

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONCRETOS
ELABORADOS A PARTIR DE LAS ARENAS PROVENIENTES DEL RIO
GUATIQUEA UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN EN LA CIUDAD
VILLAVICENCIO – META**



Por:
Jose Holmer Martinez Avila



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONCRETOS
ELABORADOS A PARTIR DE LAS ARENAS PROVENIENTES DEL RIO
GUATIQUEA UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN EN LA CIUDAD
VILLAVICENCIO – META**



Por:
Jose Holmer Martinez Avila

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

Aprobado por:
Ing. Emiro Andrés Lozano Pérez, IC, Esp.
Director

Ing. Geovanny González Maldonado, IC, Msc.
Director externo

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pavón
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

Manuel Eduardo Herrera Pavón
Decano Facultad Ingeniería Civil

Emiro Andrés Lozano Pérez
Director Trabajo de Grado

Bregy Hassler Choque Jiménez
Jurado

Villavicencio, 02 de septiembre de 2020

DEDICATORIA

Esta investigación es dedicada principalmente a mis padres, ya que es una satisfacción para mí, alcanzar un deseo mutuo, el cual ha sido tener un profesional en nuestro núcleo familia. De no ser por su apoyo emocional, económico, paciencia y confianza conmigo, no hubiera culminado mi investigación.

A mis hermanos, porque es un honor para mí, mostrarles que, con dedicación, disciplina, amor y perseverancia, cualquier meta que uno se proponga, esta puede ser cumplida. También esta investigación quiero dedicarla a mi tía Marianela, ya que ha sido muy importante a lo largo de mi carrera, un ejemplo a seguir y una mujer de gran admiración.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, le doy la gloria y la honra a Dios, por cumplirse la voluntad de Él y permitir que culminara esta investigación.

Mis más sinceros agradecimientos al ingeniero Geovanny González Maldonado, por brindarme su guía académica, corregir mis errores y estar dispuesto a cualquier inquietud a pesar de las circunstancias vividas, porque más que un director, ha sido un amigo.

También quisiera reconocer a la Universidad Santo Tomas y todos aquellos docentes que intervinieron en mi formación intelectual, ya que doy fe de la calidad y excelencia académica que brinda esta institución, porque ha sido y será siempre un segundo hogar.

RESUMEN

Una de las principales fuentes hídricas que rodean la ciudad de Villavicencio es el río Guatiquía, el cual es una gran fuente de explotación de materiales pétreos que pueden ser utilizados como materiales para la construcción, tales como el triturado para base, sub base, agregado grueso y fino. Esta investigación tomó como objeto de estudio el agregado fino (arena), para el diseño y fabricación de un concreto estructural, teniendo como propósito, estudiar su comportamiento mecánico para así, verificar cuál es su uso más adecuado.

Para dar veracidad a la investigación, esta se realizó bajo los parámetros mínimos exigidos por [1]. Una vez obtenido el material fino, se realizó una caracterización físico-química del agregado, obteniendo 2 ensayos que no cumplieron con el valor mínimo aceptable.

El diseño de mezcla de concreto propuesto fue de una resistencia de 21 Mpa, posteriormente, se aplicaron los ensayos que determinarían las propiedades mecánicas del concreto, tales como la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad, sin embargo, el uso del agregado fino del río Guatiquía sirve para un uso en concretos no estructurales tales como concreto de limpieza, para sardineles, andenes, cerámicos, entre otros. Además, se encontró que es muy aplicable como mortero de pega de relleno en mampostería según los criterios de [2].

Palabras Clave: Agregado fino, concreto estructural, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, granulometría.

ABSTRACT

One of the main water sources surrounding the city of Villavicencio is the Guatiquía River, which is a great source of exploitation of stone materials that can be used as construction materials, such as crushed for base, sub base, thick and fine aggregate. This investigation took as object of study the fine aggregate (sand), for the design and manufacture of a structural concrete, having like purpose, to study its mechanical behavior thus, to verify which is its more suitable use.

To give veracity to the investigation, it was made under the minimum parameters demanded by [1]. Once the fine material was obtained, a physical-chemical characterization of the aggregate was made, obtaining two tests that did not comply with the minimum acceptable value.

The proposed concrete mixture design was of a resistance of 21 Mpa, later, the tests that would determine the mechanical properties of the concrete were applied, such as the resistance to the compression, resistance to the flexion and the elasticity module, nevertheless, the use of the fine aggregate of the Guatiquía River serves for a use in non-structural concrete such as screed concrete, for sardinels, platforms, ceramics, among others. In addition, it was found to be highly applicable as a masonry filler mortar according to the criteria of [2].

Key Word: *Fine aggregate, structural concrete, resistance to compression, modulus of elasticity, granulometry.*

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
3.	JUSTIFICACIÓN.....	16
4.	OBJETIVOS.....	17
4.1.	OBJETIVO GENERAL	17
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
5.	ALCANCE.....	18
6.	MARCO DE REFERENCIA	19
6.1.	MARCO TEÓRICO	19
6.1.1	Granulometría	19
6.1.2	Requisitos del agregado fino	19
6.2.	MARCO CONCEPTUAL	21
6.2.1	Material pétreo	21
6.2.2	Agregado fino	21
6.2.3	Propiedades de los agregados pétreos.....	21
6.2.4	Resistencia a compresión	21
6.2.5	Módulo de elasticidad del concreto	22
6.2.6	Resistencia por flexión	22
6.2.7	Equivalente de arena	22
6.3.	ESTADO DEL ARTE.....	23
6.4.	MARCO NORMATIVO	24
6.5.	MARCO GEOGRÁFICO	25
6.5.1	Departamento del Meta.....	25
6.5.2	Río Guatiquía	26
7.	EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA	27
8.	METODOLOGÍA	28
8.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	28
8.2.	POBLACIÓN, MUESTRAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	29
8.2.1	Población	29
8.2.2	Muestras	31
8.2.3	Instrumentos	31
9.	ETAPA 1 (RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN)	32
10.	ETAPA 2 (PRUEBAS DE LABORATORIO).....	35
10.1.	CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO	35
10.1.1	Granulometría.....	35
10.1.2	Pérdidas con solución de sulfato de sodio	37
10.1.3	Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados	37
10.1.4	Determinación del equivalente de arena.....	38
10.1.5	Contenido de materia orgánica – colorimetría	39
10.2.	DISEÑO DE MEZCLA.....	40
10.2.1	DOSIFICACIÓN FINAL	42
10.3.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	45

10.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	51
11. ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
11.1. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL AGREGADO FINO	54
11.1.1 Granulometría de las Arenas provenientes de Río Guatiquía	54
11.1.2 Pérdidas con solución de sulfato de sodio	54
11.1.3 Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados	55
11.1.4 Determinación del equivalente de arena	55
11.1.5 Contenido de materia orgánica – colorimetría	55
11.2. DISEÑO DE MEZCLA	56
11.2.1 Dosificación final	57
11.3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	58
11.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	61
11.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD EL CONCRETO	65
12. RESULTADOS E IMPACTOS	66
13. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	68
13.1. CONCLUSIONES	68
13.2. TRABAJOS FUTUROS	69
14. BIBLIOGRAFIA	71
ANEXOS	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Granulometría del agregado fino para concreto estructural	19
Tabla 2. Requisitos del agregado fino para concreto estructural.....	20
Tabla 3. Equipo de investigación y trayectoria.	27
Tabla 4. Población 1.....	30
Tabla 5. Población 2.....	30
Tabla 6 .Títulos mineros del río Guatiquía.....	33
Tabla 7. Granulometría del agregado fino	36
Tabla 8. Pérdidas con solución de sulfato de sodio	37
Tabla 9. Terrones de arcilla y partículas deleznable	38
Tabla 10. Determinación del equivalente de arena	39
Tabla 11. Contenido de material orgánico.....	39
Tabla 12. Datos iniciales	40
Tabla 13. Asentamiento de la mezcla	40
Tabla 14. Selección del tamaño del agregado	41
Tabla 15. Contenido de aire	41
Tabla 16. Agua de mezclado.....	41
Tabla 17. Resistencia de diseño de la mezcla f'_{cr}	42
Tabla 18. Resistencia para el diseño.	42
Tabla 19. Relación A/C	42
Tabla 20. Cemento.....	42
Tabla 21. Dosificación final (20% Ag fino-80% Ag grueso).	43
Tabla 22. Dosificación final (50% Ag fino-50% Ag grueso).	43
Tabla 23. Dosificación final (80% Ag fino-20% Ag grueso).	44
Tabla 24. Resistencia a la compresión de los cilindros en Mpa.	50
Tabla 25. Resistencia a la flexión de las viguetas.	53
Tabla 26. Resultados obtenidos ensayos de caracterización física del agregado fino del río Guatiquía.....	56
Tabla 27. Dosificaciones para 1 m ³ de concreto (A/C = 0.53).....	58
Tabla 28. Correlación del MR y f'_c	64
Tabla 29. Módulos de elasticidad del concreto determinados por experimentación nacional.....	65
Tabla 30. Resultados esperados.....	66
Tabla 31. Impactos.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Departamento del Meta. [16].....	25
Figura 2. Cause del río Guatiquía. [17].....	26
Figura 3. Metodología empleada en la investigación. (Elaboración propia)	28
Figura 4. Moldes utilizados en el desarrollo de la investigación. (Elaboración propia)	31
Figura 5. Cilindro Diseño de Mezcla 1. (Elaboración propia).....	43
Figura 6. Cilindros Diseño de Mezcla 2. (Elaboración propia).....	44
Figura 7. Cilindro Diseño de Mezcla 3. (Elaboración propia).....	44
Figura 8. Pesaje Cilindro Diseño de Mezcla 1. (Elaboración propia).....	45
Figura 9. Cilindro Diseño Mezcla 1 sometido a falla. (Elaboración propia)	46
Figura 10. Cilindro Diseño Mezcla 2 sometido a falla. (Elaboración propia)	46
Figura 11. Cilindro Diseño de Mezcla 3 sometido a falla. (Elaboración propia).....	47
Figura 12. Tipos de falla a la compresión. [1].....	47
Figura 13. Falla tipo 2 para cilindro del Diseño de Mezcla 1. (Elaboración propia).....	48
Figura 14. Falla tipo 5 para cilindro del Diseño de Mezcla 2. (Elaboración propia).....	48
Figura 15. Falla tipo 4 para cilindro del Diseño de Mezcla 3. (Elaboración propia).....	49
Figura 16. Vigueta del Diseño de Mezcla 3 sometida a flexión. (Elaboración propia)	51
Figura 17. Falla de Vigueta del Diseño de Mezcla 1. (Elaboración propia)	52
Figura 18. Falla de Vigueta del Diseño de Mezcla 2. (Elaboración propia)	52
Figura 19. Falla de Vigueta del Diseño de Mezcla 3. (Elaboración propia)	52

LISTA DE GRAFICOS

Grafico1. Comportamiento curva granulométrica. (Elaboración propia)	36
Grafico 2. Resistencia a la compresión 7 días. (Elaboración propia)	59
Grafico 3. Resistencia a la compresión 14 días. (Elaboración propia)	59
Grafico 4. Resistencia a la compresión 28 días. (Elaboración propia)	60
Grafico 5 Curvas de $f'c$ vs Tiempo a los 28 días. (Elaboración propia).....	61
Grafico 6. Resistencia a la flexión 7 días. (Elaboración propia)	62
Grafico 7. Resistencia a la flexión 28 días. (Elaboración propia)	63
Grafico 8. Curvas de Resistencia a la flexión 28 días. (Elaboración propia	64

1. INTRODUCCIÓN

Los agregados pétreos son materiales granulares utilizados para la elaboración de concretos en las edificaciones de obra civil, debido a sus propiedades físicas, mecánicas y mineralógicas. Los agregados finos, son parte fundamental en la mezcla de concreto utilizado para los elementos estructurales de una edificación. Por esta razón, es importante, realizar una caracterización física de las arenas extraídas del río Guatiquía. Como objeto de investigación, se utilizará específicamente los agregados finos para este proyecto y así definir si cumplen con los requisitos exigidos por el Instituto Nacional de Vías.

