

**EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE ALTERAN LA FLUIDEZ DEL CONCRETO MR-40 A PARTIR DE
MATERIALES DE LA ZONA. ESTUDIO DE CASO PROYECTO PAVIMENTACIÓN ALACIS PITALITO HUILA.**

Oscar Dalton España Bolaños, Juan Carlos Murillo Palacios, Jhon Felipe Vargas Moreno



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Especialización en Diseño y Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones, Facultad de

Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2024

Evaluación de los factores que alteran la fluidez del concreto MR-40 a partir de materiales de la zona.

Estudio de caso proyecto pavimentación Alacis Pitalito Huila.

Oscar Dalton España Bolaños, Juan Carlos Murillo Palacios, Jhon Felipe Vargas Moreno

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Diseño y
Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones**

Miguel Antonio Caro “director”, Nancy Cedeño “asesor”



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Especialización en Diseño y Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones, Facultad de

Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2024

Tabla de contenido

RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVOS.....	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
MARCO REFERENCIAL	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
ANTECEDENTES.....	12
MARCO CONCEPTUAL	14
<i>Concreto.....</i>	14
<i>Concreto MR-40.....</i>	16
<i>Ensayos Para Materiales De Carreteras</i>	17
ASPECTOS METODOLÓGICOS	19
ENSAYOS Y PRUEBAS.....	19
<i>Granulometría INV E - 213 - 13.....</i>	19
<i>Índices de Aplanamiento y de Alargamiento de los Agregados para Carreteras INV E - 230 - 13.....</i>	23
<i>Asentamiento del Concreto de Cemento Hidráulico (Slump) INV E - 404</i>	26
<i>Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Fundidos In-Situ INV E - 421</i>	32
<i>Resistencia a la Flexión del Concreto Usando una Viga Simplemente Apoyada y Cargada en los</i>	
<i>Tercios de la Luz Libre INV E - 414.....</i>	35
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49

FACTORES QUE ALTERAN LA FLUIDEZ DEL CONCRETO MR-40

4

LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA 52

Lista de Figuras

Figura 1	Distancia y recorrido del concreto desde la planta de Hormigones del Sur a la obra	13
Figura 2	Ubicación de canteras, proyecto y planta	14
Figura 1	Curva de granulometría – muestra.....	21
Figura 2	Curva de granulometría – muestra 2.....	22
Figura 5	Calibrador de espesores (para índice de aplanamiento)	24
Figura 6	Calibrador de longitudes (para índice de alargamiento).....	24
Figura 7	Preparación del molde y soporte	28
Figura 8	Llenado por capas.....	29
Figura 9	Nivelación del concreto	29
Figura 10	Medición del asentamiento con la mezcla optima	30
Figura 11	Medición del asentamiento con la mezcla optima después de 30 minutos	31
Figura 10	Relación carga / deformación máx.....	34
Figura 11	Resistencia máx. a la compresión de cada cilindro ensayado.....	34
Figura 14	Molde de viga	36
Figura 15	Vigas en proceso de fundición.....	37
Figura 16	Molde de viga	37
Figura 17	Descripción grafica de las dimensiones de la viga.....	38
Figura 18	Montaje de la viga en el equipo	38
Figura 19	Registro del fallo de la viga.....	39
Figura 20	Resistencia a la flexión del primer lote de muestras.....	40
Figura 21	Resistencia a la flexión del segundo lote de muestras.....	41

Lista de Tablas

Tabla 1	Resultados granulometría muestra 1.....	20
Tabla 2	Cálculos granulometría muestra 1	20
Tabla 3	Resultados granulometría muestra 2	22
Tabla 4	Calculo del porcentaje de partículas planas	25
Tabla 5	Calculo del porcentaje de partículas alargadas	25
Tabla 6	Resultados ensayos de compresión.....	33
Tabla 7	Cálculos ensayos de compresión.	33
Tabla 8	Datos de entrada y de lectura del primer lote de muestras.....	39
Tabla 9	Cálculo de la resistencia a la flexión del primer lote de muestras.....	39
Tabla 10	Datos de entrada y de lectura del segundo lote de muestras.....	40
Tabla 11	Calculo de la resistencia a la flexión del segundo lote de muestras	40

Resumen

En Colombia, la calidad del concreto es crucial para la durabilidad de la infraestructura vial. Este estudio se centra en la vía del proyecto Alacis, en la zona industrial de Pitalito, Huila, donde se utiliza concreto MR-40, diseñado para soportar cargas de alta intensidad. Sin embargo, la concretera Hormigones del Sur, ubicada en Pitalito, enfrenta problemas de fluidez en su producción de concreto MR-40, afectando su calidad y desempeño, ya que no cumple con la especificación de 6.5 pulgadas de asentamiento establecida por el INVIAS. Esta investigación se centra en evaluar los factores que alteran la fluidez del concreto MR-40, utilizando materiales locales, y proponer una fórmula de trabajo ajustada a estos. Se llevaron a cabo ensayos de clasificación de agregados, resistencia a la compresión y flexión, y pruebas de Slump según las especificaciones técnicas del INVIAS. Los resultados indican que la granulometría inadecuada y la forma de los agregados locales son las principales causas de la pérdida de fluidez, junto con la necesidad de ajustar la relación agua-cemento. La investigación concluye que se requiere un ajuste en la selección y tratamiento de los agregados utilizados para mejorar la fluidez y asegurar que el concreto cumpla con los estándares requeridos, lo que permitirá optimizar su uso en proyectos viales de alta carga.

Palabras clave: Concreto MR-40, fluidez, granulometría, agregados.

Abstract

In Colombia, concrete quality is crucial for the durability of road infrastructure. This study focuses on the Alacis project road, located in the industrial area of Pitalito, Huila, where MR-40 concrete is used, designed to withstand high-intensity loads. However, the concrete supplier Hormigones del Sur, based in Pitalito, faces issues with the workability of its MR-40 concrete production, affecting its quality and performance as it does not meet the 6.5-inch slump specification established by INVIAS. This research focuses on evaluating the factors that alter the workability of MR-40 concrete, using local materials, and proposing a working formula adjusted to these. Tests were conducted on aggregate classification, compressive and flexural strength, and slump tests following INVIAS technical specifications. The results indicate that improper grading and the shape of local aggregates are the primary causes of workability loss, along with the need to adjust the water-cement ratio. The study concludes that adjustments in the selection and treatment of the aggregates are required to improve workability and ensure the concrete meets the required standards, optimizing its use in high-load road projects.

Keywords: MR-40 concrete, workability, grading, aggregates.

INTRODUCCIÓN

En la construcción de la vía del proyecto ALACIS en la zona industrial de Pitalito, Huila, se está utilizando concreto MR-40 para resistir esfuerzos a flexión debido a las cargas que la vía debe soportar, se usa un concreto MR ya que este es un tipo de concreto que se fabrica y usa esencialmente para pavimentos o estructuras que necesitan soportar cargas pesadas, como carreteras, puentes o pisos industriales.

El proyecto ALACIS se enfrenta a un desafío importante relacionado con la trabajabilidad del concreto MR-40, específicamente su fluidez, durante la pavimentación. El concreto, producido por la concretera Hormigones Del Sur a una distancia 5.6 km de la obra con materiales locales, debe cumplir con los requisitos técnicos y de resistencia para un MR-40, según las normativas del INVIAS, pero ha experimentado problemas de fluidez que impactan la calidad de la construcción.

Uno de los factores que afectan a los concretos es la trabajabilidad la cual le da al concreto la facilidad de colocación y compactación de forma homogénea sin que esta sufra ningún tipo de segregación. Por esto el estudio se enfoca en los agregados, que constituyen entre el 60% y el 80% del volumen y peso del concreto, su impacto en la trabajabilidad hace que la composición, tamaño, textura, clasificación y forma de los agregados sean elementos de estudio. La investigación busca determinar si los agregados locales, que están siendo utilizados en este proyecto, son los responsables de la pérdida de fluidez observada.

Desde una perspectiva de ingeniería civil, el proyecto tiene como objetivo identificar estos problemas, contribuir al conocimiento sobre los materiales de la región y proponer un método que garantice que el concreto cumpla con las especificaciones técnicas requeridas, desde su producción en la planta hasta su llegada a la obra, mejorando así su trabajabilidad y calidad final.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar los factores que alteran la fluidez del concreto MR-40 a partir del uso de materiales de la zona con los que se está trabajando en la concretera Hormigones del Sur en el municipio de Pitalito y aplicando las Especificaciones Técnicas del INVIAS.

Objetivos Específicos

- Clasificar los diferentes agregados que se usan en la concretera Hormigones del Sur en Pitalito Huila de acuerdo con sus propiedades físicas para que se cumpla con las condiciones necesarias para mantener la fluidez del concreto dentro de los parámetros establecidos.
- Realizar los ensayos a los materiales de la zona de estudio de acuerdo a las especificaciones técnicas del INVIAS para determinar la fluidez del concreto MR-40.
- Analizar el resultado de los ensayos y determinar la fórmula de trabajo para los materiales empleados en la concretera Hormigones del Sur en Pitalito.

MARCO REFERENCIAL

Planteamiento del Problema

En Colombia, la construcción de infraestructura vial es fundamental para el desarrollo económico y social del país, en la cual la calidad de los materiales utilizados en la pavimentación de carreteras desempeña un papel crucial en la durabilidad y la seguridad; uno de los materiales empleados en el acabado de las vías son los concretos los cuales el diseño de mezcla depende del tipo de uso que va a tener la vía.

La norma colombiana de “Especificaciones Técnicas de Construcción de Carreteras” del INVIAS, capítulo 5, titulado “Concreto Hidráulico” regula los requisitos técnicos para la elaboración, ensayo y aplicación de los materiales empleados en las vías para garantizar estándares de calidad en los proyectos viales. Uno de los materiales implementado en los acabados para vías son los concretos, siendo el MR-40, una opción empleada para proyectos viales de alta carga e impacto debido a su capacidad para resistir esfuerzos a flexión, un factor crítico en las estructuras de pavimento.

En la construcción de la vía en el proyecto Alacis en la zona industrial de Pitalito, Huila, se está utilizando concreto MR-40, para resistir los esfuerzos a flexión debido a las cargas que debe soportar esta. En las especificaciones técnicas del proyecto se solicita que el concreto MR-40 elaborado por la concretera cumpla con una fluidez de 6,5 pulgadas, pero al llegar a la obra, su fluidez promedio es de tan solo 3 pulgadas teniendo impactos negativos en la calidad y el desempeño del concreto. La presente investigación pretende determinar si el uso de los materiales de la zona con los que se está trabajando en la concretera Hormigones del Sur en el municipio de Pitalito cumplen con los requisitos estipulados en la norma colombiana de “Especificaciones Técnicas de Construcción de Carreteras” del INVIAS, capítulo 5, para lo cual se hace necesario realizar los ensayos requeridos y evidenciar las causas que

ocasionan la pérdida de fluidez del concreto MR-40 y determinar la fórmula de trabajo para estos materiales.

