

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA DE
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO DRAMIX 3D EN ESTRUCTURA DE
PAVIMENTO RÍGIDO.



GERMAN ALEJANDRO TORRES RUIZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO

2021

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA DE
CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO DRAMIX 3D EN ESTRUCTURA DE
PAVIMENTO RÍGIDO.

GERMAN ALEJANDRO TORRES RUIZ

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de ingeniero
civil

Aprobado por:

Ing. EMIRO ANDRES LOZANO PEREZ

Especialista en Estructuras y Maestría en Infraestructura Vial

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO

2021

Autoridades académicas

P. José Gabriel MESA ANGULO, O. P.
Rector General

P. Eduardo GONZÁLES GIL, O. P.
Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.
Rector sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.
Vicerrector Académico sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN
Secretaria de División sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo HERRERA PABÓN
Decano Facultad de Ingeniería civil

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme culminar con éxito mi proceso académico, a mi familia que fue la encargada de sembrar la semilla que hoy da su fruto, a mi mamá que con grandes sacrificios logró estar siempre a mi lado apoyándome en cada decisión y alentándome cuando quise desfallecer.

Agradezco también al Ing. Emiro Andrés Lozano Pérez director del proyecto, quien voluntariamente decidió ser una guía y ser un acompañante constante en todo este proceso. Por último y no menos a mis compañeros de estudio quienes con esfuerzo y dedicación se mantuvieron firmes y me motivaron a cumplir este sueño de convertirnos en ingenieros civiles.

Contenido

	Pág.
Resumen	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
1. Formulación del problema.....	13
2. Objetivos	15
2.1. Objetivos Específicos.....	15
3. Justificación.....	16
4. Estado del arte	17
4.1. Concreto geopolimero	17
4.2. Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra de acero con diferentes resistencias de concreto	17
4.3. Investigación analítica y experimental sobre el comportamiento a la flexión de vigas de hormigón geopolímero curado a temperatura ambiente reforzadas con fibras de acero.....	18
4.4. Desempeño de losas de concreto sobre terreno reforzadas con malla electro soldada o fibras de acero	19
4.5. Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero	19
5. Metodología.....	21
5.1. Desarrollo metodológico	23
6. Desarrollo de la investigación	24
6.1. Ensayos agregado fino (Arena – INGEKAR).....	24
6.1.1 Granulometría	24
6.1.2 Peso Unitario.....	25
6.1.3 Contenido de humedad natural	26
6.1.4 Coeficiente de curvatura y uniformidad	27
6.1.5 Porcentajes de material	27
6.1.6 Contenido de material orgánico	27
6.1.7 Gravedad nominal y % de absorción de los agregados finos.....	28
6.2. Ensayos de agregados gruesos (Material granular – INGEKAR).....	29

6.2.1	Granulometría	29
6.2.2	Peso unitario.....	30
6.2.3	Contenido de humedad natural	31
6.2.4	Gravedad Específica	32
6.2.5	Porcentajes de material	32
6.2.6	Coeficiente de uniformidad y curvatura	33
13.1.1.	Combinación de los agregados (FULLER).....	33
6.3.	Resultados del diseño de mezcla de concreto	34
6.3.1	Tiempo de fraguado	37
6.4.	Ensayos del concreto.....	37
6.4.1	Determinación de la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos. ..	37
6.4.2	Primera dosificación (0 kg/m ³)	38
6.4.3	Segunda dosificación (5 kg/m ³).....	39
6.4.4	Tercera dosificación (10 kg/m ³).....	40
6.4.5	Cuarta dosificación (20 kg/m ³)	41
6.4.6	Quinta dosificación (25 kg/m ³).....	42
6.5.	Determinación de la resistencia a la tracción por flexión	44
6.5.1	Sin dosificación de dramix 3D (0 kg/m ³)	44
6.5.2	Dosificación de dramix 3D (5 kg/m ³).....	45
6.5.3	Dosificación de dramix 3D (10 kg/m ³).....	46
6.5.4	Dosificación de dramix 3D (20 kg/m ³).....	47
6.5.5	Dosificación de dramix 3D (25 kg/m ³).....	47
6.6.	Resultados visuales	48
6.7.	Diseño por el método PCA.....	49
7.	Resultados e impacto.....	55
	Conclusiones.....	56
	Recomendaciones.....	56
	Referencias bibliográficas	58

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Desarrollo metodológico.....	23
Tabla 2 Granulometría de material fino.....	24
Tabla 3 Peso unitario de los agregados finos.	25
Tabla 4 Peso unitario compactado de agregados finos.	26
Tabla 5 Contenido de humedad de los agregados finos.....	26
Tabla 6 Cu y cc.	27
Tabla 7 Material que pasa por el tamiz #200.	27
Tabla 8 Contenido de materia orgánica.	27
Tabla 9 Resumen de agregados finos.....	28
Tabla 10 Granulometría de agregados gruesos.	29
Tabla 11 Peso unitario suelto agregados gruesos.....	30
Tabla 12 Peso unitario compactado de agregados gruesos.	31
Tabla 13 Contenido de humedad agregados gruesos.	31
Tabla 14 Gravedad específica de los agregados gruesos.	32
Tabla 15 Porcentaje de los agregados gruesos.....	32
Tabla 16 Cc y Cu.	33
Tabla 17 Dosificación.	33
Tabla 18 Rangos de especificaciones.....	33
Tabla 19 Diseño de mezcla 3000 PSI.	35
Tabla 20 Proporciones de mezcla.	35
Tabla 21 Proporciones de material seco por m ³	35
Tabla 22 Volumen de mezcla para elaboración de cilindros.	36
Tabla 23 Cantidad de mezcla por cilindro.	36
Tabla 24 Tiempo de fraguado de cemento por el método Vicat.....	37
Tabla 25 Cilindros de concreto sin dosificación (Cilindros).	38
Tabla 26 Dosificación de concreto de 5 kg/m ³ (Cilindros).	39
Tabla 27 Dosificación de concreto de 10 kg/m ³ (Cilindros).	40
Tabla 28 Dosificación de concreto de 20 kg/m ³ (Cilindros).	41

Tabla 29 Dosificación de concreto de 25 kg/m ³ (Cilindros).	42
Tabla 30 Resumen de las dosificaciones a los 7, 14 y 28 días (Cilindros).	43
Tabla 31 Primera dosificación (Viguetas).	44
Tabla 32 Segunda dosificación (Viguetas).	45
Tabla 33 Tercera dosificación (Viguetas).	46
Tabla 34 Cuarta dosificación (Viguetas).	47
Tabla 35 Quinta dosificación (Viguetas).	47
Tabla 36 Resumen de las dosificaciones de Dramix 3D a los 7, 14 y 28 días (Viguetas).	47
Tabla 37 Datos iniciales método INA.	49
Tabla 38 Interpolación para la obtención del CBR de diseño.	50
Tabla 39 Datos iniciales Mejoramiento de CBR método IVANOV.	51
Tabla 40 TPDS de la zona de estudio.	52
Tabla 41 Distribución del tránsito.	52
Tabla 42 Cálculo de los ejes.	53
Tabla 43 Resultados.	55
Tabla 44 Impactos.	55

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Curva granulométrica de agregados finos.	25
Figura 2 Curva granulométrica agregados gruesos.	29
Figura 3 Curva de gradación combinada.	34
Figura 4 Preparación de los cilindros para fallarlos.	37
Figura 5 Falla de cilindro 0-5.	38
Figura 6 Falla de cilindro 5-6.	39
Figura 7 Falla del cilindro 10-5 (28 días).	40
Figura 8 Resultados de la máquina del cilindro 10-5.	41
Figura 9 Falla del cilindro 25-6 (28 días).	42
Figura 10 Datos arrojados por la máquina de compresión del cilindro 25-6.	43
Figura 11 Resistencia del concreto con las diferentes dosificaciones a lo largo de 28 días.	44
Figura 12 Preparación del espécimen.	45
Figura 13 Falla de viga con dosificación de 10 kg/m ³ , 10-4V.	46
Figura 14 Viga de concreto con dosificación de 20 kg/m ³ , 20-5V.	48
Figura 15 Viga de concreto con dosificación de 25 kg/m ³ , 25-6V.	49
Figura 16 CBR de diseño método INA.	50
Figura 17 Esquema del pavimento.	51
Figura 18 Ubicación del proyecto.	52
Figura 19 Diseño PCA.	54

Resumen

En la ingeniería la innovación en los procesos constructivos y el uso de nuevos materiales se ha vuelto muy importante, por lo que, en el siguiente trabajo se evaluará las propiedades mecánicas del concreto reforzado con diferentes dosificaciones de acero DRAMIX 3D, aplicado en el campo de los pavimentos rígidos, principalmente mediante ensayos de compresión de cilindros, flexión de vigas y un diseño de pavimento rígido por el método PCA con la finalidad de comparar el concreto con y sin refuerzo de dichas fibras de acero.

En la construcción es importante la optimización de los recursos, tiempo y resultados de los procesos siempre será vital, por lo que, la búsqueda de nuevas alternativas en los procedimientos constructivos se convierte en una necesidad, de aquí surge la idea de implementar las fibras de acero DRAMIX 3D como reforzamiento del concreto, por sus mejoras significativas en edificaciones. Teniendo en cuenta lo anterior, es importante identificar las ventajas que puede ofrecer en una estructura de pavimento rígido.

