

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el uso de placas de entrepiso aligeradas

Diana Carolina Bohórquez Palencia

Bibian Lorena García García

Saydee María Bechara Lopera



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Facultad de ingeniería

Universidad la Gran Colombia

Bogotá

2025

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el uso de placas de entrepiso aligeradas

Diana Carolina Bohórquez Palencia

Bibian Lorena García García

Saydee María Bechara Lopera

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de especialistas en diseño y construcción de obras de infraestructura y edificaciones

Ing. Miguel Antonio Caro Pallares

Director



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Facultad de ingeniería

Universidad la Gran Colombia

Bogotá

2025

Tabla de contenido

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
PROBLEMA	12
JUSTIFICACIÓN	14
ANTECEDENTES	16
OBJETIVOS	20
OBJETIVO GENERAL	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
HIPÓTESIS	21
MARCO REFERENCIAL	22
MARCO HISTÓRICO	22
MARCO TEÓRICO	23
MARCO NORMATIVO	24
MARCO CONCEPTUAL	25
CUERPO DEL PROYECTO	30
1. FIBRAS SINTÉTICAS	30
<i>1.1. Definición</i>	<i>30</i>
<i>1.2. Tipos de Macrofibras por proveedor</i>	<i>30</i>

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas	
2. CONCRETO	34
2.1. Definición	34
2.2. Concreto con adición de macrofibras sintéticas	35
2.3. Componentes del concreto	35
2.4. Características del concreto	37
2.5. El concreto y la resistencia a la tracción	40
3. POBLACIÓN DE ESTUDIO, MUESTRA, MUESTREO Y CRITERIOS DE SELECCIÓN	43
3.1. Diseño de Mezcla de concreto	44
3.2. Dosificación de Macrofibras Sintéticas	44
3.3. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión y tracción	45
3.4. Ensayo de resistencia a la compresión	46
3.5. Ensayo de tracción por hendimiento (tracción indirecta)	46
4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD	47
4.1. Técnicas de recolección de datos	47
4.2. Instrumentos de recolección de datos	47
4.3. Validez y confiabilidad	48
FLUJO DE PROCESOS	49
ASPECTOS METODOLÓGICOS	51
METODOLOGÍA Y RESULTADOS	53
1. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES	54
1.1. Obtención de agregado grueso	54
1.2. Obtención del agregado Fino	54

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas	
1.3. Obtención de Macro-Fibras	54
2. RESULTADOS DE LOS AGREGADOS	56
3. RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO	60
3.1. Análisis Granulométrico, caracterización y estabilización	60
4. DESARROLLO DEL MÉTODO DE DISEÑO	63
4.1. Propiedad Química del Cemento Portland Tipo I	63
4.2. Peso específico del cemento	64
4.3. Diseño de mezcla	64
4.4. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión y tracción	64
5. DOSIFICACIÓN DE MACROFIBRAS SINTÉTICAS	69
6. RESULTADOS DEL CONCRETO DE TRACCIÓN INDIRECTA	70
7. EVALUACIÓN ECONÓMICA COMPARATIVO ACERO DE REFUERZO POR TEMPERATURA VS MACROFIBRAS	74
8. ANÁLISIS ECONÓMICO	75
CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS	83

Listado de tablas

Tabla 1. Especificaciones Técnicas Cemento Gris Argos de uso general	36
Tabla 2. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.....	39
Tabla 3. Relación de Especímenes y dosificación kg/M3.....	53
Tabla 4. Requisitos del agregado grueso para concreto estructural	56
Tabla 5. Resultados del agregado grueso	57
Tabla 6. Granulometría obtenida para el agregado grueso utilizado	57
Tabla 7. Requisitos del agregado fino para concreto estructural	58
Tabla 8. Características del agregado fino utilizado.....	59
Tabla 9. Granulometría obtenida para el agregado fino utilizado.....	59
Tabla 10. Curva granulométrica del agregado fino utilizado	60
Tabla 11. Dosificación de Agregados.....	62
Tabla 12. Resistencia promedio requerida a la comprensión.....	66
Tabla 13. Diseño Mezcla de Concreto.....	67
Tabla 14. Resistencia a compresión del concreto. Según formula de trabajo.....	68
Tabla 15. Diseño dosificación por peso individual.....	69
Tabla 16. Cantidad de Macrofibra por bulto de cemento	70
Tabla 17. Resultados de tracción Indirecta Sin Macrofibra y con adición de Macrofibra.....	73
Tabla 18. Cálculo de acero por temperatura.....	75
Tabla 19. Análisis económico	76
Tabla 20. Cronograma del proyecto	78
Tabla 21. Presupuesto del Proyecto.....	79
Tabla 22. Valores sin macrofibra y con macrofibra - % deform. Máx. (Edad 28 días).....	80

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Presentación Macro Fibra Sintética MAXTEN TM Euclid Toxement	55
Ilustración 2. Fragmento Norma Sismo Resistente NSR-10.....	75

Tabla de figuras

Figura 1. Esquema de probeta de tracción Indirecta	43
Figura 2. Diagrama del flujo de procesos (síntesis)	50
Figura 3. Curva Gradación Dosificada y curva “Método de la Road Note Laboratory (RNL)”(Gómez & Sánchez, 1997)	63
Figura 4. Histograma de frecuencia de resistencia sin macrofibra y con macrofibra	71
Figura 5. Variación de la Resistencia a Tracción del Concreto (Edad 7 días) Vs Cantidad de Macrofibra	72
Figura 6. Variación de la Resistencia a Tracción del Concreto (Edad 28 días) Vs Cantidad de Macrofibra	72

Lista de Anexos

Anexo 1: Ficha Técnica FIBRAPLAS CONCRETE, proveedor: ABACOL

Anexo 2: Ficha Técnica MAXTEN™, Proveedor: Toxement

Anexo 3: Ficha Técnica TUF STRAND SF, Proveedor: Toxement

Anexo 4: Ficha Técnica SikaFiber® Force PP/PE-700/55, Proveedor: SIKA

Anexo 5: Ensayos Caracterización de Agregados y Diseño de Mezcla Concreto 21 MPa

Anexo 6: Ensayos de Laboratorio a Compresión

Anexo 7: Ensayos de Laboratorio a Tracción Indirecta

Anexo 8: Registro Fotográfico

Resumen

El uso de macrofibras sintéticas en el concreto ha ganado popularidad en aplicaciones de construcción, especialmente en el diseño de placas de entrepiso aligeradas. Estas fibras ofrecen mejoras significativas en la resistencia a la tracción y la durabilidad del concreto, lo que puede resultar en estructuras más seguras y eficientes. Sin embargo, la dosificación adecuada de estas fibras es crucial para garantizar resultados óptimos en términos de resistencia y rendimiento del concreto.

Esta investigación tiene como objetivo analizar la influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa, específicamente en el contexto del uso de placas de entrepiso aligeradas. Se busca determinar la dosificación óptima de fibras para maximizar la resistencia a la tracción del concreto sin comprometer su trabajabilidad ni su comportamiento en servicio.

Palabras clave:

Macrofibras sintéticas, concreto, resistencia, durabilidad, estructuras, dosificación óptima, trabajabilidad, comportamiento.

Abstract

The use of synthetic macrofibers in concrete has gained popularity in construction applications, especially in the design of lightweight floor slabs. These fibers offer significant improvements in the tensile strength and durability of concrete, which can result in safer and more efficient structures. However, the proper dosing of these fibers is crucial to ensure optimal results in terms of concrete strength and performance.

This research aims to analyze the influence of variation in the dosing of synthetic macrofibers on the tensile strength of 21 MPa concrete, specifically in the context of the use of lightweight floor slabs. The goal is to determine the optimal fiber dosage to maximize concrete tensile strength without compromising its workability or performance in service.

Keywords:

Synthetic macrofibers, concrete, strength, durability, structures, optimal dosing, workability, performance.

Introducción

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción debido a su resistencia y durabilidad. Sin embargo, en ciertos casos, es necesario reducir su peso para evitar sobrecargas en las estructuras. Una forma de lograr esto es mediante el uso de placas de entrepiso aligeradas, las cuales incorporan macrofibras sintéticas para mejorar su resistencia a la tracción.

Las macrofibras de refuerzo en construcciones de concreto son fibras sintéticas o metálicas que se agregan al concreto para mejorar sus propiedades mecánicas y de resistencia. Estas fibras son más largas y gruesas en comparación con las microfibras, lo que les permite proporcionar refuerzo estructural a lo largo de mayores longitudes en el concreto. Dentro de las características y beneficios clave de las macrofibras en construcciones de concreto se encuentran: refuerzo estructural, control de fisuras, resistencia al impacto, mejora de la tenacidad, facilidad de aplicación, reducción de costos. No obstante, es importante tener en cuenta que la efectividad de las macrofibras puede depender del tipo de fibra utilizada, la dosificación, el diseño estructural y las condiciones específicas del proyecto. Los ingenieros y diseñadores deben seleccionar el tipo y la cantidad adecuados de macrofibras según los requisitos específicos de la aplicación y las normativas de construcción locales.

En este estudio, se analizará la influencia de la variación en la dosificación de estas macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa utilizado en las placas de entrepiso aligeradas. Se buscará determinar la dosificación óptima de estas macrofibras para obtener el mejor desempeño estructural y garantizar la seguridad de la construcción.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

El objetivo de este estudio es proporcionar información relevante y precisa sobre la influencia de la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto, con el fin de mejorar la calidad y eficiencia de las placas de entrepiso aligeradas. Los resultados obtenidos serán de gran utilidad para los profesionales de la construcción, quienes podrán tomar decisiones informadas al momento de diseñar y construir estructuras utilizando este tipo de placas.

En resumen, este estudio busca contribuir al avance de la tecnología de construcción, brindando conocimientos actualizados sobre la influencia de la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el uso de placas de entrepiso aligeradas.

Problema

En los proyectos de infraestructura y construcción uno de los materiales de mayor uso es el concreto, el cual otorga resistencia a las cargas que debe soportar para las cuales fueron diseñadas. Uno de los principales problemas del concreto son las grietas y las fisuras, que suelen presentarse por diferentes causas como la baja capacidad del hormigón a resistir esfuerzos de tensión o de tracción; así mismo, factores externos como el medio ambiente, estado del tiempo, el clima, agresividad del medio, la humedad, la temperatura y la presión afectan la durabilidad del concreto.

El Reglamento Sismorresistente NSR 10, en el Título C, determina las condiciones mínimas para el uso de concreto y refuerzo en las estructuras, es así como, en elementos estructurales como las placas de concreto de contrapiso, entrepiso o de cubierta, el refuerzo tiene la función de distribuir las cargas aplicadas y de absorber dichas fuerzas para generar resistencia en el material. Adicionalmente, el uso de refuerzo en las estructuras es utilizado para minimizar el fisuramiento, aparición de grietas.

Investigaciones realizadas para evitar las fisuras y agrietamientos en concretos han conducido al uso de nuevos materiales como las macro fibras como refuerzo, las cuales controlan el fisuramiento del concreto en estado endurecido aportando tenacidad y resistencia a este, haciendo que en las estructuras aumente la tenacidad del material y puedan seguir siendo cargadas después de su agrietamiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación pretende determinar la influencia en la dosificación de macrofibras sintéticas por metro cúbico de concreto, para definir

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

el comportamiento estructural a la tracción de concretos de 21 Mpa en el uso de placas de entrepiso aligeradas con el fin de minimizar el fisuramiento.

Pregunta problema

¿Cuál es la influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el uso de placas de entrepiso aligeradas con el fin de minimizar el fisuramiento?

Justificación

Las grandes cantidades de concreto que se producen en los proyectos de infraestructura y construcción hacen que sea necesario mejorar u optimizar su tecnología. Es por esto que diferentes estudios relacionados con la aplicación del concreto reforzado con fibras gruesas han llevado al mejoramiento de los materiales del concreto y a su vez a la optimización del diseño de estructuras en concreto. Las macrofibras sintéticas están demostrando ser una alternativa diferente al diseño y construcción para estructuras en concreto, revolucionando los métodos tradicionales.

Una de las patologías más significativas que caracterizan a las obras de hormigón, son las grietas y fisuras las cuales, según la publicación de José Toirac Corral, “Patología de la construcción: grietas y fisuras en obras de hormigón, origen y prevención”, Ciencia y Sociedad, Vol. 29, núm. 1, enero marzo, 2004, se definen como roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente, describiendo que son muchas las causas que originan esta terrible enfermedad en el hormigón, las de origen químico, principalmente atribuidas a cambios derivados por la hidratación del cemento o por la oxidación del acero de refuerzo, mientras que las de origen físico, mayoritaria por demás, obedecen a dos tipos de acciones que aunque etimológicamente son totalmente diferentes, ambas producen cambios volumétricos significativos. Estos cambios son expansiones y contracciones, ahora bien, cuando los elementos de hormigón están restringidos, la expansión origina esfuerzos de compresión y la contracción origina esfuerzos de tracción. El hormigón es particularmente débil ante este último tipo de esfuerzo, produciendo el agrietamiento cuando éste sobrepasa sus valores de resistencia.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

En el Artículo publicado por Raúl Zerbino, Capítulo 17, “Uso de macrofibras sintéticas en hormigón”, Asociación Argentina del Hormigón Elaborado; Hormigonar; 31; 12-2013, se concluye que el hormigón reforzado con fibras (HRF) ofrece ventajas frente a muchos problemas que aparecen durante la construcción y vida en servicio de las estructuras. Su uso permite reducir espesores y, gracias al efecto costura, mantener en servicio elementos fisurados que en otros casos habrían acabado su vida útil. Entre las aplicaciones destacadas del hormigón con macrofibras sintéticas aparece el refuerzo de pavimentos y pisos industriales, donde no sólo mejora la durabilidad, sino que posibilita mayor confort al usuario y menor mantenimiento. Se verifica que el HRF, aún con baja resistencia residual, es eficaz para el control de fisuras.

El concreto reforzado con macrofibras presenta mejores propiedades mecánicas, pero esto depende de la cantidad adicionada al concreto, porque añadir un exceso de fibra empeorará la plasticidad y las propiedades mecánicas, mientras que una mínima cantidad añadida no producirá un cambio importante. Investigaciones previas han determinado dosis adecuadas de macrofibras sintéticas por metro cúbico de concreto, entre las cuales se encuentra la Tesis denominada “Análisis del desempeño de la macrofibra sintética en la tenacidad del concreto”, presentada por Karen Rojas Lizama en la Universidad Privada del Norte, Trujillo - Perú, 2017, en la cual se concluye que, aumentó la tenacidad del concreto de un diseño de mezclas patrón aplicando dosificaciones de 3.0, 5.0 y 7.0 kg/m³ de Macrofibra Sintética. Por lo tanto, a mayor Capacidad de Absorción de energía, mayor prestación del concreto a requerimientos de flexión.