¿Cuáles son los factores que alteran la fluidez del concreto MR-40 a partir del uso de materiales de la zona con los que se está trabajando en la concretera Hormigones del Sur en el municipio de Pitalito?

Antecedentes

El proyecto de pavimentación en la vía Alacis, en Pitalito, Huila, es un caso de estudio relevante que destaca los desafíos en la producción de concreto MR-40, especialmente en lo relacionado con su fluidez. Este concreto es elaborado por la concretera Hormigones del Sur, situada a una distancia de 5.6 km de la obra. La planta de producción, al igual que las canteras de origen de los agregados, se ubican en la misma región, aprovechando los recursos locales para la fabricación del material.

El proceso de producción de agregados incluye la trituración de roca en las canteras de la zona. Este proceso es fundamental, ya que de la calidad y el tamaño de los agregados depende directamente la fluidez del concreto. La piedra se somete a trituración y posterior clasificación, seguida de un proceso de lavado que elimina impurezas como arcillas y partículas deleznable. Este paso es esencial, ya que la presencia de estos materiales puede afectar la consistencia y trabajabilidad del concreto.

El lavado de los agregados asegura que las partículas estén limpias y listas para su uso en la producción de concreto, lo que contribuye a minimizar los problemas de pérdida de fluidez. Sin embargo, la investigación evidencia que, a pesar de estos procesos, la granulometría y la forma de los agregados pueden no cumplir con las especificaciones técnicas necesarias para mantener la fluidez óptima en la mezcla MR-40.

El cemento estructural utilizado es de la marca Holcim, siendo ampliamente reconocido en el ámbito de la construcción por su alta calidad y versatilidad en la producción de concretos de distintas características.

El proceso de carga y transporte comienza con el cargue primero de los agregados en las tolvas, seguidos del cemento Holcim y el agua, utilizando sistemas de dosificación automatizada. El mezclado se realiza en el tambor del camión, que inicia su rotación una vez cargado.

Esta planta cuenta con equipos especializados para asegurar una producción eficiente y de calidad, incluyendo mezcladoras de tambor y sistemas de pesaje automatizados para garantizar la precisión en la dosificación de los componentes. Los agregados y el cemento Holcim se combinan bajo un control riguroso

Figura 1

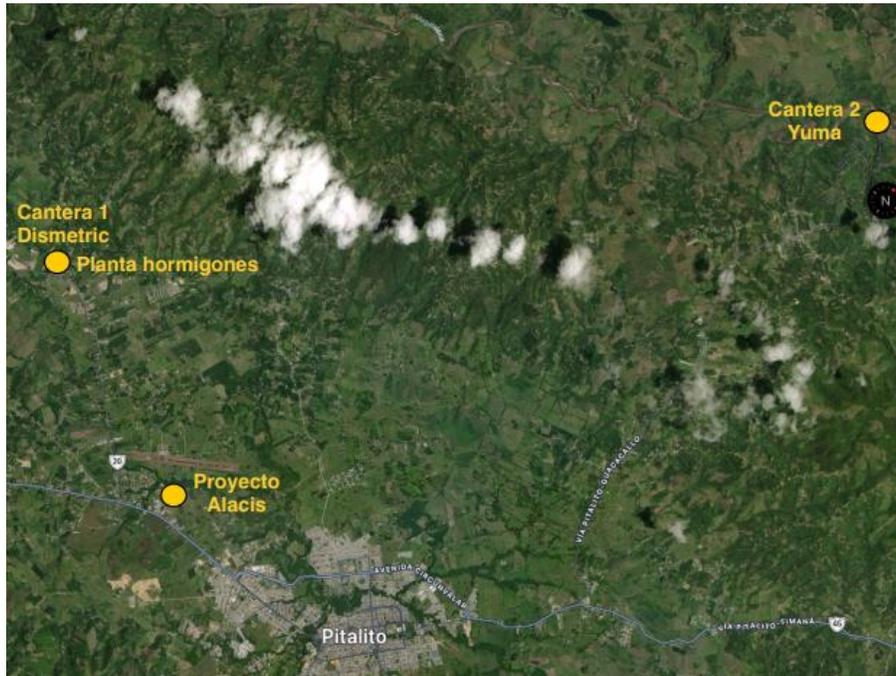
Distancia y recorrido del concreto desde la planta de Hormigones del Sur a la obra



Nota: Elaboración propia.

Figura 2

Ubicación de canteras, proyecto y planta



Nota: Elaboración propia.

Marco Conceptual

La base teórica integral, se centra en los fundamentos esenciales que han guiado el desarrollo de esta investigación, partiendo desde la esencia misma del concreto y sus elementos constituyentes, centrándose particularmente en la fluidez y consistencia de esta sustancia fundamental. En detalle estos conceptos cruciales son los que sientan las bases conceptuales necesarias para comprender a fondo los aspectos clave que definen el comportamiento y la calidad del concreto en los pavimentos.

Concreto

El concreto es una mezcla que se produce al combinar cemento, agua y agregados (grava y arena), además de esto en esta se pueden usar diferentes aditivos para cambiar las condiciones naturales según sus necesidades, cuando este material alcanza su estado de fraguado y resistencia de

diseño, se comporta como una roca artificial de gran resistencia. La pasta de concreto (cemento y agua) es la propiedad principal para determinar la calidad del concreto.

El cemento es una mezcla compuesta de diversas sustancias, se obtiene al moler una mezcla de piedra caliza y arcilla a altas temperaturas, está compuesto por clinker, yeso y determinados aditivos químicos. Si se le agrega arena y/o grava, se obtiene una mezcla llamada concreto u hormigón, muy utilizada en el ámbito de la construcción.

Los agregados son minerales que pueden ser de origen natural o artificial, el uso de estos es para aportar volumen, es decir, reducir la cantidad de pasta de cemento necesaria en la mezcla. Sin embargo, los agregados aportan mucho más que solo volumen al concreto influyen directamente en varias propiedades claves optimizando las propiedades mecánicas, la durabilidad y la trabajabilidad del concreto, estos se dividen en dos tipos: agregado fino (Arena) y agregado grueso (Gravas).

Se considera agregado fino, 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, escorias siderúrgicas u otro producto que resulte adecuado.

Se denomina agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (nro. 4). Dicho agregado debe estar compuesto de grava o roca triturada o su combinación, o concreto triturado fabricado con cemento hidráulico que cumpla los requisitos para el agregado. 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.

El agua es una sustancia líquida natural, que cuando se emplea para las mezclas de concreto hidráulico o para el curado de las estructuras de concreto, debe ser limpia y pura, no puede contener aceites, ácidos, azúcares, detergentes, sólidos disueltos, sales, materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial para la resistencia del concreto terminado.

La calidad del agua es un factor determinante en el rendimiento del concreto, y se espera que cumpla con ciertos estándares para garantizar resultados óptimos. Si el agua utilizada cumple con los requisitos necesarios, se espera que la resistencia promedio a la compresión del concreto alcance entre el sesenta (60%) y el setenta y cinco (75%) por ciento a los siete días de su aplicación según la norma ASTM C39. Este nivel de resistencia temprana es fundamental para asegurar la durabilidad y la integridad estructural del concreto a lo largo del tiempo. Por lo tanto, la selección y el uso adecuado del agua son aspectos cruciales en el proceso de construcción.

Concreto MR-40

El término "Concreto MR 40" empleado en el contexto de pavimentos hace referencia a una mezcla de concreto específicamente diseñada para satisfacer los requisitos de resistencia a la flexión en estructuras como pavimentos. La designación "MR 40" está asociada comúnmente con el Módulo de Ruptura, que evalúa la capacidad del concreto para resistir fuerzas de flexión.

En el ámbito de los pavimentos, la resistencia a la flexión es esencial debido a las cargas distribuidas y las tensiones dinámicas generadas por el tráfico vehicular. Un concreto con un Módulo de Ruptura de 40 megapascales (MPa) o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) proporciona la resistencia necesaria para hacer frente a estas tensiones y deformaciones asociadas.

Al utilizar el "Concreto MR 40" en pavimentos, se busca lograr durabilidad, resistencia y capacidad de carga adecuadas para mantener la integridad estructural a lo largo del tiempo. Es imperativo seguir las normativas y especificaciones locales de construcción para garantizar un rendimiento óptimo y cumplir con los estándares de seguridad y calidad.

Ensayos Para Materiales De Carreteras

La consistencia es la característica que indica la capacidad de fluir del concreto en estado fresco, es decir indica el grado de fluidez con el que se puede manejar la pasta de cemento, esta es muy importante porque determina la facilidad con la que el concreto se manipula y se coloca en la obra.

La consistencia se debe medir mediante el asentamiento con el ensayo INV E-404 o NTC 396, este ensayo se denomina Asentamiento del Concreto Hidráulico (Slump), y tiene como finalidad suministrar un procedimiento para determinar el asentamiento de concretos hidráulicos plásticos.

La resistencia a la flexión mide la capacidad de un material para resistir fuerzas aplicadas en dirección de flexión o curvatura, es decir la capacidad de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal, es crucial en el diseño de elementos estructurales como vigas y losas, esta prueba asegura la integridad estructural y seguridad de construcciones ante cargas de flexión.

La resistencia a la flexión se mide por el método de ensayo INV E - 414 llamado "resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre", este tiene como fin determinar el módulo de rotura y con sus resultados corroborar el cumplimiento de las especificaciones para las operaciones de colocación del concreto, esto es fundamental en la evaluación del diseño y control de las construcciones de pavimentos rígidos.

La resistencia a la compresión evalúa la capacidad de un material para resistir cargas aplicadas en dirección de compresión, es decir, las cargas por unidad de área, esta es utilizada en materiales como concreto y roca, este ensayo es esencial en el diseño y evaluación de estructuras.

La resistencia a la compresión se mide por medio del ensayo INV E - 421 llamado "resistencia a la compresión de cilindros de concreto fundidos In-Situ", se usa este tipo de ensayo porque al tomar los cilindros de muestra en el sitio de la obra la resistencia de estos está relacionada con la del concreto de la estructura porque se realiza en las mismas condiciones, esto es importante porque con los cilindros se

pueden hacer estimaciones como la capacidad de carga del concreto o el tiempo necesario para retirar las formaletas.

La granulometría es la encargada de analizar la distribución de tamaños de partículas en un material, típicamente suelo o agregado. Su propósito es evaluar la proporción de partículas de diversos tamaños, proporcionando información sobre la composición granular, su distribución y así poder suministrar las cantidades necesarias para la producción de mezclas de concreto cumpliendo con las especificaciones, este proceso se realiza gracias al ensayo INV E - 213.

