron cuatro muestras representativas de los agregados fino y grueso; de Agregados El Tonusco LTDA se tomaban en la zona de almacenamiento, una vez que las volquetas descargaban el material; y, de las arenas provenientes del río Penderisco, se tomaban las muestras durante la visita periódica que realizaba el practicante.

Las muestras eran enviadas a la empresa AIM – INGENIEROS CIVILES S.A.S., quién debía realizar los ensayos E-133, E-211, E-14, E-233 y E-222 especificados en la **TABLA III** en los agregados finos provenientes del río Penderisco y los ensayos E-218, E-238, E-230 y E-240 especificados en la **TABLA III** en los agregados gruesos provenientes de la cantera Agregados El Tonusco, y cuyos resultados fueron verificados por el practicante.

En la **TABLA XIV** se presenta el rango de valores obtenidos en los diferentes ensayos realizado en las muestras de agregados finos enviadas al laboratorio.

TABLA XIV
RANGO DE VALORES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS FINOS PARA EL CONCRETO

Ensayo	Fuente de material	Rango de valores obtenidos
Limpieza (F)		
E-133: Equivalente de arena, mínimo (%)	Río Penderisco	64 - 71
E-211: Terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	Río Penderisco	2.2 – 3.1
E-14: Material que pasa el tamiz No. 200, máximo (%)	Río Penderisco	1.5 – 2.7
Características químicas (O)		
E-233: Contenido de sulfatos, máximos (%)	Río Penderisco	0.4 – 0.9
Absorción (O)		
E-222: Absorción de agua, máximo (%)	Río Penderisco	3.1 – 3.6

En la **TABLA XV** se presenta el rango de valores obtenidos en los diferentes ensayos realizado en las muestras de agregados gruesos enviadas al laboratorio.

TABLE XV
RANGO DE VALORES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS GRUESOS PARA EL CONCRETO

Ensayo	Fuente de material	Rango de valores obtenidos
Dureza (O)		
E-218: Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)	Agregados El Tonusco	24 – 28
E-238: Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	Agregados El Tonusco	18 - 22
Geometría de partículas (F)		
E – 227: Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), mínimo (%)	Agregados El Tonusco	70 – 75
E – 240: Partículas planas y alargadas (relación 5:1), máximo (%)	Agregados El Tonusco	7 - 9

En la **TABLA XVI** se presenta el seguimiento semanal del control de procedencia una vez se realizaba la verificación y comparación de los resultados frente a los valores requeridos en la **TABLA VII** y la **TABLA IX** para el agregado fino y grueso respectivamente.

TABLE XVI
SEGUIMIENTO CONTROL DE PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS DEL CONCRETO

Semana	No. Muestras enviadas al laboratorio	Observaciones de los resultados
1. Del 16 de agosto al 21 de agosto.	8	Cumplieron todos los requisitos.
2. Del 23 de agosto al 28 de agosto.	8	Cumplieron todos los requisitos.
3. Del 30 de agosto al 04 de septiembre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
4. Del 06 de septiembre al 11 de septiembre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
5. Del 13 de septiembre al 18 de septiembre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
6. Del 20 de septiembre al 25 de septiembre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
7. Del 27 de septiembre al 02 de octubre.	0	Debido a las condiciones climáticas el rendimiento de la obra disminuyó y no fue necesario suministrar más material.

Semana	No. Muestras enviadas al laboratorio	Observaciones de los resultados
8. Del 04 de octubre al 09 de octubre.	0	Debido a las condiciones climáticas el rendimiento de la obra disminuyó y no fue necesario suministrar más material.
9. Del 11 de octubre al 16 de octubre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
10. Del 18 de octubre al 23 de octubre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
11. Del 25 de octubre al 30 de octubre.	0	La obra estuvo suspendida.
12. Del 01 de noviembre al 06 de noviembre.	0	La obra estuvo suspendida.
13. Del 08 de noviembre al 13 de noviembre.	0	La obra estuvo suspendida.
14. Del 15 de noviembre al 20 de noviembre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
15. Del 22 de noviembre al 27 de noviembre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
16. Del 29 de noviembre al 04 de diciembre.	0	Debido a las condiciones climáticas el rendimiento de la obra disminuyó y no fue necesario suministrar más material.
17. Del 06 de diciembre al 11 de diciembre.	0	Debido a las condiciones climáticas el rendimiento de la obra disminuyó y no fue necesario suministrar más material.
18. Del 13 de diciembre al 18 de diciembre.	8	Cumplieron todos los requisitos.
19. Del 20 de diciembre al 25 de diciembre.	0	La obra estuvo suspendida.
20. Del 27 de diciembre al 01 de enero.	0	La obra estuvo suspendida.
21. Del 03 de enero al 08 de enero.	8	Cumplieron todos los requisitos.