La presente investigación se centrará en evaluar la influencia de la variación de la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el uso de placas de entepiso aligeradas para minimizar fisuración en las mismas.

Antecedentes

Antes de abordar los antecedentes de la influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el uso de placas de entrepiso aligeradas, es importante entender algunos conceptos clave.

El concreto es un material ampliamente utilizado en la construcción debido a su resistencia y durabilidad. Sin embargo, el concreto convencional puede presentar algunas limitaciones en términos de resistencia a la tracción, especialmente en elementos estructurales como las placas de entrepiso.

Para mejorar la resistencia a la tracción del concreto, se han desarrollado diferentes técnicas y adiciones, una de las cuales es la adición de macrofibras sintéticas. Estas fibras son generalmente de polipropileno o polietileno y se agregan al concreto durante el proceso de mezclado para mejorar su capacidad de resistir las tensiones de tracción.

La dosificación de las macrofibras sintéticas es un factor crucial en el desempeño del concreto reforzado. La cantidad y distribución de las fibras en la mezcla pueden afectar significativamente la resistencia a la tracción del concreto y su capacidad para resistir las cargas aplicadas.

En el caso específico de las placas de entrepiso aligeradas, que son elementos estructurales utilizados para reducir el peso propio de los pisos y mejorar la eficiencia en la construcción, la influencia de la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa es un tema de interés.

Los antecedentes de esta investigación se basan en estudios previos que han analizado la influencia de las macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto en diferentes

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

condiciones y aplicaciones. Estos estudios han demostrado que la adición de macrofibras sintéticas puede mejorar significativamente la resistencia a la tracción del concreto, especialmente en elementos estructurales sometidos a cargas cíclicas o impactos.

Sin embargo, la mayoría de los estudios se han centrado en concretos de alta resistencia, con resistencias a la compresión superiores a 30 Mpa. Por lo tanto, existe una brecha de conocimiento en cuanto a la influencia de la dosificación de macrofibras sintéticas en concretos de baja resistencia, como el concreto de 21 Mpa utilizado en las placas de entrepiso aligeradas.

En resumen, los antecedentes de la influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el uso de placas de entrepiso aligeradas se basan en estudios previos que han demostrado los beneficios de las macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto, pero que aún existe una falta de investigación específica en concretos de baja resistencia utilizados en placas de entrepiso aligeradas.

Se relacionan a continuación, algunas de las investigaciones realizadas a nivel internacional y nacional, referentes al uso de macrofibras en diferentes tipos de estructuras de hormigón, que pueden servirnos de base en nuestra investigación.

- En el texto de Raúl Zerbino, específicamente en el Capítulo 17 titulado "Uso de macrofibras sintéticas en hormigón," publicado por la Asociación Argentina del Hormigón Elaborado en la revista Hormigonar (vol. 31, diciembre de 2013), se establece que el hormigón reforzado con fibras (HRF) ofrece notables ventajas frente a los desafíos comunes durante la construcción y la vida útil de las estructuras. La aplicación de HRF posibilita la reducción de espesores y, gracias al efecto de costura, mantiene en funcionamiento elementos fisurados que,

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

en otras circunstancias, habrían concluido su período de utilidad. El uso de hormigón con macrofibras sintéticas destaca especialmente en el fortalecimiento de pavimentos y suelos industriales, mejorando no solo la resistencia al desgaste, sino también proporcionando mayor confort al usuario y requiriendo menos labores de mantenimiento. Se evidencia que, incluso con una resistencia residual baja, el HRF demuestra eficacia en el control de fisuras.

- La investigación llevada a cabo por Rojas Lizama (2017) como parte de la Tesis para la obtención del título de ingeniería civil en la Universidad Privada del Norte en Trujillo, Perú, se enfocó en el "Análisis del desempeño de la macrofibra sintética en la tenacidad del concreto". El objetivo principal era mejorar la tenacidad del concreto en un diseño de mezclas estándar mediante la aplicación de dosificaciones de 3, 5 y 7 kg/m³ de Macrofibra Sintética. La evaluación de la tenacidad del concreto se realizó conforme a la Norma Europea 14488-5, utilizando la Máquina de Capacidad de Absorción de Energía.
- La investigación realizada por Torres (2017) en la Universidad Católica de Colombia, titulada "Determinación de la resistencia residual promedio (Análisis post-fisuración) del concreto reforzado con fibra sintética de PET+PP", tenía como objetivo comparar las resistencias obtenidas entre un espécimen de concreto convencional y otro que incorpora fibras sintéticas de PET+PP en su mezcla. A través de ensayos de flexión, se buscaba evaluar las contribuciones de estas fibras al concreto después de sufrir fisuras. Para medir la resistencia residual del concreto, se utilizó el ensayo NTC 5981, aplicando cargas a vigas (12 especímenes probados). Los resultados indicaron que las macrofibras ayudan a reducir las fisuras causadas por contracción, demostrando además que la vida útil del concreto se incrementa cuando se refuerza con este tipo de fibras.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

- El estudio realizado por Paredes y Rivera (2018) como parte de su proceso de obtención del título de ingeniero civil en la Universidad de Cartagena se enfocó en la elaboración de concreto aligerado mediante la inclusión de fibras de tereftalato de polietileno y polipropileno, en combinación con agregados calizos y arena de río. Utilizando arena de río y piedra caliza como componentes agregados, la investigación tuvo como objetivo principal analizar los efectos en la matriz del concreto y su peso unitario al introducir fibras de polipropileno y tereftalato de polietileno en un diseño de 21 MPA. Este análisis se llevó a cabo mediante la realización de muestras y ensayos con diferentes proporciones de fibras en la mezcla de concreto. La aplicación práctica prevista para este enfoque era en construcciones civiles, con la meta adicional de generar un impacto positivo en el medio ambiente mediante la reutilización de materiales reciclados y la reducción del peso unitario de los elementos constructivos.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la influencia de la variación de la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el uso de placas de entrepiso aligeradas con el fin de minimizar el fisuramiento.

Objetivos Específicos

1. Definir las características de macrofibras sintética teniendo en cuenta las fichas técnicas de proveedores.
2. Ensayar el comportamiento del concreto de 21 Mpa a la tracción con diferentes dosificaciones de macro fibras sintéticas mediante pruebas de laboratorio.
3. Analizar los resultados obtenidos de la comparación con los estándares y normativas existentes del concreto reforzado con macrofibras sintéticas.
4. Evaluación económica comparativa al utilizar en losa de placa de entrepiso de concreto de 21 MPa, la adición de macrofibras sintéticas versus con el uso de mallas electrosoldadas en este tipo de losas.

Hipótesis

Se espera que la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas tenga un impacto significativo en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en placas de entrepiso aligeradas, con dosificaciones más altas de macrofibras sintéticas demostrando una mejora en la resistencia a la tracción.

Se espera que el estudio proporcione información valiosa sobre la dosificación óptima de macrofibras sintéticas para mejorar la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el contexto específico del uso de placas de entrepiso aligeradas. Se anticipa que los resultados contribuirán a optimizar el diseño y la construcción de estructuras de concreto reforzado con fibras, promoviendo su uso en aplicaciones de ingeniería civil.

Marco referencial

Marco histórico

El desarrollo histórico del uso de fibras sintéticas en el concreto se remonta a las décadas de 1950 y 1960, cuando se comenzaron a explorar diferentes tipos de fibras para mejorar las propiedades del concreto, como la resistencia a la tracción y la durabilidad. Inicialmente, se utilizaban fibras de acero, pero con el tiempo se descubrió que las fibras sintéticas ofrecían ventajas significativas en términos de resistencia a la corrosión y facilidad de manejo.

A partir de la década de 1970, se realizaron numerosos estudios y pruebas para evaluar el efecto de las fibras sintéticas en el concreto, incluidos los ensayos de resistencia a la tracción. Estos estudios han demostrado que la adición de fibras sintéticas puede aumentar la tenacidad y la resistencia a la tracción del concreto, lo que lo hace más resistente a las grietas y a la fatiga.

En cuanto a las placas de entrepiso aligeradas, su uso se ha generalizado en la construcción debido a su capacidad para reducir el peso de las estructuras y mejorar la eficiencia en el uso de materiales. Sin embargo, estas placas también pueden presentar desafíos en términos de resistencia y durabilidad, especialmente en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia a la tracción.

Por lo tanto, el estudio de la influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 MPa en placas de entrepiso aligeradas representa una continuación de esta línea de investigación histórica, buscando mejorar aún más las propiedades mecánicas y estructurales del concreto reforzado con fibras sintéticas en un contexto específico de aplicación.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Marco teórico

El concreto es un material compuesto principalmente por cemento, agregados (arena y grava) y agua. Es ampliamente utilizado en la construcción debido a su resistencia y durabilidad. Sin embargo, en ciertos casos, es necesario reducir su peso para evitar sobrecargas en las estructuras. Una forma de lograr esto es mediante el uso de placas de entrepiso aligeradas.

Las placas de entrepiso aligeradas son elementos estructurales utilizados en la construcción de pisos y techos. Estas placas están compuestas por una capa de concreto reforzado con macrofibras sintéticas, las cuales son fibras de polímero de alta resistencia y durabilidad. Estas macrofibras se agregan al concreto para mejorar su resistencia a la tracción y reducir su peso.

La resistencia a la tracción del concreto es una propiedad importante a tener en cuenta en el diseño de estructuras, ya que el concreto es más resistente a la compresión que a la tracción. La adición de macrofibras sintéticas al concreto aumenta su resistencia a la tracción, lo que mejora la capacidad de carga y la durabilidad de las placas de entrepiso aligeradas.

La dosificación de las macrofibras sintéticas en el concreto es un factor clave que influye en su resistencia a la tracción. La dosificación óptima de macrofibras depende de varios factores, como el tipo de macrofibras utilizado, la relación agua-cemento, la relación agregado-cemento y las propiedades mecánicas deseadas del concreto. Varios estudios han demostrado que con la adición de macrofibras sintéticas al concreto este mejora significativamente su resistencia a la tracción. Sin embargo, la dosificación de macrofibras debe ser cuidadosamente seleccionada para evitar problemas como la segregación del concreto o la reducción de la trabajabilidad.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

En conclusión, la dosificación de macrofibras sintéticas en el concreto de las placas de entrepiso aligeradas es un factor importante que influye en su resistencia a la tracción. La dosificación óptima de macrofibras debe ser determinada teniendo en cuenta varios factores, como el tipo de macrofibras utilizado, la relación agua-cemento y las propiedades mecánicas deseadas del concreto. Un adecuado diseño y dosificación de las macrofibras sintéticas garantizará un mejor desempeño estructural y una mayor durabilidad de las placas de entrepiso aligeradas.

Marco normativo

En Colombia, para la investigación sobre la influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el uso de placas de entrepiso aligeradas, se pueden utilizar las siguientes normas de construcción colombianas:

1. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente - NSR-10:

Propósito de la aplicación: Esta norma establece los requisitos y procedimientos para el diseño y construcción de estructuras de concreto en Colombia. Contiene información relevante sobre el diseño y dimensionamiento de placas de entrepiso aligeradas. Entidad que la emite: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. Año: 2010.

2. Norma Colombiana de Concreto Estructural - NTC 673:

Propósito de la aplicación: Esta norma establece los requisitos para la producción y control de calidad del concreto estructural en Colombia. Contiene información sobre las

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

propiedades y requisitos del concreto, incluyendo la resistencia a la tracción. Entidad que la emite: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación Año: 2010

3. Norma Colombiana de Ensayo de Materiales - NTC 396:

Propósito de la aplicación: Esta norma establece los procedimientos para la realización de ensayos de materiales de construcción en Colombia. Contiene información sobre los ensayos de resistencia a la tracción del concreto y puede ser utilizada como referencia para la realización de los ensayos en la investigación. Entidad que la emite: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Año: 1992 (primera actualización)

4. Norma Colombiana de Placas Alveolares Pretensadas - NTC 4595:

Propósito de la aplicación: Esta norma establece los requisitos y procedimientos para el diseño y construcción de placas alveolares pretensadas en Colombia. Aunque no se refiere específicamente a placas de entepiso aligeradas, puede ser utilizada como referencia para el diseño de las placas en la investigación. Entidad que la emite: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación Año: 2020

Es importante tener en cuenta que estas son algunas de las normas de construcción colombianas relevantes para la investigación mencionada. Dependiendo de los detalles específicos del estudio, pueden existir otras normas y regulaciones aplicables que deban ser consideradas.

Marco conceptual

Las fibras sintéticas son materiales fabricados artificialmente que se utilizan como refuerzos en el concreto para mejorar sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Estas fibras se

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

mezclan con el concreto durante el proceso de mezclado y se distribuyen de manera uniforme en la matriz del material. Los principales tipos de fibras sintéticas utilizadas en aplicaciones de construcción incluyen el polipropileno, el polietileno y la poliamida.

- ✓ Polipropileno: Este tipo de fibra sintética es ampliamente utilizado debido a su resistencia a la corrosión y su capacidad para resistir ambientes agresivos. Las fibras de polipropileno se caracterizan por ser ligeras y flexibles, lo que facilita su mezclado con el concreto. Su principal función es mejorar la tenacidad del concreto al reforzarlo contra la formación y propagación de grietas, especialmente en condiciones de carga cíclica o impactos.
- ✓ Polietileno: Las fibras de polietileno se utilizan principalmente en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia a la tracción y una mayor durabilidad. Estas fibras son más rígidas que las de polipropileno y proporcionan una mayor capacidad de refuerzo al concreto. Además de mejorar la tenacidad del concreto, las fibras de polietileno también pueden ayudar a reducir la retracción y la fisuración por contracción.
- ✓ Poliamida: Las fibras de poliamida, también conocidas como nylon, son conocidas por su excelente resistencia a la tracción y su capacidad para absorber energía. Estas fibras se utilizan en aplicaciones donde se requiere una mayor resistencia a la tracción y una mayor capacidad de absorción de impactos, como en pavimentos y estructuras sujetas a cargas dinámicas. La incorporación de fibras de poliamida en el concreto puede mejorar significativamente su resistencia a la tracción y su capacidad para resistir cargas puntuales

En resumen, las fibras sintéticas en el concreto actúan como refuerzos que mejoran la tenacidad y la resistencia a la tracción del material. Los diferentes tipos de fibras sintéticas

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

ofrecen diferentes características y beneficios, pero en general, contribuyen a aumentar la durabilidad y la vida útil de las estructuras de concreto en una variedad de aplicaciones de construcción.