Palabras Clave: *Alternativas, concreto reforzado, Dramix 3D, pavimentos rígidos, procesos constructivos.*

Abstract

In engineering, innovation in construction processes and the use of new materials has become very important, therefore, in the following work, the mechanical properties of reinforced concrete with different dosages of DRAMIX 3D steel, applied in the field of steel, will be evaluated. rigid pavements, mainly by means of cylinder compression tests, beam bending and a rigid pavement design by the PCA method in order to compare concrete with and without reinforcement of said steel fibers.

In construction, the optimization of resources, time and process results will always be vital, so the search for new alternatives in construction procedures becomes a necessity, hence the idea of implementing the fibers of DRAMIX 3D steel as a concrete reinforcement, due to its significant improvements in buildings. With the above in mind, it is important to identify the advantages it can offer in a rigid pavement structure.

Key Word- *Alternatives, reinforced concrete, Dramix 3D, rigid pavements, construction processes.*

Introducción

En la ingeniería, el uso de diversos materiales resulta en una búsqueda en la reducción de los costos de los materiales, por eso existen varias formas y técnicas para la construcción de pavimentos ya sean flexibles o rígidos, en este caso, se enfocará en el pavimento rígido. Dado que su producción no genera contaminación ambiental, aspecto que resulta muy importante por la creciente en las temperaturas a nivel mundial.

El pavimento rígido es considerado más costoso a comparación del flexible, pero en recientes estudios realizados por la empresa de concreto ARGOS, deja en evidencia que no es más costoso y que mucho menos sus capacidades sean similares a las del pavimento flexible, sin embargo, el uso de este si depende del tipo de suelos existente, un ejemplo de esto es que en suelos de alto volumen de tránsito puede llegar a ser un 5% más barato sus costos iniciales y para suelos relativamente malos para la construcción de pavimento, este tendrá una reducción en los costos directos de 10-33% para tránsitos bajos y altos.

Por otro lado, el uso de las fibras de acero DRAMIX 3D a diferencia de sus otras versiones, aunque por lo general este es usado para concretos con refuerzo de acero, ya que, provee una mejora de las resistencias a la flexión y compresión, por lo que, implementarlo en estructuras de pavimentos rígidos parece una opción viable. Por los resultados que ha mostrado dicha fibra en estructuras como losas de cimentación, Túneles, dovelas, tuberías, estructuras de uso residencial.

Dadas las premisas anteriores, mediante ensayos de laboratorio se pondrá a prueba la capacidad del concreto con las fibras de acero DRAMIX 3D con la finalidad de determinar su viabilidad en los pavimentos rígidos, añadido a eso mediante un diseño de pavimento por el método PCA de manera teórica se demostrará la viabilidad de este ensayo.

1. Formulación del problema

En la ingeniería los temas de innovación en sus procesos constructivos, uso de materiales, llegando a ser muy conocido el uso de RCD y plástico en obras de infraestructura vial (como rellenos o aplicación en bases y subbases), también en estructuras residenciales, todo con el fin de buscar alternativas que favorezcan el desarrollo sostenible. Aunque estas ideas parezcan ser muy buenas sobre el papel un factor que ha impedido su buena implementación es la variabilidad de algunos materiales como el plástico.

El concreto es un material ampliamente usado en diversos tipos de estructuras, por lo que es común encontrar varios documentos que ponen a prueba sus resistencias con diferentes materiales, tal es el caso, de que en cualquier repositorio universitario es muy sencillo encontrar investigaciones del concreto, ya sea, combinando con cascarilla de arroz, plástico, RCD, geopolímeros, entre otros. Esto hace ver este material versátil al momento de economizar las obras en casos donde se ha demostrado que tiene comportamientos superiores o similares a la mezcla tradicional.

El concreto un muy bueno cuando es sometido a compresión, sin embargo, en flexión decae demasiado siendo su resistencia prácticamente nula y siendo descartada en los cálculos estructurales, por lo que, de ahí nace el concreto reforzado que es simplemente añadir barras de acero para compensar las falencias de este, por otro lado, en pavimentos no es muy utilizado el acero en algunos casos puede utilizarse malla electrosoldada, en este caso las fibras de acero puede ser un gran aditivo para compensar sus falencias.

En Colombia, debido a que las estructuras de pavimentos se encuentran constantemente sometidas a grandes cargas en algunos casos se pueden notar estructuras muy antiguas que presentan una gran cantidad de agrietamientos y desgaste, por lo que, se hace necesario innovar en el campo de los materiales de construcción, esto con el fin de presentar alternativas que permitan mejorar con rapidez y economice en el sector de la construcción, promoviendo un mejor desarrollo económico favoreciendo las rutas que se encuentran hoy día desgastadas por su gran uso.

¿Es recomendable utilizar las fibras de acero DRAMIX 3D como refuerzo del concreto en estructuras de pavimentos rígidos?

Generalmente las estructuras de pavimentos rígidos están sometidas a grandes esfuerzos que conlleva a que sufran daños por ahuellamiento, fracturas debido a las cargas impuestas; en construcción suele usarse fibras de acero con la finalidad de reducir considerablemente su peso y al ser el concreto un material relativamente costoso, se busca con esta investigación, minimizar el peso y los costos de la estructura además de implementar otra forma de mejorar la resistencia y durabilidad del pavimento con este material. También, mediante un diseño de pavimento por el método PCA de manera teórica demostrar la viabilidad de este.

2. Objetivos

Evaluar las resistencias y el comportamiento físico-mecánico del concreto reforzado con fibras de acero DRAMIX 3D para una estructura de pavimento rígido.

2.1. Objetivos Específicos

- Demostrar mediante ejercicios de diseño por el método PCA, el comportamiento, características y beneficios al usar fibra de acero DRAMIX 3D en la mezcla de concreto.
- Identificar los beneficios de las fibras de acero DRAMIX 3D en el concreto usado para estructuras de pavimentos rígidos.
- Demostrar la reducción de fisuras de la estructura de pavimento provocadas por la flexión por el uso de fibra de acero DRAMIX 3D, mediante el ensayo de resistencia a flexión en viguetas.

3. Justificación

En este trabajo se plantea caracterizar el concreto armado en diferentes porcentajes de fibras de acero para su implementación en estructuras de pavimentos rígidos. Por medio del resultado de los ensayos (Ensayo de resistencia de flexión y ensayo de compresión), regidos por las normas NTC 2871 y NTC 3658 se plantea realizar la influencia en las características mecánicas en cuanto a desempeño, con el fin de garantizar su viabilidad en la aplicación en pavimentos rígidos.

Estos ensayos están principalmente enfocados a determinar el f'_c y módulo de rotura, con la finalidad de poder diseñar pavimentos rígidos por el método PCA o AASHTO. Esto para demostrar la viabilidad teóricamente en futuros proyectos de investigación.

Esta alternativa pretende reducir los costos y la cantidad de concreto usado en el proceso de construcción, ya que, hoy en día el concreto se ha convertido en uno de los materiales más utilizados en el área de la construcción. La producción global de concreto es de aproximadamente 12 mil millones de toneladas al año, lo que equivale a casi 1m^3 por persona al año, elevando notablemente la demanda de este recurso. Además, esta industria es la encargada de producir alrededor del 5% de las emisiones totales hechas por el hombre. Es por este motivo que se hace necesario implementar medidas que mitiguen el impacto ambiental causado por la alta producción de concreto. (Singh, 2018, p. 90)

Se plantea esta solución debido a que el concreto es un material que se seguirá utilizando debido a sus características y a su variedad de usos, ya que este producto está arraigado en la sociedad, y es inevitable su implementación en obras civiles, por lo cual con este proyecto se busca disminuir los impactos generados por este material sin disminuir las propiedades típicas presentadas en el concreto y sin aumentar costos de producción.

4. Estado del arte

4.1. Concreto geopolimero

El concreto geopolímero es una alternativa más sostenible que el concreto ordinario Portland (COP). El concreto geopolimero ha demostrado que tiene propiedades a la par e incluso superiores al COP, incluida una buena resistencia contra el ataque de sulfato y ácido, alta resistencia inicial y final a la compresión, y alta resistencia a incendios, en presencia de calor externo.

Recientemente, se ha logrado una buena resistencia a la compresión en condiciones ambientales, reduciendo la cantidad de energía necesaria durante la producción. Debido a la reducción de las emisiones de CO₂ y el implemento de materiales de desecho como cenizas volantes, el concreto geopolimero se considera una alternativa más sostenible en relación al cemento convencional (Lateef Assi, 2018, p. 32).

4.2. Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra de acero con diferentes resistencias de concreto

En este estudio, se realizaron 30 muestras de concreto en las cuales se utilizaron fibras con extremos ganchudos de tres longitudes (40, 50 y 60 mm) y dos diámetros (0,62 y 0. 75 mm). Se agregaron fibras de acero con tres fracciones de volumen, 0.5%, 1.0% y 1.5%.

Conclusiones

La resistencia a la compresión del concreto con contenido de fibra de acero de 0.5 a 1.5% aumentó ligeramente en no más de 10% para concreto de alta resistencia ($w/c=0.25$), mientras que para concreto de resistencia moderadamente alta el aumento en resistencia a la compresión alcanzó 25 %.