Se realizará un análisis de las patologías presentadas en concretos diseñados con arenas del río Guatiquía, con el fin de evaluar si están asociadas a dicho material.

Para lograr las mejores propiedades mecánicas, el concreto debe contar con un esqueleto pétreo inalterado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los espacios que éste deje [3], por ende, a través de la caracterización física a los agregados finos y ensayos mecánicos al concreto obtenido, se pretende determinar, si estructuralmente es posible incursionar en la utilización de la arena del río Guatiquía para la construcción en la ciudad de Villavicencio.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué propiedades mecánicas presenta el concreto a base de agregados finos provenientes del río Guatiquía utilizado para la construcción en la ciudad de Villavicencio-Meta?

El comportamiento de los materiales de la construcción está en constante estudio, dado que la tecnología del concreto propone nuevos métodos y nuevas variables. Además, las demandas de estos para ser aplicados en distintas actividades de la ingeniería civil abre una gama de posibilidades para probar su uso de acuerdo a; rentabilidad económica, resistencia, apariencia, durabilidad, entre otros. Según lo dicho por [4], los avances tecnológicos permiten que se investigue en diseños de mezcla, agregados, tipos de cemento, adición de nuevos materiales. Esta investigación se centra en el estudio de las propiedades mecánicas de los concretos elaborados con arenas del río Guatiquía, dado que no existe antecedente de estudios anteriores, no aborda un estudio minucioso puesto que esto implicaría contemplar muchas variables a evaluar, dado el alcance y recursos disponibles, se busca verificar cuál es su uso más adecuado a partir de ensayos destructivos de resistencia a la compresión y tensión.

El desarrollo urbanístico en los últimos 10 años en la ciudad de Villavicencio tiene una tendencia de crecimiento exponencial, en especial con el desarrollo de soluciones de viviendas para distintos niveles socioeconómicos. De acuerdo a las proyecciones de la cámara de la infraestructura en el año 2000 se contaba con 500 proyectos, a 2018 se cuentan con 4000 proyectos de vivienda [5], esto sin tener un estimativo de la construcción de vivienda informal. En consecuencia, es necesario hacer seguimiento a la calidad de las obras que se están construyendo.

Por otra parte, se ha llevado a cabo un uso exagerado del recurso proveniente del río Guayuriba para dar respuesta a la demanda creada. Así que, se estudiara el material extraído del río Guatiquía (Villavicencio-Meta) con el fin de emitir un concepto con soporte técnico notificando si es conveniente o no, utilizar el material del río Guatiquía, para la elaboración de concretos utilizados para las viviendas de la Ciudad de Villavicencio.

3. JUSTIFICACIÓN

En Villavicencio el sector de la construcción ha tenido un auge significativo durante los últimos 10 años, generando una expansión a gran escala. Esto enmarca el sector privado, construcciones de interés social que tan solo en 1 año y 5 meses, entre el 2016 y 2017 se entregaron 4.250 viviendas según la alcaldía de Villavicencio [6] y el sector de la construcción ilegal, con un total de 600 edificaciones para el 2017, enunciado por la alcaldía de Villavicencio [7].

Estos proyectos acuden a dar soluciones de viviendas para distintos estratos socioeconómicos. Sin embargo, una cantidad importante de dichos proyectos han presentados problemas en sus estructuras, asociados a la composición del material pétreo en el diseño de mezcla de los concretos y actualmente no se ha planteado ningún estudio que aborde dicha problemática.

Hay distintas maneras de obtener los agregados finos para la implementación en los concretos, esto depende de su providencia y entorno. Pueden ser naturales de canteras o producto del arrastre de fuentes hídricas y agregados artificiales obtenidos a partir de productos y procesos industriales.

Para lo cual, desde el punto de vista económico y social, es de gran importancia considerar la calidad de los materiales con los cuales se construyen soluciones ingenieriles en la Ciudad de Villavicencio. Este proyecto es propuesto con el fin de caracterizar el agregado fino del río Guatiquía y verificar cuál es su comportamiento en relación a la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto elaborado con dicho material.

Sin duda, los agregados que conservan la composición mineralógica de la roca que les dio origen, por lo general son inertes, según lo dicho por [8], eso hace que no reaccionen químicamente con los demás constituyentes de la mezcla de concreto, por lo cual se establece considerar los aportes que pueden llegar a mejorar la resistencia a través de la caracterización física del agregado fino. Para el caso del concreto estructural, la resistencia está estrechamente relacionada con la estructura de los granos de la partícula, o con el proceso de trituración y explotación; algunos procedimientos inadecuados inducen previamente fallas en las partículas.

A través de esta investigación, el desarrollo de ensayos y análisis de estos, se pretende dar un dictamen para establecer cuál sería el mejor desempeño de la resistencia del concreto con en el uso de la arena del río Guatiquía.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y a la tensión de los concretos elaborados a partir de las arenas provenientes del río Guatiquía.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una base de datos de las concesiones encargadas ante la explotación de arena y material pétreo del río Guatiquía para establecer los tipos de agregados finos.
- Establecer una caracterización física de las arenas provenientes del río Guatiquía para con el fin de identificar los componentes que puedan afectar estas desde un punto de vista patológico.
- Elaborar los ensayos para la medición de parámetros mecánicos (ensayo de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistencia por flexión) del concreto producidos con arenas del río Guatiquía utilizados en construcciones urbanísticas en la ciudad de Villavicencio.
- Asignar las respectivas recomendaciones para una utilización óptima y pertinente de los materiales finos del río Guatiquía.

5. ALCANCE

Para esta investigación se realizó una serie de ensayos de mínima aceptación, hacia los materiales finos empleados en el cemento portland, utilizados para la construcción de estructuras en general, estipulados en [1].

Para la extracción de los agregados, se solicitó a Cormacarena los títulos de explotación minera vigentes del río Guatiquía, encontrando así, las minas encargadas de suministrar el material. Una vez obtenido el agregado fino, se realizó una caracterización física con la normativa mencionada en el apartado anterior.

En el diseño de mezcla se varió el porcentaje de material fino, alterando la proporción de agregados en un 80% Ag grueso - 20% Ag fino, 50% Ag grueso - 50% Ag fino y 20% Ag grueso - 80% Ag fino.

Se fabricó una serie de cilindros de prueba, en tiempos de curado de 7, 14 y 28 días. Estos fueron sometidos a pruebas de carácter mecánico, tales como la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y se determinó el módulo de elasticidad de acuerdo a los parámetros establecidos por [9], con el objetivo de evaluar la incidencia que tiene el agregado fino disponible de esta fuente hídrica (río Guatiquía), sobre la resistencia máxima que alcanza un concreto en relación a sus agregados.

A través de esta investigación, el desarrollo de ensayos y análisis de estos, se dio un dictamen que establece cuál es el mejor desempeño de la resistencia del concreto con en el uso de la arena del río Guatiquía

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

Este documento determinó características mecánicas del concreto, utilizando los agregados pétreos del río Guatiquía. Para llevar a cabo esta investigación se aplicó los siguientes procedimientos:

6.1.1 Granulometría

El agregado fino se consideró como tal, a la fracción que pase el tamiz de 4.75 mm (No.4) proviene de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otro producto que resulte adecuado. El material debe cumplir y ajustarse con la gradación estipulada en la tabla 1 estipulada en [1].

Tabla 1. Granulometría del agregado fino para concreto estructural

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	No. 4	95 - 100
2.36 mm	No. 8	80 - 100
1.18 mm	No. 16	50 - 85
600 µm	No. 30	25 - 60
300 µm	No. 50	10 - 30
150 µm	No. 100	2 - 10

Nota: Se presenta el porcentaje que pasa de agregado fino. [1]

En ningún caso, el agregado fino puede tener más de cuarenta y cinco por ciento (45%) de material retenido entre dos tamices consecutivos.

6.1.2 Requisitos del agregado fino

Una vez evaluada la granulometría, el agregado fino debe cumplir con los requisitos que se indican en la tabla 2, tales como ensayos de durabilidad, limpieza, contenido de materia orgánica, características químicas, y porcentaje de absorción, notándose en la columna 4 el valor máximo aceptado por ensayo para el concreto estructural, estipulados por [1].

Tabla 2. Requisitos del agregado fino para concreto estructural

ENSAYO		NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Durabilidad			
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo	Sulfato de sodio	E-220	10
	Sulfato de magnesio	E-220	15
Limpieza			
Limite líquido, % máximo		E-125	-
Índice de plasticidad		E-126	No plástico
Equivalente de arena, % máximo		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 mm (No.200), % máximo		E-214	5
Contenido de materia orgánica			
Color más oscuro permisible		E-212	Igual a muestra patrón
Características químicas			
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₃ , % máximo		E-233	1.2
absorción			
absorción de agua, % máximo		E-222	4

Nota: Se presenta las características mínimas exigidas de agregado fino en un concreto estructural. [1]

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1 Material pétreo

Los materiales pétreos son aquellos que provienen de la roca o de cualquier otro medio rocoso. En la construcción son muy utilizados estos materiales, por ejemplo; el volumen en el concreto hidráulico de agregado fino es de un 65% a 85%, en el concreto asfáltico es del 92% al 96% y en los pavimentos del 75% al 90% [10].

6.2.2 Agregado fino

Material pasante de la malla No. 4 y retenido en la malla No. 200, con tamaños entre 4.76 mm y 74 Mieras (0.074 mm) [10].

6.2.3 Propiedades de los agregados pétreos

Es esencial el desarrollo de ensayos INVIAS para cumplir con las especificaciones de las propiedades del concreto las características físicas, mecánicas, mineralógicas y químicas de los mismos [10].

Propiedades químicas: Los agregados conservan la composición mineralógica de la roca que les dio origen; generalmente son inertes ya que no reaccionan químicamente con los demás constituyentes. Sin embargo, desde 1946 se ha venido observando una reacción química de algunos agregados con el cemento cuando se emplean dichos agregados en concretos.