La resistencia a la tracción es una propiedad fundamental del concreto en aplicaciones estructurales debido a su papel en la capacidad del material para resistir fuerzas de tracción, como las que pueden ocurrir debido a cargas aplicadas o cambios térmicos. Aunque el concreto es muy resistente a la compresión, tiende a ser mucho más débil cuando se trata de resistir fuerzas de tracción.

La importancia de la resistencia a la tracción radica en que las estructuras de concreto están sujetas a una variedad de cargas que pueden inducir tensiones de tracción, como las fuerzas de flexión, las cargas sísmicas y las cargas de viento. Si el concreto no puede resistir estas tensiones de manera adecuada, pueden producirse fisuras y fallas estructurales que comprometen la integridad y la seguridad de la estructura.

Para medir la resistencia a la tracción del concreto, se utilizan diversas pruebas estándar, siendo una de las más comunes el ensayo de tracción directa. En este ensayo, se aplican fuerzas de tracción directamente a una muestra de concreto y se mide la resistencia máxima que puede soportar antes de fracturarse. Este ensayo proporciona una medida cuantitativa de la resistencia a la tracción del concreto y es ampliamente utilizado en la industria de la construcción y la ingeniería civil para evaluar la calidad y el rendimiento del material en diferentes aplicaciones estructurales.

Además del ensayo de tracción directa, existen otras pruebas y métodos para evaluar la resistencia a la tracción del concreto, como el ensayo de flexión por cuatro puntos y el ensayo de

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

tracción por compresión diametral. Cada uno de estos métodos tiene sus propias ventajas y limitaciones, y la elección del método adecuado depende de factores como el tipo de estructura, las condiciones de carga y los requisitos de diseño específicos. En conjunto, estas pruebas proporcionan información crucial para garantizar que el concreto cumpla con los estándares de resistencia necesarios para su uso en aplicaciones estructurales seguras y duraderas.

La dosificación de macrofibras sintéticas se refiere a la cantidad de fibras sintéticas que se agregan al concreto durante el proceso de mezclado. Esta dosificación puede variar dependiendo de diversos factores, como el tipo de fibras, las características del concreto y los requisitos específicos de la aplicación. La variación en la cantidad de macrofibras sintéticas puede tener un impacto significativo en las propiedades mecánicas del concreto.

Cuando se aumenta la dosificación de macrofibras sintéticas, generalmente se observa una mejora en la tenacidad y la resistencia a la tracción del concreto. Esto se debe a que las fibras proporcionan puntos de refuerzo dispersos en la matriz del concreto, lo que ayuda a prevenir la propagación de grietas y aumenta la capacidad del material para resistir cargas de tracción. En general, un mayor contenido de fibras sintéticas suele traducirse en una mayor capacidad de absorción de energía y una mejor resistencia a la fisuración.

Sin embargo, es importante encontrar un equilibrio en la dosificación de las fibras para obtener los beneficios deseados sin comprometer otras propiedades del concreto. Por ejemplo, dosificaciones excesivas de fibras pueden provocar una reducción en la trabajabilidad del concreto fresco, lo que dificulta su colocación y compactación. Además, un contenido excesivo de fibras puede aumentar la viscosidad del concreto y afectar la uniformidad de la distribución de las fibras, lo que puede resultar en una variabilidad en las propiedades mecánicas del concreto endurecido.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Por lo tanto, es importante realizar pruebas y estudios de dosificación para determinar la cantidad óptima de macrofibras sintéticas que maximice los beneficios en términos de resistencia y tenacidad del concreto, sin comprometer su trabajabilidad ni otras propiedades importantes. En última instancia, encontrar el equilibrio adecuado en la dosificación de las fibras es crucial para garantizar un rendimiento óptimo del concreto en aplicaciones estructurales específicas.

Cuerpo del proyecto

1. Fibras sintéticas

1.1. Definición

Las macrofibras sintéticas son fibras de refuerzo utilizadas en la construcción para mejorar la resistencia y durabilidad del concreto. Son más grandes que las microfibras y se añaden al concreto fresco para aumentar su capacidad de soportar tensiones y prevenir la formación de grietas.

1.2. Tipos de Macrofibras por proveedor

1.2.1. Ficha Técnica FIBRAPLAST CONCRET, proveedor: ABACOL

La macrofibra Fibraplast Concrete se define en su ficha técnica como una macrofibra sintética estructural fabricada bajo la Norma Internacional ASTM C-1116-10 Tipo 3, que se compone de polipropileno y polímeros de alta resistencia y reúne propiedades adecuadas para una alta tensión. Estas macrofibras se auto anclan cuando se incorporan en la mezcla del concreto, siendo usadas técnicamente para reemplazar las fibras metálicas y mallas electrosoldadas en gran variedad de aplicaciones en obra. El concreto reforzado con Fibraplast Concrete tiene capacidad de otorgar a su concreto un reforzamiento multidireccional generando incremento de la resistencia a la flexión, tenacidad a los esfuerzos, la resistencia al impacto y la abrasión, para reducir la fisuración por contracción plástica en el concreto y por deformación elástica durante el servicio.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Se destacan, entre otros, los siguientes beneficios técnicos en su comportamiento mecánico: incremento de la tenacidad a la flexión, control y reducción de retracción y fisuración por dinámica plástica natural del concreto, capacidad de refuerzo igual o superior a las mallas electrosoldadas y otras fibras, aumenta significativamente la resistencia al impacto, en placas de piso combate el alabeo, trabaja tridimensionalmente en el concreto reduciendo las tensiones y esfuerzos por dilataciones térmicas.

De igual manera tiene una amplia variedad de aplicaciones, entre las que se destaca su uso en placas de entrepiso con sistema lámina colaborante y con sistema placa fácil, que son objeto de la investigación.

Entre sus principales características técnicas están las siguientes: diámetro promedio de 0.6 mm, longitud 55 mm, 36600 unidades de fibra por kg promedio, la dosificación frecuente es de 3,0 a 6,0 Kg/m³, de acuerdo con dosificación promedio 183000 unidades de fibra por m³, gravedad específica: 1,27 Gr/cm³, resistencia máxima a la tensión: 524 MPa y módulo de elasticidad promedio 4,8 GPa. Su presentación se puede encontrar en mazos de 0,15 Kg, con 4 mazos rinde 1.5 m² de placa de concreto de espesor de 10cm.

1.2.2. Ficha Técnica MAXTEN™, Proveedor: Toxement

Las macrofibras MAXTEN™ comercializadas por Toxement, de acuerdo a su ficha técnica cumplen con la norma ASTM C-1116, especificaciones estándar para concreto y concreto lanzado reforzado con fibra y, corresponden a macrofibras sintéticas compuestas por una mezcla 100% virgen de copolímeros, que se utilizan para reemplazar la malla electrosoldada y fibras metálicas, como refuerzo por temperatura en construcción de placas, losas y elementos prefabricados de concreto con resistencias a compresión hasta de 21 MPA.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Se aplican para reducir las fisuras por contracción plástica, mejorar resistencia al impacto, abrasión, incremento de resistencia a la fatiga, incremento de la tenacidad del concreto generando una larga vida útil en los productos de concreto, con una dosificación en el concreto que puede estar en el rango entre 1.8 y 3.0 kg/m³ de concreto, de acuerdo al refuerzo requerido.

Con características técnicas se encuentra una gravedad específica de 0.91, longitud de 38 mm, resistencia a tensión de 620 a 685 MPa.

Entre sus usos se encuentran Pisos y placas de concretos, no estructurales, expuestos a cargas no superiores a 350 kg/m², Andenes, Sobre placas y Sistemas placa fácil.

Su presentación es de 1.8 kg, que se entrega con siete bolsas predosificadas para adicionar por bulto de cemento, (1 m³ de concreto de 21 MPa (3000 psi) contiene siete bolsas de cemento).

1.2.3. Ficha Técnica TUF STRAND SF, Proveedor: Toxement

Las macrofibras TUF STRAND SF comercializadas por Toxement, cumplen con la norma ASTM C-1116, para el tipo III (Syntetic Fiber – Reinforced Concrete o Shotcrete), las cuales se caracterizan por ser fibras sintéticas estructurales compuestas por una mezcla de polipropileno / polietileno, monofilamento, que se auto fibrilan cuando se incorporan en la mezcla de concreto, se aplican para reemplazo de refuerzo metálico por temperatura y como refuerzo estructural en pisos y placas de concreto, son utilizadas exitosamente para reemplazar la malla electrosoldada y las fibras metálicas en una amplia variedad de aplicaciones, con dosificación de 1.8 - 12 kg/m³.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Entre sus propiedades físicas están una Gravedad Específica de 0.92, Resistencia a Tensión entre 600 y 650 MPa, Módulo de elasticidad de 9.5 GPa, Longitud de fibra de 50 mm (2").

Según la ficha técnica, el concreto reforzado con las macrofibras sintéticas TUF STRAND, tiene un refuerzo tridimensional con incremento de la tenacidad a la flexión, la resistencia a la abrasión y al impacto, además de que ayuda a reducir la formación de fisuras por retracción plástica en el concreto.

Su uso en elementos prefabricados en concreto, concreto lanzado (recubrimiento de túneles, construcción de piscinas, estabilización de taludes), pavimentos y whitetopping, pisos de concreto en centros de distribución, pisos industriales, pisos de bodegas.

1.2.4. Ficha Técnica SikaFiber® Force PP/PE-700/55, Proveedor: SIKA

La macrofibra sintética SikaFiber® Force PP/PE-700/55 de acuerdo a su ficha técnica cumple con las normas internacionales ASTM C1116/C1116M como fibra tipo III concreto armado y ASTM D7508/D7508M, es fabricada a partir de polipropileno virgen y combinación de polímeros de alto desempeño, con un alto grado de cristalinidad, diseñadas mecánicamente para maximizar el anclaje en el concreto y ser usada especialmente para el refuerzo del concreto lanzado y convencional. Es adecuada para sustituir mallas electrosoldadas y fibras de acero utilizadas en placas de pisos y concretos lanzados. Su dosificación normalmente se utiliza entre 2.4 kg a 9 kg por m³ de concreto.

Algunas de las características o ventajas al reforzar con estas macrofibras sintéticas, son el incremento de la tenacidad del concreto y la resistencia al impacto, disminución en la tendencia al agrietamiento en estado fresco como endurecido, incremento en la ductilidad y

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

resistencia residual, mayor eficiencia que la malla electrosoldada para prevenir la fisuración en estado plástico, mejora la durabilidad del concreto reforzado.

Entre sus características físicas se encuentran: Longitud: 55 mm +/- 3 mm, Diámetro: 0.65 mm (Tolerancia +/- 10%), Gravedad específica: 1.27 kg/l , Resistencia a la Tensión > 500 MPa, Módulo de Elasticidad a Tensión: 4.8 MPa.

Se puede utilizar en las siguientes aplicaciones: Soporte y estabilización con concreto proyectado en túneles y galerías, Rehabilitación estructural, Prefabricados y concretos livianos, Reforzamiento sísmico, Revestimiento de canales, Estabilización de taludes, Piscinas y tanques, Protección contra desprendimientos por fuego, Reparación y protección de estructuras marinas, Muros de contención, Rehabilitación y construcción de acueductos, Zonas en que se requiere materiales no metálicos, Losas sobre terreno, Aplicaciones mineras, Reforzamiento de pisos, Pavimentos rígidos.

Se distribuye su presentación en Cajas de 7 kg - fibras organizadas y envueltas en plástico hidrosoluble.

2. Concreto

2.1. Definición

El concreto, también conocido como hormigón en algunas regiones, es un material de construcción compuesto principalmente por cemento, agregados (como arena y grava) y agua. Se utiliza ampliamente en la construcción de edificios, carreteras, puentes y otras estructuras debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad.

2.2. Concreto con adición de macrofibras sintéticas

El concreto adicionado con macrofibras sintéticas es una variante del concreto convencional en la que se incorporan fibras de refuerzo sintéticas de mayor tamaño para mejorar sus propiedades mecánicas. Estas macrofibras proporcionan una mayor resistencia a la tracción, reducen la formación de grietas y mejoran la capacidad de absorción de energía del concreto, lo que lo hace adecuado para aplicaciones donde se requiera una mayor resistencia y durabilidad.

2.3. Componentes del concreto

- ✓ Cemento: Es el componente aglutinante del concreto. Se combina con agua para formar una pasta que une los agregados y las fibras sintéticas. El tipo de cemento puede variar según las necesidades del proyecto, pero comúnmente se utiliza cemento Portland.
- ✓ El cemento usado en este estudio como material aglutinante es el cemento gris de marca Argos de uso general el cual presenta las siguientes especificaciones técnicas (Argos, 2015), en la siguiente Tabla No.1:

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Parámetros Químicos	Especificaciones ARGOS	NTC 321 Tipo I	ASTM C-1157 Tipo GU
Óxido de magnesio, MgO, máximo	6.00	7.00	-
Trióxido de azufre, SO ₃ , máximo (%)	3.50	3.50	-
Parámetros Físicos	Especificaciones ARGOS	NTC 121 Tipo I	ASTM C-1157 Tipo GU
Fraguado inicial, mínimo (minutos)	45.00	45.00	45.00
Fraguado Final, máximo (minutos)	420.00	480.00	420.00
Expansión autoclave, máximo (%)	0.80	0.80	0.80
Expansión en agua, máximo (%)	0.02	-	0.02
Resistencia a 3 días, mínimo (Mpa)	9.00	8.00	13.00
Resistencia a 7 días, mínimo (Mpa)	16.00	15.00	20.00
Resistencia a 28 días, mínimo (Mpa)	28.00	24.00	28.00
Blaine , mínimo (cm ² /gr)	2800.00	2800.00	-

Tabla 1. Especificaciones Técnicas Cemento Gris Argos de uso general

Fuente: Argos (2017)

- ✓ Agregados: Los agregados son materiales inertes, como arena y grava, que se mezclan con el cemento y el agua para formar la masa de concreto. Proporcionan resistencia y estabilidad al concreto y pueden ser de diferentes tamaños según los requerimientos de la mezcla. Los agregados fueron suministrados por la cantera de suministro **La Sabana**, de tipo calcáreo y con un Tamaño máximo de 1", el agregado fino para la investigación se obtuvo de la misma cantera La Sabana, con agregados naturales tipo silíceo.
- ✓ Agua: El agua actúa como un medio de activación para el cemento y ayuda a formar la pasta que une los componentes del concreto. Es importante utilizar la cantidad adecuada de agua para lograr la consistencia deseada sin comprometer la resistencia final del concreto.
- ✓ Macrofibras sintéticas: Estas fibras son el componente de refuerzo del concreto. Son más grandes que las microfibras y se agregan a la mezcla para mejorar la resistencia a la

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

tracción, la tenacidad y la capacidad de absorción de energía del concreto. Las macrofibras sintéticas pueden estar hechas de diversos materiales, como polipropileno, polietileno o poliamida, y su forma y longitud varían según el fabricante y las especificaciones del proyecto.