El concreto con fibras de mayor relación de aspecto ha mostrado una mejora más pronunciada en la resistencia a la tracción que el concreto con una relación de aspecto más baja.

La falla del concreto reforzado con fibra de acero se puede ver como un desprendimiento progresivo de las fibras con una lenta propagación de grietas. Esta lenta propagación de la grieta finalmente conduce a una propagación de la grieta inestable que causa la falla de la muestra (Wasim Abbass, 2018, p. 561).

4.3. Investigación analítica y experimental sobre el comportamiento a la flexión de vigas de hormigón geopolímero curado a temperatura ambiente reforzadas con fibras de acero.

La presente investigación, realizo un estudio acerca del comportamiento a la flexión que presentan las vigas de concreto geopolimero (CG) y reforzadas con fibra de acero. Este estudio demostró que este tipo de vigas presentan una mejora en la resistencia al agrietamiento, la facilidad de servicio y la ductilidad en comparación a las vigas Portland ordinarias.

La resistencia al agrietamiento mejoro debido a que se implementaron fibras con forma de gancho, además, mejoro la rigidez en la etapa posterior al agrietamiento (disminuye la desviación del servicio en un 21%), la capacidad de flexión (aumenta la carga máxima en un 40%) y la ductilidad (aumenta en un 49%), esto debido a la mejora en el endurecimiento de la tensión, el control de la contracción por secado y la tenacidad y la mejora del comportamiento posterior al pico en la zona de compresión.

El implemento de un volumen de fibras de acero del 0.75%, aumento la capacidad de carga de las vigas GP. Sin embargo, al utilizar un contenido de fibra del 1.5%, se observa una reducción de carga del 18% en comparación al de 0.75%. Dado esto, lo recomendable es utilizar un volumen alrededor del 0.75% para el concreto geopolimero y de esta manera garantizar una buena dispersión y orientación de la fibra.

Para el mismo contenido de fibra (0.75%), las vigas GC con una fibra larga de 60 mm de longitud presentaron una capacidad menor (aproximadamente 10%) que la GC reforzada con fibras más cortas (35 mm de longitud). A partir de una estimación analítica realizada, se concluye que la longitud de la fibra de 35 mm es suficiente para evitar la extracción prematura de las fibras antes de la ruptura de las fibras. Por lo tanto, si se aumenta la longitud de la fibra, no se mejorará la

capacidad de las vigas GC, pero puede causar efectos adversos, como una dispersión de fibra deficiente y una formación de bolas de fibra (Tung T. Tran, 2019, p. 18).

4.4. Desempeño de losas de concreto sobre terreno reforzadas con malla electro soldada o fibras de acero

En todo el mundo se han desarrollado métodos innovadores para optimizar las propiedades del concreto tales como la tenacidad, ductilidad y resistencia a compresión, a tensión, a cortante, así como a los cambios bruscos de temperatura. En cuanto al tipo de refuerzo utilizado, el concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) se ha convertido en un material fundamental en la construcción de pisos industriales, pavimentos, tableros de puentes, elementos para la estabilización de taludes, revestimientos de túneles, elementos estructurales prefabricados, bóvedas y refractarios, entre otros.

Cuando se usan fibras de acero no es necesario costear desperdicios ni tener en cuenta el corte, amarre y uso de espaciadores, ya que son procedimientos exclusivos del refuerzo convencional por medio de barras o malla electro soldada. En cuanto al transporte, es mucho más sencillo y económico el caso de las fibras, pues no es necesario el uso de herramientas especiales para su manejo en obra. (Carrillo et al., 2016, p. 444)

4.5. Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero

Para desarrollar ayudas de diseño que promuevan el uso del concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) en muros de concreto de vivienda de interés social (VIS), en el artículo se han presentado los resultados de un extenso programa experimental que incluyó el ensayo de 88 especímenes en forma de cilindros y 40 especímenes en forma de vigas. A partir de las tendencias de los resultados experimentales, se propusieron correlaciones numéricas para estimar las propiedades mecánicas básicas del CRFA (resistencia máxima y deformación en compresión, módulo de elasticidad, relación de Poisson y resistencia a tensión indirecta), y las propiedades que

caracterizan el desempeño a flexión (resistencia de agrietamiento, capacidad de deformación y capacidad de disipación de energía o tenacidad).

Comportamiento en compresión y en tensión

A medida que se incrementa el contenido de fibras de acero, la resistencia a compresión del concreto disminuye a un valor casi constante ($f_c/f_{co} = 0.87$) y su capacidad de deformación en compresión aumenta.

El módulo de elasticidad disminuye a medida que se incrementa el contenido de fibras de acero. Esta tendencia se genera por la disminución de agregado grueso (sustitución de agregado grueso por fibra de acero), y por el aumento del contenido de aire en la mezcla, el cual crea menor adherencia entre el matriz cementante y la fibra. El aumento de aire se origina porque éste queda atrapado por la disminución de revenimiento del concreto o porque se introduce en el momento del mezclado de las fibras. (Carrillo et al., 2016, p. 441)

5. Metodología

Esta investigación es de carácter Cuantitativa y Cualitativa.

Los ensayos a realizar para conocer las características mecánicas del hormigón son los ensayos de compresión de cilindros según la norma INV E-410-07, tracción por medio de la flexión de vigas según la norma INV E-414-07 y asentamiento del concreto según la INV E-404-07. Estos ensayos tienen como finalidad proveer el módulo de rotura y el $f'c$, para diseñar por el método AASHTO o PCA siendo el último el método para comprobar los datos.

Sin embargo, se plantea evaluar el comportamiento del material cuando no se utilizan las fibras de acero DRAMIX 3D y cuando si está reforzado con dichas fibras, por lo que, para la realizar este procedimiento se llevarán a cabo, ensayos de compresión de los cilindros de concreto y la flexión de las viguetas, por lo que las dosificaciones que se usarán son de (0, 5, 10, 20 y 25) kg/m^3 .

En cuanto a los tiempos de espera para la rotura de cilindros y vigas, se realizará 2 cilindros y 2 vigas a los 7, 14 y 28 días respectivamente para cada dosificación.

Además, se realizarán los siguientes ensayos:

Ensayos agregado fino

- Granulometría: INV E-123-07
- Peso unitario: INV E-217-07
- Contenido de humedad: INV E-122-07
- Gravedad específica: INV E-128-07
- Material que pasa el tamiz #200: INV E-214-07
- Contenido de material orgánico: INV E-212-07

Ensayos agregado grueso

- Granulometría: INV E-123-07
- Peso unitario: INV E-217-07
- Contenido de humedad: INV E-122-07
- Gravedad específica: INV E-128-07
- Desgaste del agregado grueso en la máquina de los ángeles: INV E-218-07

5.1. Desarrollo metodológico

Tabla 1 Desarrollo metodológico.

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
1	Diseño método PCA	Con la ayuda de los datos obtenidos anteriormente se plantea realizar un diseño que pruebe teóricamente la efectividad del uso de fibras de acero dramix 3D en estructuras de pavimento rígido.	Estudiante y docente
2	Realización de los ensayos INV E-410-07, INV E-414-07 y INV E-404-07.	Mediante el ensayo de tracción, compresión de cilindros y el asentamiento del concreto, se pretende determinar las características del concreto con fibra de acero además tomando como apoyo las normas NTC 1299 y NTC 3502 para certificar el uso de la fibra de acero en concreto armado.	Estudiante y Docente
3	Ensayo de compresión en cilindros y vigas.	Estos ensayos tiene como finalidad obtener el f'_c y el módulo de rotura de la mezcla de concreto con diferentes proporciones de acero Dramix 3D, esto para usarlo como criterio en el diseño PCA, este objetivo funciona como apoyo del primero.	Estudiante y docente

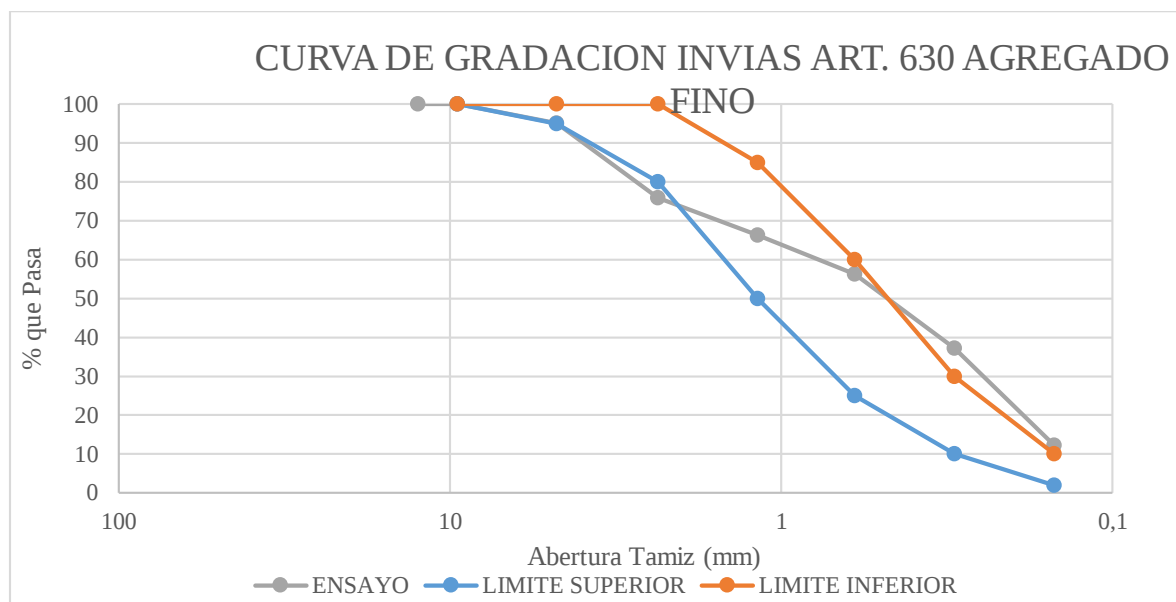
6. Desarrollo de la investigación

6.1. Ensayos agregado fino (Arena – INGEKAR)

6.1.1 Granulometría

Tabla 2 Granulometría de material fino.