Por motivos climáticos y administrativos la obra estuvo suspendida durante dos períodos, por lo que no se tomaron muestras para el laboratorio por un período de 9 semanas. El suministro del concreto hidráulico requirió más tiempo del que fue necesario para el suministro de la base por la diferencia de logística programada en ambas actividades, siendo así, aproximadamente para la décima semana del proyecto ya se contaba con toda la base extendida y compactada en el sitio de

obra, sin embargo, fue hasta el mes de enero cuando se logró vaciar todo el concreto hidráulico, terminar el sellado de las juntas y dar fin a la obra civil.

En la **Fig. 15** y **Fig. 16** se observa la granulometría de los agregados fino y grueso respectivamente realizados durante distintas semanas del proyecto, si bien cada una de las curvas cumplieron los límites establecidos en la **TABLA VI** y la **TABLA VIII** respectivamente, durante toda la ejecución de la obra se observó que las curvas granulométricas de los agregados finos oscilaban en cada lote dentro de los límites permitidos para el agregado, mientras que las curvas granulométricas del agregado grueso se sostenían de forma similar en cada lote y sus variaciones eran mínimas; concluyendo que esto se debía a las fuentes de los agregados y en especial al procesamiento y clasificación que se realizaba al material, teniendo en cuenta que para el caso de la arena proveniente del río Penderisco, ésta pasaba a través de un único tamiz para asegurar el tamaño máximo, mientras que el demás material conservaba la gradación natural de su fuente.