Cada uno de estos componentes contribuye de manera única a las propiedades del concreto reforzado con macrofibras sintéticas, proporcionando una mezcla resistente, duradera y adecuada para una variedad de aplicaciones de construcción.

2.4. Características del concreto

Los diferentes estados del concreto tienen características distintivas que afectan su manipulación y rendimiento. Aquí tienes algunas características clave de cada estado:

2.4.1. Estado fresco

- ✓ Maleabilidad: El concreto fresco es maleable y puede ser moldeado fácilmente.
- ✓ Fluidez: Tiene la capacidad de fluir y llenar moldes y encofrados.
- ✓ Tiempo de fraguado: Durante esta etapa, el concreto pasa de un estado líquido a uno sólido. El tiempo de fraguado varía según la mezcla y las condiciones ambientales.
- ✓ Manipulación: Es posible manipular y dar forma al concreto fresco con herramientas y equipos adecuados.

2.4.2. Trabajabilidad del concreto

- ✓ Es aquella que determina cual es el trabajo utilizado en vencer la fricción entre los componentes del concreto, y entre este y el encofrado o refuerzo, para lograr una compactación adecuada. En otras palabras, es la capacidad que él tiene para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna, la trabajabilidad está representada por el grado de compacidad, cohesividad, plasticidad y la consistencia o movilidad. (ASOCRETO, 2010), un método indirecto para determinar la manejabilidad de una mezcla, consiste en medir su consistencia o fluidez por medio del ensayo de “asentamiento con el cono o slump” (NTC 396). Es una prueba que se usa comúnmente en las construcciones de todo el mundo; la prueba no mide la trabajabilidad del concreto, sino que determina la consistencia o fluidez de la mezcla; es muy útil para detectar variaciones en la uniformidad de una mezcla de proporciones determinadas. (Gerardo & Rivera, 2000). En la siguiente Tabla No. 2, se muestran los asentamientos recomendados según la diversidad y tipo de construcción.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple. Losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media (plástica)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
Muy Húmeda	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Super Fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

Tabla 2. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación

Fuente: Tecnología del concreto y del Mortero. Por Diego Sánchez de Guzmán

2.4.3. Estado endurecido

- ✓ Resistencia: El concreto endurecido desarrolla su resistencia mecánica con el tiempo, alcanzando su máximo potencial con el proceso de curado adecuado.
- ✓ Durabilidad: Una vez que el concreto ha endurecido, es resistente a la intemperie, la compresión y otras fuerzas externas.
- ✓ Rigidez: El concreto endurecido es rígido y proporciona estabilidad estructural a las construcciones.
- ✓ Contracción: Durante el proceso de endurecimiento, el concreto puede experimentar contracción debido a la pérdida de agua.

2.4.4. Estado curado

- ✓ Consolidación: Durante el proceso de curado, el concreto experimenta una consolidación adicional, lo que mejora su resistencia y durabilidad.
- ✓ Control de temperatura y humedad: El curado adecuado implica mantener condiciones controladas de temperatura y humedad para optimizar el desarrollo de las propiedades del concreto.
- ✓ Minimización de fisuras: Un buen proceso de curado ayuda a minimizar la formación de fisuras y grietas en el concreto endurecido.

Cada estado del concreto tiene su importancia en el ciclo de vida de una estructura, desde la colocación inicial hasta el desarrollo de la resistencia final y la durabilidad a largo plazo.

2.5. *El concreto y la resistencia a la tracción*

El concreto es conocido por ser fuerte en compresión, pero relativamente débil en tracción. Esto significa que puede soportar grandes cargas cuando es comprimido, pero es más propenso a agrietarse o romperse cuando se somete a fuerzas de tracción. Para mejorar la resistencia a la tracción del concreto, se pueden utilizar refuerzos de acero, fibras de refuerzo o técnicas de diseño específicas, como el pretensado o postensado. Estas técnicas ayudan a redistribuir las fuerzas y mejorar la capacidad del concreto para resistir tensiones.

2.5.1. Tracción directa

El ensayo de tracción directa es una prueba utilizada para medir la resistencia del concreto a la tracción directa. En este ensayo, se aplica una fuerza de tracción directamente a una muestra cilíndrica o prismática de concreto hasta que se produce la falla. La carga máxima que puede soportar la muestra antes de la falla se registra y se utiliza para calcular la resistencia a la tracción del concreto. Este ensayo es importante para evaluar la capacidad de las estructuras de concreto para resistir fuerzas de tracción y para diseñar adecuadamente elementos estructurales que minimicen el riesgo de falla por tracción.

2.5.2. Tracción por flexión

El ensayo de tracción por flexión es una prueba utilizada para evaluar la resistencia del concreto a la tracción indirecta, que es la resistencia a la tracción que se desarrolla cuando una viga de concreto se flexiona. En este ensayo, se aplica una carga en el centro de una viga de concreto apoyada en sus extremos, lo que induce una combinación de fuerzas de tracción y compresión en la viga. La carga se incrementa gradualmente hasta que la viga se rompe. La carga máxima que puede soportar la viga antes de la rotura se utiliza para calcular la resistencia a la tracción por flexión del concreto. Este ensayo es importante para evaluar la capacidad de las vigas de concreto para resistir fuerzas de flexión y para diseñar estructuras que puedan soportar las cargas previstas.

2.5.3. Tracción indirecta

El ensayo de tracción indirecta es una prueba utilizada para evaluar la resistencia del concreto a la tracción mediante la aplicación de fuerzas que no son directamente axiales. En este ensayo, se aplica una carga de tracción a una muestra de concreto que está sometida a un estado de esfuerzos biaxiales o triaxiales, lo que simula mejor las condiciones reales de carga en una estructura. La carga se aplica gradualmente hasta que se produce la falla en la muestra, y la carga máxima soportada se utiliza para determinar la resistencia a la tracción indirecta del concreto. Este ensayo es útil para evaluar el comportamiento del concreto en diferentes situaciones de carga y para diseñar estructuras que puedan resistir diversas condiciones de carga en la vida real.

Las dificultades prácticas de ejecutar la tracción directa han llevado a procedimientos alternativos como el ensayo a tracción indirecta por splitting, también conocido como el “ensayo brasileño”. (Maccaferri, 2005)

Este ensayo consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en el ensayo Marshall, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura. Para la determinación de tal propiedad, puede hacerse referencia de la norma ASTM C 496. (ASTM International, 2011). En la figura No.1, se muestra el ensayo de tracción indirecta método Brasileiro.

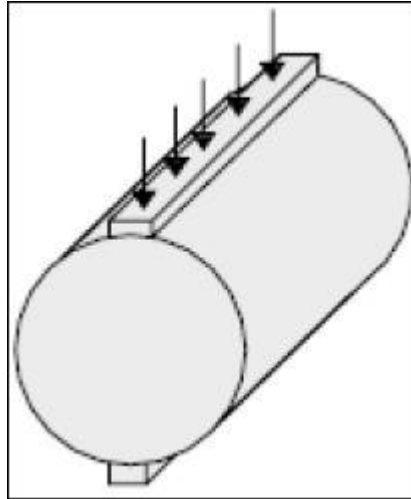


Figura 1. Esquema de probeta de tracción Indirecta

Fuente: Maccaferri (2005)

3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

Para obtener la curva granulométrica se utiliza el método de ensayo de Análisis Granulométrico de los Agregados Grueso y Fino según especificación INV E-213-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2013.

De acuerdo a lo anterior, se seleccionan los equipos a utilizar como balanzas, un grupo de tamices adecuado para suministrar la información requerida por la especificación del material a ensayar y el horno; luego, se toma una muestra del agregado seco (fino y grueso), de masa conocida, la cual se seca al horno a una temperatura de $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una masa constante, a continuación se separa mediante una serie de tamices de aberturas progresivamente más pequeñas, para determinar la distribución de los tamaños de sus partículas.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Se realizan los cálculos de porcentaje que pasa, porcentaje total retenido, o porcentaje de las fracciones de diferentes tamaños, y los datos obtenidos se relacionan dentro de una tabla de Granulometría.

Por último, con los datos granulométricos se elabora una curva granulométrica de los agregados finos y gruesos para determinar el análisis correspondiente.

3.1. Diseño de Mezcla de concreto

Se realizan los cálculos para la dosificación de materiales para elaboración de la mezcla de concreto de resistencia a la compresión de 21 MPa, teniendo en cuenta los datos arrojados en el análisis granulométrico, y de acuerdo con el resultado se elabora la respectiva tabla de dosificación.

3.2. Dosificación de Macrofibras Sintéticas

Las macrofibras sintéticas estructurales utilizadas están compuestas de polipropileno y polímeros de alta resistencia con propiedades aptas para altas tensiones. Estas macrofibras se añadirán durante el proceso de la mezcla de concreto, antes de verter a los moldes cilíndricos y serán adicionadas entre los siguientes rangos (Las dosificaciones más comunes oscilan entre 0.2% a 0.8% del volumen de concreto). Los diámetros de las macrofibras varían entre 0.05 mm a 2.00 mm. Para lo cual se calculan cantidades adecuadas de fibra cruda de polipropileno en (KG), multiplicando el volumen (M³) del molde cilíndrico por diferentes proporciones del peso de macrofibras por M³ (1.8 – 2.0 – 2.5 y 3.0 kg/M³).

3.3. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión y tracción

Se elaborarán 12 cilindros de mezcla de concreto con macrofibras, teniendo en cuenta que cada 3 cilindros se realizan con cantidades diferentes de macrofibras, para obtener el promedio de dosificación adecuada para mejorar la propiedad de tracción en el concreto.

Adicionalmente, se elaborarán 8 cilindros de mezcla de concreto sin macrofibras, 5 cilindros para verificar que la resistencia a la compresión es de 21 MPa de acuerdo al diseño de mezcla elaborado, y los otros 3 cilindros sin macrofibras para el análisis comparativo de las mejoras en el comportamiento mecánico a tracción del concreto de 21 MPa con el uso de macrofibras sintéticas.

Luego de la colocación adecuada por capas de las mezclas en los moldes, se realiza la consolidación mediante apisonado con varilla y la vibración interna, el acabado de la superficie por medio de la varilla apisonadora si el concreto lo permite o con un palustre, el curado inicial para evitar la evaporación del agua del concreto sin endurecer cubriendo la muestras inmediatamente después del acabado con una platina no reactiva y no absorbente o con una lámina de plástico dura e impermeable, después de 24 horas de su elaboración se remueven los especímenes de concreto para realizar ser sometidos a un ambiente de curado en condiciones de humedad a una temperatura de $23.0 \pm 2^{\circ}\text{C}$ desde el instante del moldeo hasta el momento del ensayo.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

3.4. Ensayo de resistencia a la compresión.

El procedimiento para determinar la resistencia a la compresión de cilindros de concreto se encuentra establecido en la especificación INV E - 410 -13, ensayo que consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados, con una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. Se determina la resistencia a la compresión dividiendo la máxima carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de la muestra o espécimen. Se realiza ensayo de resistencia a la compresión del concreto a los 7 y a los 28 días con 5 de los cilindros elaborados sin mezcla de macrofibras sintéticas.

3.5. Ensayo de tracción por hendimiento (tracción indirecta)

El procedimiento para determinar la resistencia a la tracción mediante este ensayo está establecido en la especificación INV E - 411 -13; este ensayo consiste en aplicar una fuerza diametral compresiva a lo largo de la longitud del espécimen cilíndrico de concreto a una velocidad especificada, hasta que ocurra la falla. Este sistema de carga induce esfuerzos de tensión en el plano que recibe la carga aplicada, así como esfuerzos de compresión considerables en el área aferente. Luego la falla que ocurre es de tensión y no de compresión, por cuanto las áreas de aplicación de la carga se encuentran en un estado de compresión triaxial, lo cual le permite soportar esfuerzos de compresión muy superiores a los que serían indicados por el resultado de un ensayo de resistencia a compresión uniaxial.

Se realizará ensayo de resistencia a la tracción indirecta de cilindros de concreto a los 7 y 28 días a los 3 cilindros restantes elaborados con mezcla de concreto de 21 MPa sin adición de macrofibras sintéticas.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

De igual manera, se realiza el ensayo a tracción indirecta a los 12 cilindros elaborados con las mezclas de concreto de 21 MPa con diferentes proporciones de macrofibras sintéticas, teniendo en cuenta el orden de porcentaje de polipropileno de cada una de estas, para obtener resultados consecutivos en los ensayos.

4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

4.1. Técnicas de recolección de datos

- ✓ Pruebas de laboratorio: Realizar pruebas de tracción en muestras de concreto con diferentes dosificaciones de macrofibras sintéticas para medir su resistencia a la tracción. Esto puede realizarse siguiendo estándares de ensayo reconocidos internacionalmente.
- ✓ Revisión bibliográfica: Analizar estudios previos y literatura científica relacionada para comprender mejor la influencia de las macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto.

4.2. Instrumentos de recolección de datos

- ✓ Máquina de ensayo de tracción: Para realizar pruebas de tracción en muestras de concreto y registrar la carga máxima soportada antes de la rotura.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

4.3. Validez y confiabilidad

- ✓ Validez: Confirmar que las pruebas de laboratorio midan realmente lo que se pretende medir: la resistencia a la tracción del concreto.
- ✓ Confiabilidad: Realizar pruebas y análisis de consistencia interna para garantizar la confiabilidad de los instrumentos de recolección de datos y la consistencia de los resultados.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Flujo de procesos

- ✓ **Diseño del estudio:** Define el diseño experimental, incluyendo variables independientes (dosificación de macrofibras), variable dependiente (resistencia a la tracción del concreto) y cualquier variable de control.
- ✓ **Selección y preparación de materiales:** Selecciona los materiales necesarios, como concreto, macrofibras sintéticas y otros materiales de construcción requeridos para la investigación asegurando que los materiales estén en conformidad con las normativas y especificaciones aplicables.
- ✓ **Preparación de las muestras:** Prepara muestras de concreto con diferentes dosificaciones de macrofibras sintéticas de acuerdo con el diseño experimental.
- ✓ **Ensayos y mediciones:** Realiza ensayos de resistencia a la tracción en las muestras de concreto utilizando métodos y equipos adecuados y registro cuidadosamente de los resultados de los ensayos y cualquier otra información relevante para el análisis.
- ✓ **Análisis de datos:** Analiza los datos recopilados utilizando técnicas estadísticas apropiadas para evaluar la influencia de la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto, interpretación de los resultados y conclusiones basadas en los hallazgos del análisis.