NORMA INVIAS ART. 630	TAMIZ	PESO RET.	% RETEN.	% RET.ACUM.	% PASA
100	1/2"	0.0	0.0	0.0	100.00
100	3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0
95-100	Nº 4	110.0	5.0	5.0	95.0
80-100	Nº 8	423.4	19.1	24.0	76.0
50-85	Nº 16	215.8	9.7	33.8	66.2
25-60	Nº 30	220.1	9.9	43.7	56.3
10-30	Nº 50	425.2	19.2	62.8	37.2
2-10	Nº 100	554.3	25.0	87.8	12.2
	FONDO	270.7	12.2	100.0	0.0
	SUMAS	2219.5	100.0	211.2	

Figura 1 Curva granulométrica de agregados finos.

6.1.2 Peso Unitario

Tabla 3 Peso unitario de los agregados finos.

TAMAÑO DEL AGREGADO								
DIAMETRO MOLDE (mm)	T.MAX DEL AGREGADO (mm)	A	B	C	D	E	F	G
148	95	6306	6311	6298	6305	1831	4474	2.679
TOTALES					6305		4474	41.0
					TOTAL F		4474	1.581
W%	0.00	M.U.S.	-----			=	=	1.581
					VOL. MOLDE (cm ³)	2830.0		

Importante aclaración:

- A = Peso Material + molde ensayo #1.
 B = Peso Material + molde ensayo #2.
 C = Peso Material + molde ensayo #3.
 D = Promedio de A, B y C.
 E = Peso del recipiente.
 F = Peso neto del material.
 G = % de vacíos.

Tabla 4 *Peso unitario compactado de agregados finos.*

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E	F	G
DIAMETRO MOLDE (mm)	T.MAX DEL AGREGADO (mm)							
148	95	6691	6683	6696	6690	1831	4859	2.679
TOTALES					6690		4859	35.9
		TOTAL F					4859	1.717
W%		M.U.S.	=	-----		=	=	1.717
		VOL. MOLDE (cm ³)					2830.0	

6.1.3 Contenido de humedad natural

Tabla 5 *Contenido de humedad de los agregados finos.*

P1	2484.90
P2	2222.0
P3	62.0
W %	10.58

6.1.4 Coeficiente de curvatura y uniformidad

Tabla 6 Cu y cc.

D10	0.15
D30	0.25
D60	0.64
Cu	4.3
Cc	0.7

6.1.5 Porcentajes de material

Tabla 7 Material que pasa por el tamiz #200.

> 3"	0.00
GRAVA	4.96
ARENA	82.85
FINOS	12.20

6.1.6 Contenido de material orgánico

Tabla 8 Contenido de materia orgánica.

DESCRIPCIÓN DEL COLOR	COLOR GARDNER ESTÁNDAR	PLACA ORGANICA No.
Color de la solución	5	1
Amarillo claro	8	2
Amarillo	11	3(estándar)
Amarillo oscuro	14	4
Ámbar	16	5

6.1.7 Gravedad nominal y % de absorción de los agregados finos

Tabla 9 Resumen de agregados finos.

AGREGADO FINO	No. 1
Material sss	500
material sss + picnómetro + H ₂ O	969.6
material seco + tara	857.4
tara	362.2
material seco	495.2
Gravedad aparente	2.609
Gravedad nominal	2.677
% Absorción	0.969
Gravedad aparente	2.609
Gravedad nominal	2.677
Gravedad aparente s.s.s	2.634
% Absorción	0.969

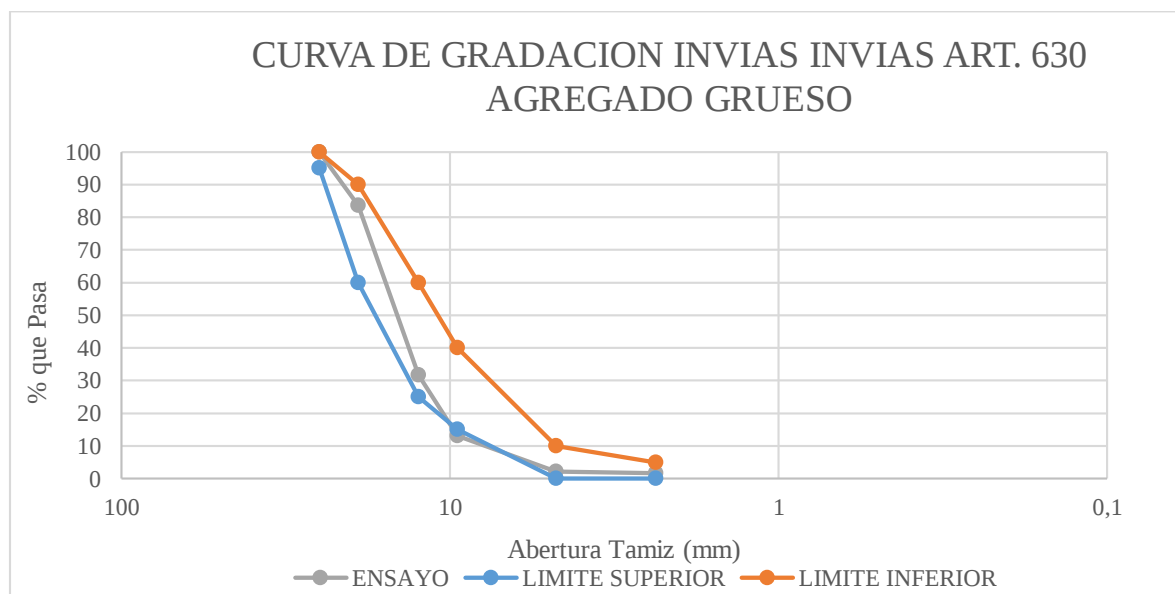
6.2. Ensayos de agregados gruesos (Material granular – INGEKAR)

6.2.1 Granulometría

Tabla 10 Granulometría de agregados gruesos.

NORMA ART 360	TAMIZ	PESO RET.	% RETEN.	% RET. ACUM.	% PASA
	1"				100.0
100	3/4"	1016.1	16.3	16.3	83.7
90-100	1/2"	3233.6	51.9	68.3	31.7
40-70	3/8"	1163.1	18.7	87.0	13.0
0-15	Nº 4	677.8	10.9	97.8	2.2
0-5	Nº 8	27.1	0.4	98.3	1.7
	FONDO	106.9	1.7	100.0	0.0
	SUMAS	6224.6	100.0		

Figura 2 Curva granulométrica agregados gruesos.



6.2.2 *Peso unitario*

Tabla 11 *Peso unitario suelto agregados gruesos.*

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E	F	G
DIAMETRO MOLDE (mm)	T.MAX DEL AGREGADO (mm)							
149	95	9289	9256	19259	9268	572	4696	
TOTALES					9268		4696	
TOTAL F							4696	1.521
W%		M.U.S	=	-----		=	=	1.521
				VOL. MOLDE (cm3)	661			

Importante aclaración:

- A = Peso Material + molde ensayo #1.
- B = Peso Material + molde ensayo #2.
- C = Peso Material + molde ensayo #3.
- D = Promedio de A, B y C.
- E = Peso del recipiente.
- F = Peso neto del material.
- G = % de vacíos.

Tabla 12 *Peso unitario compactado de agregados gruesos.*

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E	F	G
DIAMETRO MOLDE (mm)	T.MAX DEL AGREGADO O (mm)							
149	95	20264	20289	20269	20274	4572	15702	
TOTALES					20274		15702	
TOTAL F							15702	1.625
W%	M.U.S	=	-----		=	=	1.625	
VOL. MOLDE (cm3)				9661.0				

6.2.3 Contenido de humedad natural

Tabla 13 Contenido de humedad agregados gruesos.

P1	6285.0
P2	6227.0
P3	54.0
W %	0.92

6.2.4 Gravedad Específica

Tabla 14 Gravedad específica de los agregados gruesos.

AGREGADO GRUESO		No. 1	No. 2
Peso canasta + muestra seca al horno		4378	
peso en el aire de la muestra seca		3181	
peso de la canasta + muestra sss al aire		4423.1	
peso de la canasta + muestra en el agua		3026.3	
peso en el aire de la muestra sss		3226.1	
peso sumergido de la muestra sumergida		1998.3	
Gravedad aparente		2.591	
Gravedad nominal		2.690	
% Absorción		1.42	
Gravedad aparente			2.591
Gravedad nominal			2.690
Gravedad aparente s.s.s			2.628
% Absorción			1.42

6.2.5 Porcentajes de material

Tabla 15 Porcentaje de los agregados gruesos.