Propiedades físicas: se encuentra la granulometría, el módulo de finura, tamaño máximo, densidad, humedad, resistencia, impurezas orgánicas e inorgánicas.

6.2.4 Resistencia a compresión

Determina la resistencia a la compresión de los cilindros elaborados con la dosificación diseñada en el presente estudio, para realizar una comparación de las diferentes dosificaciones tentativas que se proponen. Consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros de concreto hidráulico a una velocidad de carga determinada, hasta que se presente la falla [11].

Esta se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal. Los resultados de este ensayo se pueden usar como base de control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares.

6.2.5 Módulo de elasticidad del concreto

Este parámetro de medición del concreto representa la rigidez de este material ante una carga impuesta sobre el mismo. El ensayo para la determinación del módulo de elasticidad estático del concreto se hace por medio de la Norma Técnica Colombiana 4025 que tiene como antecedente la ASTM C 469 y tiene como principio la aplicación de carga estática y de la correspondiente deformación unitaria producida [12].

La primera fase es la zona elástica, donde el esfuerzo y la deformación unitaria pueden extenderse aproximadamente entre 0% al 40% y 45% de la resistencia a la compresión del concreto [12].

Una segunda fase, representa una línea curva como consecuencia de una microfisuración que se produce en el concreto al recibir una carga, estas fisuras se ubican en la interface agregado- pasta y está comprendida entre el 45% y 98% de la resistencia del concreto.

6.2.6 Resistencia por flexión

Esta resistencia es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a flexión se expresa como el módulo de rotura en libras por pulgada cuadrada (Mpa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio) [13].

6.2.7 Equivalente de arena

Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo [14] .

Uso y significado

Este ensayo produce como resultado un valor empírico de la cantidad relativa de finos y material arcilloso presente en la muestra de suelo o agregado fino. Puede especificarse un valor mínimo del equivalente de arena, para limitar la cantidad permisible de finos arcillosos en un agregado. Este método de ensayo permite determinar rápidamente, en el campo, variaciones de calidad de los materiales que se estén produciendo o utilizando.

6.3. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se citan documentos de investigación que soportaron y dieron respaldo al tema tratado en este documento.

Posterior a realizar las debidas investigaciones, como primer documento relacionado con esta investigación, se tuvo el texto realizado por (J. L. García. Pareja, D. J. Morales. Bonilla, M. A. Tapasco, 2017) teniendo como título *“caracterización físico-química del agregado pétreo del rio negro en la ciudad de Villavicencio (meta)”*, este documento tuvo como objetivo el análisis sistemático de literatura sobre la caracterización físico –química del agregado pétreo del rio negro en la ciudad de Villavicencio (meta), se desarrolló partir de recolección de muestras del material para luego ejecutar los ensayos de laboratorio y llevar a cabo una revisión de los resultados y su posterior análisis y divulgación.

Finalmente se concluye que el material no es conveniente utilizarlo como base granular para vías debido a que no cumple con los limites granulométricos de la norma INVIAS, adicional a esto, no es recomendable para mezclas de hormigón debido a que el agregado es muy grueso por lo que hay que adicionar una gran cantidad de cemento.

Un segundo documento de investigación realizado por (M. C. Lozano. Chingate; C. A. González. Peña, 2017) titulado *“caracterización mineralógica, porosimétrica y estructural de agregados pétreos en canteras del río Guatiquía, margen izquierda de la ciudad de Villavicencio”* realizó la Caracterización mediante ensayos especializados el material pétreo explotado en las canteras licenciadas del río Guatiquía en el municipio de Villavicencio-Meta, haciendo uso de ensayos como la porosimetría por intrusión de mercurio, difracción de Rayos X (DRX), fluorescencia de rayos X (FRX) y demás necesarios para una correcta caracterización de los materiales. Esta investigación llegó a la conclusión de que en la composición del material se encontró un gran contenido de cuarzo, el cual tiene una dureza grado 7 en la escala de Mohs determinando así que es un material idóneo para su uso en bases, sub bases y mezclas asfálticas debido a sus características.

Como último documento relacionado con la investigación, se encontró la tesis realizada por (J. L. Barrera. Hernández; W. D. Garzón. Gualteros; J. T. Lozano. Sánchez, 2017) titulada *“Evaluar el cumplimiento de los criterios de aceptación de los materiales granulares para concretos producidos para la ciudad de Villavicencio”* la cual tuvo como objetivo evaluar el cumplimiento de los criterios de aceptación de los materiales granulares producidos por las plantas trituradoras y su desempeño en la resistencia final del concreto, esto, mediante la caracterización y evaluación del material con base en los criterios establecidos por el INVIAS y NTC. Los autores destacaron en sus resultados que los agregados del rio Guatiquía y Guayuriba cumplen con los estándares de aceptación del INVIAS y la NTC, sin embargo, los

agregados utilizados del río Guayuriba aportan mayor resistencia a los cilindros de concreto en comparación a los trabajados con el río Guatiquía.

6.4. MARCO NORMATIVO

Esta investigación tomó como marco legal las normas del Instituto nacional de vías, las cuales establecen el procedimiento y cálculo de resultados de los ensayos que se realizaron, entre ellos están:

I.N.V E - 220. Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio

I.N.V E - 125 Determinación del límite líquido de los suelos.

I.N.V E - 126 Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

I.N.V E - 133. Equivalente de arena de suelos y agregados finos.

I.N.V E - 211 Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados.

I.N.V E - 212. Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos.

I.N.V E - 123 Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

I.N.V E - 214. Cantidad material fino que pasa tamiz N° 200 en los agregados.

I.N.V E - 220. Solidez de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio.

I.N.V E - 221. Cantidad de partículas livianas en los agregados pétreos.

I.N.V E - Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión

I.N.V E - 410 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

I.N.V E - 414 Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en los tercios de la luz

6.5. MARCO GEOGRÁFICO

6.5.1 Departamento del Meta

El Meta es uno de los 32 departamentos de Colombia (ver Figura 1), su capital es la Ciudad de Villavicencio, ubicado sobre la cordillera Oriental, localizado en la región central del país, el Meta, con 85 mil kilómetros cuadrados de extensión, es decir 8 millones 563.000 hectáreas, es uno de los departamentos con mayor crecimiento en los últimos tiempos, especialmente en lo que tiene que ver con productos para la generación de biocombustibles y la seguridad alimentaria [15].

Por tradición, el Meta ha sido reconocido como la despensa agrícola de Colombia y el mayor surtidor de alimentos de Bogotá, surtiendo el 48% de la demanda. El volumen y la calidad han sido fundamentales para cumplir con las exigencias del mercado capitalino y, en general de otras ciudades principales del país, han mostrado gran preferencia por estos productos, especialmente plátano, arroz, cítricos y frutas, hortalizas y carne; además posee con la fortuna de tener numerosos afluentes del río Orinoco que atraviesan el departamento y que brotan en la Cordillera Oriental, entre los cuales encontramos el río Guatiquía.



Figura 1. Departamento del Meta. [16]

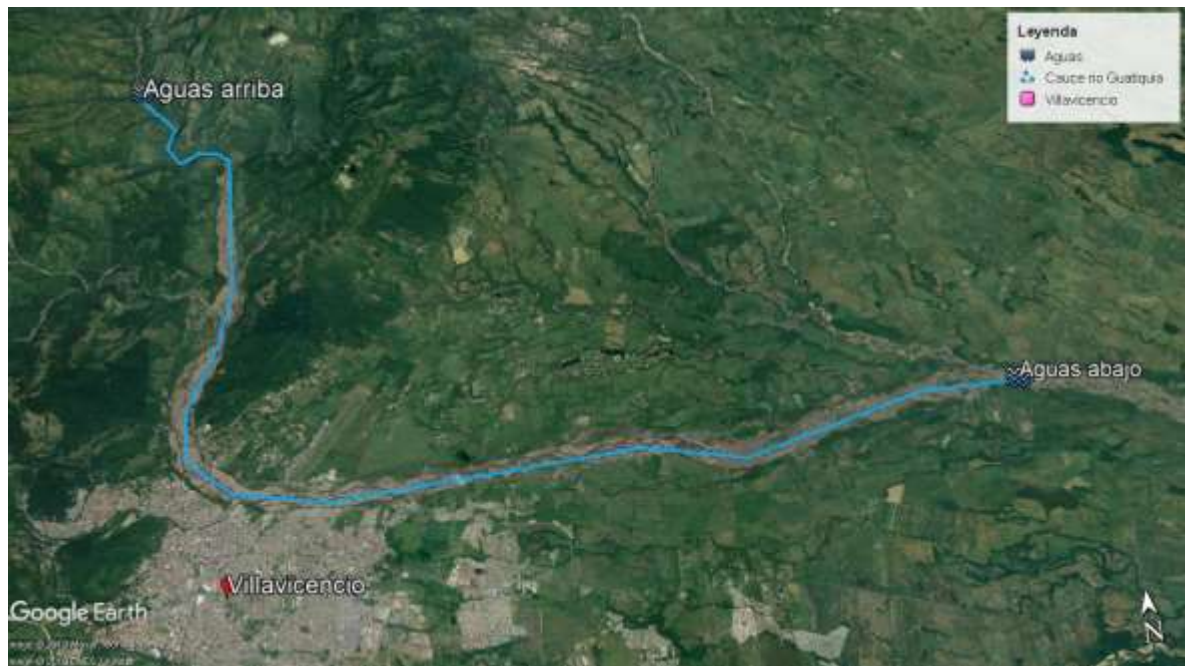


Figura 2. Cauce del río Guatiquía. [17]

6.5.2 Río Guatiquía

El río Guatiquía forma parte de la cuantiosa y diversificada gama hídrica de Colombia, país reconocido mundialmente como uno de los más ricos en diversidad ecológica. Pertenecer a la cuenca hidrográfica del río Orinoco. En su trayectoria de aproximadamente 137 km, pasa por los llanos orientales y por la formación rocosa y profunda conocida como el Cañón de Guatiquía, para llegar a los límites del municipio de Restrepo y del río Humea. El río Guatiquía cuenta con dos corrientes que vierten sus aguas sobre él como afluentes principales, que son el río Frío y el río La Playa.

Estas aguas entran en el embalse de Chingaza, donde se aprecia, por una parte, la gigantesca cascada y por otra, la laguna rodeada de miradores y misteriosas cuevas, que sin lugar a dudas son la atracción del lugar.

En el río Guatiquía se presentan abundantes lluvias, en medio de un clima típico de páramo y algunas veces muy frío, transformando el ecosistema en selvas y bosques húmedos, ya que la temperatura del río Guatiquía se presenta entre los 4 °C y 21,5 °C [18].

7. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA

Tabla 3. Equipo de investigación y trayectoria.