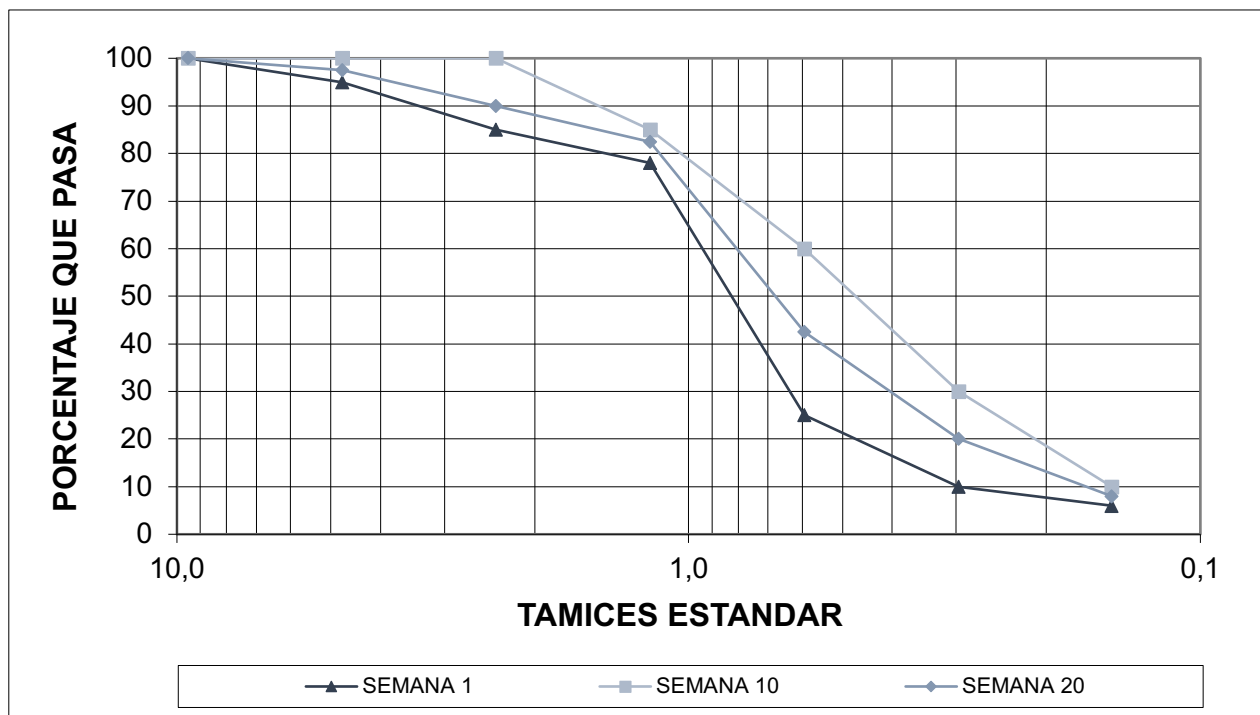


Fig. 15. Granulometría del agregado fino proveniente del río Penderisco

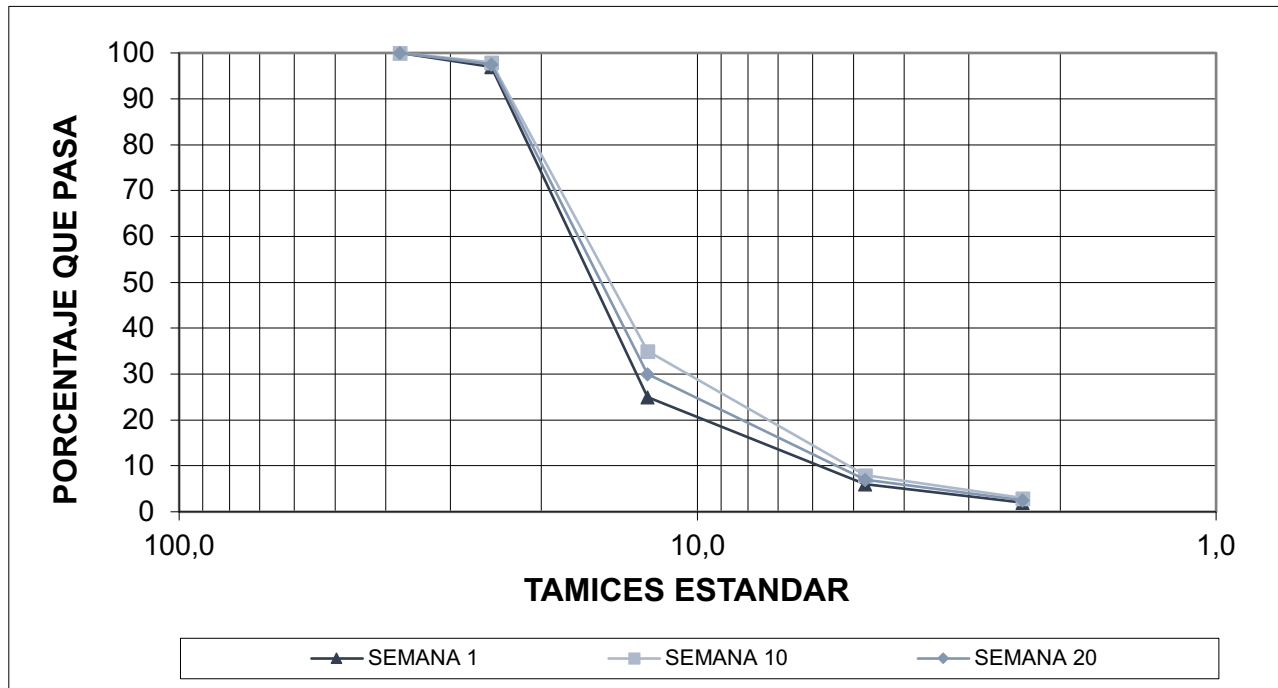


Fig. 16. Granulometría del agregado grueso proveniente de Agregados El Tonusco LTDA

Por cada 50 metros cúbicos de mezcla se tomó una muestra compuesta por 4 probetas de las cuales se fallaron 2 a 7 días y 2 a 28 días. Los especímenes fallados a los 7 días se utilizaron para controlar la regularidad de la calidad de la producción del concreto, pero fueron los fallados a los 28 días los que se utilizaron para evaluar la resistencia del concreto.