> 3"	0.00
GRAVA	97.85
ARENA	0.44
FINOS	1.72

6.2.6 Coeficiente de uniformidad y curvatura

Tabla 16 Cc y Cu.

D10	10.50
D30	10.70
D60	11.20
Cu	1.1
Cc	1.0

13.1.1. Combinación de los agregados (FULLER)

Se determinó de acuerdo a las gráficas de gradación de los agregados gruesos y finos que el porcentaje de cada material es 56% y 44% respectivamente.

Tabla 17 Dosificación.

TAMIZ	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100	Nº200
Grava	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	83.7	31.7	13.0	2.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Arena	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.0	76.0	66.2	56.3	10.9	6.3	0.0
%Grava	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	46.9	31.7	7.3	1.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
%Arena	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	41.8	33.4	29.1	24.8	4.8	2.8	0.0
%Mezcla	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	90.9	75.7	51.3	43.0	34.4	29.1	24.8	4.8	2.8	0.0
ESPECIFIC.	100	100	100	100	100-95	90-85	78-68	71-58	56-40	44-27	34-19	27-13	21-9	10-0	

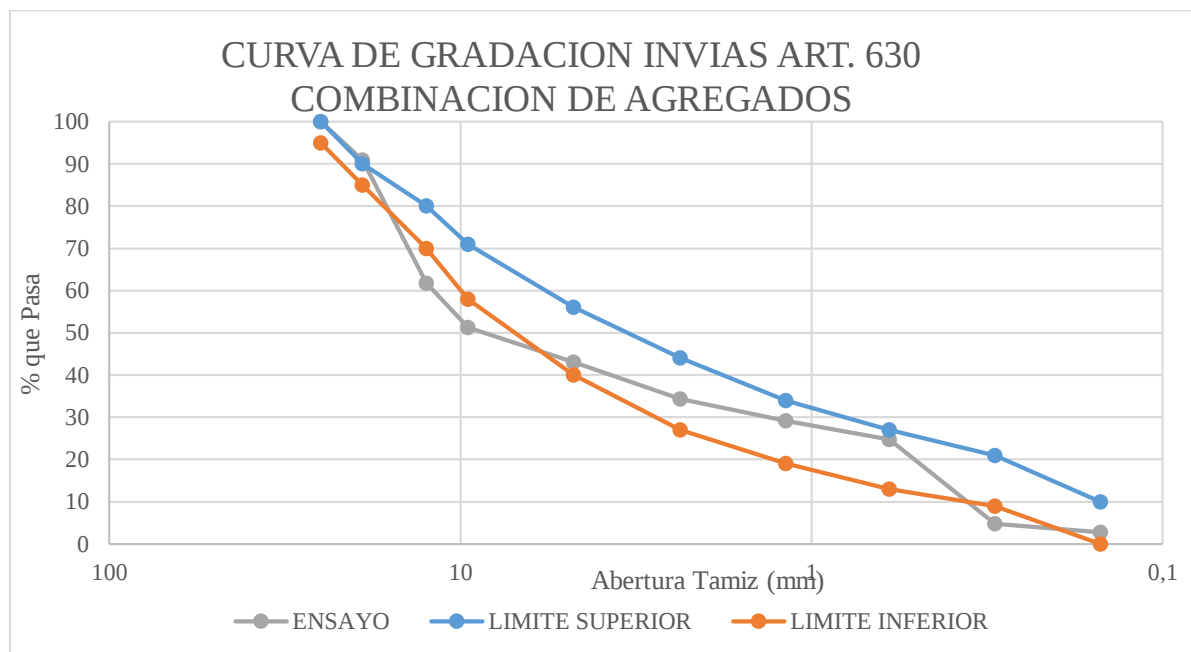
Tabla 18 Rangos de especificaciones.

40	60	100.0	100.0	100.0	100.0	93.5	72.7	65.2	57.9	46.3	39.7	33.8	6.6	3.8	0.0
41	59	100.0	100.0	100.0	100.0	93.3	72.0	64.3	57.0	45.5	39.1	33.2	6.5	3.7	0.0
42	58	100.0	100.0	100.0	100.0	93.1	71.3	63.5	56.0	44.8	38.4	32.7	6.3	3.6	0.0
43	57	100.0	100.0	100.0	100.0	93.0	70.6	62.6	55.1	44.0	37.8	32.1	6.2	3.6	0.0
44	56	100.0	100.0	100.0	100.0	92.8	70.0	61.7	54.2	43.3	37.1	31.5	6.1	3.5	0.0
45	55	100.0	100.0	100.0	100.0	92.7	69.3	60.9	53.2	42.6	36.4	31.0	6.0	3.4	0.0
46	54	100.0	100.0	100.0	100.0	92.5	68.6	60.0	52.3	41.8	35.8	30.4	5.9	3.4	0.0

Nota. Adaptado de (INGEKAR, 2020)

Obtenida la especificación para la combinación de los agregados gruesos con los finos, procede a combinar la curva de gradación, con el fin de establecer si dicha combinación está entre los rangos permitidos para su uso como material de obra.

Figura 3 Curva de gradación combinada.



6.3. Resultados del diseño de mezcla de concreto

Acorde a los parámetros de diseño y de la caracterización de los agregados, que se detallaron anteriormente, se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{Asentamiento: } 3 \text{ in (Pavimentos)}$$

$$f'c \text{ (requerida)} = 210 \text{ kg/cm}^2$$

El diseño de mezcla mostrado a continuación fue obtenido con ayuda de un contacto en la empresa INGEKAR, al poseer varios diseños que se modifican dependiendo del material granular y fino, sólo es cuestión de obtener volúmenes o pesos y con tablas guía seleccionar cada ítem para obtener las proporciones.

Tabla 19 Diseño de mezcla 3000 PSI.

f'c	ASENT.	T.M	T. N	AIRE	AGUA	f'c DIS.	RELAC.	CEMENTO	PROPORC. AGREG. (%)	
(p.s.i)	(plg)	(plg)	(plg)	(%)	(Lt/m ³)	(p.s.i)	A/C	(Kg/m ³)	GRAVA	ARENA
3000	3"	1	3/4	2.0	185	3000	0.55	350	56	44

Tabla 20 Proporciones de mezcla.

PROPORCIONES			PROPORCIONES			ALTURA CAJON EN CMS		PROPORCIONES EN BALDES DE 10 LTS		
EN PESO			EN VOLUMEN			33X33 (2 CAJON/BTO)		PARA 1 BULTO DE CEMENTO (50Kg)		
CEMENTO	ARENA	GRAVA	CEMENTO	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA	AGUA
1	2.27	2.91	1	1.80	2.39	33.0	43.9	7.2	9.6	2.6

Tabla 21 Proporciones de material seco por m³.

f'c	CEMENTO	ARENA	GRAVA	AGUA	f'c	CEMENTO	ARENA	GRAVA	AGUA
(p.s.i)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(p.s.i)	(Btos/m ³)	(m ³ /m ³)	(m ³ /m ³)	(Lt/m ³)
3000	350	796	1018	185	3000	7.0	0.503	0.669	185

Obtenido el diseño de mezcla se puede establecer la proporción de los materiales para la elaboración de los cilindros de concreto.

Tabla 22 Volumen de mezcla para elaboración de cilindros.

3000 Psi						
Para un metro cubico de cemento						
Cemento:	350.00	/	50	=	7.0	bultos / m3
Arena:	795.98	/	1580.92	=	0.5035	m3 / m3
Grava:	1017.92	/	1521.17	=	0.6692	m3 / m3
VOLUMEN TOTAL				=	1.1727	m3 / m3
Para un bulto cemento						
Cemento:	1 bulto					
Arena:	0.5035	/	7.0	=	0.072	m3 / m3
Grava:	0.6692	/	7.0	=	0.096	m3 / m3
				0.003	0.003	
					0.303	
EUCON HE-4530 RESISTENCIA 3000 PSI						
Para un blto de 50 Kg al 1.00% del peso del cemento	500 grs				Aprox.(406.5 ml)	
Para 1 m3 al 1.00% del peso del cemento	3500 grs				Aprox.(2845.5 ml)	
Para un blto de 50 Kg al 0.30% del peso del cemento	150 grs				Aprox.(148.5 ml)	
Para 1 m3 al 0.30% del peso del cemento	1050 grs				Aprox.(1039.6 ml)	

De la siguiente tabla, con una simple modificación al volumen de la mezcla para 1 m3 a la de un molde de cilindro de 15x30 cms se obtiene lo siguiente:

Tabla 23 Cantidad de mezcla por cilindro.

DATOS DEL MOLDE		DESCRIPCIÓN	CANTIDADES DE MEZCLA POR MOLDE gr
ALTURA (CM)	30	CEMENTO	1855.51
DIAMETRO (CM)	15	ARENA	4219.82
AREA (CM2)	176.72	GRAVA	5396.47
VOLUMEN EN CM3	5301.45	AGUA	980.77
VOLUMEN EN MM3	0.00530145	TOTAL	12452.57

6.3.1 Tiempo de fraguado

Tabla 24 Tiempo de fraguado de cemento por el método Vicat.