Los terrones de arcilla y partículas deleznales son un análisis que se enfoca en la identificación y cuantificación de terrones de arcilla y las partículas que son despreciables para una mezcla de concreto, es decir no tienen cabida dentro de la mezcla y su presencia debe ser controlada y minimizada para asegurar la calidad del concreto. Los terrones de arcilla son aglomeraciones de partículas arcillosas que impactan en la consistencia y capacidad de retención de agua, mientras que las partículas deleznales son aquellas que se descomponen fácilmente. El ensayo por el cual se realiza este procedimiento es el INV E - 211 y se hace para aprobar la calidad de los agregados para que puedan ser usados en la elaboración del concreto hidráulico.

La geometría de las partículas aborda el examen de la forma y estructura de las partículas individuales presentes en un material. Este ensayo se realiza por medio de la norma INV E - 230 y tiene como objetivo conocer la morfología de las partículas debido a que las partículas de forma defectuosa (planas o alargadas) suelen generar inconvenientes en las mezclas de concreto, como que el concreto sea poco trabajable o que dichas partículas no se integren bien y se afecte la compactación y durabilidad a largo plazo del concreto.

Aspectos Metodológicos

Ensayos y Pruebas

Granulometría INV E - 213 - 13

Procedimiento

Basándonos en la norma INV E 213 del Instituto Nacional de Vías, realizamos el siguiente procedimiento utilizando tamices, balanza, muestra de agregado y recipientes. Primero, secamos la muestra representativa seleccionada y la pesamos. Luego, procedimos al tamizado, colocando una serie de tamices en orden decreciente de tamaño, agregamos la muestra y realizamos el tamizado de forma manual. Finalmente, retiramos los tamices y pesamos el material retenido en cada uno. El procedimiento lo realizamos para una muestra de agregado fino (muestra 1) y una muestra de agregado grueso (muestra 2).

Cálculos y resultados

Cada fracción retenida en cada tamiz se pesó para calcular el porcentaje retenido dividiendo la masa retenida sobre la masa de la muestra, el porcentaje retenido acumulado es la suma del tamiz anterior hasta llegar a el último tamiz del fondo, el cual la sumatoria debe ser el total de la muestra. Por último se calcula el porcentaje que pasa restando el total de la muestra al porcentaje del retenido acumulado. Este procedimiento se realizó para las dos muestras como se muestra en la tabla número 1 y 3.

Tabla 1
Resultados granulometría muestra 1

TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/8 "	9,50	175,8	4%	4%	95,8%
No. 4	4,75	669,4	16%	20%	79,7%
No. 8	2,36	684,3	16%	37%	63,3%
No. 16	1,18	719,6	17%	54%	46,0%
No. 30	0,60	973,2	23%	77%	22,6%
No. 50	0,30	585,4	14%	91%	8,5%
No. 100	0,15	166,2	4%	95%	4,5%
No. 200	0,07	53,1	1%	97%	3,2%
Pasa No. 200		135,0	3,2%	100,0%	0,0%
TOTALES		4162	100%		

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2
Cálculos granulometría muestra 1

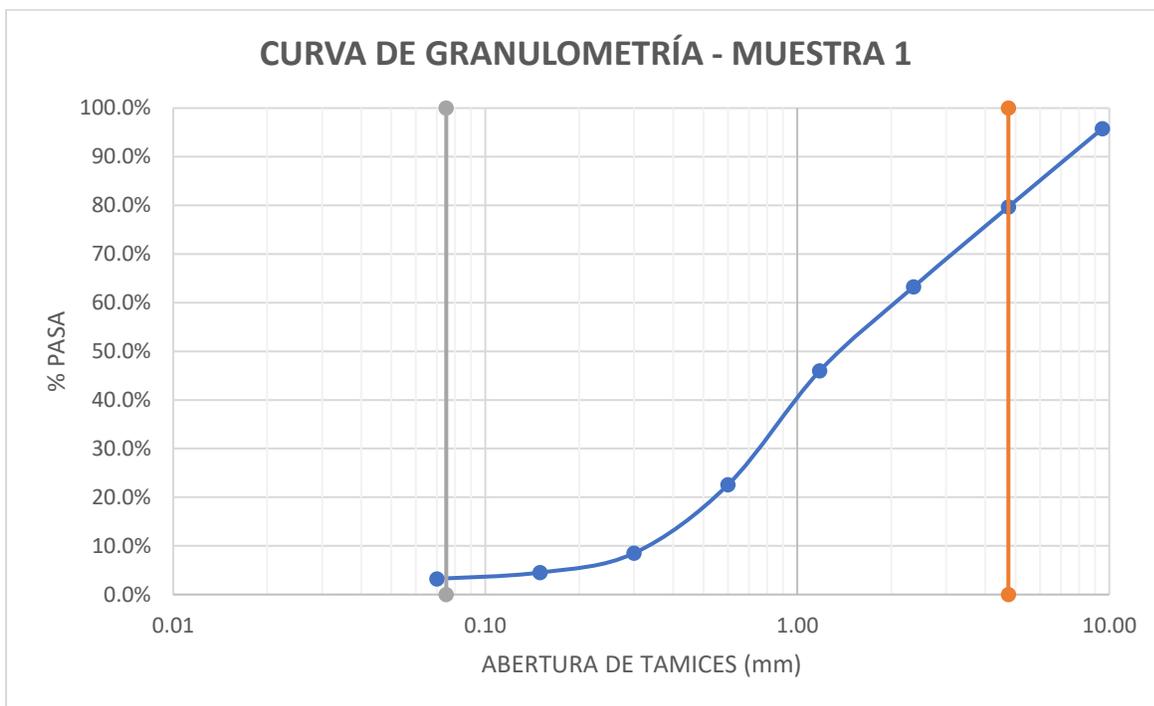
TAMIZ	% RETENIDO ACUMULADO	Σ % RETENIDO ACUMULADO
3/8 "	4,2%	4,2%
No. 4	20,3%	24,5%
No. 8	36,7%	61,3%
No. 16	54,0%	115,3%
No. 30	77,4%	192,7%
No. 50	91,5%	284,2%
No. 100	95,5%	379,7%
M.F. (Módulo de finura)		3,8

Nota: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que la muestra 1 es una arena (agregado fino), procedimos a calcular el módulo de finura sumando los porcentajes acumulados de los tamices y dividiendo la suma por 100, el resultado del módulo de finura para la muestra 1 es de 3.8. Los valores del módulo de finura son de 2.50 a 3.1, es decir que la muestra número 1 es un arena más gruesa de lo convencional para concretos.

La mayor parte de las partículas del agregado del 95% atraviesa el tamiz de 3/8" (9.5 mm), lo cual implica que hay escasa presencia de partículas de gran tamaño en el agregado. Se observa una distribución progresiva de los tamaños de partículas en el agregado, lo que indica una gradación apropiada. Esta distribución es fundamental para garantizar la resistencia y la facilidad de manejo del concreto.

Figura 3
Curva de granulometría – muestra



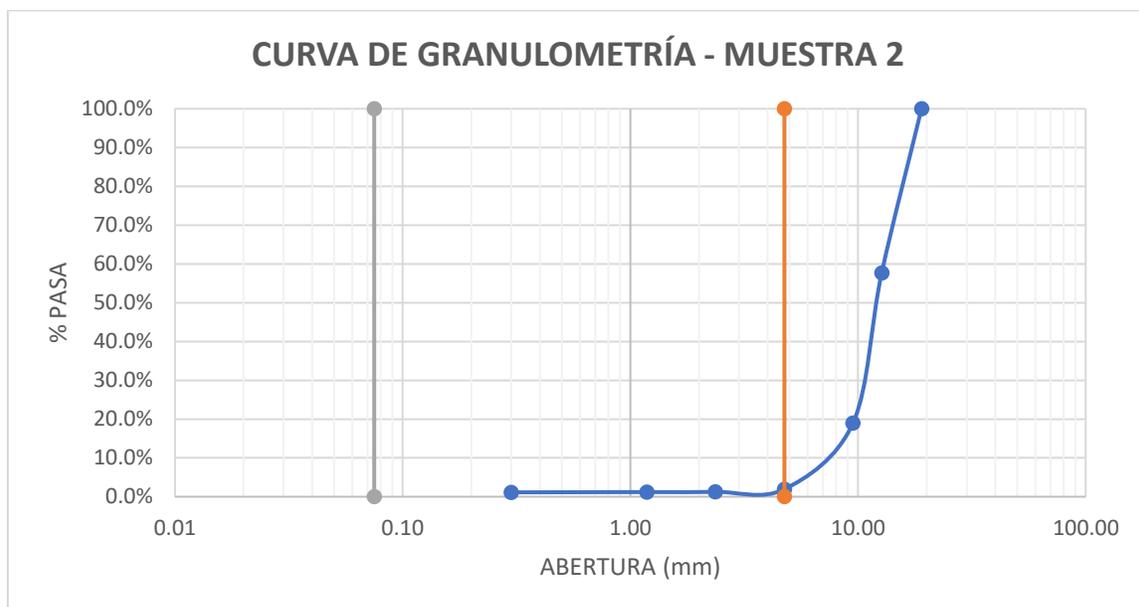
Nota: Elaboración propia.

Tabla 3
Resultados granulometría muestra 2

TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
2 1/2"	63,50	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
2"	50,80	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1 1/2"	38,10	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1"	25,40	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
3/4"	19,00	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1/2"	12,70	2057,2	42,3%	42,3%	57,7%
3/8"	9,50	1879,2	38,7%	81,0%	19,0%
No. 4	4,75	828,2	17,0%	98,1%	1,9%
No. 8	2,36	33,8	0,7%	98,8%	1,2%
No. 16	1,18	2,5	0,1%	98,8%	1,2%
No. 50	0,3	3,6	0,1%	98,9%	1,1%
Pasa No. 50		54,5	1,1%	100,0%	0,0%
TOTALES		4859,0	100,0%		

Nota: Elaboración propia.

Figura 4
Curva de granulometría – muestra 2



Nota: Elaboración propia.

La cantidad de material retenido en los tamices de 1/2" y 3/8" es notable, con 2057.2g y 1879.2g respectivamente, lo que sugiere una presencia considerable de partículas de tamaño medio en la muestra de agregado. Por otro lado, la presencia de partículas finas en la muestra es relativamente baja, como se evidencia por las cantidades retenidas en los tamices más finos (No. 4, No. 8, No. 16 y No. 50). Además, se observa una ausencia de partículas gruesas, ya que no se retuvo material en los tamices de mayor tamaño.

Índices de Aplanamiento y de Alargamiento de los Agregados para Carreteras INV E - 230 - 13

De acuerdo con la norma INV E-230 del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia, este ensayo se realiza para determinar la proporción de partículas alargadas y planas en un agregado, ya que estas pueden afectar las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto.