Personal	Nombre	Perfil	Experiencia
Director externo	Geovanny González Maldonado	Ingeniero Civil (2010) de la Universidad Nacional de Colombia, Magister en Construcción (2018) Universidad Nacional de Colombia, es Profesor Tiempo completo con escalafón categoría 3 en la Universidad Unimeta, Villavicencio.	Cuenta con más de 7 años en la docencia. Es investigador externo del grupo de investigación adscrito a la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Grupo GIES (Grupo de investigación en Análisis, Diseño y materiales). Es investigador del grupo de Investigación Geoamenazas, Ingeniería y Medio Ambiente.
Director	Emiro Andrés Lozano Pérez	Ingeniero Civil (2013) de la Universidad de Sucre, Especialista en Estructuras (2017), Universidad Santo Tomas, es profesor tiempo completo en la universidad Santo Tomas, Villavicencio.	Cuenta con 7 años en la docencia, es Investigador del semillero de investigación en Estructuras CROSS e investigador en modelación de problemas complejos y minería de datos en ingeniería civil.
Estudiante	Jose Holmer Martinez Avila	Estudiante Facultad de Ingeniería Civil.	Producción de contenido académico a lo largo de la carrera, proyectos integradores, análisis de datos, diseño de vías y pavimentos flexibles.

Nota: Presenta la trayectoria profesional de los investigadores que participaron en este proyecto. (Elaboración propia).

8. METODOLOGÍA

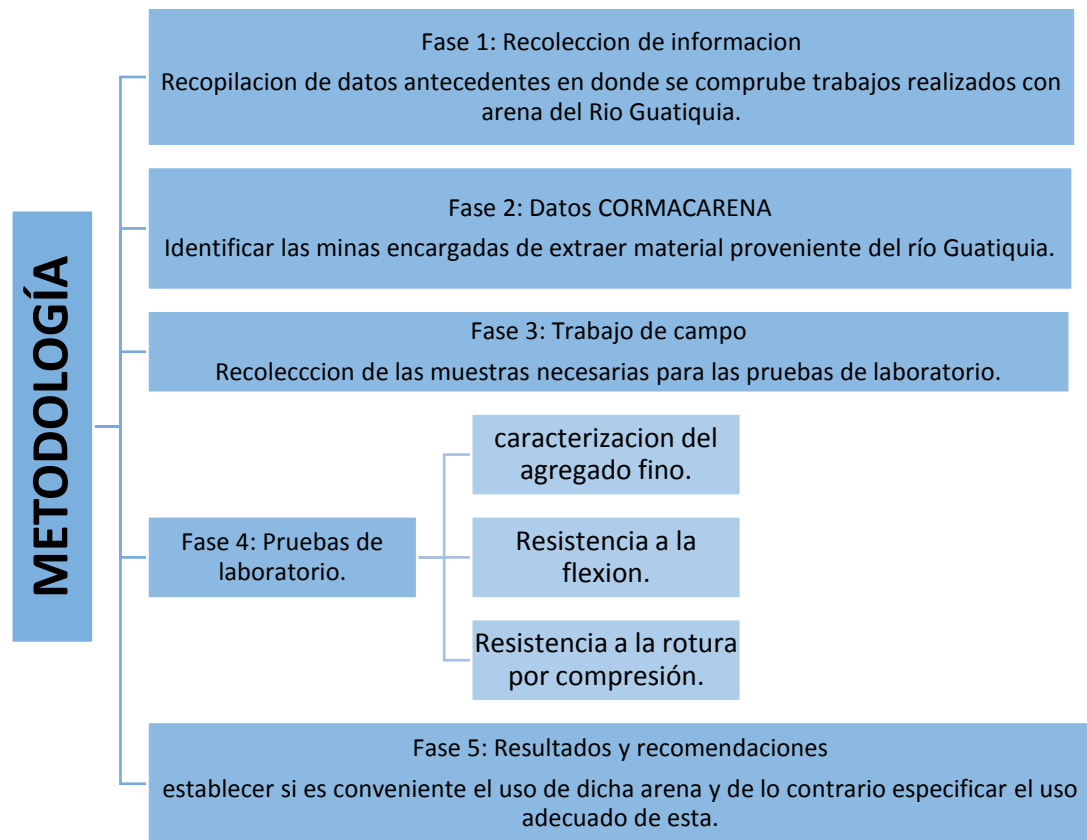


Figura 3. Metodología empleada en la investigación. (Elaboración propia)

8.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

Este proyecto de investigación se desarrolló a partir de las fases enumeradas a continuación.

Fase 1: En esta primera fase, se realizó la recopilación de la información estadística, antecedentes y propuestas de investigación respecto al uso de la Arena del río Guatiquía, esto se hizo con el fin de no incurrir en repeticiones de otras investigaciones y optimizar el proceso de análisis

Fase 2: En esta fase se definió ante la autoridad ambiental CORMACARENA, como era el proceso de explotación de material proveniente del río Guatiquía.

Fase 3: Luego de determinar la problemática se ejecutó la fase de campo. En ésta se hizo recopilación de la muestra requerida evaluada, se fijó la cantidad necesaria, de acuerdo a los parámetros exigidos por normatividad.

Fase 4: En este punto del proyecto, se determinó los aspectos de evaluación de dicho material (Arena proveniente del Río Guatiquia), en esta fase se realizó ensayos de caracterización física, con el cuál se conoció los componentes y el comportamiento mecánico de la microestructura del material objeto de estudio.

Fase 5: Como paso final se realizó recomendaciones para elaboración de concretos a partir de Arenas provenientes del río Guatiquía, y se hizo énfasis en el tipo de uso más adecuado de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

8.2. POBLACIÓN, MUESTRAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

8.2.1 Población

La población para esta investigación se determinó por los ensayos a compresión y flexión. Se utilizaron 2 cilindros y 2 viguetas de concreto por cada edad en la que se realizaron las pruebas de compresión y de flexión. Se desarrollaron 3 tipos de mezclas para la fabricación de concreto según sea la configuración de los agregados (80% Ag grueso - 20% Ag fino, 50% Ag grueso - 50% Ag fino y 20% Ag grueso - 80% Ag fino) para ensayos a compresión y 4 tipos de muestras para los ensayos a flexión (para este ensayo se tuvo en cuenta tiempo de 7 y 28 días).

Las recomendaciones para realizar los ensayos es utilizar 3 tipos de cilindros y de viguetas por cada tiempo de curado, sin embargo, dado que para el desarrollo de esta investigación desde el punto de vista logístico fue dispendioso la disponibilidad de camisas en laboratorio y el tamaño de la muestra se optaron el numero mencionado, además al ejecutar los ensayos se hizo énfasis en controlar minuciosamente el mismo, de tal manera que no se incurriera en ningún error para que los datos arrojados fueran confiables.

Se elaboraron un total de 24 muestras para los diseños de mezcla de concreto propuestos, lo cual permitió realizar un análisis del comportamiento de la resistencia a la compresión y flexión del concreto elaborado con arenas del río Guatiquía para los tiempos de curado que demanda la normatividad vigente.

En las tablas 4 y 5 se enumeró la cantidad de cilindros y viguetas utilizados en esta investigación.

Tabla 4. Población 1.

MUESTRAS COMPRESIÓN				
MUESTRA DE CONCRETO	ESPECÍMENES SEGÚN EDADES DE FALLA			TOTAL DE MUESTRAS DE CONCRETO
	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS	
20% Ag Fino	2	2	2	6
50% Ag Fino	2	2	2	6
80% Ag Fino	2	2	2	6
TOTAL				18

Nota: Se presenta la cantidad de cilindros para cada tiempo de curado y diseño de mezcla. (Elaboración propia)

Tabla 5. Población 2.

MUESTRAS FLEXIÓN			
MUESTRA DE CONCRETO	ESPECÍMENES SEGÚN EDADES DE FALLA		TOTAL DE MUESTRAS DE CONCRETO
	7 DÍAS	28 DÍAS	
20% Ag Fino	1	1	2
50% Ag Fino	1	1	2
80% Ag Fino	1	1	2
TOTAL			6

Nota: Se presenta la cantidad de viguetas para cada tiempo de curado y diseño de mezcla. (Elaboración propia)

8.2.2 Muestras

Para la elaboración de los cilindros se utilizó moldes con dimensiones de 4" x 8" (diámetro y longitud) para pruebas de compresión y viguetas de 6" x 6" x 24" (alto, ancho y largo).

Para el diseño de mezcla se implementó una resistencia de 21 Mpa y se utilizaron los siguientes materiales: arena, agua, grava y cemento. La Figura 4 muestra los moldes utilizados los cilindros y viguetas ensayados.



Figura 4. Moldes utilizados en el desarrollo de la investigación. (Elaboración propia)

8.2.3 Instrumentos

Los instrumentos principales utilizados para la elaboración de los laboratorios y verificación de estos resultados son los siguientes:

- Balanza.
- Tamices: # 4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100, # 200 y fondo.
- Horno de secado ventilado.
- Recipientes resistentes al calor.
- Agitador.
- Picnómetro.
- Pisón.
- Probetas.
- Moldes cilíndricos de 4" x 8" (diámetro y longitud).
- Moldes para vigas de 6" x 6" x 24" (alto, ancho y largo).
- Varilla de apisonamiento.
- Máquina universal.

9. ETAPA 1 (RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN)

Como primera instancia, se conoció el punto exacto de donde se extraería el material de arrastre para realizar la mezcla, a través de la información suministrada por Cormacarena de las entidades con títulos mineros vigentes, encargadas de la explotación de materiales para la construcción del río Guatiquía. En la tabla 6 muestra las entidades encargadas de la explotación del río Guatiquía.

El material fino y grueso se compró en la mina con placa minera IHR-11121 localizada en Villavicencio, sector Vanguardia, aguas abajo del puente nuevo Guatiquia.