Cemento	Ensayo	Tiempo (min)	Comprobación INV E 305-07
ARGOS	1	92	OK
	2	92	OK
	3	93	OK
	4	92	OK

6.4. Ensayos del concreto

6.4.1 Determinación de la resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos.

Para los ensayos de compresión de los cilindros, se tuvo en cuenta los requerimientos de la norma INV E 410-07. Por temas, de aislamiento preventivo, estos ensayos fueron realizados con ayuda externa.

Figura 4 Preparación de los cilindros para fallarlos.



Nota. Imagen Cilindro 15x15. Tomado por German Torres, 2021.

6.4.2 Primera dosificación (0 kg/m^3)

Tabla 25 Cilindros de concreto sin dosificación (Cilindros).

Muestra	0-1	0-2	0-3	0-4	0-5	0-6
Días de curación	7	7	14	14	28	28
Diámetro promedio (mm)	150.30	150.60	150.50	150.80	150.30	150.40
Altura promedio (mm)	300.00	300.60	301.00	301.10	300.80	301.00
Masa (kg)	12.64	12.96	13.01	12.85	12.30	12.81
Carga máxima (kN)	490.12	499.36	610.31	600.90	721.60	734.10
Tipo de falla	1	1	IV	IV	1	1
Área promedio (mm ²)	17742.2	17813.1	17789.4	17860.4	17742.2	17765.8
	2	1	6	6	2	3
Resistencia (MPa)	27.62	28.03	34.31	33.64	40.67	41.32

Figura 5 Falla de cilindro 0-5.



Nota. Imagen Cilindro 15x15. Tomado por German Torres, 2021.

6.4.3 Segunda dosificación (5 kg/m³)

Tabla 26 Dosificación de concreto de 5 kg/m³ (Cilindros).

Muestra	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6
Días de curación	7	7	14	14	28	28
Diámetro promedio (mm)	150.00	150.20	151.00	150.30	150.40	151.00
Altura promedio (mm)	301.00	300.00	301.50	301.00	302.00	300.00
Masa (kg)	13.00	12.41	12.77	13.05	12.94	12.96
Carga máxima (kN)	610.00	629.60	721.50	710.40	770.32	750.80
Tipo de falla	I	I	V	V	IV	V
Área promedio (mm ²)	17671.4	17718.6	17907.8	17742.2	17765.8	17907.8
	6	1	6	2	3	6
Resistencia (MPa)	34.52	35.53	40.29	40.04	43.36	41.93

Por cuestión de disponibilidad y por ahorro de tiempo, el autor decidió fallar algunos cilindros, en los laboratorios de INGEKAR.

Figura 6 Falla de cilindro 5-6.



Nota. Imagen Cilindro 15x15. Tomado por German Torres, 2021.

6.4.4 Tercera dosificación (10 kg/m³)

Tabla 27 Dosificación de concreto de 10 kg/m³ (Cilindros).

Muestra	10-1	10-2	10-3	10-4	10-5	10-6
Días de curación	7	7	14	14	28	28
Diámetro promedio (mm)	150.60	150.30	151.00	150.20	151.00	151.00
Altura promedio (mm)	303.00	301.00	301.50	302.00	302.00	300.00
Masa (kg)	13.06	13.02	12.25	12.87	12.67	12.41
Carga máxima (kN)	670.50	658.50	790.56	796.46	843.09	836.71
Tipo de falla	1	1	IV	IV	1	1
Área promedio (mm ²)	17813.1	17742.2	17907.8	17718.6	17907.8	17907.8
	1	2	6	1	6	6
Resistencia (Mpa)	37.64	37.11	44.15	44.95	47.08	46.72

Figura 7 Falla del cilindro 10-5 (28 días).



Nota. Imagen Cilindro 15x15. Tomado por German Torres, 2021.

Figura 8 Resultados de la máquina del cilindro 10-5.

Nota. Imagen Datos de resistencia. Tomado por German Torres, 2021.

6.4.5 Cuarta dosificación (20 kg/m^3)

Tabla 28 Dosificación de concreto de 20 kg/m^3 (Cilindros).

Muestra	20-1	20-2	20-3	20-4	20-5	20-6
Días de curación	7	7	14	14	28	28
Diámetro promedio (mm)	150.60	151.00	152.00	151.30	151.00	150.00
Altura promedio (mm)	301.00	302.00	303.00	303.00	301.00	302.00
Masa (kg)	13.04	12.41	12.79	12.86	12.37	12.29
Carga máxima (kN)	780.80	795.60	890.00	911.20	1001.20	1015.34
Tipo de falla	I	I	V	V	VI	V
Área promedio (mm^2)	17813.1	17907.8	18145.8	17979.0	17907.8	17671.4
	1	6	4	9	6	6
Resistencia (MPa)	43.83	44.43	49.05	50.68	55.91	57.46

6.4.6 Quinta dosificación (25 kg/m³)

Tabla 29 Dosificación de concreto de 25 kg/m³ (Cilindros).

Muestra	25-1	25-2	25-3	25-4	25-5	25-6
Días de curación	7	7	14	14	28	28
Diámetro promedio (mm)	150.50	152.00	151.00	150.00	152.30	152.00
Altura promedio (mm)	301.00	300.00	301.00	303.00	301.00	302.00
Masa (kg)	13.22	13.08	12.72	12.42	13.14	12.78
Carga máxima (kN)	820.30	822.69	904.87	908.86	1182.63	1281.60
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Área promedio (mm ²)	17789.4	18145.8	17907.8	17671.4	18217.5	18145.8
	6	4	6	6	4	4
Resistencia (MPa)	46.11	45.34	50.53	51.43	64.92	72.52

Figura 9 Falla del cilindro 25-6 (28 días).



Nota. Imagen Cilindro 15x15. Tomado por German Torres, 2021.

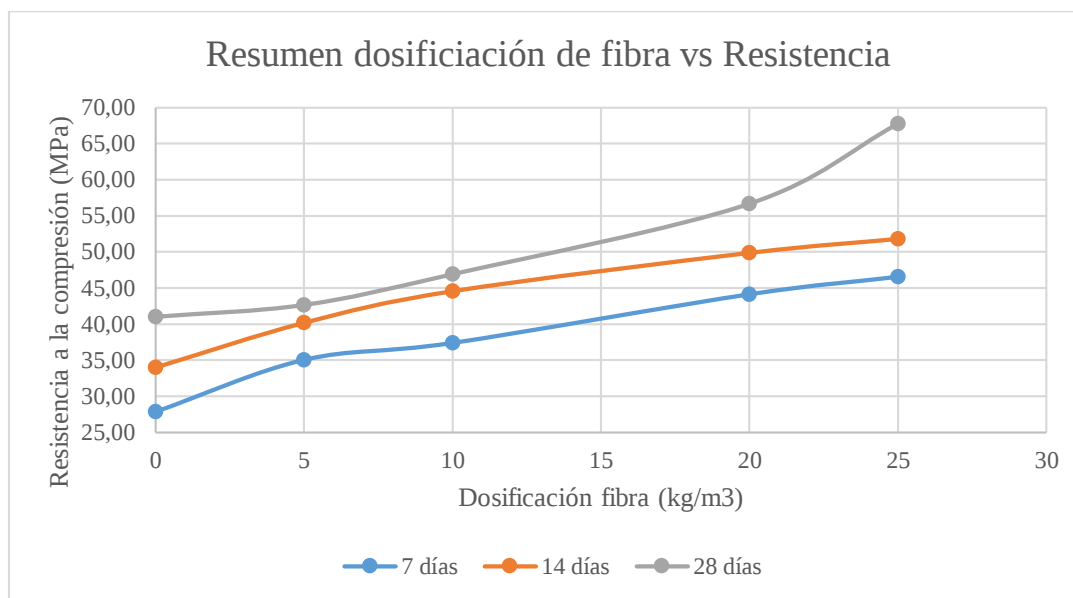
Figura 10 Datos arrojados por la máquina de compresión del cilindro 25-6.

Nota. Imagen Datos de resistencia. Tomado por German Torres, 2021.

Resumen

Tabla 30 Resumen de las dosificaciones a los 7, 14 y 28 días (Cilindros).

Dosificación Kg/m ³	Resistencia a la compresión (Mpa)		
	7 días	14 días	28 días
0	27.83	33.98	41.00
5	35.03	40.16	42.64
10	37.38	44.55	46.90
20	44.13	49.86	56.68
25	46.56	51.80	67.77

Figura 11 Resistencia del concreto con las diferentes dosificaciones a lo largo de 28 días.

Se puede notar un aumento considerable de la resistencia al pasar los tiempos siendo en la última dosificación un incremento del casi el doble a la resistencia a la compresión. Cabe aclarar que el concreto es muy bueno en este tipo de escenarios.

6.5. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión

6.5.1 Sin dosificación de dramix 3D (0 kg/m³)

Tabla 31 Primera dosificación (Viguetas).

Muestra	0-1V	0-2V	0-3V	0-4V	0-5V	0-6V
Días de curación	7	7	14	14	28	28
Longitud (mm)	530.00	530.00	530.00	530.00	530.00	530.00
Ancho (mm)	152.00	153.00	152.00	153.00	153.00	150.00
Altura (mm)	151.00	150.00	151.00	152.00	151.00	151.00
Longitud de apoyo (mm)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
Carga máxima (N)	7450.60	7356.10	9064.80	9099.70	9824.00	10101.00
Masa (kg)	27.05	27.30	27.09	27.15	27.30	27.16
Resistencia tracción por flex. (Mpa)	2.22	2.21	2.83	2.85	3.08	3.21

Figura 12 Preparación del espécimen.