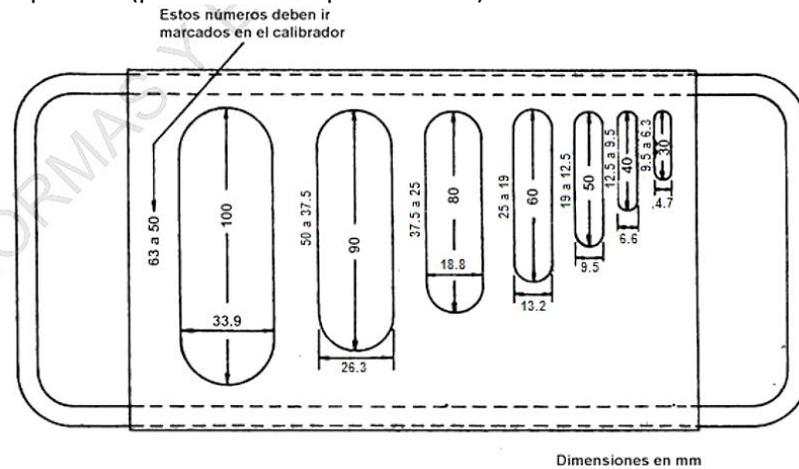
Los equipos usados en el ensayo fueron:

- Tamices
- Calibrador de espesores
- Calibrador de longitudes
- Balanza

El ensayo se llevó a cabo de la siguiente manera:

Después de lavar y secar completamente la muestra de agregado, se tamiza para dividirla en diferentes fracciones. Luego, se selecciona cada fracción utilizando un calibrador de espesores con separaciones de tamaño predeterminadas. Las partículas que logran pasar por el calibrador se consideran planas.

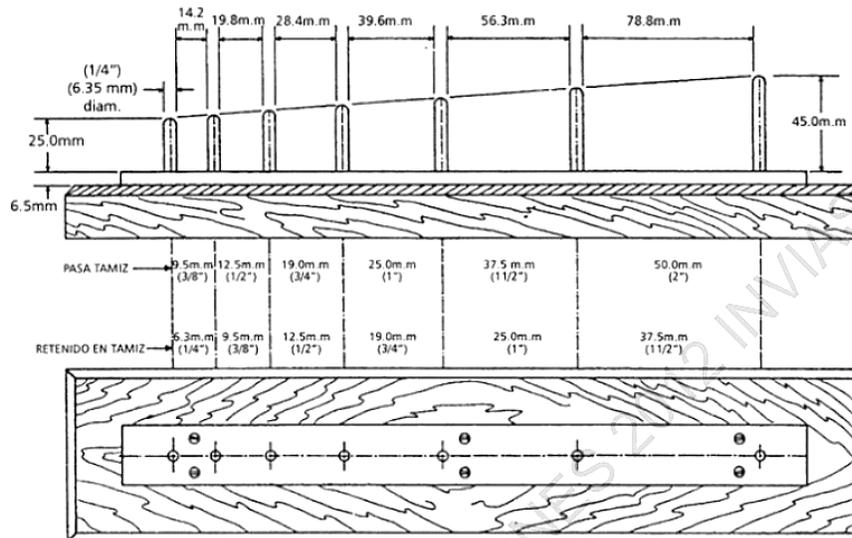
Figura 5
Calibrador de espesores (para índice de aplanamiento)



Nota: tomado de "normas de ensayo para materiales de carreteras", 2014. <https://n9.cl/iq4sz>

Para determinar el índice de alargamiento, cada fracción se examina utilizando un calibrador de longitudes que cuenta con barras verticales espaciadas a distancias definidas. Las partículas que quedan retenidas entre las barras se clasifican como alargadas.

Figura 6
Calibrador de longitudes (para índice de alargamiento)



Nota: tomado de "normas de ensayo para materiales de carreteras", 2014. <https://n9.cl/iq4sz>

Luego de realizar la medición de las muestras se realiza el cálculo de los índices de alargamiento y aplanamiento, calculando el porcentaje de partículas alargadas en relación con el peso total de la fracción ensayada, este mismo proceso con las partículas planas.

Tabla 4*Calculo del porcentaje de partículas planas*

% DE PARTÍCULAS APLANADAS			PESO DE LA MUESTRA (g)	PESO DE LAS MUESTRAS APLANADAS (g)	PARTÍCULAS APLANADAS (%)	RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL (%)	CÁLCULO FINAL
TAMIZ							
PASA	Abertura (mm)	RETENIDO	R_i	n_i	IA_i		
1" 1/2	25,0 mm	1"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	19,0 mm	3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	12,5 mm	1/2"	1.000,6	215,9	21,6	42,3	912,7
1/2"	9,5 mm	3/8"	500,8	125,6	25,1	37,8	970,6
3/8"	6,3 mm	1/4"	300,4	40,2	13,4	17,0	227,5
TOTAL			1801,8	381,7	60,0	98,0	2110,8
ÍNDICE DE PARTÍCULAS APLANADAS (%)							21,54

Nota: Elaboración propia.

Tabla 5*Calculo del porcentaje de partículas alargadas*

% DE PARTÍCULAS ALARGADAS			PESO DE LA MUESTRA (g)	PESO DE LAS MUESTRAS APLANADAS (g)	PARTÍCULAS APLANADAS (%)	RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL (%)	CÁLCULO FINAL
TAMIZ							
PASA	Abertura (mm)	RETENIDO	R_i	n_i	IL_i		
1" 1/2	25,0 mm	1"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	19,0 mm	3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	12,5 mm	1/2"	1.000,6	185,2	18,5	42,3	782,9
1/2"	9,5 mm	3/8"	500,8	95,8	19,1	37,8	740,3
3/8"	6,3 mm	1/4"	300,4	22,5	7,5	17,0	127,3
TOTAL			1801,8	303,5	45,1	98,0	1650,6
ÍNDICE DE PARTÍCULAS ALARGADAS (%)							16,84

Nota: Elaboración propia.

Este ensayo es crucial para asegurar que los agregados utilizados en la construcción de carreteras cumplan con los requisitos de forma, lo que garantiza un mejor desempeño del concreto en términos de compactación, estabilidad y durabilidad, alto porcentaje de partículas planas puede indicar problemas de compactación y resistencia en la mezcla asfáltica, mientras que un elevado porcentaje de partículas alargadas puede afectar negativamente la estabilidad y la durabilidad de la mezcla.

El resultado del ensayo el índice de aplanamiento es mayor que el índice de alargamiento, esto indica que en la muestra hay una mayor proporción de partículas que son planas en comparación con las que son alargadas, es decir, hay más partículas donde su espesor es considerablemente menor en comparación con sus otras dimensiones. Estas partículas pueden tener efectos negativos en la trabajabilidad, la compactación y la durabilidad del concreto, ya que pueden orientarse de manera desfavorable durante la colocación y compactación, creando planos de debilidad, sin embargo el porcentaje obtenido esta dentro de los parámetros admitidos por lo que este agregado es aceptable para la mezcla de concreto.

Además, al comparar los resultados obtenidos con los "Requisitos del agregado grueso para losas de concreto hidráulico" establecidos en el capítulo 5 de las "Especificaciones Técnicas de Construcción de Carreteras" del INVIAS, se concluye que la muestra de agregado cumple con lo establecido, ya que los valores están por debajo del límite máximo del 25 % permitido por la norma, de ahí radica la importancia de este ensayo con este se determina si los materiales a usar son aptos para que el concreto sea de calidad.

Asentamiento del Concreto de Cemento Hidráulico (Slump) INV E - 404

El ensayo de asentamiento del concreto MR-40 se realizó en planta de la concretera Hormigones del Sur, con el fin de evaluar la consistencia y trabajabilidad del concreto fresco. Este ensayo, se referencio por la norma INV E – 404 con el fin de realizar la verificación del asentamiento en el concreto

hecho y despachado en planta, cumpliendo con las especificaciones de diseño antes de su colocación. La consistencia adecuada del concreto es crucial para lograr la resistencia y durabilidad deseadas en el proyecto de estudio. Hay que recordar que el concreto demasiado fluido o demasiado seco puede comprometer la integridad estructural y la calidad de la construcción final.

Materiales

Los materiales y equipos utilizados en el ensayo de asentamiento incluyen:

- Concreto fresco.
- Molde de cono de Abrams.
- Varilla de compactación.
- Base de soporte.
- Recipiente para recoger el concreto excedente.
- Reloj o cronómetro.

Procedimiento

1. Preparación del Molde:

- Colocar el molde de cono de Abrams sobre la base de soporte firme y nivelada.

Figura 7

Preparación del molde y soporte



Nota: Elaboración propia

2. Llenado del Molde:

- Llenar el molde de cono de Abrams en tres capas, cada una de aproximadamente un tercio de la altura del molde.

- Compactar cada capa con 25 golpes de la varilla de compactación, distribuyendo los golpes uniformemente sobre la superficie de la capa.

- Para la primera capa, los golpes deben penetrar completamente; para la segunda y tercera capa, deben penetrar la capa inferior aproximadamente 1 pulgada.

Figura 8
Llenado por capas



Nota: Elaboración propia

3. Nivelación del Concreto:

- Después de llenar y compactar la tercera capa, alisar la superficie del concreto con la varilla de compactación, removiendo cualquier exceso de concreto del borde del molde.

Figura 9
Nivelación del concreto



Nota: Elaboración propia

4. Retiro del Molde:

- Levantar el molde verticalmente hacia arriba en un tiempo de 5 a 2 segundos sin perturbar el concreto circundante.

- No girar ni inclinar el molde durante el levantamiento.

5. Medición del Asentamiento:

- Colocar la varilla de compactación horizontalmente a través de la parte superior del molde.

- Medir la distancia vertical entre la parte inferior de la varilla de compactación y el punto más alto del concreto asentado.

- Registrar esta distancia en pulgadas o milímetros como el valor de asentamiento (Slump).

Figura 10

Medición del asentamiento con la mezcla optima



Nota: Elaboración propia

Figura 11

Medición del asentamiento con la mezcla óptima después de 30 minutos



Nota: Elaboración propia

Análisis

En el presente ensayo, se realizaron dos pruebas de asentamiento sobre la misma mezcla de concreto con un intervalo de 30 minutos entre ambas resaltando en procedimiento que se utiliza la misma bachada en el ensayo 1 y ensayo 2. El primer ensayo arrojó un asentamiento de 6 pulgadas, indicando una consistencia adecuada para la trabajabilidad requerida. Sin embargo, tras 30 minutos, el segundo ensayo mostró un asentamiento reducido de 4.5 pulgadas, evidenciando una disminución de 1.5 pulgadas en el asentamiento.

Esta disminución en el asentamiento de 1.5 pulgadas puede tener implicaciones significativas en la calidad del concreto. Estadísticamente tenemos la pérdida de 1.5 pulgadas cada 30 minutos, por lo que comenzamos a determinar que el tiempo es una problemática ya que el concreto fresco comienza a perder su trabajabilidad debido a la evaporación del agua y el inicio del proceso de fraguado. Un asentamiento menor puede dificultar la instalación y el compactado adecuados del concreto, aumentando el riesgo de formación de vacíos y una menor cohesión interna. Además, puede afectar

negativamente la resistencia, durabilidad del concreto endurecido y a su vez puede ser la causa de las fisuras presentes en algunas placas.