Tabla 6 .Títulos mineros del río Guatiquía

CUENCA	PLACA MINERA	TIPO DE MATERIAL	TITULAR	ESTADO ACTUAL	UBICACIÓN
Río Guatiquía	HEC-101	Materiales de construcción	LUIS BELTRAN SUA VELANDIA	POR CONFIRMAR	PUERTO LÓPEZ, Vda Brisas del Guatiquía sector Los Fundos - RESTREPO, CUMARAL
Río Guatiquía	IGC-10551	Materiales de construcción	Leopoldo Pulido Rubiano	POR CONFIRMAR	VILLAVICENCIO, Vda Argentina
Río Guatiquía	FCC-812	Materiales de construcción	JOSE RAFAEL MORENO / MINA LA CAROLINA	POR CONFIRMAR	VILLAVICENCIO, Sector La Aurora, entre los dos puentes de la vía a Restrepo
Río Guatiquía	ICQ-0800523X	Materiales de construcción	WILSON SANTA MARIA PINZON - MINERAL DISCOVERY	POR CONFIRMAR	VILLAVICENCIO, Vda El Cairo y Parcelas del Progreso
Río Guatiquía	EKS-151	Materiales de construcción	YESID ROMERO ROMERO	POR CONFIRMAR	VILLAVICENCIO, Sector Villa Suarez hasta Parcelas del Progreso
Río Guatiquía	ICQ-14081	Materiales de construcción	GRODCO - CARLOS HUMBERTO CRUZ	POR CONFIRMAR	VILLAVICENCIO Vda Indostan - RESTREPO, Vda San Isidro - PUERTO LÓPEZ, Vda Vega Grande
Río Guatiquía	JDG-11081	Materiales de construcción	CARLOS ALFONSO DURAN ARISMENDI	POR CONFIRMAR	VILLAVICENCIO (El Cairo Bajo) , RESTREPO
Río Guatiquía	GHH-092	Materiales de construcción	EDGAR DE JESUS ROJAS	POR CONFIRMAR	PUERTO LÓPEZ (Vda Brisas del Guatiquía) , RESTREPO (Vda El Caiibe) CUMARAL
Río Guatiquía	JCB-08191	Materiales de construcción	INVERSIONES ALIS LTDA	POR CONFIRMAR	VILLAVICENCIO, Vda San Juan Bosco
Río Guatiquía	JCB-14541	Materiales de construcción	VICTOR ORLANDO CASTAÑEDA - CORPOMINAS	POR CONFIRMAR	VILLAVICENCIO, sector parcelas del progreso

Río Guatiquía	IHO-11201	Materiales de construcción	CARLOS IVAN VIVAS SANCHEZ	POR CONFIRMAR	VILLAVICENCIO, Vda Vanguardia
Río Guatiquía	JCJ-08381	Materiales de construcción	SANTIAGO ANDRES VASQUEZ RUIZ	POR CONFIRMAR	PUERTO LÓPEZ, CUMARAL Y RESTREPO
Río Guatiquía	JJO-08531	Materiales de construcción	OSCAR HUERTAS HUERTAS	POR CONFIRMAR	PUERTO LÓPEZ Y CUMARAL
Río Guatiquía	GIN-11141X	Materiales de construcción	PETREOS DE COLOMBIA	POR CONFIRMAR	VILLAVICENCIO
Río Guatiquía	IHR-11121	Materiales de construcción	LEOPOLDO PULIDO Y NOHEMÍ BRICEÑO	SI	VILLAVICENCIO - SECTOR VANGUARDIA AGUAS ABAJO DEL PUENTE NUEVO
Río Guatiquía	KDO-09171	Materiales de construcción	EDWIN FABIÁN VANEGAS PARRADO Y LAURENTINO VARGAS	POR CONFIRMAR	VEREDA CAÑOS NEGROS - VILLAVICENCIO
Río Guatiquía	HKU-15571	Materiales de construcción	EDEL HORACIO REYES DURAN	SI	VILLAVICENCIO

Nota: Se presenta información relacionada con las empresas y/o personas naturales que tienen títulos mineros o por confirmar para la explotación de material del río Guatiquía. [19]

10. ETAPA 2 (PRUEBAS DE LABORATORIO)

10.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO

Obedeciendo a los requisitos del agregado fino de la tabla 630.1 y a la granulometría en la tabla 630.2 del artículo 630-07 (Concreto estructural), encontradas en [1], se realizaron los ensayos pertinentes para determinar si el agregado fino proveniente del río Guatiquía es el adecuado para ser utilizado como componente en la elaboración de concreto estructural.

10.1.1 Granulometría

La granulometría del material se realizó considerando los parámetros establecidos por la norma INV E-123, en donde se utilizó como muestra un total de 4000,0 g, una vez realizado el lavado del material, se procedió a dejar en el horno de secado por 24 horas a temperatura 110°C. Posteriormente, la muestra se pasó por la serie de tamices teniendo en cuenta que este era una Arena.

Para el material fino se pasó por una serie de tamices que venían integrados de la siguiente manera: 75 mm (3"), 37.5 mm (1-1/2"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.36 mm (No.8), 1.10 mm (No.16), 600 µm (No.30), 300 µm (No.50), 150 µm (No.100), 75 µm (No.200) y el fondo. El tamizado se realizó en un equipo mecánico, donde se utilizó un tiempo de 5 minutos para las revoluciones.

La tabla 7 presenta los resultados de la granulometría realizada, para la columna 1 se encuentran los tamices ordenados en forma descendente, en la columna 2 la abertura en mm, la columna 3 muestra el peso retenido en cada tamiz, para la columna 4 y 6, se calcular el porcentaje retenido y el porcentaje que pasa del tamiz, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$PORCENTAJE\ RETENIDO = \frac{\text{peso retenido en el tamiz}}{\text{peso total de la muestra}} \times 100$$

$$PORCENTAJE\ QUE\ PASA = 100 - \text{porcentaje retenido acumulado}$$

Tabla 7. Granulometria del agregado fino

TAMIZ		Peso retenido	Porcentaje retenido %	Porcentaje retenido total %	Porcentaje pasa %
Normal	abertura mm				
3/8"	9.50	146.00	3.65	3.65	96.35
No 4	4.75	160.00	4.00	7.65	92.35
No 8	2.36	144.00	3.60	11.25	88.75
No 16	1.80	175.00	4.38	15.63	84.38
No 30	0.60	360.00	9.00	24.63	75.38
No 50	0.30	327.00	8.18	32.80	67.20
No 100	0.15	1693.00	42.33	75.13	24.88
FONDO		995.00	24.88	100.00	
TOTAL		4000.00	100.00		

Nota: Se presenta la serie de tamices para un material fino, el peso retenido y los porcentajes retenido, retenido acumulado y pasa. (Elaboración propia)

Una vez que se realizó la Granulometría, se procedió a ordenar los datos en una escala logarítmica de la abertura del tamiz vs el porcentaje que pasa, en el gráfico 1 se puede ver el comportamiento que presentó.

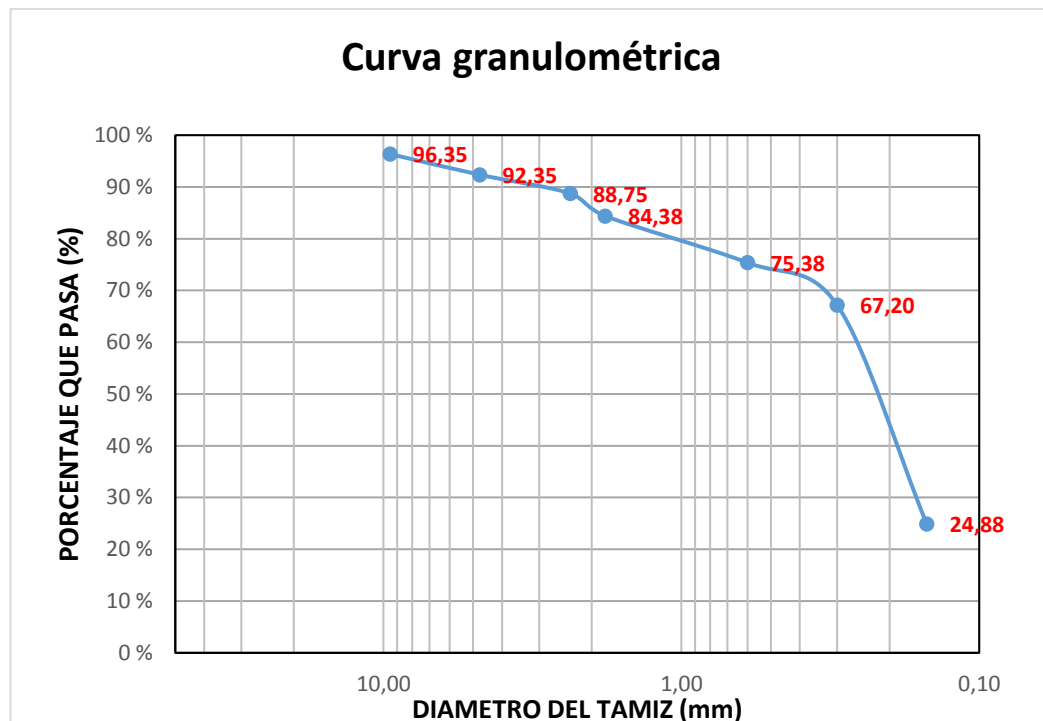


Grafico1. Comportamiento curva granulométrica. (Elaboración propia)

10.1.2 Pérdidas con solución de sulfato de sodio

Para este procedimiento, se trabajó bajo las especificaciones de la norma INV E 220, evaluando la resistencia de los agregados en periodos de congelamiento-secado. De acuerdo con la especificación, este fenómeno es simulado sometiendo los agregados a inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables de las partículas del agregado. La fuerza de expansión interna derivada de la rehidratación de la sal después de re-inmersión, simular la expansión del agua por congelamiento.

en la columna 1 y 2 se pueden ver las fracciones de tamices implementadas según la norma para los finos (3/8"-No 4), (No 4-No 8), (No 8-No 16), (No 16-No 30) y (No 30-No 50), en la columna 3 la cantidad mínima por fracción que debe ser de 100 gr, en la columna 4 y 5, se encuentran los pesos inicial y final resultantes de los cinco ciclos empleados en el ensayo, en la columna 6 se encuentran las pérdidas del material, en la columna 7 las pérdidas del material en porcentaje y en la columna 8 las pérdidas acumuladas.

Tabla 8. Pérdidas con solución de sulfato de sodio

FINOS							
Pasa	Retenido	Mínimo (gr)	Empleado (gr)	resultado (gr)	perdida (gr)	(%)	(%)
3/8"	No 4	100.0					
No 4	No 8	100.0	126.0	124.3	1.7	1.3	1.3
No 8	No 16	100.0	113.0	111.0	2.0	1.8	3.1
No 16	No 30	100.0	108.0	106.7	1.3	1.2	4.3
No 30	No 50	100.0	124.0	120.8	3.2	2.6	6.9
PERDIDA TOTAL DE LA FRACCIÓN FINA %							6.9

Nota: Presenta los resultados obtenidos de pérdidas con solución de sulfato de sodio para el material fino trabajado de acuerdo a la norma INV E 220. (Elaboración propia)

10.1.3 Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable en los agregados

Este numeral se realizó bajo los parámetros exigidos en la norma INV E 211, recalando que este ensayo es sumamente fundamental para aprobar el empleo de los agregados utilizados en el concreto estructural.

Después de haber dejado las muestras 24 ± 4 horas en agua destilada se realizó el tamizado húmedo con el material sobrante en la malla y posteriormente ser llevado al secado en el horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta obtener una masa constante. Terminado

esto, se calculó el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznales con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{M - R}{M} \times 100$$

Donde:

P: Porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales.

M: Masa de la muestra de ensayo.

R: Masa de las partículas retenidas sobre el tamiz designado para mover el residuo.