Fig. 17. Vigas elaboradas en obra de pavimentación Urrao, Antioquia

De la mezcla elaborada en la carmix se elaboraban 4 vigas cada una de 15 cm de espesor, por 15 cm de ancho y una longitud de 50 cm, las cuales se sumergían en agua durante dos días y posteriormente eran enviadas a la empresa ENSASE – Ensayos y Asesorías de Materiales para suelos, pavimentos y concretos para realizar el ensayo de resistencia a la flexión de acuerdo con la NTC 2871, con una luz de 42 cm entre apoyos y con cargas que oscilaban entre los 107 kN y 115 kN. En la **TABLA XVII** se presentan los resultados de dichos ensayos para los 20 lotes de probetas enviados durante la ejecución de la obra.

TABLA XVII
MÓDULO DE ROTURA DE LAS PROBETAS DE CONCRETO ENVIADAS AL LABORATORIO

Lote	Semana de vaciado	A/C	Número de días de curado	
			7	28
Resistencia promedio [MPa]				
1	Del 23 de agosto al 28 de agosto.	0.58	3.71	3.87
2	Del 30 de agosto al 04 de septiembre.	0.58	3.87	3.96
3	Del 30 de agosto al 04 de septiembre.	0.58	3.92	4.09
4	Del 06 de septiembre al 11 de septiembre.	0.58	3.87	4.02
5	Del 13 de septiembre al 18 de septiembre.	0.58	3.65	3.82
6	Del 13 de septiembre al 18 de septiembre.	0.58	3.87	4.07
7	Del 13 de septiembre al 18 de septiembre.	0.58	3.95	4.12
8	Del 20 de septiembre al 25 de septiembre.	0.58	4.14	4.17
9	Del 20 de septiembre al 25 de septiembre.	0.58	4.02	4.12
10	Del 18 de octubre al 23 de octubre.	0.58	4.17	4.24
11	Del 18 de octubre al 23 de octubre.	0.58	4.19	4.29
12	Del 15 de noviembre al 20 de noviembre.	0.58	4.08	4.22
13	Del 15 de noviembre al 20 de noviembre.	0.58	4.12	4.21

Lote	Semana de vaciado	A/C	Número de días de curado	
			7	28
Resistencia promedio [MPa]				
14	Del 22 de noviembre al 27 de noviembre.	0.58	4.19	4.25
15	Del 22 de noviembre al 27 de noviembre.	0.58	4.17	4.2
16	Del 22 de noviembre al 27 de noviembre.	0.58	4.21	4.28
17	Del 13 de diciembre al 18 de diciembre.	0.58	4.05	4.19
18	Del 03 de enero al 08 de enero.	0.58	3.69	3.92
19	Del 10 de enero al 15 de enero.	0.58	4.02	4.11
20	Del 10 de enero al 15 de enero.	0.58	4.15	4.25

Nota: Elaboración Propia a partir de los resultados entregados por ENSASE

En la **Fig. 18** se presenta la distribución de la resistencia a la flexión de las vigas de concreto a los siete y veintiocho días de fraguado; de acuerdo con los requerimientos consignados en la **TABLA II** el módulo de rotura del concreto hidráulico debía ser de 3.8 MPa, cuyo valor se logró alcanzar en los 20 lotes de muestras enviados al laboratorio. Si bien se alcanzó la resistencia solicitada, se observó que habían variaciones en los valores los cuales oscilaban entre los 3.82 MPa y 4.29 MPa a los 28 días de fraguado, evidenciando que cuando se tenía un rendimiento constante en la obra y durante una semana se lograban vaciar entre 50 y 150 metros cúbicos de concreto, y se contaba con un ritmo de trabajo continuo y un adecuado suministro de los agregados y el cemento, se lograban valores muy por encima del requerido, sin embargo, después de los períodos de suspensión de la obra, cuando se retomaban labores y los agregados finos y gruesos llevaban largos períodos de almacenamiento, la resistencia del concreto no distaba significativamente del valor solicitado en los estudios y diseños del proyecto. El hecho más relevante ocurrió en la última semana de diciembre trabajada en el proyecto, que días antes las condiciones climáticas conllevaron a la suspensión de la obra, hubo cambio de personal en la mano de obra no calificada y los agregados fino y gruesos habían sido suministrados dos semanas atrás aproximadamente; la resistencia a la flexión para estas vigas fue, en promedio, de 3.92 MPa, siendo este el menor valor alcanzado durante toda la ejecución del proyecto.