Al seguir este flujo de procesos, se puede llevar a cabo una investigación sistemática y rigurosa sobre la influencia de la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto en placas de entrapiso aligeradas.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

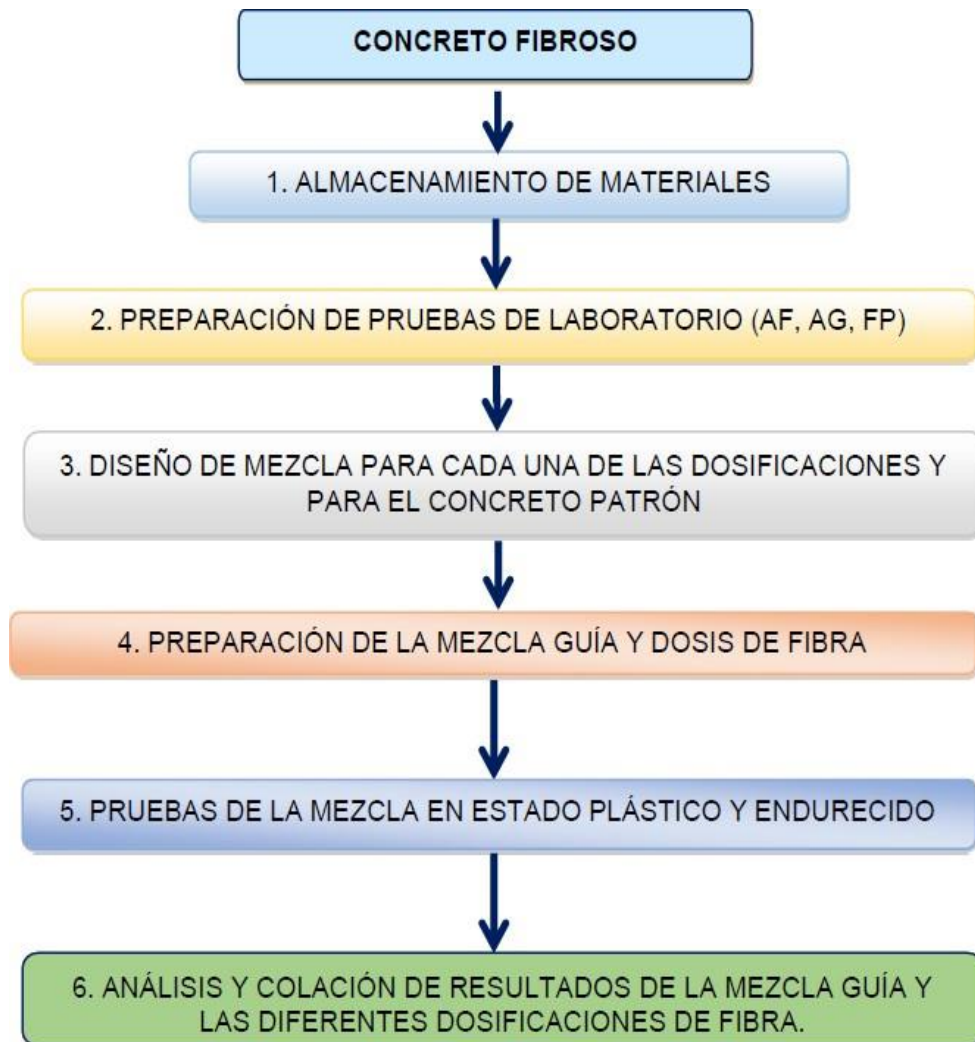


Figura 2. Diagrama del flujo de procesos (síntesis)

Fuente: Elaboración propia

Aspectos Metodológicos

La metodología de investigación al realizar esta investigación es de enfoque cuantitativo, teniendo en cuenta, que se llevará a cabo el estudio para analizar la influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en el uso de placas de entrepiso aligeradas puede incluir los siguientes pasos:

1. Selección de las macrofibras sintéticas: Seleccionar el tipo de macrofibras sintéticas que se utilizarán en el estudio. Estas macrofibras deben tener propiedades mecánicas adecuadas para mejorar la resistencia a la tracción del concreto.

2. Diseño de la mezcla de concreto: Diseñar la mezcla de concreto de 21 Mpa que se utilizará en las placas de entrepiso aligeradas. Esto implica la caracterización de agregados, la relación agua-cemento, la relación agregado-cemento y otros factores que afectan las propiedades del concreto.

3. Preparación de las muestras de concreto: Preparar las muestras de concreto con diferentes dosificaciones de macrofibras sintéticas. Se pueden preparar diferentes mezclas con diferentes proporciones de macrofibras para evaluar su influencia en la resistencia a la tracción.

4. Ensayos de resistencia a la tracción: Realizar ensayos de resistencia a la tracción en las muestras de concreto preparadas. Estos ensayos pueden incluir pruebas de tracción directa o pruebas de flexión para evaluar la resistencia del concreto reforzado con macrofibras sintéticas.

5. Análisis de resultados: Analizar los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción para determinar la influencia de la dosificación de macrofibras sintéticas en la resistencia del concreto. Comparar los resultados de las diferentes dosificaciones para identificar la dosificación óptima que proporciona la mayor resistencia a la tracción.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

6. Conclusiones y recomendaciones: Concluir el estudio y proporcionar recomendaciones basadas en los resultados obtenidos. Estas recomendaciones pueden incluir la dosificación óptima de macrofibras sintéticas para mejorar la resistencia a la tracción del concreto de 21 Mpa en las placas de entrepiso aligeradas.

Es importante tener en cuenta que esta metodología puede variar dependiendo de los recursos disponibles y las condiciones específicas del estudio. Además, es recomendable realizar pruebas adicionales, como pruebas de durabilidad, para evaluar el desempeño a largo plazo de las placas de entrepiso aligeradas reforzadas con macrofibras sintéticas.

Metodología y Resultados

La presente investigación se llevó a cabo en la ciudad de Bogotá, en las instalaciones del laboratorio INGEIMA y tuvo una duración aproximada de 8 semanas, la cual es de tipo experimental cuantitativa, la investigación consistió en tres fases: la primera fase consistió en ensayos de calidad para los agregados gruesos y finos y determinación del diseño de mezcla de concreto de 21 MPa, la segunda fase consistió en la realización de las muestras y especímenes de concreto con y sin fibra, para la realización de las pruebas experimentales. Por último, en la tercera fase se llevaron a cabo las siguientes pruebas experimentales: ensayo de compresión, tracción indirecta de concreto sin fibra y con fibra. El diseño experimental que se consideró para la investigación es el siguiente, relacionada a continuación en la Tabla No.3:

EXPERIMENTO	DEFINICION TRACCION INDIRECTA	DOSIFICACION (PESO)-Kg/M3	EDAD (DIAS)	ESPECIMENES
1,0	SIN MACO-FIBRA	0	7	1
1,0	SIN MACO-FIBRA	0	28	2
2,0	MACO-FIBRA.	1,8	7	1
2,0	MACO-FIBRA,	1,8	28	2
3,0	MACO-FIBRA.	2,0	7	1
3,0	MACO-FIBRA.	2,0	28	2
4,0	MACO-FIBRA.	2,5	7	1
4,0	MACO-FIBRA.	2,5	28	2
5,0	MACO-FIBRA.	3,0	7	1
5,0	MACO-FIBRA.	3,0	28	2

OBSERVACIONES : 1 CILINDRO SE TOMO COMO TESTIGO

Tabla 3. Relación de Especímenes y dosificación kg/M3

Fuentes: Elaboración propia

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

1. Procedimientos experimentales

Se muestra a continuación la información y los procedimientos generales que se realizaron como complemento de los procedimientos experimentales principales propuestos para la ejecución de la presente investigación.

1.1. Obtención de agregado grueso

El agregado grueso fue donado por la cantera Argos para la realización de esta investigación, triturado de la cantera La Sabana, en la cual se llevan a cabo procesos industriales para la extracción, trituración y lavado de la materia prima de origen calcáreo.

1.2. Obtención del agregado Fino

El agregado fino fue donado por la cantera La Sabana arena de río, sello y asiento para la realización de esta investigación, en la cual se llevan a cabo procesos industriales para la extracción, trituración y lavado de la materia prima de origen silíceo.

1.3. Obtención de Macro-Fibras

La fibra y el aditivo fue adquirida comercialmente al grupo EUCLID- TOXEMENT, en la ilustración No.1, se puede observar la etiqueta de presentación.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas



Ilustración 1. Presentación Macro Fibra Sintética MAXTEN™ Euclid Toxement

Fuente: Elaboración propia

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

2. Resultados de los agregados

En esta fase se obtuvieron las especificaciones de los agregados necesarias para su caracterización, esto con el fin de verificar que los agregados (fino y grueso) cumplen con las especificaciones de una mezcla para pavimentos rígidos, el agregado grueso que se utilizó para este estudio fue donado de la cantera de suministro La Sabana, de tipo calcáreo y con un Tamaño máximo de 1”, el agregado fino para la investigación se obtuvo de la cantera La Sabana. La normatividad para el cumplimiento y caracterización de ensayos se aplicó cumpliendo las siguientes especificaciones para concreto, establecidos y según la normatividad vigente para concreto estructural en agregados finos y gruesos que anexamos a continuación tabla 630-1 y 630-3, vigente por el Instituto Nacional de Vías.

A continuación, en la siguiente Tabla 630-3, de las normas establecidas por el INV, se enlistan los requisitos para agregado estructural.

Tabla 630 – 3. Requisitos del agregado grueso para concreto estructural

REQUISITO	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%)	E-218	40
- En seco, 500 revoluciones, máximo (%)		
- En seco, 100 revoluciones, máximo (%)		
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota 1)	E-220	12
- Sulfato de sodio		
- Sulfato de magnesio		
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	0.25
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	1.0
Geometría de las partículas (F)		
Índice de alargamiento, máximo (%)	E-230	25
Índice de aplanamiento, máximo (%)	E-230	25
Características químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como SO_4^{2-} , máximo (%)	E-233	1.0

Tabla 4. Requisitos del agregado grueso para concreto estructural

Fuente: Norma Invias 2013 ART 630 Concreto Estructural y Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2020 INVIAS.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Luego de haber realizado los respectivos ensayos de caracterización establecidos en la presente investigación se obtuvieron los siguientes resultados que al contrastar con los requisitos del INV, para agregado grueso cumple, como se enumeran los resultados en la Tabla No.5:

Característica	Norma	Resultado
Desgaste (M. Ángeles) max. (%)	E-218	32.6
Índice de aplanamiento (%)	E-230	24.8
Índice de alargamiento (%)	E-230	21.6
Perdida en ensayo solidez en sulfatos Magnesio	E-220	7.9
Terrones en arcilla y partículas deleznales	E-216	0.10

Tabla 5. Resultados del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

La granulometría que presenta el agregado grueso utilizado en la investigación se muestra en la siguiente tabla, posteriormente también se muestra la curva de gradación:

Granulometría del agregado		
tamiz	Apertura (mm)	% pasa
1"	25.0	100
¾"	19.0	77.90
½"	12.5	3.7
3/8"	9.5	5.8
No.4	4.75	0.40

Tabla 6. Granulometría obtenida para el agregado grueso utilizado

Fuente: Elaboración propia

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Las especificaciones o requisitos que deben cumplir el agregado fino de acuerdo con los parámetros que se establecen en la tabla No. 630-1, del INV, la cual se anexa a continuación y son de estricto cumplimiento del agregado fino en las mezclas de concreto:

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Durabilidad (O)		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	10-15
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	-
Índice de plasticidad (%)	E-125 y E-126	No plástico
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	60
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	5
Terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	1
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	0.5
Material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200), máximo (%)	E-214	5
Contenido de materia orgánica (F)		
Color más oscuro permisible	INV E-212	Igual a Muestra patrón
Características químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄ ²⁻ , máximo (%)	INV E-233	1.2
Absorción (O)		
Absorción de agua, máximo (%)	E-222	4

Tabla 7. Requisitos del agregado fino para concreto estructural

Fuente: Norma Invias 2013 ART 630 Concreto Estructural y Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2020 INVIAS.

El resultado del agregado fino se presenta a continuación en la siguiente tabla No.8. Los resultados del agregado fino.

Características del agregado fino		
Característica	Norma	Valor
Perdida en el ensayo de solidez	E-220	8.2
Límite Líquido. Max.	E-125	0
Índice Plasticidad. Max.	E-126	0
Equiv. Arena	E-235	83.23
Valor azul de metileno, Max.	E-235	0.9

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Terrones arcillas y partículas deleznable, máx.	E-211	0.10
Material pasa Tamiz. No.200	E-214	2.70
Contenido Materia Orgánica	E-212	Igual a muestra
% Absorción de agua. Max.	E-222	2.9

Tabla 8. Características del agregado fino utilizado.

Fuente: Elaboración Propia

La granulometría que presenta el agregado fino utilizado en la investigación se muestra en la siguiente tabla No.9:

Granulometría		
tamiz	Apertura (mm)	% pasa
3/4"	19.0	100
1/2"	12.5	99.50
3/8"	9,5	99.2
No. 4	4,75	96.7
No. 8	2,36	89.0
No. 16	1,18	75.7
No. 30	0,6	61.7
No. 50	0,3	31.7
No. 100	0,15	11.7
No. 200	0,0075	2.7
fondo	0,000	

Tabla 9. Granulometría obtenida para el agregado fino utilizado

Fuente: Elaboración Propia

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Al comparar la gradación de la arena con la tabla No. 9, con las diversas gradaciones que se presentan a continuación para agregados finos se puede afirmar que la arena utilizada para la creación de las muestras cumple con los requisitos según la tabla No.10, que se anexa a continuación:

Tamiz		AGREGADO FINO (a)				
% que pasa para los tamaños máximos indicados en mm (pulg.)						
mm	pulg.	38.1 mm (1½")	25.1 mm (1")	19.0 mm (¾")	12.7 mm (½")	9.51 mm (⅜")
9.51	⅜	100	100	100	100	100
4.76	No. 4	82-100	85-100	88-100	91-100	93-100
2.38	No. 8	57-96	58-93	60-89	63-87	65-84
1.19	No. 16	39-76	41-72	41-70	42-68	44-65
0.595	No. 30	26-59	28-57	28-55	30-52	31-51
0.297	No. 50	18-45	20-44	19-42	21-42	21-41
0.149	No. 100	13-35	13-38	14-33	14-32	14-31

a) El porcentaje máximo permitido de material que pasa la malla No. 200 para concreto sujeto a desgaste por abrasión debe ser 3% para arena natural y 5% para arena manufacturada. En otros casos, puede ser 5% y 7% respectivamente.