Tabla 9. Terrones de arcilla y partículas deleznales

TAMIZ ("/No)	MASA INICIAL g	TAMIZ LAVADO ("/No)	MASA FINAL g	TA&PD %
1-1/2" - 3/4"	0.00	No 4	0.00	0.00
3/4" - 3/8"	0.00	No 4	0.00	0.00
3/8" - No 4	723.00	No 8	721.00	0.28
No 4 - No 16	468.00	No 20	466.60	0.30
TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES DEL AGREGADO FINO %				0.30
TOTAL				0.30

Nota: Presenta el porcentaje contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales del agrado fino trabajado siguiendo los parámetros de la norma INV E 211. (Elaboración propia)

10.1.4 Determinación del equivalente de arena

Sujetándose a las especificaciones dadas en la norma INV E 133, mediante el procedimiento del cuarteo, se obtuvieron tres (3) muestras de 85 ml de material fino que pasaron por el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Utilizando una probeta graduada, se vertió 100 ml de solución de cloruro de calcio y se añadió la muestra del material.

Una vez agitada la probeta noventa ciclos en un tiempo de treinta segundos, se realizó la irrigación del material adherido al recipiente aplicando suavemente una acción de presión y giro mientras que la solución de trabajo fluyó por la boca del irrigador. Pasados veinte (20) minutos, la arcilla se sedimentó, posteriormente se tomó mediciones de la altura de la arcilla y arena con la ayuda del pistón. Este procedimiento se realizó con las tres muestras de material fino obtenidas.

Finalmente se determinó el porcentaje de equivalente de arena mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Equivalente de arena (EA)} = \frac{\text{lectura de arena}}{\text{lectura de arcilla}} \times 100$$

A continuación, en la tabla 10 se presenta los datos obtenidos del porcentaje de equivalente de arena:

Tabla 10. Determinación del equivalente de arena

PROBETA N°	PROBETA	PESO MUESTRA INICIAL g	LECTURA DE ARCILLA (mm)	LECTURA DE ARENA (mm)	EQUIVALENTE DE ARENA %	PROMEDIO %
1	1	131.0	12.4	4.8	38.7	41.0
2	2	131.0	12.7	5.1	40.2	
3	3	133.0	12.7	5.3	41.7	

Nota: Presenta el porcentaje de equivalente de arena para el material trabajado mediante los parámetros de la norma INV E 133. (Elaboración propia)

10.1.5 Contenido de materia orgánica – colorimetría

Para determinar el contenido de materia orgánica, el ensayo se realizó según la norma INV E 212. En una botella se introdujo una muestra de 130 ml de material que pasó por el tamiz de 4.75 mm (No. 4), se añadió una solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen total de arena y líquido fue aproximadamente igual a 200 ml.

Finalmente, pasada una (1) hora después de haber agitado la botella, con ayuda de la paleta de colores, se realizó la inspección visual de la arena, verificando si contiene componentes orgánicos posiblemente perjudiciales.

Tabla 11. Contenido de material orgánico

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA - COLORIMETRÍA		
Peso de la muestra, g	200	200
Tiempo reacción	1 hora	50
Color específico norma (Carta)	amarillo K	86
Resultado	.+. Claro	0.047
Observación	Contenido aceptable	

Nota: Presenta el contenido de materia orgánica del material trabajado de acuerdo a los parámetros establecidos en la norma INV E 212. (Elaboración propia)

10.2. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla trabajado en esta investigación, se basó en el método para diseño de mezcla del American Concrete Institute (A.C.I.), basándose en tablas elaboradas de agregados se permite obtener los diferentes materiales que constituyen la unidad cubica del concreto.

En la tabla 12 se muestra los datos necesarios para iniciar con un diseño de mezcla para 21 Mpa, siendo calculados con anterioridad en laboratorio.

Tabla 12.Datos iniciales	
DATOS PREVIOS	
F'c	21 Mpa
F'c	210 Kg/cm ²
Densidad de A. finos	2680 Kg/m ³
Densidad A. grueso	2550 Kg/m ³
peso seco compacto grueso	1600 Kg/m ³
Humedad fino	1.55 %
humedad grueso	0.38 %
MF finos	2.4

Nota: Presenta los datos iniciales de los materiales. (Elaboración propia)

- A continuación, se procedió a escoger el tipo de asentamiento según la solicitud del tipo de concreto (21 Mpa).

Tabla 13. Asentamiento de la mezcla	
SELECCIÓN DE ASENTAMIENTO	
Semi - seca	35-50 mm

Nota: Presenta el asentamiento seleccionado de acuerdo al tipo de concreto trabajado. (Elaboración propia)

- Se tuvo en cuenta la mínima dimensión de la estructura a conformar con el concreto y se comparó con el tamaño máximo del agregado definido en la tabla 14, posteriormente se revisó si el agregado era el apropiado.

Tabla 14. Selección del tamaño del agregado

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (TMA)

Dimensión mínima de la sección (cm)	Muros reforzados, vigas y columnas
19-29	$\frac{3}{4}$ " – 1 $\frac{1}{2}$ "

Nota: Presenta el tamaño máximo del agregado de acuerdo al tipo de concreto trabajado.
(Elaboración propia)

- Con el tamaño máximo del agregado se seleccionó el porcentaje del contenido de aire esperado para la mezcla, según sea su nivel de exposición.

Tabla 15. Contenido de aire

ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

$\frac{3}{4}$ "	3.50 %
Exposición ligera	

Nota: Presenta el contenido de aire para un agregado de tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ "
(Elaboración propia)

- Según sea la forma y textura del agregado grueso, se procede a seleccionar el requerimiento aproximado de agua que requiere la mezcla (tabla 16). Debido a que el asentamiento no se encontraba en los estipulados en la tabla, se procedió a realizar la interpolación para determinar el valor exacto.

Tabla 16. Agua de mezclado

CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO (Kg/m³)

	Asentamiento	TMA
Forma redonda, textura lisa (sin aire)	25	177
	50	183
	30	177.24

Nota: Presenta el contenido de agua de mezclado. (Elaboración propia)

- Se determinó la resistencia de diseño de la mezcla (f'_{cr}), sin embargo, como no se cuenta con los datos para determinar la desviación estándar, se utilizó la tabla 17.

Tabla 17. Resistencia de diseño de la mezcla f'_{cr}

RESISTENCIA DE DISEÑO DE LA MEZCLA f'_{cr}	
Resistencia especificada f'_c (kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla f'_{cr} (kg/cm ²)
Menos de 210 kg/cm ²	$f'_c + 70$ kg/cm ²
De 210 kg/cm ² a 350 kg/cm ²	$f'_c + 85$ kg/cm ²
Más de 350 kg/cm ²	$f'_c + 100$ kg/cm ²

Nota: Presenta la resistencia de diseño de la mezcla. (Elaboración propia)

Tabla 18. Resistencia para el diseño.

COEFICIENTE DE RESISTENCIA DE DISEÑO	
f'_{cr}	295 Kg/cm ²

Nota: Presenta la resistencia de diseño. (Elaboración propia)

- Utilizando el coeficiente de resistencia de la tabla 18, se determinó la relación de agua/cemento, en base a la tabla 19 utilizando la interpolación.

Tabla 19. Relación A/C

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS (Kg/cm²)	RELACIÓN AGUA/ CEMENTO EN PESO
280	0.55
315	0.51
295	0.53

Nota: Presenta la relación A/C. (Elaboración propia)

Tabla 20 Cemento.

CONTENIDO DE CEMENTO (Kg/m³)	BULTOS DE 50 Kg
334.42 Kg	6.69

Nota: Presenta la cantidad de bultos de cementos requeridos. (Elaboración propia)

10.2.1 DOSIFICACIÓN FINAL

Debido a las variaciones entre los agregados, se tienen 3 diseños diferentes de mezcla. En cada uno se contempló el volumen total del molde, el cual está

constituido por los volúmenes totales necesarios para realizar los cilindros y las viguetas.

Tabla 21 Dosificación final (20% Ag fino-80% Ag grueso).

VOLUMEN TOTAL DEL MOLDE M3				0.045 m3
MATERIALES	MASA SECA	MASA HÚMEDA	AGUA EN LOS AGREGADOS	DOSIFICACIÓN FINAL
CEMENTO	14.98 Kg			14.98 Kg
AGUA	7.940 Kg			8.424 Kg
ARENA	16.77 Kg	17.02	0.25	17.02 Kg
GRAVA	67.09 Kg	67.33	0.24	67.09 Kg

Nota: Presenta la dosificación del diseño de mezcla 1. (Elaboración propia)

La figura 5 muestra un cilindro elaborado para el diseño de mezcla 1 antes de someterse al ensayo de compresión.



Figura 5. Cilindro Diseño de Mezcla 1. (Elaboración propia)

Tabla 22. Dosificación final (50% Ag fino-50% Ag grueso).

VOLUMEN DEL MOLDE M3				0.045 m3
MATERIALES	MASA SECA	MASA HÚMEDA	AGUA EN LOS AGREGADOS	DOSIFICACIÓN FINAL
CEMENTO	14.98 Kg			14.98 Kg
AGUA	7.940 Kg			8.704 Kg
ARENA	41.93 Kg	42.55	0.62	42.55 Kg
GRAVA	41.93 Kg	42.08	0.15	42.08 Kg

Nota: Presenta la dosificación del diseño de mezcla 2. (Elaboración propia)

La figura 6 muestra 2 cilindros elaborados para el diseño de mezcla 2 antes de ser sometidos al ensayo de compresión.



Figura 6. Cilindros Diseño de Mezcla 2. (Elaboración propia)

Tabla 23. Dosificación final (80% Ag fino-20% Ag grueso).

VOLUMEN DEL MOLDE M3				0.045 m3
MATERIALES	MASA SECA	MASA HÚMEDA	AGUA EN LOS AGREGADOS	DOSIFICACIÓN FINAL
CEMENTO	14.98 Kg			14.98 Kg
AGUA	7.940 Kg			8.98 Kg
ARENA	67.09 Kg	68.08	0.985	68.08 Kg
GRAVA	16.77 Kg	16.83	0.06	16.83 Kg

Nota: Presenta la dosificación del diseño de mezcla 3. (Elaboración propia)

La figura 7 muestra un cilindro elaborado para el diseño de mezcla 3 antes de someterse al ensayo de compresión.



Figura 7. Cilindro Diseño de Mezcla 3. (Elaboración propia)

10.3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para desarrollar este ensayo se utilizaron 18 cilindros de concreto, 6 por cada edad, 7, 14 y 28 días respectivamente, teniendo en cuenta la configuración de los agregados (80% Ag grueso - 20% Ag fino, 50% Ag grueso - 50% Ag fino y 20% Ag grueso - 80% Ag fino), se realizó un comparativo de los resultados obtenidos en cada muestra, el cual se presenta en el apartado de análisis de resultados.

Respecto al desarrollo del ensayo, se siguieron las pautas del mismo, e inmediatamente al terminar el proceso de curado para los tiempos establecidos (7, 14 y 28 días), cada muestra se ubicó sobre la plataforma de la máquina universal, colocándola sobre el eje central. Por consiguiente, se procedió a aplicar la carga de diseño a una velocidad constante hasta que el cilindro falló.

La Figura 8 muestra el pesaje de un cilindro correspondiente al diseño de mezcla 1, luego de retirarse del proceso de curado.



Figura 8. Pesaje Cilindro Diseño de Mezcla 1. (Elaboración propia)

La Figura 9 muestra el alistamiento de un cilindro correspondiente al diseño de mezcla 1, para ser sometido a falla.