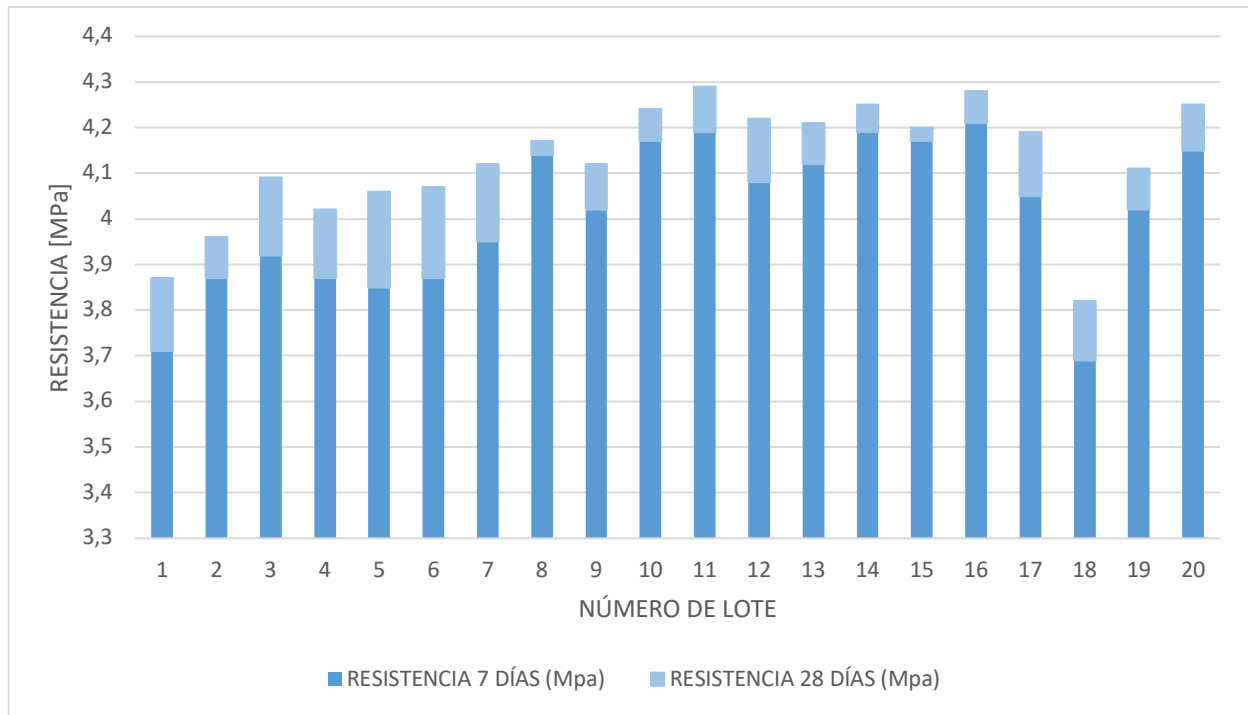


Fig. 18. Resistencia de las vigas de concreto a los 7 y 28 días de fraguado

C. Deficiencias en el proceso constructivo

Durante la ejecución del proyecto en algunas placas de concreto de la obra se comenzaron a presentar fracturas transversales, este hecho llamó la atención tanto del contratista de obra como de la interventoría, lo que conllevó a evaluar las causas de estas grietas; en un inicio se analizaron los materiales y sus fuentes, sin embargo el registro de los ensayos de los materiales elaborado por el practicante no mostraban una deficiencia en los mismos, y después de esperar los resultados del módulo de rotura de los lotes pertenecientes a estas placas (lotes 12, 13 y 15) se evidenció que el concreto continuaba cumpliendo con la resistencia solicitada. Siendo así, se revisaron las bitácoras de la obra, de las cuales se pudo concluir que durante las semanas en que estas losas fueron vaciadas, la carmix estuvo presentando problemas mecánicos y los tiempos de cargue entre cada mezcla fueron superiores a los 30 minutos, lo que conllevó a diferencias en el fraguado entre cada mezcla que, sin la ejecución de la junta constructiva correspondiente, se materializaron posteriormente en grietas de las losas. Finalmente, estas placas debieron ser demolidas y construidas nuevamente a cargo del contratista de obra.