Nota. Imagen Viga 45x15x15. Tomado por German Torres, 2021.

6.5.2 Dosificación de dramix 3D (5 kg/m³)

Tabla 32 Segunda dosificación (Viguetas).

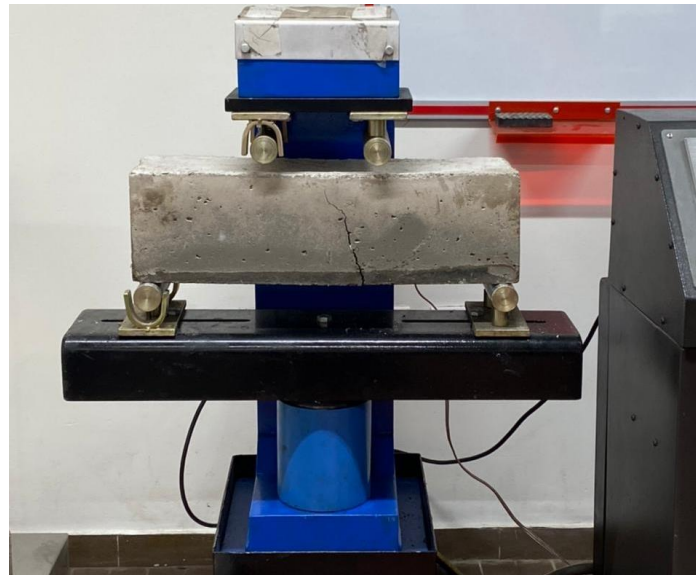
Muestra	5-1V	5-2V	5-3V	5-4V	5-5V	5-6V
Días de curación	7	7	14	14	28	28
Longitud (mm)	530.00	530.00	530.00	530.00	530.00	530.00
Ancho (mm)	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	153.00
Altura (mm)	151.00	152.00	152.00	151.00	151.00	152.00
Longitud de apoyo (mm)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
Carga máxima (N)	9250.00	9656.30	13700.00	13790.89	16420.00	16522.00
Masa (kg)	27.09	27.15	27.31	27.19	27.22	27.06
Resistencia tracción por flex. (Mpa)	2.92	3.04	4.41	4.42	5.35	5.36

6.5.3 Dosificación de dramix 3D (10 kg/m³)

Tabla 33 Tercera dosificación (Viguetas).

Muestra	10-1V	10-2V	10-3V	10-4V	10-5V	10-6V
Días de curación	7	7	14	14	28	28
Longitud (mm)	530.00	530.00	530.00	530.00	530.00	530.00
Ancho (mm)	151.00	150.00	152.00	153.00	151.00	150.00
Altura (mm)	152.00	153.00	152.00	151.00	152.00	153.00
Longitud de apoyo (mm)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
Carga máxima (N)	12902.00	14100.00	15600.00	15097.00	16996.00	16453.00
Masa (kg)	30.03	30.17	30.39	30.06	30.09	30.70
Resistencia tracción por flex. (Mpa)	3.93	4.52	4.82	4.78	5.43	5.39

Figura 13 Falla de vigueta con dosificación de 10 kg/m³, 10-4V.



Nota. Imagen Viga 45x15x15. Tomado por German Torres, 2021.

6.5.4 Dosificación de dramix 3D (20 kg/m³)

Tabla 34 Cuarta dosificación (Viguetas).

Muestra	20-1V	20-2V	20-3V	20-4V	20-5V	20-6V
Días de curación	7	7	14	14	28	28
Longitud (mm)	530.00	530.00	530.00	530.00	530.00	530.00
Ancho (mm)	151.00	152.00	153.00	153.00	153.00	151.00
Altura (mm)	153.00	153.00	153.00	152.00	151.00	150.00
Longitud de apoyo (mm)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
Carga máxima (N)	14700.00	14953.00	15920.00	16220.00	17120.00	17720.00
Masa (kg)	28.95	29.73	30.00	29.94	30.18	30.30
Resistencia tracción por flex. (MPa)	4.61	4.72	5.07	5.11	5.36	5.64

6.5.5 Dosificación de dramix 3D (25 kg/m³)

Tabla 35 Quinta dosificación (Viguetas).

Muestra	25-1V	25-2V	25-3V	25-4V	25-5V	25-6V
Días de curación	7	7	14	14	28	28
Longitud (mm)	530.00	530.00	530.00	530.00	530.00	530.00
Ancho (mm)	150.00	152.00	152.00	152.00	152.00	150.00
Altura (mm)	153.00	152.00	153.00	151.00	153.00	152.00
Longitud de apoyo (mm)	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00	440.00
Carga máxima (N)	16250.00	16900.00	18902.00	19010.00	2101.00	21370.00
Masa (kg)	30.10	29.93	30.20	29.94	29.86	30.05
Resistencia tracción por flex. (MPa)	5.13	5.41	5.91	5.95	6.88	6.91

Resumen del ensayo de flexión de viguetas

Tabla 36 Resumen de las dosificaciones de Dramix 3D a los 7, 14 y 28 días (Viguetas).

Dosificación de acero DRAMIX 3D Kg/m ³	Resistencia a la tracción por flexión (MPa)		
	7 días	14 días	28 días
0	2.22	2.84	3.15
5	2.98	4.42	5.36
10	4.23	4.80	5.41
20	4.67	5.09	5.50
25	5.27	5.93	6.90

6.6. Resultados visuales

En los ensayos de falla de las vigas se pudo observar que el material sin la fibra de acero Dramix 3D, presenta fisuras bastante grandes a comparación de cuando se aplica una dosificación de 20 y 25 kg/m³. Por otro lado, en las viguetas con mayor dosificación de acero y tiempo de curado, es notable un incremento considerable de la resistencia a la tracción, esto puede ser interesante en campos de concreto reforzado.

- **Dosificación de 20 y 25 kg/m³**

Figura 14 Viga de concreto con dosificación de 20 kg/m³, 20-5V.



Nota. Imagen Viga 45x15x15. Tomado por German Torres, 2021.

Figura 15 Viga de concreto con dosificación de 25 kg/m³, 25-6V.

Nota. Imagen Viga 45x15x15. Tomado por German Torres, 2021.

Como se puede observar hay una reducción considerable a las fisuras y mejora considerablemente comparado con la Figura 14.

6.7. Diseño por el método PCA

El siguiente ejercicio está basado en un caso de la vida real, con sus respectivas modificaciones (para su uso académico) se mostrará la influencia de las pruebas de forma teórica. Para empezar, se procede a calcular el CBR de diseño por el método INA:

Tabla 37 Datos iniciales método INA.

TRAMO 1		
CBR	Frecuencia	%
2.24	5	100.0%
1.49	4	80.0%
0.9	3	60.0%
0.84	2	40.0%
0.75	1	20.0%

Obteniendo los datos de CBR, se procede a graficar para obtener el CBR de diseño.

Figura 16 CBR de diseño método INA.

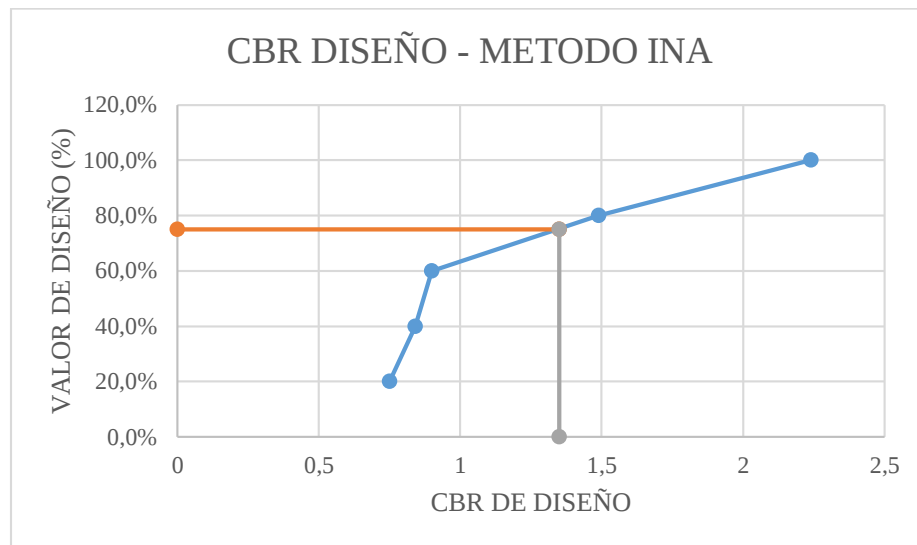


Tabla 38 Interpolación para la obtención del CBR de diseño.

TRAMO 1			
AFINADOR 1		AFINADOR 2	
x	y	x	y
0	0.75	1.35	0.75
1.35	0.75	1.35	0

Realizando la interpolación se puede obtener el CBR de diseño y así mismo se define que este es de 1,35%. Por lo que este debe ser mejorado al 5,0% como lo exige la norma.

Tabla 39 Datos iniciales Mejoramiento de CBR método IVANOV.