Figura 9. Cilindro Diseño Mezcla 1 sometido a falla. (Elaboración propia)

La Figura 10 muestra el alistamiento de un cilindro correspondiente al diseño de mezcla 2, para ser sometido a falla.



Figura 10. Cilindro Diseño Mezcla 2 sometido a falla. (Elaboración propia)

La Figura 11 muestra el alistamiento de un cilindro correspondiente al diseño de mezcla 3, para ser sometido a falla.



Figura 11. Cilindro Diseño de Mezcla 3 sometido a falla. (Elaboración propia)

Se procedió a calcular la resistencia a compresión, dividiendo la carga máxima que resistió la muestra, sobre el área de la sección transversal del mismo (ver tabla 24).

- Cálculo de la resistencia a la compresión

$$RC = \frac{P}{A}$$

Dónde:

P = Carga máxima aplicada en KN.

A = Área de la sección transversal en m².

RC = Resistencia a la compresión del cilindro en Mpa.

En la figura 12 se puede observar los tipos de falla a la compresión de cilindros de concretos.

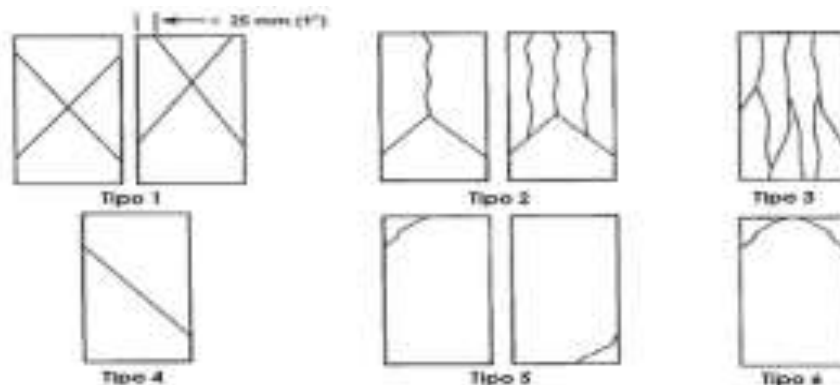


Figura 12 Tipos de falla a la compresión. [1]

La Figura 13 muestra el tipo de falla presentada para un cilindro del diseño de mezcla 1, de acuerdo a la figura 12 esta es tipo 2.



Figura 13. Falla tipo 2 para cilindro del Diseño de Mezcla 1. (Elaboración propia)

La Figura 14 muestra el tipo de falla presentada para un cilindro del diseño de mezcla 2, de acuerdo a la figura 12 esta es tipo 5.



Figura 14. Falla tipo 5 para cilindro del Diseño de Mezcla 2. (Elaboración propia)

La Figura 15 muestra el tipo de falla presentada para un cilindro del diseño de mezcla 3, de acuerdo a la figura 12 esta es tipo 4.



Figura 15. Falla tipo 4 para cilindro del Diseño de Mezcla 3. (Elaboración propia)

Tabla 24. Resistencia a la compresión de los cilindros en Mpa.

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	DÍAS DE CURADO	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA OBTENIDA		PORCENTAJE CON RESPECTO A f' _c	TIPO DE FALLA
				(PSI)	(Mpa)		
(20% FINO - 80% GRUESO)	7	8800	111.6	1839	12.7	60%	3
	7	8825	111.8	1837	12.7	60%	3
	14	8659	149.4	2502	17.3	82%	4
	14	8659	142.4	2385	16.4	78%	5
	28	7854	144.7	2672	18.4	88%	5
	28	7854	144.5	2668	18.4	88%	5
(50% FINO - 50% GRUESO)	7	8495	92	1571	10.8	52%	5
	7	8332	92	1601	11.0	53%	4
	14	7854	97.4	1799	12.4	59%	5
	14	8012	112.7	2040	14.1	67%	4
	28	7854	135.1	2495	17.2	82%	5
	28	8012	134.5	2435	16.8	80%	5
(80% FINO - 20% GRUESO)	7	8659	43.5	729	5.0	24%	4
	7	7854	38.3	707	4.9	23%	4
	14	7854	61.1	1128	7.8	37%	4
	14	8332	59.3	1032	7.1	34%	5
	28	8171	84.7	1503	10.4	49%	5
	28	8012	84.3	1526	10.5	50%	5

Nota: Presenta los valores reportados de resistencia a la compresión para los 3 diseños de Mezcla. (Elaboración propia)

10.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Este ensayo se desarrolló utilizando 6 viguetas de concreto, 1 por cada edad, 7 y 28 días respectivamente, teniendo en cuenta la configuración de los agregados (80% Ag grueso - 20% Ag fino, 50% Ag grueso - 50% Ag fino y 20% Ag grueso - 80% Ag fino), se realizó un comparativo de los resultados obtenidos en cada muestra, el cual se presenta en el apartado de análisis de resultados.

Respecto al desarrollo del ensayo, se siguieron las pautas del mismo, e Inmediatamente al terminar el proceso de curado para los tiempos establecidos (7 y 28 días), cada muestra se ubicó sobre la plataforma de la maquina universal, se aplicó la carga a una velocidad constante hasta que la viga se fracturó, se verificó la zona de rotura, en este caso, ocurrió dentro del tercio medio de la luz libre, por lo tanto, el módulo de rotura se calcula de la siguiente forma:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

R = módulo de rotura KPa (psi).

P = máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo N (lbf).

L = longitud libre entre apoyos mm.

b = ancho promedio de la muestra mm.

d = altura promedio de la muestra mm.

La Figura 16 muestra una vigueta correspondiente al diseño de mezcla 3 acomodada de acuerdo a los parámetros normativos del ensayo para ser sometida a falla por flexión.



Figura 16. Vigueta del Diseño de Mezcla 3 sometida a flexión. (Elaboración propia)

La Figura 17 muestra la falla de una vigueta correspondiente al diseño de mezcla 1.



Figura 17. Falla de Vigueta del Diseño de Mezcla 1. (Elaboración propia)

La Figura 18 muestra la falla de una vigueta correspondiente al diseño de mezcla 2.



Figura 18. Falla de Vigueta del Diseño de Mezcla 2. (Elaboración propia)

La Figura 19 muestra la falla de una vigueta correspondiente al diseño de mezcla 3.



Figura 19. Falla de Vigueta del Diseño de Mezcla 3. (Elaboración propia)

Tabla 25. Resistencia a la flexión de las viguetas.

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	DÍAS DE CURADO	MR DISEÑO	ANCHO PROMEDIO	ALTURA PROMEDIO	LONGITUD ENTRE APOYOS (mm)	CARGA MÁXIMA APLICADA (KN) (N)		MODULO DE ROTURA CALCULADO "MR"	PORCENTAJE RESPECTO A MR DE DISEÑO
(20% FINO - 80% GRUESO)	7	38	151	151	540	26.28	26280	41.2	108.5%
	28	38	153	152	527	28.3	28300	42.2	111.0%
(50% FINO - 50% GRUESO)	7	38	154	154	465	1.58	1580	2.0	5.3%
	28	38	154	152	476	25.38	25380	33.7	88.8%
(80% FINO - 20% GRUESO)	7	38	154	155	470	12.81	12810	16.2	42.7%
	28	38	156	156	465	17.94	17940	22.1	58.2%

Nota: Presenta los valores reportados de resistencia a la flexión para los 3 diseños de Mezcla. (Elaboración propia)

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas tanto para las arenas como a los concretos se puede evidenciar lo siguiente:

11.1. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL AGREGADO FINO

11.1.1 Granulometría de las Arenas provenientes de Río Guatiquía

La tabla 7 y el gráfico 1 evidencia claramente que el material base de esta investigación (Arena proveniente del río Guatiquía) es un agregado fino, dado que el 42.33% del retenido de la serie de tamices se encuentre entre el No 50 y el No100, además un 25.15% estaría entre el Tamiz No 4 y el No 50. El 24.88% corresponde a finos y excepto un 3.65% sería Grava, lo anterior permite con seguridad respaldar el hecho del que el material obtenido del río corresponda a una Arena de acuerdo al ensayo de caracterización física realizado. Además, se indica que los diseños de mezcla propuestos se basaron en un material de agregado fino que posteriormente fue variado en porcentaje de volumen para estudiar la incidencia de estos en las características mecánicas de resistencia a la compresión y a la flexión.

Por otra parte, luego de analizar los resultados de caracterización física es claro que el material base tendría un uso representativo en la elaboración de morteros, o elemento de conformación de subbase en pavimentos, esto se infiere dado la clasificación de la serie de tamices, sin embargo, para dar mayor argumentación a lo dicho se deben realizar ensayos de caracterización química para analizar si la microestructura del agregado fino puede presentar una falla, como lo dice [20] en su artículo *“El suelo puede fallar por los granos minerales (falla por la fábrica textural), o por la liga de los granos minerales (falla por la fábrica estructural)”*.

11.1.2 Pérdidas con solución de sulfato de sodio

De acuerdo a los resultados obtenidos del ensayo INV E 220 y presentados en la Tabla 8, se puede inferir que el material tiene perdidas $\leq 2\%$ en los ciclos correspondientes desde el tamiz 3/8” hasta el No 16, lo cual es un comportamiento normal en todo tipo de agregado, para el caso del ciclo entre el tamiz No 16 y el No 50 el cual fue de 3.2%, la explicación probable a este comportamiento es que de acuerdo al ensayo de granulometría la mayor parte material retenido estaba en el las ultimas series de tamices, lo cual hace que se incremente tanto el volumen de partículas de agregados, como el material orgánico y la humedad natural, dicha concentración hace que refleje una perdida mayor en este último ciclo. Sin embargo,

el porcentaje de pérdida a nivel general no es significativo para poder decir que no sea utilizado como agregado base en la elaboración de concretos.

11.1.3 Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados

La tabla 9 muestra los resultados obtenidos al realizar el ensayo INV E 211, del cual se puede concluir con certeza que la muestra de agregado fino contiene un porcentaje muy bajo de partículas de terrones de arcillas o deleznales (0.30%), lo cual la valida como material válido para elaborar concretos o morteros dependiendo de los resultados de resistencia que se hagan.

11.1.4 Determinación del equivalente de arena

El ensayo INV E 133 permite determinar el porcentaje equivalente de arena de una muestra inalterada. La tabla 10 presenta los resultados obtenidos para las tres (3) muestras de 85 ml de material fino, arrojando un porcentaje promedio de 41% de equivalente de arena lo cual deja un 59% con contenidos de arcilla u otro componente, este resultado hace que este material no sea muy competente como agregado para concretos estructurales según especificaciones del INVIAS, sin embargo, esto no desestima que pueda ser usado para elementos no estructurales (mortero, cerámicos, mampostería, sardinell, andén, etc).