Fig. 19. Fracturas en distintas placas de la obra de pavimentación.

VII. CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo de la práctica académica se llevó a cabo la evaluación de la calidad de los materiales empleados en la pavimentación de la Vía Quebradita – Jaiperá del Municipio de Urrao, obteniendo un resultado satisfactorio en el conjuntos de agregados fino y gruesos empleados en la producción de la base y concreto hidráulico del proyecto.
- La resistencia a la flexión del concreto hidráulico solicitada era de 3.8 MPa, este valor se alcanzó en todos las vigas de ensayo enviadas al laboratorio, obteniendo valores entre los 3.82 MPa y 4.29 MPa a los 28 días de fraguado.
- El valor del CBR requerido para la base debía ser mayor o igual a 80%, valor que se cumplió en todas las muestras enviadas al laboratorio.
- Con base en los especificaciones y normas de ensayo para materiales de carreteras del INVIAS, se asignaron indicaciones de inspección y selección visual de los materiales proveniente de fuentes no certificadas para el proyecto de pavimentación, los cuales fueron sometidos semanalmente a los ensayos exigidos por la norma, obteniendo el entero cumplimiento de los requisitos.
- En las ocasiones que las fuentes de material no lograban ajustarse a los requerimientos técnicos del proyecto, se suspendió el uso de los agregados provenientes de estas hasta que no se contara con las condiciones necesarias para asegurar la resistencia solicitada del concreto hidráulico y la densidad de la base.
- Durante la ejecución de la obra se realizó el permanente acompañamiento a las distintas fuentes de material y el transporte hasta el sitio de acopio y almacenamiento con el fin de garantizar la adecuada disposición de los materiales en el sitio e implementar medidas de protección ante las variaciones del clima en el Municipio de Urrao.
- Semanalmente se enviaron muestras de los agregados empleados tanto en la producción de la base como del concreto, cuya granulometría fue continuamente verificada durante el desarrollo de la práctica y posterior al visto bueno se llevaba el material a la zona de mezcla y elaboración de productos con el fin de garantizar la adecuada dosificación de acuerdo con los diseños y estudios aportados por la Entidad Contratante.
- Los agregados provenientes de Agregados El Tonusco, cantera certificada y cuyos procesos de trituración y clasificación son realizados bajo la norma existente, obtuvieron mejores resultados en los ensayos realizados en la obra, en comparación con los agregados provenientes de las fuentes del municipio de Urrao, los cuales son explotados y clasificados de forma artesanal.

-
- El constante seguimiento y verificación de los resultados obtenidos semanalmente de los ensayos del laboratorio por parte del practicante, permitieron identificar que las grietas presentadas en algunas placas de concreto se debían principalmente a malas prácticas del proceso constructivo y no a la calidad de los materiales empleados, que si bien representó un gasto para el contratista durante la reposición de estas placas, le permitió seguir haciendo uso de las fuentes del material del municipio de Urrao, lo cual representa un ahorro más significativo en tanto las fuentes certificadas de material se encuentran aproximadamente a 80 kilómetros de distancia del centro de gravedad de la obra.
 - El acompañamiento por parte de un profesional formado en el área de la ingeniería de materiales posibilita la adecuada explotación de fuentes de materiales no certificadas o que no cuenten con registro minero industrial en proyectos de inversión en municipios de quinta y sexta categoría cuyas distancias a canteras certificadas representan un costo significativo en este tipo de proyectos, obteniendo resultados satisfactorios en los agregados empleados en las mezclas de los distintos productos de la obra.

REFERENCIAS

- [1] Especificaciones generales de construcción de carreteras, Resolución Número 1524 de 6 de mayo de 2022, INVIAS, Bogotá, 2022.
- [2] Manual De Normas De Ensayo De Materiales Para Carreteras, INVIAS, Bogotá, 2012.
- [3] Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios), NTC 2871, INCONTEC, Bogotá, 2004.