Para mitigar estos efectos, es esencial considerar el tiempo de transporte y colocación del concreto, así como el uso de aditivos que puedan extender la trabajabilidad del concreto fresco. Además, es recomendable realizar ensayos ya que son significativos para determinar el asentamiento periódicos durante el proceso de colocación para asegurar que el concreto mantenga las propiedades deseadas y cumpla con las especificaciones de diseño.

Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto Fundidos In-Situ INV E - 421

Procedimiento

De acuerdo con la norma INV E 421 del Instituto Nacional de Vías, realizamos el siguiente procedimiento: Primero, preparamos los moldes limpiándolos y aplicando lubricante a cada uno. Las dimensiones de los moldes fueron de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Luego, consolidamos el concreto in situ, asegurándonos de que mantuviera las mismas condiciones que el concreto aplicado en la placa. Las muestras se sometieron al mismo proceso de curado y tratamiento que el concreto circundante. Se retiraron las muestras de los cilindros 1 y 2 a los 7 días, y de los cilindros 3, 4 y 5 a los 28 días. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a ensayos de compresión en un equipo calibrado. Se aplicó una carga axial de manera continua y uniforme hasta que los especímenes fallaron, registrándose la carga máxima soportada y la deformación máxima.

Cálculos y resultados

Los datos obtenidos en el ensayo se presentan en la tabla número 6. A continuación, se calculó el área de la sección transversal, la cual es constante para todas las muestras, ya que los moldes utilizados tenían el mismo tamaño, cumpliendo con lo establecido en la norma INV E 421. La deformación máxima fue registrada por el equipo al momento en que las muestras fallaban. Finalmente,

la resistencia a la compresión se determinó dividiendo la carga máxima por el área de la sección transversal. Los resultados se detallan en la tabla número 7.

Tabla 6
Resultados ensayos de compresión.

Cilindro	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Carga máxima (kN)
1 (7 días)	150	300	540
2 (7 días)	150	300	528
3 (28 días)	150	300	660
4 (28 días)	150	300	615
5 (28 días)	150	300	634

Nota: Elaboración propia.

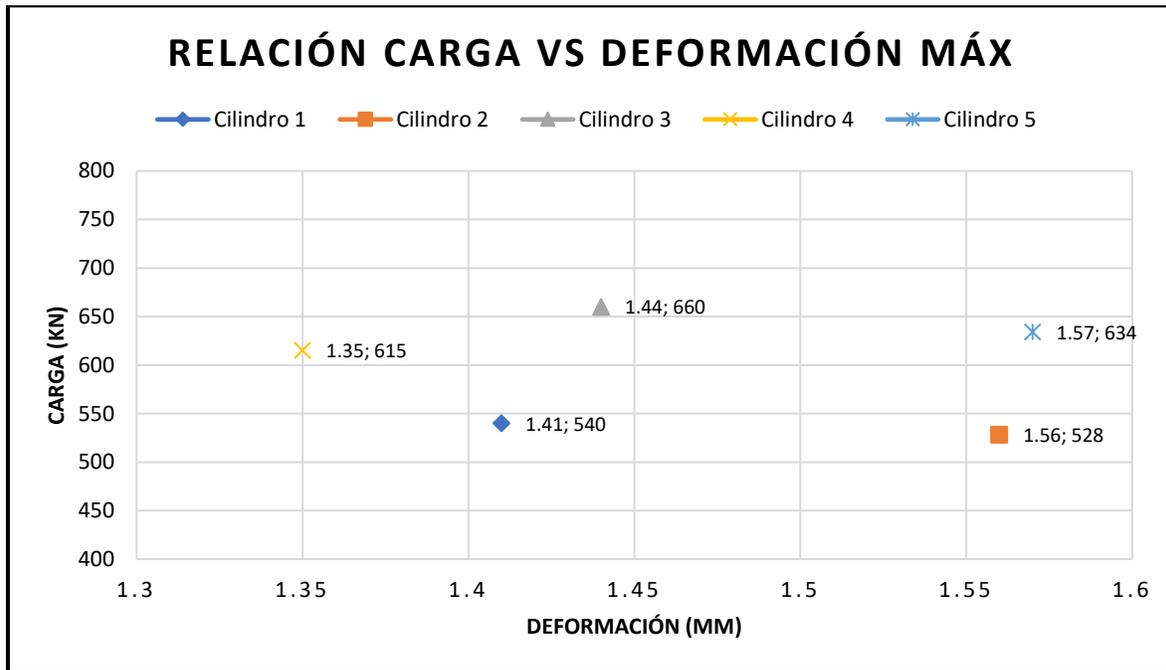
Tabla 7
Cálculos ensayos de compresión.

Máx. Deformación (mm)	Área (mm²)	Resistencia (MPa)
1,41	17671,46	30,56
1,56	17671,46	29,88
1,44	17671,46	37,35
1,35	17671,46	34,80
1,57	17671,46	35,88

Nota: Elaboración propia.

Figura 12

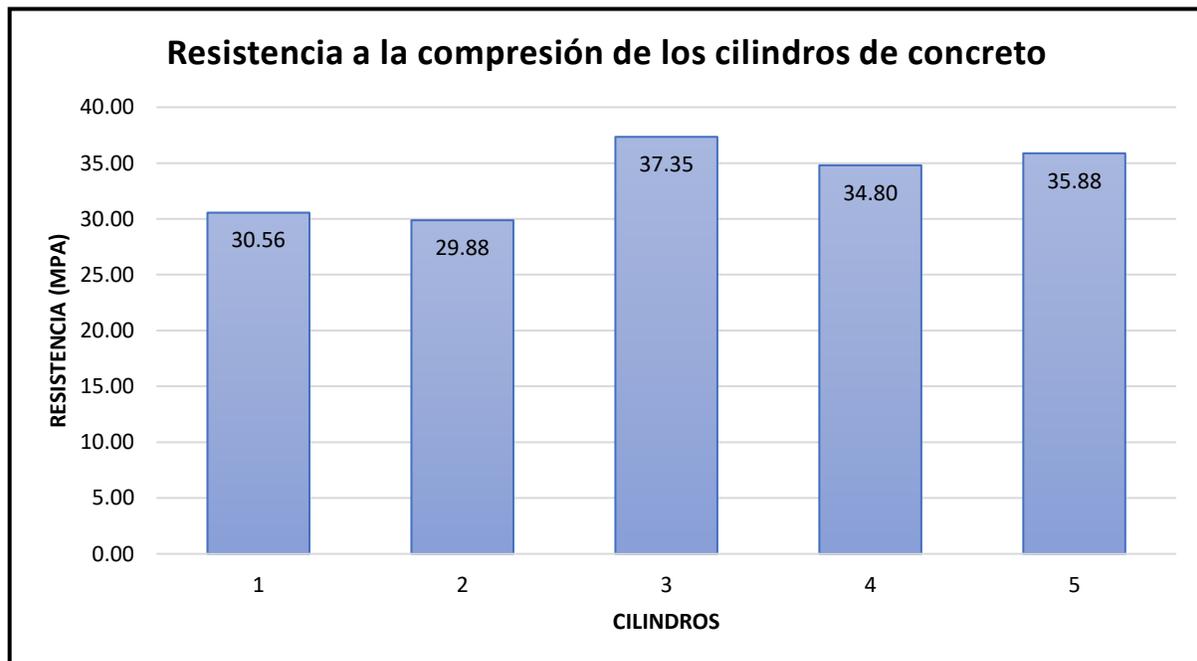
Relación carga / deformación máx.



Nota: Elaboración propia.

Figura 13

Resistencia máx. a la compresión de cada cilindro ensayado.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 8*Media y desviación estándar de la resistencia a la compresión.*

Tiempo de curado	Media de Resistencia (Mpa)	Desviación Estándar (Mpa)
7 días (2 muestras)	30,22	0,48
28 días (3 muestras)	36,01	1,28
Todas las muestras	33,69	3,31

Nota: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla número 8 la media de resistencia de los cilindros curados durante 7 días es de 30.22 MPa, con una desviación estándar de 0.48 MPa. Esto indica que los valores de resistencia son consistentes entre los cilindros, mostrando una baja variabilidad. La media de resistencia para los cilindros curados durante 28 días es de **36.01 MPa**, con una desviación estándar de **1.28 MPa**. Aunque también hay consistencia en los resultados, se observa una mayor dispersión en comparación con los cilindros de 7 días, lo que puede deberse a ligeras variaciones en las propiedades de la mezcla o en las condiciones de curado. Al considerar todos los cilindros juntos, la media general es de **33.69 MPa** con una desviación estándar de **3.31 MPa**. La mayor desviación estándar refleja la variabilidad debido a las diferencias entre los tiempos de curado (7 y 28 días). En conjunto, estos resultados confirman el incremento esperado en la resistencia con el tiempo.

Resistencia a la Flexión del Concreto Usando una Viga Simplemente Apoyada y Cargada en los Tercios de la Luz Libre INV E - 414

Este ensayo es una prueba fundamental en el diseño y análisis estructural de elementos sometidos a cargas flexionantes, se usa para determinar la resistencia a la ruptura del concreto cuando está sujeto a cargas que producen flexión.

Los equipos y materiales usados en el ensayo fueron:

- Viga de concreto
- Máquina de ensayo de flexión
- Regla o cinta métrica.

El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente:

Lo primero fue la preparación de la viga, para esto se fundieron en los moldes las muestras de concreto tomadas de forma aleatoria de diferentes lotes con la ayuda de la concretera Hormigones del Sur S.A., luego de que las muestras se secaran y fueran desmoldadas se introdujeron en agua para someterlas a la etapa de curado, este proceso es muy importante debido a que para lograr que los resultados salgan lo mejor posible la viga de concreto debe ser curada adecuadamente antes del ensayo, las dimensiones deben ser precisas y la superficie debe estar lisa.

Figura 14
Molde de viga



Nota: Elaboración propia.