DATOS	
CBR Inferior	1.35
CBR Superior	10
ESR	135
Erajón	673
Hrajón (cms)	54
α	15
n	1.90
E_{eq}	504.90

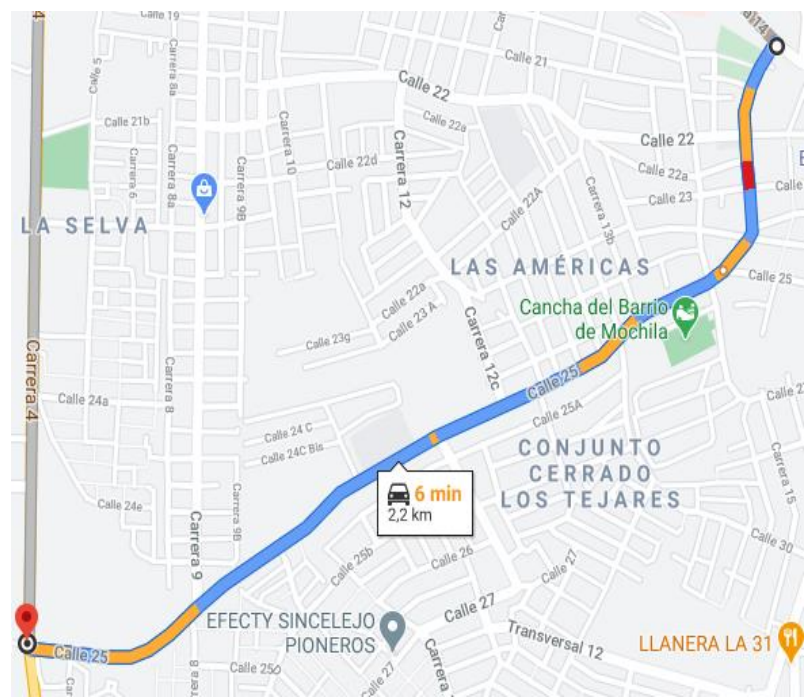
En este caso se escoge el espesor hasta llegar al 5,0%, que para el ejercicio es de 5,05%. Dejando la siguiente estructura del pavimento.

Figura 17 Esquema del pavimento.

h_{CA}	CARPETA ASFÁLTICA	
h_{BG}	BASE GRANULAR (BG)	
h_{SBG}	SUB-BASE GRANULAR (SBG)	CBR_{Req} 5.05
h_{SRM}	MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE	CBR_{Min} 10
	SUBRASANTE (SR)	CBR 1.35

Es importante resaltar que antes de esto se considera el tráfico de la zona, la cual está ubicada en el municipio de Sincelejo.

Figura 18 Ubicación del proyecto.



Nota. Adoptado de: google maps

El tránsito de la zona es el siguiente:

Tabla 40 TPDS de la zona de estudio.

TPDS	3780
FSC	1.1
CBR	5.05
KSR (Mpa/m)	39.47

Tabla 41 Distribución del tránsito.

Buseta	167	4.42%
C2P	48	1.27%
C2G	46	1.22%
C3	26	0.69%
C3-S2	6	0.16%
Total		7.75%

Tabla 42 Cálculo de los ejes.

1	2
EJE	#EJES/DIA
SIMPLE	
50	48
60	245
TANDEM	
110	261
220	38

Obtenido esto, por norma se pueden establecer que los espesores mínimos para la base y losa de concreto son de 15 y 18 centímetros.

Como resultado final con ayuda del programa BS-PCAA se diseña el pavimento rígido, obteniendo lo siguiente:

Figura 19 Diseño PCA.

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción:

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Resistencia K del Apoyo: 47.32 Mpa/m K Combinado

Espesor Losa [h1]: 18 cm

Longitud Losa [L]: 4.5 m

Ancho Losa [W]: 3.6 m

Módulo de Elasticidad [E1]: 28000 Mpa

Densidad [s1]: 2.4 Tn/m3

Relación de Poisson [u1]: 0.15

Módulo de Rotura [Sc]: 4.5 Mpa

Capas: Una Capa

Coefficiente de Variación [CV] (%): 15

Ancho de Berma [D0]: 0 m

Factor de Trabazón de Agregados [AGG]: 0 Mpa

☒ Con Pasadores

% Camiones al Borde: 0

Datos Ambientales

Diferencial Temperaturas [dT]: 10 oF

Coefficiente Térmico [alfa]: 5.500E-06 1/oF

% Tránsito para Alabeo: 0

Consumo Erosión (%): 0.054

Consumo Esfuerzo (%): 5.2784

Espectro de Cargas

Guardar Abrir

Imprimir

Salir

Nota. Datos de Diseño pavimento elaborado por software BS-PCAA

El diseño cumple satisfactoriamente en un caso similar las dos capas de base y losa se verían más grandes, ya que el concreto por si solo necesitaría un mayor espesor para soportar las cargas del tránsito.

7. Resultados e impacto

Tabla 43 Resultados.

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Mejora significativa de la losa de concreto de pavimento rígido, al disminuir el espesor de esta.	Diseño por el método PCA	Objetivo específico 1
Aumento significativo de la resistencia del concreto.	Gráficas de comparación de los especímenes con diferentes dosificaciones de acero Dramix 3D con un tiempo de fraguado de 28 días.	Objetivo específico 2
Reducción significativa de las fisuras al usar fibras de acero Dramix 3D	Resultados visuales de las fallas de las viguetas.	Objetivo específico 3

Tabla 44 Impactos.

Aspecto	Impacto	Plazo
Social	El uso de fibras de acero dramix 3D en pavimentos rígidos puede llegar a reducir considerablemente el espesor de la capa de losa de concreto, favoreciendo a un menor consumo de este y asimismo a reducir los escombros.	Largo
Económico	La reducción de la cantidad de concreto puede reducir los costos de las obras generando más beneficios tanto estructurales como económicos.	Largo
Académico	En términos de estudio esto puede ser usado como ejemplo de comparación con otras obras, para dar una perspectiva de los costos ante decisiones inteligentes.	Mediano
Técnico o científico	Ampliación del conocimiento de la importancia del uso de las fibras de acero Dramix.	Corto

Conclusiones

El uso de acero dramix 3D en la mezcla de concreto, esto se puede ver a medida que se va aumentando la cantidad de fibras en el concreto. Un ejemplo claro es en la reducción considerable de las fisuras al fallarlas, además en que teóricamente se puede reducir el espesor de la losa de concreto al diseñar un pavimento rígido. También es importante que, al usar esta fibra en exceso, es posible que el concreto tenga fallas de tipo III.

Se puede observar que al usar una dosificación de 25 kg/m³, el concreto alcanza casi el triple de resistencia máxima a la tracción por flexión a comparación del concreto sin esta dosificación; y una mejora notable en las fisuras generadas por la aplicación de la fuerza.

Posiblemente alcance esta resistencia por inconsistencias al momento del curado del concreto ya que estas se fallaron de uno a dos días después de los 28 días. Por cuestiones de disponibilidad del autor.

Se puede evidenciar que, dado que los cilindros y vigas fueron hecho en diferentes días, un cambio mínimo en el proceso de realización de estas puede llegar a afectar los resultados finales, sin embargo, con el debido cuidado puede evitarse algunos inconvenientes.

El acero Dramix jugó un papel importante en estos ensayos, sin embargo, aquí en Colombia, aunque representa una cantidad de dinero considerable, mejora considerablemente las capacidades del concreto en cuestión de problemas aplicados a los pavimentos rígidos, sobre todo en los incrementos a la resistencia a la tracción y compresión. Cabe resaltar que en un futuro se haga una equivalencia entre pavimentos rígidos con y sin acero dramix en relación a los costos.

Recomendaciones

Se recomienda que, al utilizar las fibras de acero en el concreto, estas no queden expuestas, ya que pueden oxidarse con facilidad y reducir considerablemente las capacidades de estas, por lo que al realizar las viguetas y cilindros hay que tener un cuidado especial.

Aunque las fibras de acero presentan un gran beneficio, también es necesario tener un especial cuidado con estas debido a su tendencia a oxidarse al estar expuestas a condiciones de aire libre.

Para investigaciones futuras se recomienda realizar una comparación de los diferentes diseños de PCA con diferentes dosificaciones, además de probar aumentando la dosificación de esta hasta un máximo de 35 kg/m³, con el único fin de aumentar el conocimiento sobre el uso de este material en pavimentos rígidos.

Referencias bibliográficas

- Carrillo, J., González, G., & Aperador, W. (2013). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(3), 435-450. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S140577431372256X>
- Carrillo, J., Silva, D., & Sánchez, M. (2016). Desempeño de losas de concreto sobre terreno reforzadas con malla electrosoldada o fibras de acero. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 17(4), 499-510. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S140577431630035X>
- Lateef Assi, K. C. (2018). Sustainable concrete: Building a greener future. *Journal of Cleaner Production*, 32. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618321085>
- Singh, K. C. (2018). A study on environmental and economic impacts of using waste marble powder in concrete. *Journal of building engineering*, 13(1), 87-95. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710217301031>
- Tung T.Tran, T. M. (2019). Experimental and analytical investigation on flexural behaviour of ambient cured geopolymer concrete beams reinforced with steel fibers. *Engineering Structures*, 200, 18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029619309824>
- Wasim Abbass, M. I. (2018). Evaluation of mechanical properties of steel fiber reinforced concrete with different strengths of concrete. *Construction and building materials*, 168, 556-569. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818304136>