Tabla 10. Curva granulométrica del agregado fino utilizado

Fuente: Tecnología del Concreto y del Mortero. Por Diego Sánchez de Guzmán

3. Resultados de las mezclas de Concreto

3.1. Análisis Granulométrico, caracterización y estabilización

Para obtener la curva granulométrica se utiliza el método de ensayo de Análisis Granulométrico de los Agregados Grueso y Fino según especificación INV E-213-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2013.

De acuerdo a lo anterior, se seleccionan los equipos a utilizar como balanzas, un grupo de tamices adecuado para suministrar la información requerida por la especificación del material a ensayar y el horno; luego, se toma una muestra del agregado seco (fino y grueso), de masa conocida, la cual se seca al horno a una temperatura de 100 +/- 5°C hasta obtener una masa

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

constante, a continuación se separa mediante una serie de tamices de aberturas progresivamente más pequeñas, para determinar la distribución de los tamaños de sus partículas.

Se realizan los cálculos de porcentaje que pasa, porcentaje total retenido, o porcentaje de las fracciones de diferentes tamaños, y los datos obtenidos se relacionan dentro de una tabla de Granulometría.

Por último, con los datos granulométricos se elabora una curva granulométrica de los agregados finos y gruesos para determinar el análisis correspondiente. El método para elaborar la curva granulométrica que se ajuste, según la gradación propuesta por Diego Sánchez de Guzmán, mediante análisis realizados en Colombia consideramos su proporción entre gruesos y finos tratando de mantener una gradación proporcionada entre finos y gruesos. A continuación, se relaciona el análisis de estabilización de los agregados y las proporciones que se obtuvieron, ajustada para el tamaño máximo del agregado según la formulación propuesta por Bolomy y la curva estabilizada, en la siguiente Tabla No .11 y figura No.3:

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

UNIVERSIDAD La Gran Colombia		DOSIFICACION ANALITICA					DOSIFICACION CURVA DE BOLOMY D=1"							
PROYECTO : Influencia variac. Dosif. Macrofibras sinteticas Resit. Traccion del concr. 21 mpa, uso placas DESCRIPCION: DOSIFICACION GRADACIONES ORIGINALES													MUESTRA Acopio FECHA dic-24	
TAMICES ALTERNO														
TIPO DE MATERIAL	2"	11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No16	No30	No50	No100	No200	
ARENA LIMOSA PARDA CLARA	100	100	100	100	99,5	99,2	96,7	89	75,7	61,7	31,7	11,7	2,7	
TRITURADO CALIZO 1".	100	100	100	77,9	23,7	5,8	1	0,4						
TAMICES ALTERNO														
TIPO DE MATERIAL	%A UTILIZAR	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No4	No8	No16	No30	No50	No100	No,200	
ARENA LIMOSA PARDA CLARA	40%	40,00	40,00	40,00	39,80	39,68	38,68	35,60	30,28	24,68	12,68	4,68	1,08	
TRITURADO CALIZO 1".	60%	60,00	60,00	46,74	14,22	3,48	0,60	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	100%	100	100	86,7	54,0	43,2	39,3	35,8	30,3	24,7	12,7	4,7	1,1	

GRADACION MODIFICADA			
TAMIZ		PORCENTAJE % PASA	% PASA, SEGUN DIEGO SANCHEZ
ALTERNO	NORMAL		
2"	50,00	100	
11/2"	37,50	100,0	
1"	25,00	100,0	100
3/4"	19,00	86,7	87,9
1/2"	12,50	54,0	73,2
3/8"	9,50	43,2	64,3
4	4,75	39,3	47,1
8	2,40	35,8	34,5
16	1,20	30,3	25,2
30	0,60	24,7	18,5
50	0,30	12,7	13,5
100	0,150	4,7	9,9
FONDO			

Tabla 11. Dosificación de Agregados

Fuente: Elaboración propia

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

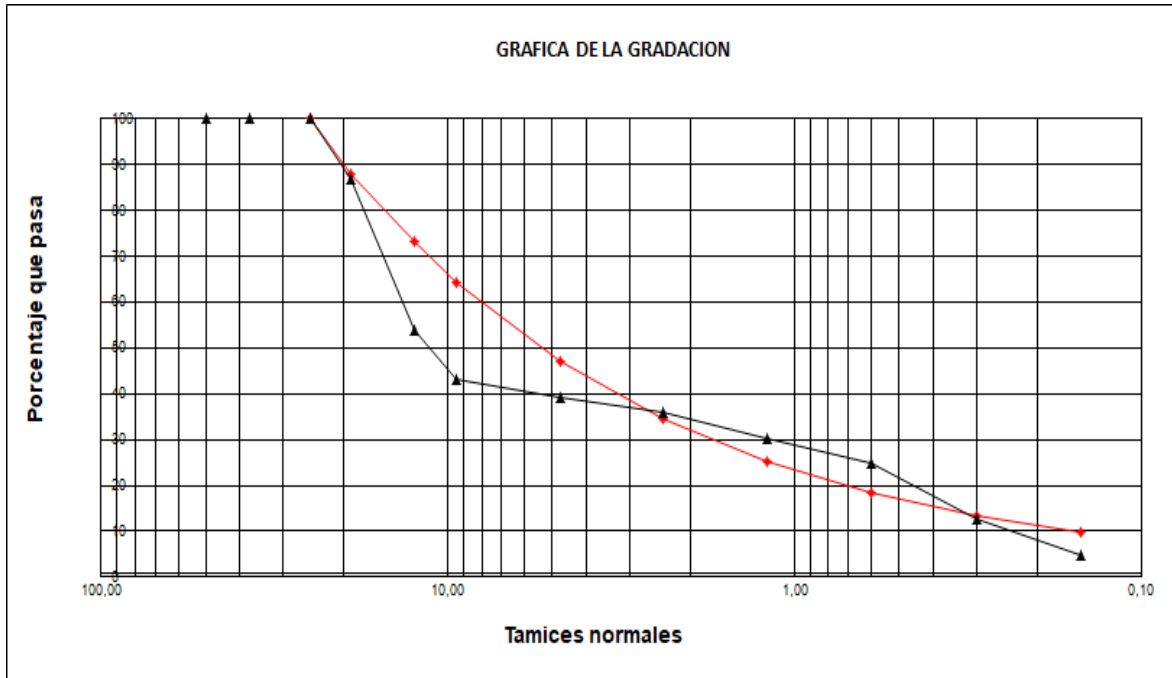


Figura 3. Curva Gradación Dosificada y curva “Método de la Road Note Laboratory (RNL)” (Gómez & Sánchez, 1997)

Fuente: Elaboración propia

4. Desarrollo del método de diseño

4.1. Propiedad Química del Cemento Portland Tipo I.

El cemento Portland Tipo I es el tipo más común de cemento utilizado en la construcción. Su principal propiedad química es su capacidad de endurecimiento mediante la hidratación con agua, formando silicatos de calcio hidratados y otras fases minerales que proporcionan resistencia y durabilidad al concreto.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

4.2. Peso específico del cemento

El peso específico del cemento Portland Tipo I suele estar en el rango de 3.10 a 3.15 gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) cuando está completamente seco. Este valor puede variar ligeramente dependiendo de factores como la composición exacta del cemento y las condiciones de fabricación.

4.3. Diseño de mezcla

Se realizan los cálculos para la dosificación de materiales para elaboración de la mezcla de concreto de resistencia a la compresión de 21 MPa, teniendo en cuenta los datos arrojados en el análisis granulométrico, y de acuerdo con el resultado se elabora la respectiva tabla de dosificación.

4.4. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión y tracción.

Se elaborarán 5 cilindros de mezcla de concreto sin macrofibras para verificar que la resistencia a la compresión es de 21 MPa de acuerdo con el diseño de mezcla elaborado realizando ensayos con rotura a 7 y 28 días, y 3 cilindros más de mezcla de concreto sin macrofibra para evaluar la resistencia de tracción del concreto obtenida sin adicionar la macrofibra.

Adicionalmente, se elaborarán 12 cilindros de 150 mm x 300 mm de mezcla de concreto con macrofibras, teniendo en cuenta que cada 3 cilindros se realizan con cantidades diferentes de

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

macrofibras, para obtener el promedio de dosificación adecuada para mejorar la propiedad de tracción en el concreto.

Luego de la colocación adecuada por capas de las mezclas en los moldes, se realiza la consolidación mediante apisonado con varilla y la vibración interna, el acabado de la superficie se realiza por medio de la varilla apisonadora si el concreto lo permite o con un palustre, el curado inicial para evitar la evaporación del agua del concreto sin endurecer cubriendo la muestras inmediatamente después del acabado con una platina no reactiva y no absorbente o con una lámina de plástico dura e impermeable, después de 24 horas de su elaboración se remueven los especímenes de concreto para realizar ser sometidos a un ambiente de curado en condiciones de humedad a una temperatura de $23.0 \pm 2^{\circ}\text{C}$ desde el instante del moldeo hasta el momento del ensayo.

Dentro la ecuación para el desarrollo para formula de trabajo del concreto a ser empleado en la estructura, será la mostrada por la curva, que produzca la resistencia promedio requerida que exceda suficientemente la resistencia de diseño del elemento, según lo indica la Tabla 630.7, la fórmula de trabajo de la mezcla del concreto se desarrolló para valores de desviación estándar con resistencia a compresión requerida $f'c+70$, aunque se especifica para rangos de valores con resistencia inferiores <21 Mpa, consideramos que esta desviación cumple los valores estadísticos de resistencia, el cual debería ser igual o superior 21 Mpa, según se demuestra con los resultados concluyentes de la resistencia a compresión, dado la relación $A/C=0.53$, para una pasta con asentamiento en condición húmeda, de acuerdo con la tabla No.12.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

RESISTENCIA DE DISEÑO A LA COMPRESIÓN (f_c)		RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA A LA COMPRESIÓN	
MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²
< 21	< 210	$f_c + 7$	$f_c + 70$
21 – 35	210 - 350	$f_c + 8.5$	$f_c + 85$
> 35	> 350	$f_c + 10$	$f_c + 100$

Tabla 12. Resistencia promedio requerida a la comprensión

Fuente: Norma Invias 2013 ART 630 Concreto Estructural y Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2020 INVIAS.

A continuación, se presenta en la siguiente tabla No.10 el registro de dosificación por m³ e igualmente se muestra la dosificación por moldes individuales de concreto, adicionada con fibras en proporciones diferentes:

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

 UNIVERSIDAD La Gran Colombia	DISEÑO MEZCLA DE CONCRETO
--	----------------------------------

Proyecto: Influencia variac. Dosif. Macrofibras sinteticas Resit. Traccion del concr. 21 mpa, uso placas

entrepiso aligeradas

DESCRIPCION : Triturado Calizo+Arena Parda Clara (Rio)

Fecha :13/01/2025

PARA:

Diseño No :1

I-REQUERIMIENTOS				
(1) CLASE :	COLUMNAS, PAVIMENTOS, VIGAS, PLACAS, ETC			
(2) RESISTENCIA DE DISEÑO (Kg/Cms ²) :	210			
(2) RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA fr'c (Kg/Cms ²) :	280			
(3) SLUMP (") :	4"			
(4) AGREGADOS :	Material Triturado Fracturado+Arena Parda Clara (Rio)			
(5) TIPO DE CEMENTO :	CEMENTO ARGOS			
II-DATOS DE DISEÑO				
(1) CANTIDAD DE CEMENTO (KG) :	374			
(2) CONTENIDO DE AGUA (LTS) :	197			
(3) RELACION AGUA/CEMENTO :	0,53			
(4) RELACION ARENA/AGREGADOS :	0,718			
(5) MODULO DE FINURA , RELACION b/bo Y TAMAÑO MAXIM	2,313	0,69	1 "	
(6) PESOS ESPECIFICOS APARENTE Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS	PESO ESPECIFICO (Kg/M3)		ABSORCION (%)	
AGREGADO GRUESO :	2626		1,44%	
AGREGADO FINO :	2660		2,94%	
(7) PESOS UNITARIOS DEL CEMENTO Y AGREGADO (KG/M3)	CEMENTO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	
SUELTO :	1260	1317	1510	
COMPACTADO :		1515	1673	
(8) PESO DE LA MEZCLA DE CONCRETO (M3)	2406			
III-CALCULO Y PROPORCIONES DE LOS MATERIALES				
	VOLUMEN ABSOLUTO (M3)	PROPORCIONES EN MASA (KG/M3)	PROPORCIONES	
			VOLUMEN (M3)	PESO (KG)
A. CEMENTO :	0,1192	375	1,00	1,00
B. AGUA :	0,197	0,197	0,197	0,197
C. AGREGADO GRUESO:	0,398	1045	2,66	2,78
D. AGREGADO FINO :	0,286	760	1,69	2,02
E. (%) DE AIRE :	1,00	-		
IV-ENSAYO DE ROTURA DE LA MEZCLA PREPARADA EN LABORATORIO				
FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	DIAS	RESISTENCIA A LA COMPRESION	
OBSERVACIONES : Este diseño es teorico, debera comprobarse mediante rotura a la compresion con la ejecucion de ensayos en el laboratorio de la Obra				
Cantidad total de agua =197 lts/m3, material seco ; Relacion en Volumen 1,0:1,75:2,75				
Relacion en peso: 1,0:2,00,2,75				

Tabla 13. Diseño Mezcla de Concreto

Fuente: Elaboración propia

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Con el objeto de corroborar los resultados de la fórmula de trabajo se determinó la rotura a compresión del concreto, aplicando lo establecido según la Norma INVE-421-13, a continuación, en la siguiente Tabla No. 14, se relacionan sus resultados a 28 días, estando por encima el valor a 210 Kg/cm² o 21 Mpa.