Figura 15
Vigas en proceso de fundición

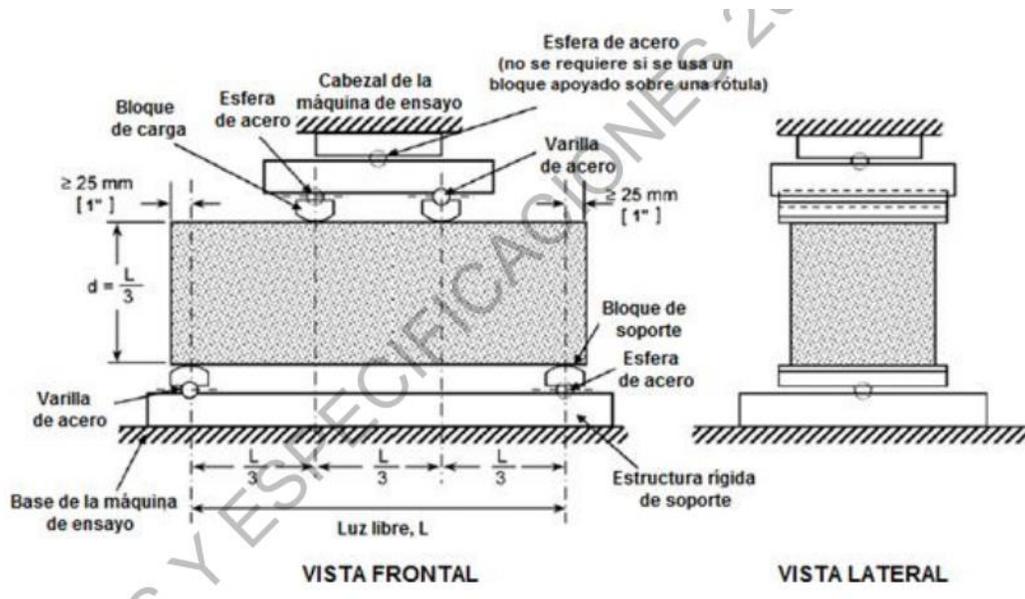


Nota: Elaboración propia.

Después de completar el tiempo de curado las vigas fueron llevadas al laboratorio teniendo en cuenta los días de curado y se siguen los siguientes pasos:

- 1) La viga debe cumplir con las de diseño que indica la norma INV E – 414

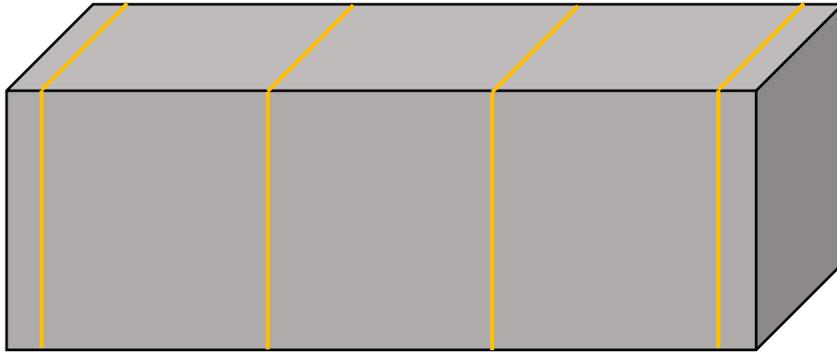
Figura 16
Molde de viga



Nota: tomado de "normas de ensayo para materiales de carreteras", 2014. <https://n9.cl/iq4sz>

Figura 17

Descripción gráfica de las dimensiones de la viga



Nota: Elaboración propia.

- 2) La viga se coloca sobre dos soportes, asegurándose de que estos están espaciados a una distancia adecuada (luz libre). La luz libre, L , es la distancia entre los soportes y generalmente es cuatro veces la altura de la viga (para una viga de 15 cm de altura, la luz libre sería aproximadamente 60 cm).

Figura 18

Montaje de la viga en el equipo



Nota: Elaboración propia.

- 3) La carga se aplica en los tercios de la luz libre, es decir, en dos puntos de carga a una distancia de $L/3$ desde cada soporte, además la carga debe ser aplicada lentamente y de manera continua hasta que la viga falle.
- 4) Se registra la carga máxima P aplicada justo antes de la ruptura de la viga, con esta carga se calcula la resistencia a la flexión del concreto.

Figura 19

Registro del fallo de la viga



Nota: Elaboración propia.

Datos y Cálculos**Tabla 8** Datos de entrada y de lectura del primer lote de muestras

Elemento	No. Muestra	Fecha de Muestra	Edad (días)	Fecha de Ensayo	Luz Libre del Tercio (L)	Ancho (b)	Altura Promedio (d)	Lectura del Equipo (kN)
Muestra -02	1	21/02/2024	14	6/03/2024	484	153	154	24.47
Muestra -02	2	21/02/2024	14	6/03/2024	483	155	152	22.56
Muestra -02	3	21/02/2024	28	20/03/2024	483	150	155	27.95
Muestra -02	4	21/02/2024	28	20/03/2024	484	152	154	28.39

Nota: Elaboración propia.

Tabla 9

Cálculo de la resistencia a la flexión del primer lote de muestras

Elemento	No. Muestra	Resistencia Obtenida (Mpa)	Resistencia Obtenida (Psi)	Resistencia Obtenida (%)	Resistencia Esperada (%)	Resistencia Diseño (Mpa)
Muestra -02	1	3.264	473.399	81.60%	90.00%	4
Muestra -02	2	3.043	441.315	76.07%	90.00%	4
Muestra -02	3	3.746	543.319	93.65%	100.00%	4
Muestra -02	4	3.812	552.849	95.29%	100.00%	4

Nota: Elaboración propia.

Tabla 10

Datos de entrada y de lectura del segundo lote de muestras

Elemento	No. Muestra	Fecha de Muestra	Edad (días)	Fecha de Ensayo	Luz Libre del Tercio (L)	Ancho (b)	Altura Promedio (d)	Lectura del Equipo (kN)
Muestra -1A	1	20/02/2024	14	5/03/2024	480	153	160	18.95
Muestra -1A	2	20/02/2024	14	5/03/2024	482	155	155	19.86
Muestra -1A	3	20/02/2024	28	19/03/2024	483	150	154	24.76
Muestra -1A	4	20/02/2024	28	19/03/2024	484	153	152	25.44

Nota: Elaboración propia.

Tabla 11

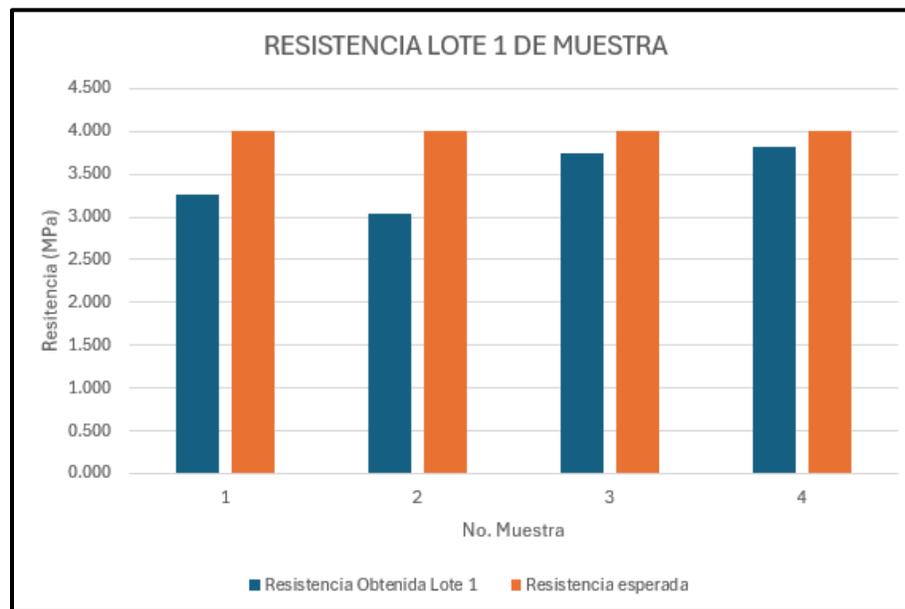
Calculo de la resistencia a la flexión del segundo lote de muestras

Elemento	No. Muestra	Resistencia Obtenida (Mpa)	Resistencia Obtenida (Psi)	Resistencia Obtenida (%)	Resistencia Esperada (%)	Resistencia Diseño (Mpa)
Muestra -1A	1	2.322	336.822	58.06%	90.00%	4
Muestra -1A	2	2.571	372.831	64.26%	90.00%	4
Muestra -1A	3	3.362	487.580	84.04%	100.00%	4
Muestra -1A	4	3.483	505.202	87.08%	100.00%	4

Nota: Elaboración propia.

Figura 20

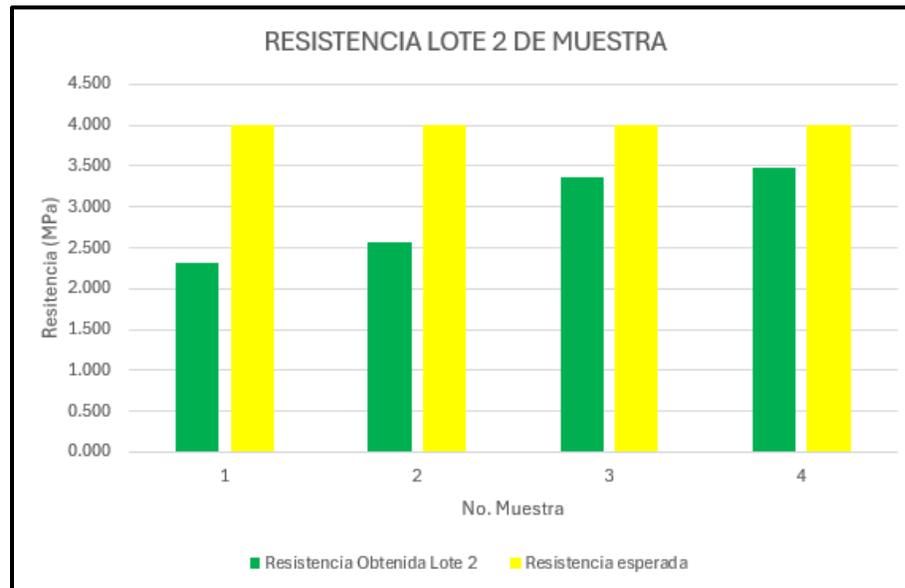
Resistencia a la flexión del primer lote de muestras



Nota: Elaboración propia.

Figura 21

Resistencia a la flexión del segundo lote de muestras



Nota: Elaboración propia.

Las figuras 18 y 19 permiten observar una relación entre la resistencia obtenida y el valor que se esperaba, de esto podemos decir que el lote 2 está en promedio un 21.64% por debajo del valor esperado, mientras que el lote 1 está solo un 8.35% por debajo, los resultados del lote 2 de muestras indican problemas en la producción o en el proceso de fabricación de las vigas del lote 2.

La diferencia en la magnitud de la desviación entre los dos lotes sugiere que el proceso de producción en la concretera no es el mismo para los 2 lotes, debido a que mientras un lote está relativamente cerca del valor esperado (aunque ligeramente bajo), el otro muestra una desviación mucho mayor. Esto se podría presentar porque existen factores adicionales (como variabilidad en la materia prima (principalmente agregados), en las condiciones de producción (dosificación, mezclado, curado), o en los procedimientos de control) que afectan específicamente al lote 2.

Los valores obtenidos difieren bastante del valor teórico principalmente en los resultados obtenidos en las muestras tomadas del segundo lote de estudio, por lo que no es posible estimar con exactitud el rendimiento del concreto, para determinar si el concreto cumple con los estándares de

aceptación especificados en las normas del INVIAS el promedio de resistencia obtenido de cada lote de muestra se debe promediar para determinar si cumple, en este caso no se determinara.

Análisis y Discusión de Resultados

En el diseño y construcción de infraestructuras de alta calidad, como las carreteras, el concreto MR-40 juega un papel crucial debido a su capacidad de combinar fluidez y resistencia. La fluidez del concreto no solo afecta la facilidad de su manejo y colocación, sino que también influye directamente en su resistencia estructural. Por lo tanto, es fundamental evaluar cómo factores como la granulometría de los agregados, la forma de las partículas, la presencia de terrones de arcilla, la relación agua-cemento y los resultados de ensayos como el de Slump, la resistencia a la compresión y a la flexión, se relacionan con la fluidez del concreto MR-40. Entender estas relaciones permite optimizar la mezcla de concreto para cumplir con las especificaciones técnicas, asegurando así la calidad y durabilidad de las construcciones en las que se emplea. Por lo anterior, es necesario realizar un análisis detallado con respecto a la relación que tienen cada uno de los ensayos realizados y el concreto MR-40, con el objetivo de identificar las posibles causas de la baja fluidez del concreto MR-40 en estudio:

Relación general de los ensayos con la fluidez del concreto MR - 40

En la construcción de infraestructuras de alta calidad, como las carreteras, el concreto MR-40 es un material esencial que requiere un equilibrio preciso entre su fluidez y resistencia. La fluidez del concreto, que se relaciona directamente con su trabajabilidad y facilidad de manejo, es influenciada por diversos factores como la granulometría de los agregados, la forma de las partículas, la presencia de terrones de arcilla, y la relación agua-cemento.

La granulometría de los agregados, especialmente la proporción de partículas finas y gruesas, afecta la capacidad del concreto para moverse y compactarse adecuadamente. Un agregado bien

graduado facilita una mejor trabajabilidad, mientras que agregados mal graduados pueden obstaculizar la fluidez, requiriendo ajustes en la mezcla, como la adición de más agua.

El ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto fundidos in situ revela la relación entre la fluidez y la resistencia estructural del concreto. Los resultados indican que la fluidez podría no haber sido óptima, ya que la resistencia obtenida no alcanzó los niveles deseados.

Asimismo, el ensayo de Slump es crucial para evaluar la fluidez del concreto, esencial para su colocación y consolidación. Un Slump bajo indica rigidez, dificultando el manejo, mientras que uno alto sugiere exceso de agua y segregación. En una muestra, se observó una **pérdida significativa de fluidez**, con 6" en planta, por debajo de la óptima de 6.5"-7", y un descenso a **4.5" en el traslado**. Esta disminución compromete la compactación, genera vacíos y afecta la resistencia y durabilidad del concreto, provocando fisuras en las placas.

Además, la forma de las partículas de los agregados, en particular aquellas alargadas o planas, también juega un rol crucial en la fluidez del concreto. Estas partículas pueden aumentar la fricción interna, reduciendo la fluidez y complicando la mezcla, lo que podría requerir la utilización de aditivos superplastificantes para mejorar su comportamiento.

Finalmente, la relación entre la resistencia a la flexión y la fluidez destaca la necesidad de un equilibrio adecuado en la mezcla. Aunque una mayor fluidez facilita el proceso constructivo, un exceso de agua sin los ajustes necesarios puede comprometer la resistencia mecánica del concreto.

En resumen, la fluidez del concreto MR-40 es un factor multifacético que debe ser cuidadosamente controlado para garantizar tanto la facilidad de manejo durante la construcción como la integridad estructural a largo plazo.

Relación de la granulometría de la muestra 1 y 2 con la fluidez del concreto MR-40

La granulometría del agregado, especialmente la proporción de agregados finos y gruesos, afecta la trabajabilidad del concreto. Un agregado bien graduado, con una distribución adecuada de

tamaños de partículas, puede mejorar la trabajabilidad del concreto al llenar mejor los vacíos y reducir el contenido de pasta necesaria para lubricar la mezcla. La muestra 2 es un material mal gradado por la mala distribución de tamaños de partículas, las cuales la mayoría son de dos tamaños en específico 1/2" y 3/8", esto puede afectar debido a que una buena fluidez requiere llenar los espacios vacíos que quedan entre partículas, esta deficiencia podría ser compensado en cantidades muy mínimas por el agregado fino de la muestra 1, puesto que esta muestra dió como resultado un módulo de finura de 3.8, esto quiere decir que el tamaño de las partículas son bastante gruesas con respecto a la recomendación habitual de la norma 2.50 a 3.1. Para conseguir una óptima fluidez del concreto MR-40 con estos dos agregados analizados anteriormente es necesario agregar una cantidad considerable de agua, en consecuencia, a las características físicas de las partículas.

Relación entre el alargamiento y aplanamiento de los agregados con la fluidez del concreto

MR-40

La forma de las partículas de los agregados es fundamental en la construcción de carreteras, ya que las partículas con formas inadecuadas suelen causar problemas. Las partículas planas y alargadas tienden a generar mezclas de concreto con baja trabajabilidad, lo que puede afectar su durabilidad a largo plazo. Por ello, este ensayo se relaciona con la fluidez, ya que influye directamente en cómo se comporta la mezcla fresca en términos de su capacidad para moverse y ser trabajada antes de endurecerse. Las partículas alargadas, debido a su forma, dificultan el movimiento dentro de la mezcla. Esto se debe a que tienden a alinearse con la dirección del flujo, generando una mayor fricción interna y resistencia al movimiento. Como resultado, un alto índice de alargamiento generalmente disminuye la fluidez de la mezcla, lo que puede requerir el uso de mayor cantidad de agua o aditivos superplastificantes para alcanzar la fluidez deseada, que sería más fácilmente lograda con agregados de formas más adecuadas para el concreto. Por otro lado, las partículas planas tienen superficies más amplias en relación con su espesor, lo que incrementa el área de contacto entre las partículas y aumenta

la fricción interna. Esto puede causar problemas en la compactación, la formación de vacíos y una distribución desigual del agregado en la mezcla. La forma de las partículas de agregado, especialmente en términos de alargamiento y aplanamiento, impacta significativamente la fluidez de la mezcla de concreto. Por lo tanto, es esencial controlar la proporción de estas partículas al seleccionar el agregado para asegurar que la mezcla mantenga las propiedades de fluidez necesarias para una construcción eficiente y de alta calidad.

Relación de los terrones de arcilla y partículas deleznable con la fluidez del concreto MR-40

La presencia de terrones de arcilla en los agregados puede reducir la fluidez del concreto al absorber agua, sin embargo, la eliminación de terrones de arcilla o la minimización de su presencia puede mejorar la fluidez y trabajabilidad del concreto.

Según ensayos realizados se descarta la relación y influencia de los terrones de arcilla y partículas deleznable con la fluidez ya que no son considerables valores importantes.

Relación del ensayo de Slump con la fluidez del concreto MR-40

El ensayo de Slump adecuado indica una buena fluidez del concreto, lo que facilita su colocación y consolidación, ya que un Slump muy bajo indica que el concreto es muy rígido, lo que puede dificultar su manejo y compactación, por el contrario, un Slump muy alto puede indicar un exceso de agua, lo que puede llevar a una segregación y pérdida de cohesión del concreto

En las muestras obtenidas tenemos una fluidez de 6" en planta donde la trabajabilidad óptima sería de 6,5" a 7", además le sumamos que en el recorrido a obra obtuvimos un concreto de 4.5" una pérdida significativamente de 1.5", donde la fluidez del concreto es crítica, poniendo en riesgo la calidad y consistencia del concreto.

Este asentamiento menor puede dificultar la instalación y el compactado adecuados del concreto, aumentando el riesgo en la formación de vacíos y una menor cohesión interna. Además,

puede afectar negativamente la resistencia, durabilidad del concreto endurecido y a su vez puede ser la causa de las fisuras presentes en algunas placas.

Relación del ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto fundidos In Situ con la fluidez del concreto MR-40

Este ensayo nos permite evaluar la resistencia del concreto utilizado en la obra. Para cumplir con las especificaciones requeridas, se debía alcanzar un módulo de rotura mínimo de 40 MPa. El promedio de la resistencia a la compresión obtenido en el ensayo fue de 30,22 MPa para los cilindros 1 y 2 a los 7 días, durante su proceso de curado inicial, y de 36,01 MPa a los 28 días. La desviación estándar de la resistencia a la compresión fue baja, con 0.48 MPa a los 7 días y 1.28 MPa a los 28 días, lo que indica que los datos del ensayo son consistentes y aceptables. El Coeficiente de Variación (COV) respaldó esta consistencia, siendo de solo 1.59% para las muestras de 7 días, lo que sugiere una variabilidad muy baja en relación con la media. Para los 28 días, el COV fue de 3.56%, indicando una variabilidad moderada. Al considerar todas las muestras, el COV aumentó a 9.83%, reflejando una mayor dispersión en las resistencias, debido a que se espera que la resistencia a la compresión mejore considerablemente con el tiempo. Sin embargo, los resultados del ensayo no alcanzaron la resistencia objetivo de 40 MPa al finalizar los 28 días de curado, siendo la resistencia máxima alcanzada de 36,01 MPa, es decir, no cumple con las especificaciones requeridas por el proyecto. Esto sugiere que podrían ser necesarios algunos ajustes en la mezcla, y que la fluidez del concreto podría no haber sido óptima para lograr la resistencia máxima especificada en el proyecto.

Relación entre la resistencia a la flexión con la fluidez

La relación entre la resistencia a la flexión y la fluidez del concreto es crucial en el diseño y la aplicación de mezclas, ya que ambos factores afectan tanto el comportamiento estructural como la facilidad de manejo de la mezcla fresca. Una mayor fluidez en el concreto facilita su colocación y compactación, lo que puede mejorar la integridad de la mezcla y minimizar la aparición de vacíos o

huecos. Sin embargo, si la fluidez se incrementa en exceso añadiendo más agua sin ajustar correctamente otros componentes, la resistencia a la flexión puede verse comprometida, esto ocurre porque un exceso de agua en la mezcla aumenta la porosidad del concreto endurecido, lo que reduce su densidad y, por lo tanto, su resistencia mecánica. Es fundamental diseñar la mezcla de concreto de manera que se logre un equilibrio adecuado entre la fluidez necesaria para el proceso constructivo y la resistencia a la flexión requerida para que la estructura pueda soportar las cargas a las que va a estar sometida, para ello se debe realizar un control preciso de la relación agua-cemento y el uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad sin afectar negativamente la resistencia. La fluidez del concreto y su resistencia a la flexión están estrechamente vinculadas y deben ser cuidadosamente equilibradas en el diseño de la mezcla porque una buena fluidez favorece la trabajabilidad y la compactación de la mezcla, lo que puede contribuir a una mayor resistencia a la flexión.