UNIVERSIDAD La Gran Colombia		ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
FECHA: 10-feb.-25		CODIGO: INF-Rot. Cilindro No.1		DIAMETRO DEL CILINDRO: 4 (Pulg) 6 Pulg.				
PROYECTO: INFLUENCIA VARIACION EN LA DOSIFICACION DE MACROFIBRAS SINTETICAS EN LA RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA F'c=21 MPA. EN LOSAS DE ENTREPISOS ALIGERADAS		AREA SECCIÓN: 12,57 28,27 (Pulg ²)						
		PAG 1 DE 1						
REFERENCIA DEL CILINDRO	ELEMENTO/LOCALIZACIÓN EN OBRA	FECHAS (dd/mm/aa)		EDAD (DÍAS)	CARGA DE ROTURA (KN.)	CARGA DE ROTURA (Lbs.)	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA COMPRESIÓN (PSI)
		FUNDIDA	ROTURA					
M-1	CONCRETO SIN MACROFIBRA	13-ene.-25	20-ene.-25	7	145,9	32.800	D	2609
M-2	CONCRETO SIN MACROFIBRA	13-ene.-25	20-ene.-25	7	147,2	33.092	D	2633
M-3	CONCRETO SIN MACROFIBRA	13-ene.-25	10-feb.-25	28	175,8	39.522	D	3144
M-4	CONCRETO SIN MACROFIBRA	13-ene.-25	10-feb.-25	28	174,0	39.117	D	3112
M-5	CONCRETO SIN MACROFIBRA	13-ene.-25	10-feb.-25	28	177,6	39.926	D	3176
OBSERVACIONES:								
TIPO DE FALLAS EN CILINDRO DE CONCRETO								
A CONO		B CONO Y ROTURA VERTICAL		C CONO Y CORTE		D CORTE		E COLUMNAR
								

Tabla 14. Resistencia a compresión del concreto. Según formula de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, con la formula teórica se realizaron las dosificaciones correspondientes, aplicando y realizando las mediciones de tensión del concreto, dosificando con distintos porcentajes de macrofibra.

5. Dosificación de Macrofibras Sintéticas

A continuación, se presenta en la siguiente tabla No.15, el desarrollo de la dosificación que se realizó por muestra individual, igualmente se determinan los porcentajes de trabajo de la mezcla. Para el diseño de la mezcla se realizaron los procesos de combinación por peso de acuerdo con los pesos que se obtuvieron de la fórmula de trabajo determinados en la tabla No.13.

		DISEÑO-DOSIFICACION INDIVIDUAL EN PESO					
PROYECTO :Influencia variac. Dosif. Macrofibras sinteticas Resit. Traccion del concr. 21 mpa, uso placas		LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA: BOGOTA			FECHA DEL ENSAYO	10/02/2025	
MUESTRA No. 1.		PROFUNDIDAD: ACOPIO					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:Triturado Calizo+Arena Parda Clara (Rio)					ENSAYADA POR: LÓPEZ		
CALCULO INDIVIDUAL DE VOLUMENES Y PESOS							
Diam. Cilindro (mts)	Long. Cilindro (mts)	Volu. Cilindro (m3)	Cemento (Kg)	Triturado (Kg)	Arena (Kg)	Agua (Kg)	Agua (Gr)
0,15	0,30	0,00530	2,09	5,82	4,25	0,00110	1,10
CALCULO INDIVIDUAL DE LOS PESOS DE LA MACROFIBRA							
1,8 Kg/m3 (Gr)	(%) 1,8 Kg/m3	2,0 Kg/m3.-Gr	(%) 2,0 Kg/m3	2,5 Kg/m3.-Gr	(%) 2,5 Kg/m3	3,0 Kg/m3. Gr	(%) 3,0 Kg/m3
10,02	0,48%	11,13	0,53%	13,92	0,67%	16,70	0,80%

Tabla 15. Diseño dosificación por peso individual

Fuente: Elaboración propia

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

Los Porcentajes de las macrofibras para el diseño de la mezcla individual, variaron en un rango entre 0.48%-0.80% (1.8Kg/m³-3.0 Kg/m³), según se aprecia en la tabla No. 15.

6. Resultados del concreto de tracción indirecta

Los resultados de las mezclas se manejaron bajo los estándares establecidos por la norma INVE-411, con resultados de curados a 7 y 28 días, los especímenes fueron dosificados sin adición de macrofibra y con adición de macrofibra, incorporando los siguientes pesos en su orden: 0 Kg/m³, 1.8 Kg/m³, 2.0 Kg/m³, 2.5 Kg/m³ y 3.0 Kg/m³. Mientras Toxement propone adicionar a las mezclas considerando la diversidad del espesor de placa en correspondencia con el diámetro de la malla, que se anexa a continuación en la tabla No.16; para la presente investigación se determinó un solo valor óptimo en peso, sin manejar valores individuales de resistencia del concreto que cubriera, tal como lo propone Toxement.

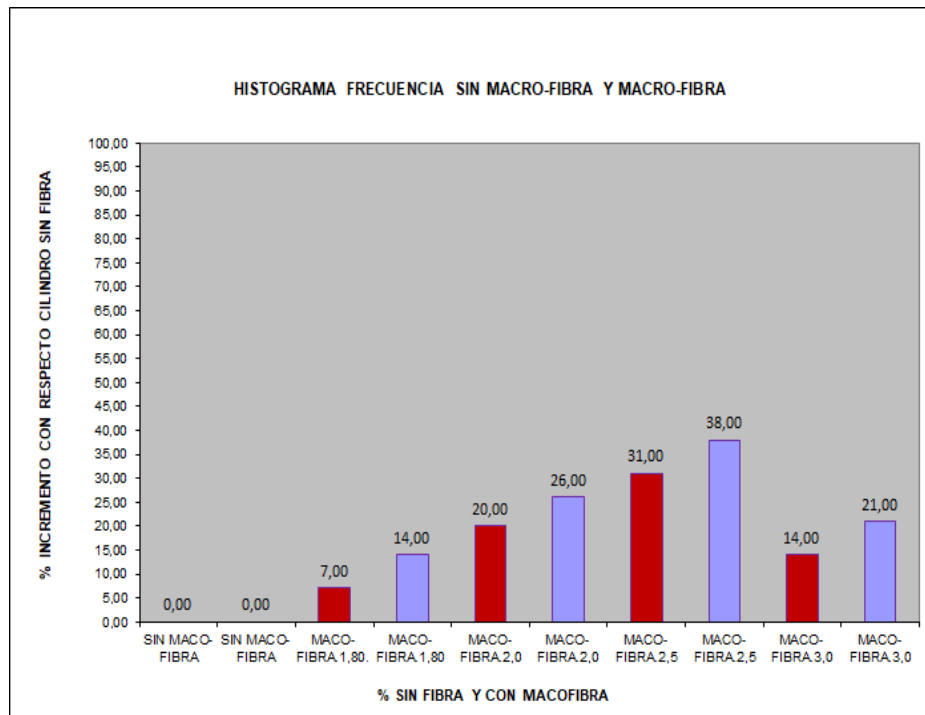
MAXTEN™	kg de MAXTEN / m ³ de concreto			
	ESPESOR DE PLACA (CM)	3 mm cada 15 cm	4 mm cada 15 cm	5 mm cada 15 cm
5	1,8 kg/m ³	2,4 kg/m ³	-	-
8	1,8 kg/m ³	1,8 kg/m ³	2,3 kg/m ³	-
10	1,8 kg/m ³	1,8 kg/m ³	1,8 kg/m ³	2,7 kg/m ³
12	1,8 kg/m ³	1,8 kg/m ³	1,8 kg/m ³	2,2 kg/m ³
15	1,8 kg/m ³	1,8 kg/m ³	1,8 kg/m ³	1,8 kg/m ³
Use macro fibra TUF STRAND SF				
Dosificación para placas de 21 MPa (3000 psi), 7 sacos de cemento / m ³				

Tabla 16. Cantidad de Macrofibra por bulto de cemento

Fuente: Maxten

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

En la siguiente figura No. 4, se presentan consolidados los resultados del concreto a tracción indirecta a edades de 7 y 28 días. Puede observarse que los resultados se incrementan hasta la adición de macrofibras en la proporción de 2.5 Kg/m³, posteriormente este valor decrece al adicionar en la proporción de 3.0 Kg/m³.



Convenciones



	Porcentaje (%) de incremento de resistencia a la tracción indirecta del concreto a edad de 7 días, de cilindros con macrofibra (dosificaciones 1.8-2.0-2.5 y 3.0 kg/m ³) con respecto a cilindro sin macro fibra.
	Porcentaje (%) de incremento de resistencia a la tracción indirecta del concreto a edad de 28 días, de cilindros con macrofibra (dosificaciones 1.8-2.0-2.5 y 3.0 kg/m ³) con respecto a cilindro sin macro fibra.

Figura 4. Histograma de frecuencia de resistencia sin macrofibra y con macrofibra

Fuente: Elaboración propia

En las Figuras No. 5 y Figura No. 6, que se presentan a continuación, se ilustran curvas del comportamiento de la tracción indirecta (PSI) obtenida a edades del concreto de 7 y 28 días, respectivamente, en cilindros sin macrofibra y en cilindros con aplicación de diferentes proporciones de macrofibra (1.8 – 2.0 – 2.5 y 3.0 kg/m³).

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

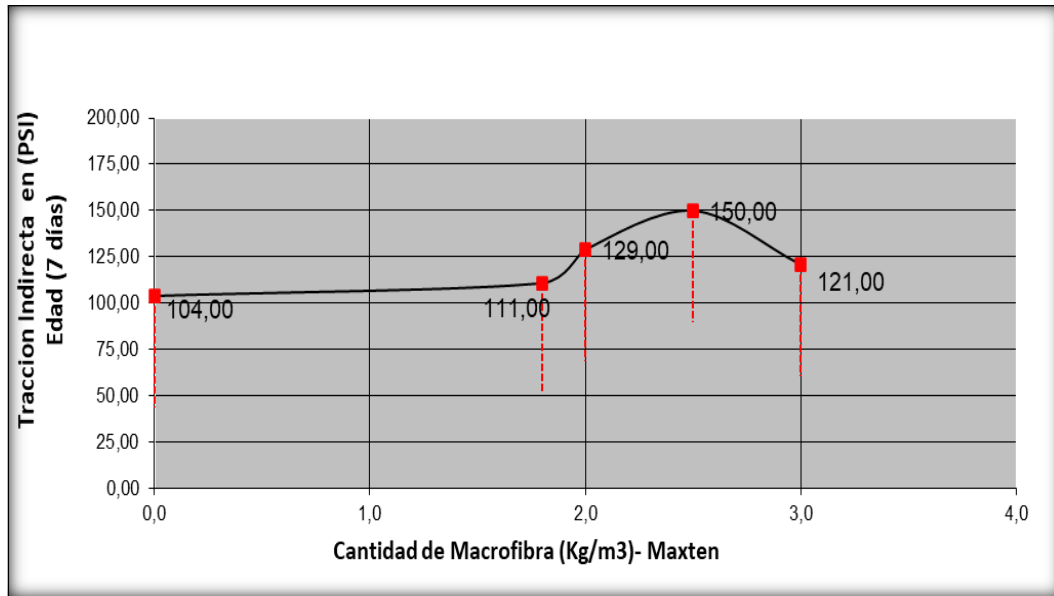


Figura 5. Variación de la Resistencia a Tracción del Concreto (Edad 7 días) Vs Cantidad de Macrofibra

Fuente: Elaboración propia

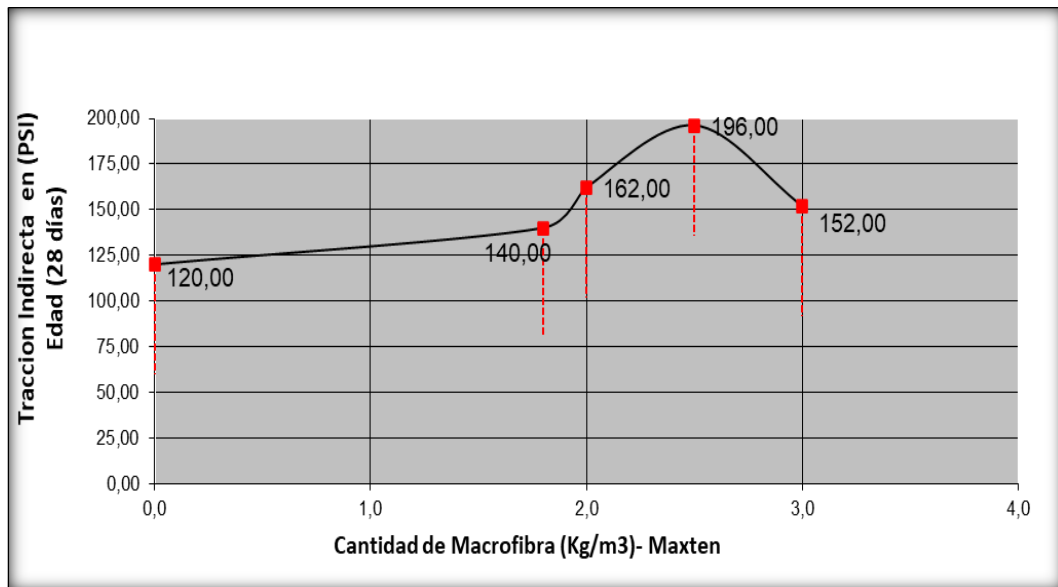


Figura 6. Variación de la Resistencia a Tracción del Concreto (Edad 28 días) Vs Cantidad de Macrofibra

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Tabla No. 17, se presenta un consolidado de los valores de resistencia a tracción indirecta obtenidos a los 7 y 28 días.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas


		ENSAYO TRACCION INDIRECTA CILINDROS DE CONCRETO. INV-E411. MEDICION CON DEFORMACION							
FECHA: 10-mar.-25		CODIGO: INF-Rot. Cilindro No.1							
PROYECTO: INFLUENCIA VARIACION EN LA DOSIFICACION DE MACROFIBRAS SINTETICAS EN LA RESISTENCIA A TRACCION INDIRECTA F'c=21 MPA. EN LOSAS DE ENTREPISOS ALIGERADAS		DIAMETRO DEL CILINDRO: 6 (Pulg)		LONG. CILINDRO: 12 (Pulg)					
OBSERVACIONES: RESUMEN RESULTADOS TRACCION INDIRECTA		AREA SECCION: 28,27 (Pulg ²)		PAG 1 DE 1					
REFERENCIA DEL CILINDRO	ELEMENTO/LOCALIZACIÓN EN OBRA	FECHAS (dd/mm/aa)		EDAD (DÍAS)	CARGA DE ROTURA (KN.)	CARGA DE ROTURA (Lbs.)	RESISTENCIA TENSION INDIRECTA (PSI)	% INCREM. CON RESP. VALOR MIN	% DISMIN. CON RESP. VALOR MAX
		FUNDIDA	ROTURA						
1	Sin Macrofibra	10-feb.-25	17-feb.-25	7	52	11.735	104		
1	Sin Macrofibra	10-feb.-25	10-mar.-25	28	60	13.534	120		
2	Con Macrofibra (1,80 Kg/m ³)	10-feb.-25	17-feb.-25	7	56	12.589	111	7%	24%
2	Con Macrofibra (1,80 Kg/m ³)	10-feb.-25	10-mar.-25	28	70	15.782	140	14%	25%
3	Con Macrofibra (2,0KG/m ³)	10-feb.-25	17-feb.-25	7	65	14.635	129	20%	11%
3	Con Macrofibra (2,0KG/m ³)	10-feb.-25	10-mar.-25	28	82	18.322	162	26%	13%
4	Con Macrofibra (2,5kg/m ³)	10-feb.-25	17-feb.-25	7	76	16.973	150	31%	0%
4	Con Macrofibra (2,5kg/m ³)	10-feb.-25	10-mar.-25	28	98	22.121	196	39%	0%
5	Con Macrofibra (3,0 Kg/m ³)	10-feb.-25	17-feb.-25	7	61	13.668	121	14%	17%
5	Con Macrofibra (3,0 Kg/m ³)	10-feb.-25	10-mar.-25	28	76	17.153	152	21%	18%

Tabla 17. Resultados de tracción Indirecta Sin Macrofibra y con adición de Macrofibra

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior podemos observar los incrementos que se producen en los valores de resistencia a la tracción indirecta, con respecto a los especímenes sin adición de macrofibra, observando en los valores obtenidos de resistencia a la tracción indirecta a edades de 7 y 28 días, que el concreto se incrementa en resistencia con la adición de macrofibras hasta la proporción de 2.5 Kg/m³, disminuyendo la resistencia a la tracción indirecta al adicionar la proporción de 3.0 Kg/m³ con una disminución a 7 días de 17% y a 28 días de 21% , por lo tanto el valor óptimo de macrofibra del concreto solo puede aplicarse hasta un porcentaje de 0.67%(2.5 Kg/m³), aunque la ficha técnica, especifica su uso entre valores de 1.8-3.0 (Kg/m³), según los resultados no es posible

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

utilizar por encima de 2.5 Kg/m³, ya que se presenta una disminución sustancial de la resistencia a tracción del concreto.

7. Evaluación Económica Comparativo Acero de Refuerzo por Temperatura Vs

Macrofibras

En el contexto de la construcción en Colombia y la Norma Sismorresistente Colombiana (NSR-10), el "acero por temperatura" se refiere al acero corrugado de menor diámetro que el utilizado para el refuerzo principal, generalmente 1/4 de pulgada. Su función principal es ayudar a controlar las tensiones que se generan en el concreto debido a la dilatación y contracción térmica, especialmente en elementos como losas y muros.

C.7.12.2 — El refuerzo corrugado, que cumpla con C.3.5.3, empleado como refuerzo de retracción y temperatura debe colocarse de acuerdo con lo siguiente:

C.7.12.2.1 — La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura debe ser al menos igual a los valores dados a continuación, pero no menos que 0.0014:

- (a) En losas donde se empleen barras corrugadas Grado 280 o 350 0.0020
- (b) En losas donde se empleen barras corrugadas Grado 420 o refuerzo electrosoldado de alambre 0.0018
- (c) En losas donde se utilice refuerzo de una resistencia a la fluencia mayor que 420 MPa, medida a una deformación unitaria de 0.35 por ciento $\frac{0.0018 \times 420}{f_y}$

C.7.12.2.2 — El refuerzo de retracción y temperatura no debe colocarse con una separación mayor de 5 veces el espesor de la losa ni de 450 mm.

C.7.12.2.3 — En todas las secciones donde se requiera, el refuerzo por retracción y temperatura debe ser capaz de desarrollar f_y en tracción de acuerdo con el Capítulo

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

C.7.6.5 — En muros y losas, exceptuando las losas nervadas, la separación del refuerzo principal por flexión no debe ser mayor de 3 veces el espesor del muro o de la losa, ni de 450 mm, excepto que en secciones críticas de losas en dos direcciones no debe exceder 2 veces el espesor de la losa (véase el Capítulo C.13). Cuando se trate de refuerzo de temperatura en losas la separación máxima no debe exceder 5 veces el espesor de la losa ni 450 mm (véase C.7.12).

Ilustración 2. Fragmento Norma Sismo Resistente NSR-10

Fuente: Norma Sismo Resistente NSR-10

De acuerdo con lo anterior estipulado en la norma NSR-10, se realiza el siguiente cálculo de acero por temperatura (malla electrosoldada):

ACERO POR TEMPERATURA					
b=	100	cm	A _{temp} =	0.0018bh(4200/fy)	
h=	5	cm			
f _y =	4200	kg/cm ²	A _{temp} =	0,9	cm ² /m
Ø	6	mm	A _{s,Ø6} =	0,283	cm ²
Separacion	30	Cm	A _s =	0,942	cm ² /m

Tabla 18. Cálculo de acero por temperatura

Fuente: Elaboración propia

8. Análisis económico

Se realiza el análisis para una losa de 10mx10m (100m²), acero de 6 mm cada 25 cms

Área losa=	100	M ²
Long barra refuerzo=	10	m
Cantidad barras (41x2) (2 sentidos) =	82	U

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

L TOTAL=	820	M
Peso esp. del acero = Y=	7850	kg/m ³
As,Ø6=	0,283	cm ²
Peso Nominal=	0,222	kg/m
Peso Total=	182,00	kg
Acero por m ² de losa=	1,82	kg/m ²
Valor kg acero de refuerzo=	\$ 4.655,00	kg
Valor acero por m ² de losa de 5cm=	\$ 8.472,19	
Valor kg macrofibra	\$ 44.388,89	
Rendimiento Macrofibra	2,5	kg/m ³
Losa 5cm=	0,05	m ³
Cantidad Macrofibra /m ²	0,125	KG
Valor macrofibra /m ² de losa	\$ 5.548,61	
Diferencia por m ² de losa=	\$ 2.923,58	A favor de la macrofibra

Tabla 19. Análisis económico

Fuente: Elaboración propia

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

De acuerdo con lo anterior, se analiza que el metro cuadrado de losa de 5 cms de espesor con macrofibra con relación al concreto con refuerzo de malla electrosoldada, es más económico en \$2.923,58.

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

El presupuesto del proyecto es una herramienta esencial para la planificación y gestión de los recursos financieros necesarios para la ejecución exitosa del proyecto. Este presupuesto ha sido elaborado con el propósito de identificar y cuantificar los costos asociados a cada fase del proyecto, asegurando así una asignación adecuada y eficiente de los recursos disponibles.

A continuación, se presenta el desglose detallado del presupuesto, que incluye los costos estimados para materiales, equipos, servicios, y otros gastos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Además, se incluyen los costos indirectos y contingencias para cubrir imprevistos que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto.

Cantidad	Rubro	Detalle	Unidad	Valor	Valor total
80	Personal	Estudiante investigador 1	Hora	\$ 12.000,00	\$ 960.000,00
80	Personal	Estudiante investigador 2	Hora	\$ 12.000,00	\$ 960.000,00
80	Personal	Estudiante investigador 3	Hora	\$ 12.000,00	\$ 960.000,00
30	Personal	Asesoría de profesional especializado	Hora	\$ 60.000,00	\$ 1.800.000,00
135	Transporte personal	Transporte público	Día	\$ 6.000,00	\$ 810.000,00
1	Transporte material	Acarreo	Viaje	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
200	Material	Arena de Peña	Kg	\$ 300,00	\$ 60.000,00
200	Material	Grava de Río	Kg	\$ 600,00	\$ 120.000,00
1	Material	Cemento Argos Estructural	Bulto 42,5 Kg	\$ 32.700,00	\$ 32.700,00
1	Material	Macrofibra Sintética	Bolsa 1,5 kg	\$ 70.000,00	\$ 70.000,00
1	Ensayos	Ensayos de Laboratorio	glb	\$ 1.200.000,00	\$ 1.200.000,00
				Total	\$ 7.072.700,00

Tabla 21. Presupuesto del Proyecto

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

- Los resultados obtenidos en los ensayos de esta investigación con respecto a la resistencia a tracción indirecta apuntan claramente a que si existe un aumento de la resistencia a tracción en general del concreto cuando a este se le adicionan macrofibras de polipropileno, aunque solo existe un aumento máximo hasta una cantidad de 2.5 Kg/m³ o porcentaje de 0.67%.
- Aunque el fabricante propone utilizar una cantidad o tope de 2.7 Kg/m³, para concretos con mallas electrosoldadas con diámetro de 6.0 mm, con un espesor de placa de 10 cms, de acuerdo con el punto anterior la investigación arrojó una cantidad óptima de 2.5 Kg/m³.
- Los agregados utilizados para la conformación de la mezcla de concreto cumplen con toda la caracterización para mezclas de concreto, de acuerdo con lo establecido en las tablas 630.1 y 630.3 del INVIAS.
- Se realizaron las mediciones de la deformación a edad de 28 días durante la prueba de carga de tracción indirecta. A continuación, en la siguiente tabla No.22, se relaciona la máxima deformación de rotura a tracción de cada cilindro.

CANTIDAD EN PESO (Kg/m³)	% DEFORMACION MAX.
Sin Macrofibra	0,3167
Macrofibra 1,8	0,3000
2,0	0,2750
2,5	0,2660
3,0	0,2920

Tabla 22. Valores sin macrofibra y con macrofibra - % deform. Máx. (Edad 28 días)

Fuentes: Elaboración propia

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

De la Tabla No.22, se observa en el rectángulo resaltado en color rojo, que se presenta un valor mínimo de deformación unitaria del concreto, con la adición de una cantidad de macrofibra de 2.5 Kg/m³, representando esta el valor óptimo de macrofibra del concreto.

- El valor del metro Cuadrado (M²) de losa de 5 cms de espesor con adición de macrofibra es más económico en \$2.923,68 con relación al concreto de losa con refuerzo de malla electrosoldada.

Recomendaciones

Para futuras investigaciones debe considerarse el uso del porcentaje óptimo determinado en la presente investigación, pero manejado con los propuestos por Toxement dentro del uso con la malla de refuerzo propuesta por el fabricante.

Para futuras investigaciones, se recomienda evaluar, mediante pruebas de laboratorio, el comportamiento a tracción de losas de entrepiso de concreto de 21 MPa, comparando la incorporación de macrofibras sintéticas (con diferentes dosificaciones y/o utilizando el porcentaje óptimo de dosificación determinado en esta investigación) con el uso de malla electrosoldada. Esta evaluación deberá realizarse en condiciones simuladas de losetas, con un área determinada, empleando el método de ensayo Barcelona según la especificación UNE 83 515, el cual es reconocido por su eficiencia y confiabilidad en la caracterización de la resistencia a la tracción en materiales frágiles, siendo ampliamente utilizado en el control de calidad de concretos reforzados con fibras y otros materiales como el acero.

Referencias

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Decreto 926. 19 de marzo de 2010.

Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR10. Colombia.

Recuperado de:

<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. NTC 673. 17 de febrero

de 2010. Colombia. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/1120353985/ntc-673->

[compresion-concretos](https://es.slideshare.net/1120353985/ntc-673-compresion-concretos)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. NTC 396. 15 de enero

de 1992. Colombia. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/samirkent2/ntc-396>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. NTC 4595. 18 de marzo

de 2020. Colombia. Recuperado de: [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-355996_recurso_10.pdf)

[355996_recurso_10.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-355996_recurso_10.pdf).

Uso de macrofibras sintéticas en hormigón. Asociación Argentina del Hormigón Elaborado.

Revista Hormigonar, (31), diciembre. Recuperado de:

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/23410>

Análisis del desempeño de la macrofibra sintética en la tenacidad del concreto [Tesis de

pregrado, Universidad Privada del Norte. Repositorio Alicia. Recuperado de

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_13d14cfc75d1ee83ba48614e0e27ebf0

Determinación de la resistencia residual promedio (análisis postfisuración) del concreto reforzado con fibra sintética de PET+PP [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia. Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/533e3e84-b769-49d5-afb3-e4cfc081cc29>

Concreto aligerado por medio de la inclusión de fibras de tereftalato de polietileno y polipropileno con agregados calizo y arena de río [Trabajo de grado, Universidad de Cartagena. Repositorio Universidad de Cartagena. Recuperado de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstreams/c6cd5d98-6398-4104-844d-94d08bbac2b1/download>

Maccaferri. (2005). Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón [Manual técnico]. Officine Maccaferri. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/445464089/291815054-Manual-Wirand-Maccaferri-pdf>

Sánchez de Guzmán, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de https://books.google.com.co/books/about/TECNOLOGIA_DEL_CONCRETO_Y_DEL_MORTERO.html?id=EWq-QPJhsRAC

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

ASOCRETO. (2010). TECNOLOGIA DEL CONCRETO- Tomo 1. Materiales, Propiedades y diseño de mezclas. (J. Niño, D. Sanchez, J. Osorio, & J. Gomezjurado, Eds.) (Tercera).

Bogota D.C.: Asocreto. Recuperado de:

<https://es.scribd.com/doc/234779446/Tecnologia-Del-Concreto-Tomo-1>

Toxement. (s.f.). Maxten™ – Macro fibra sintética para reemplazar malla electrosoldada.

Recuperado de <https://www.toxement.com.co/media/5783/maxten.pdf>

Instituto Nacional de Vías. (2013). Normas y especificaciones 2012 INVIAS – Artículo 630: Concreto estructural. Recuperado de

<https://gerconcesion.co/invias2013/630%20CONCRETO%20ESTRUCTURAL.pdf>

Instituto Nacional de Vías. (2013). Especificaciones generales de construcción de carreteras.

Recuperado de <https://gerconcesion.co/invias2013/>

Instituto Nacional de Vías. (2020). Especificaciones generales de construcción de carreteras.

Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/4570-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras>

ICONTEC. (1999). Norma Técnica Colombiana NTC 4595: Ingeniería civil y arquitectura – Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares. Recuperado de

https://www.mineduacion.gov.co/1759/articles-355996_archivo_pdf_norma_tecnica.pdf

Influencia de la variación en la dosificación de macrofibras sintéticas

ICONTEC. (1992). Norma Técnica Colombiana NTC 396: Ingeniería civil y arquitectura –

Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. Recuperado de

https://gestion.mincit.gov.co/Athena/GestionContratistas/anexos/1.18_ei4j8olr.pdf