Formula del concretó y de trabajo

La fórmula de trabajo de la concretera Hormigones del Sur S.A. para la producción de concreto MR por m³ fue de la siguiente manera:

Cemento 350kg

Arena 860kg

Grava 985kg

Agua 155l

Aditivo plasticidad (adiflou)1.8l

Aditivo reductor (adicontrol) agua 1.6l

Al tratarse de un concreto MR, es importante considerar varios factores clave. Uno de ellos es la relación agua-cemento, la cual debería ser de 0,45 según las normas del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) para un concreto estructural, y este concreto cumple con dicha

relación. Además, a diferencia de otros tipos de concreto, el MR tiene una relación grava-arena mayor, lo que le confiere una mayor resistencia a la flexión, abrasión y desgaste superficial, y también cumple con esta condición.

Sin embargo, en lo que respecta a los agregados utilizados, específicamente en cuanto a su gradación, este concreto no cumple con lo establecido en las Especificaciones Técnicas del INVIAS, específicamente en la tabla 500 — 1, que detalla las granulometrías adecuadas para el agregado grueso en losas de concreto hidráulico. Para este tipo de concreto, la gradación correcta es la AG-2, que se emplea en la fabricación de concretos hidráulicos.

Según las especificaciones técnicas del INVIAS, en Colombia se requiere utilizar un agregado grueso con una gradación específica para garantizar la durabilidad, resistencia y buen desempeño bajo las cargas de tráfico. La gradación correcta de los agregados es esencial en un pavimento rígido para asegurar que la mezcla de concreto tenga las propiedades mecánicas necesarias.

Generalmente, para pavimentos rígidos se utiliza un agregado grueso con un tamaño nominal máximo que puede variar entre 19 mm (3/4 pulgadas) y 37,5 mm (1 1/2 pulgadas). La distribución granulométrica adecuada de estos agregados es crucial para garantizar una fluidez óptima de la mezcla (trabajabilidad), así como su densidad y capacidad para resistir cargas.

Tanto los agregados gruesos como los finos son componentes fundamentales en un concreto, y una elección incorrecta de estos puede comprometer seriamente la calidad y el desempeño del concreto. Por esta razón, se concluye que las fallas presentadas en el concreto entregado por la concretera Hormigones del Sur para el proyecto Alacis se deben principalmente al uso incorrecto de agregados.

Los ensayos de granulometría han demostrado que tanto los agregados finos como los gruesos están mal gradados y no cumplen con las especificaciones. Además, en el caso de los agregados gruesos, la mayoría del material se encuentra en un rango de tamaño entre 9,50 mm (3/8 pulgadas) y 12,70 mm

(1/2 pulgadas), lo cual no cumple con los requisitos, ya que, como se mencionó anteriormente, el tamaño adecuado del agregado debe estar entre 19 mm (3/4 pulgadas) y 37,5 mm (1 1/2 pulgadas).

La solución para asegurar que la mezcla de concreto funcione de manera óptima es cambiar los agregados utilizados y emplear el tamaño y la gradación adecuada. Esto garantizará un concreto de excelente calidad, durabilidad y trabajabilidad, permitiendo que se compacte adecuadamente, minimizando los vacíos y reduciendo la posibilidad de fallas en el mismo.

Conclusiones y Recomendaciones

La muestra 1, compuesta por arena como agregado fino, presenta una distribución progresiva de tamaños de partículas con un módulo de finura (MF) superior al recomendado por la norma, lo que implica una gradación relativamente gruesa que incrementa la demanda de agua para alcanzar la fluidez requerida en el concreto MR-40. La muestra 2, en cambio, presenta una gradación deficiente, con una concentración de partículas en solo dos tamices y escasa distribución de tamaños. Esta falta de finos limita la capacidad para llenar los vacíos entre los agregados gruesos, lo cual afecta la trabajabilidad y también incrementa la demanda de agua.

Para asegurar una fluidez óptima en el concreto, es esencial que los agregados tengan una gradación adecuada, lo que minimiza los vacíos y reduce la necesidad de pasta de cemento. Aunque la muestra 1 podría compensar parcialmente la falta de finos en la muestra 2, esta compensación resulta insuficiente, ya que ambas muestras requieren mayor cantidad de agua para alcanzar una trabajabilidad adecuada. En consecuencia, para lograr la fluidez deseada en el concreto MR-40 con los agregados de ambas muestras, se recomienda ajustar la mezcla mediante la incorporación de agua adicional o, alternativamente, utilizar aditivos superplastificantes. Esto es fundamental debido a la combinación de una gradación gruesa en la muestra 1 y la carencia de finos en la muestra 2, que limitan la capacidad de la mezcla para moverse y compactarse eficazmente.

En el contexto de la concretera Hormigones del Sur, se identificó que la gradación de los agregados locales afecta significativamente la fluidez del concreto MR-40, lo cual a su vez incide en la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto fundidos in situ. Los ensayos realizados mostraron una resistencia máxima de 36,01 MPa a los 28 días, por debajo del objetivo de 40 MPa, indicando que la fluidez del concreto no fue óptima, lo que impidió una adecuada consolidación de la mezcla.

Los agregados desempeñan un papel fundamental en la composición del concreto, ya que proporcionan la estructura interna necesaria para soportar tensiones y distribuir cargas de manera eficiente. Sin embargo, es crucial que dichos agregados presenten una gradación y un tamaño adecuados para garantizar el desempeño óptimo del material. En el estudio realizado, se evidenció una deficiencia en la gradación de los agregados utilizados, lo cual impactó negativamente en la resistencia a la flexión del concreto.

Se empleó un agregado grueso con un tamaño promedio de 11.1 mm, significativamente menor al estipulado por la normativa correspondiente para el tipo de concreto en cuestión, que requería un tamaño promedio de 28.2 mm. Esta discrepancia en el tamaño del agregado grueso afectó de manera adversa la resistencia a la flexión, dado que dicha propiedad depende de la interacción balanceada entre todos los componentes del concreto, siendo la adecuada selección y gradación del agregado uno de los factores determinantes para su desempeño mecánico.

Tanto los agregados finos como gruesos configuran la estructura interna del concreto y su distribución granulométrica impacta directamente en la fluidez, trabajabilidad y capacidad de compactación de la mezcla. Una gradación adecuada permite una relación eficiente entre partículas, minimizando los vacíos y asegurando una mezcla densa y uniforme, lo cual contribuye a un concreto manejable en estado fresco y resistente en estado endurecido, favoreciendo la durabilidad y seguridad de las estructuras.

Como resultado de estos análisis, se ha optado por modificar la fórmula del concreto, incorporando agregados de menor tamaño y logrando una fluidez óptima de 7 pulgadas. Este ajuste permite observar mejoras significativas en sus propiedades:

Mejora en la trabajabilidad: La reducción en el tamaño de los agregados contribuye a una mezcla más homogénea, facilitando el manejo y la colocación del concreto, especialmente en aplicaciones que requieren alta precisión o en áreas de geometría compleja.

Mantenimiento de la fluidez: Alcanzar una fluidez de 7 pulgadas asegura que el concreto conserve su capacidad de bombeo y vertido sin riesgo de segregación, lo cual es fundamental para evitar la pérdida de cohesión en la mezcla y garantizar su resistencia y durabilidad a largo plazo.

Optimización en la calidad final: La modificación en la fórmula del concreto, mediante el uso de agregados más pequeños y el logro de una fluidez de 7 pulgadas, mejora considerablemente la trabajabilidad sin comprometer la fluidez. Esto se traduce en un concreto más fácil de manejar, con menor riesgo de segregación y una mejor calidad en términos de resistencia y acabado final.

Lista de Referencia o Bibliografía

- Cárdenas, A. & Pinzón, V. (2010). Efectos de la pérdida de asentamiento en la resistencia de un concreto de 3000 psi [Trabajo de Grado, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://n9.cl/0evlrq>
- Cardenas, E. & Lozano, L. (2016). Correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto hidráulico con materiales procedentes del río coello para el control de pavimentos rígidos [Trabajo de Grado, Universidad Piloto De Colombia Seccional Alto Magdalena]. <https://lc.cx/hAxKt->
- Carmona, J. (2004). Variación en las características de fluidez en mezclas de concreto mediante la modificación de aditivo y agua para la obtención de un concreto autocompactable [Trabajo de Grado, Instituto Tecnológico De Costa Rica Escuela De Ingeniería En Construcción]. <https://n9.cl/nrgj5>
- Castaño, D., Jaiquel, J., Meléndez, D., & Torres, J. (2021). Parámetros de calidad para el diseño y construcción de pavimentos de concreto en proyectos de inversión privada. *Inversión privada en infraestructura*, Volumen 165, 58-61.
- Cham, J., Solís, R. & Moreno, E. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería*. 7 (2), (39-46). <https://www.redalyc.org/pdf/467/46770203.pdf>
- García, J. (2010). Determinación de la correlación entre el módulo de rotura y resistencia a la compresión del concreto (caso Prevesa) [Trabajo de Grado, Univeridad Pontificia Bolivariana]. <https://n9.cl/ldhym>
- Hui, C., Liu, Y., Hai, R., & Liu, M. (2022). Experimental Study and Analysis on Workability and Mechanical Performance of High Fluidity Recycled Concrete. *Materials (Basel, Switzerland)*, 15(17), 6104. <https://doi.org/10.3390/ma15176104>

- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS [INVIAS], agosto 15, 2014. Ministerio de Transporte. (Colombia). Normas de ensayo para materiales de carreteras, (Cap. 200,400). Obtenido el 6 de diciembre de 2023. <https://n9.cl/iq4sz>
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS [INVIAS], septiembre 29, 2022. Ministerio de Transporte. (Colombia). Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022, (Cap. 5, pp 779-881). Obtenido el 20 de noviembre de 2023. <https://n9.cl/msq5q>
- Leal, R. & Echeverry, S. (2020). Fluidez y resistencia a compresión de seis marcas de cemento de uso general [Trabajo de Grado, Universidad Piloto de Colombia]. <https://n9.cl/kw8ya>
- León, M. P. & Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista ingeniería de construcción*, 25(2), 215-240. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000200003>
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Agora Editores.
- Orozco, E. (2014). Controlando la calidad durante la construcción: ¿Qué, cómo y cuándo?. *Pavimentos en concreto*, Volumen 124, 38-41. Orozco, E.
- Pérez, J. (2021). Análisis de calidad del concreto en obra [Trabajo de Grado, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://n9.cl/vo8ak>
- Ramírez, M. (2017). Determinación de la manejabilidad de mezclas de concreto de bajo asentamiento utilizando el método de ensayo del consistómetro vebe [Trabajo de Grado, Universidad Rafael Landívar]. <https://n9.cl/0v2wv>