11.1.5 Contenido de materia orgánica – colorimetría

La tabla 11 evidencia los resultados obtenidos del ensayo de contenido de materia orgánica INV E 212, la cual presenta que la muestra está en los parámetros aceptables según norma (color claro), esto permite afirmar que el agregado se puede utilizar para elaborar concretos sin afectarlos por contenidos de materia orgánica.

Luego de analizar cada uno de los ensayos de caracterización física del material utilizado proveniente del río Guatiquía, se puede concluir que desde el punto de vista de servicialidad, el agregado no cumple con las especificaciones del INVIAS para ser utilizado en concretos estructurales, sin embargo, dado los buenos resultados en dichos ensayos este puede ser empleado para la elaboración de concretos para elementos no estructurales (mamposterías, sardinell, barandas, mortero, pañete, etc)

La tabla 26 sintetiza los resultados obtenidos al realizar la caracterización física del agregado fino del río Guatiquía.

Tabla 26. Resultados obtenidos ensayos de caracterización física del agregado fino del río Guatiquía

ESPECIFICACIONES - INVIAS ARTICULO 630 - 13 CONCRETO ESTRUCTURAL				
DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	Norma INVIAS	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO	CUMPLE (OK)
GRANULOMETRÍA	E - 123	TABLA 630-4	NO CUMPLE	NO
PÉRDIDAS CON SOLUCIÓN DE SULFATO DE SODIO	E - 220	≤ 10	6.9 (%)	OK
CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES	E - 211	≤ 1	0.3 (%)	OK
EQUIVALENTE DE ARENA	E - 133	≥ 60	41 (%)	NO
CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA – COLORIMETRÍA	E - 212	IGUAL A MUESTRA PATRÓN	ACEPTABLE	OK

Nota: Presenta las especificaciones requeridas para caracterización física del agregado fino según artículo 630-13 del INVIAS. (Elaboración propia)

11.2. DISEÑO DE MEZCLA

El proceso donde se determina la cantidad de cada uno de los componentes del concreto, se conoce como diseño de Mezcla, según [3] dice que esta se obtiene con el fin analizar su comportamiento su estado plástico como posteriormente en su estado endurecido. Los requisitos que más se debe considerar en una dosificación apropiada son: economía y manejabilidad en estado fresco, así como también resistencias, aspecto y durabilidad en estado endurecido.

Anteriormente, se mencionó que el diseño de mezcla para esta investigación se basó en los lineamientos de ACI, del cual según la tabla 12 se dispuso trabajar con un concreto de resistencia a la compresión teórico ($f'c$) de 210 Kg/cm². Posterior a esto se escogió que el asentamiento para una mezcla semi seca, y se estableció

como tamaño máximo del agregado $\frac{3}{4}$ ", todo lo dicho lo resumen las tablas 13,14 y 15 mencionadas atrás en el texto.

Otro parámetro importante es establecer la relación agua cemento, esta debe estar limpia y libre de agentes dañinos (aceites, ácidos, álcalis, sales y materiales orgánicos) para el concreto, según [21] en su artículo dice que dichos agentes como agua con una salinidad del 3.5% reduce la resistencia de los 28 días un 12%, y si se aumentará dicha concentración esta puede llegar a disminuir un 30%, además si existe presencia de refuerzo esta lo oxidaría.

Para este caso lo que se hizo de acuerdo al método ACI fue establecer el coeficiente de resistencia de diseño el cual fue de 295 Kg/m^2 , a partir de dicho valor se estableció que la relación agua cemento adecuada para el diseño de mezcla es de 0.53, todo lo anterior se puede corroborar en las tablas 16, 17 y 18 de este texto.

Finalmente se fija una concentración importante de cemento por metro cubico, para analizar que tal sería el comportamiento del concreto a la compresión y a la flexión. Es importante resaltar que esta tesis es de enfoque investigativo por lo cual permite proponer diseños de mezcla diferentes a los ya trabajados, porque lo que se busca es validar hipótesis independientemente de si resultan verdaderas o no.

11.2.1 Dosificación final

Para contextualizar el tema respecto a la proporción de los agregados en un diseño de mezcla se tiene en cuenta el uso que se le va a dar, la procedencia del mismo y para el caso de esta investigación, buscar propuestas alternativas de dosificación para medir la relación resistencia vs economía. Según [22] en su investigación afirma que *"El 100% de los concretos que se elaboran en México ocupan para su fabricación agregados que pueden ser obtenidos de dos fuentes: en depósitos de origen natural (ríos, playas, etc.) y como productos de trituración de roca"*, si se compara dicha afirmación en nuestro contexto nacional, es claro que existe coincidencia, dado que actualmente la tecnología del desarrollo de concretos con nuevos materiales (agregados) en nuestro país se limita prácticamente a las investigaciones realizadas por universidades y laboratorios privados. Por ello la importancia de proponer novedades en su estudio.

Por lo anterior para esta investigación se partió de la premisa de analizar cómo sería el comportamiento de resistencia a la compresión y flexión de 3 dosificaciones distintas para el diseño de mezcla estipulado.

Tabla 27. Dosificaciones para 1 m³ de concreto (A/C = 0.53)

MATERIAL	DOSIFICACION 20% Finos - 80% Grueso (Kg/m ³)		DOSIFICACION 50% Finos - 50% Grueso (Kg/m ³)		DOSIFICACION 50% Finos - 50% Grueso (Kg/m ³)	
CEMENTO	334.42	14.025%	334.42	14.025%	334.42	14.025%
AGUA	177.24	7.433%	177.24	7.433%	177.24	7.433%
ARENA	374.55	15.708%	374.55	39.271%	1498.22	62.833%
GRAVA	1498.22	62.833%	1498.22	39.271%	374.55	15.708%
	2384.43	100%	2384.43	100%	2384.43	100%

Nota: Presenta las dosificaciones utilizadas en los 3 diseños de mezcla. (Elaboración propia)

La tabla 27 presenta las dosificaciones utilizadas en Kg/m³, como se puede observar se mantiene constante la dosificación del cemento (14.025%) y la del agua (7.433%), estas sumadas dan el 21.459%, lo cual es un indicador normal de concentración de pasta cementante base para la elaboración de concretos. Al variar el volumen de los agregados lo que se busca es corroborar cómo será su comportamiento en los ensayos mecánicos de resistencia a la compresión y flexión. Es pertinente decir que los valores de la tabla 27 fueron porcentuados de acuerdo al volumen necesario de material para las muestras requeridas en los ensayos, estos resultados fueron mostrados en las tablas 21, 22 y 23 de un apartado anterior de este documento.

11.3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para determinar la resistencia a la compresión de l concreto de las 3 dosificaciones propuestas en esta investigación, se tuvo en cuenta los parámetros definidos por la NTC 673, en el grafico 2 se muestra los valores de resistencia a los 7 días de curado sumergido.

El grafico 2 muestra los valores de resistencia para un periodo de curado de 7 días, como se puede observar para la dosificación de 20% finos – 80% Grueso , las dos muestras arrojan un valor del 61.43% respecto a la resistencia de diseño, mientras que la dosificación de 50% finos – 50% Grueso las dos muestras arrojan un valor aproximado del 52%, finalmente la dosificación de 80% finos – 20% Grueso , las dos muestras arrojan en el menor valor con respecto a la resistencia de diseño (f'c=21 Mpa) siendo del 24%

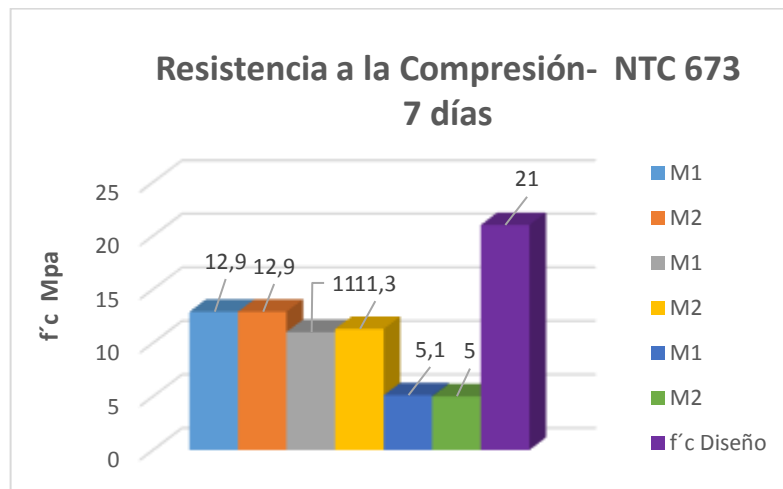


Grafico 2. Resistencia a la compresión 7 días. (Elaboración propia)

El grafico 3 muestra los valores de resistencia para un periodo de curado de 14 días, como se puede observar para la dosificación de 20% finos – 80% Grueso , las dos muestras arrojan un valor aproximado del 82% respecto a la resistencia de diseño, mientras que la dosificación de 50% finos – 50% Grueso las dos muestras arrojan un valor aproximado del 64%, finalmente la dosificación de 80% finos – 20% Grueso , las dos muestras arrojan en el menor valor con respecto a la resistencia de diseño ($f'c=21$ Mpa) siendo del 36.2%.

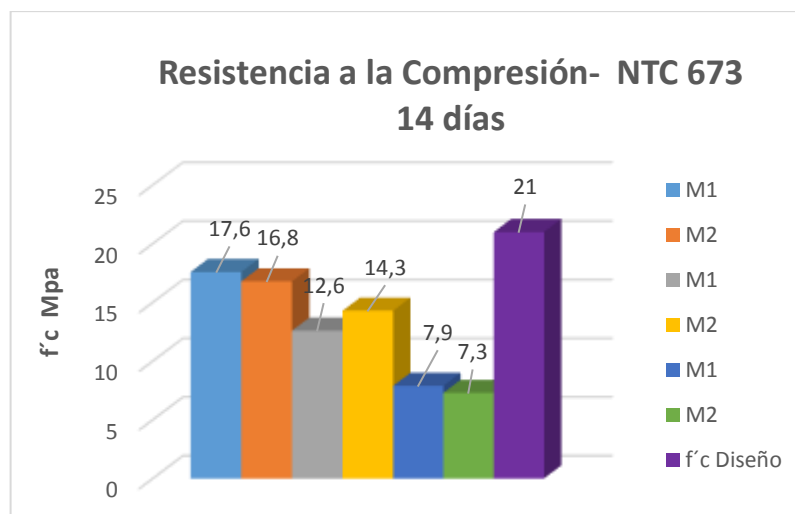


Grafico 3. Resistencia a la compresión 14 días. (Elaboración propia)

El grafico 4 muestra los valores de resistencia para un periodo de curado de 28 días, como se puede observar para la dosificación de 20% finos – 80% Grueso ,

las dos muestras arrojan un valor aproximado del 82.38% respecto a la resistencia de diseño, mientras que la dosificación de 50% finos – 50% Grueso las dos muestras arrojan un valor aproximado del 64%, finalmente la dosificación de 80% finos – 20% Grueso, las dos muestras arrojan en el menor valor con respecto a la resistencia de diseño ($f'_c=21$ Mpa) siendo del 50.71%.

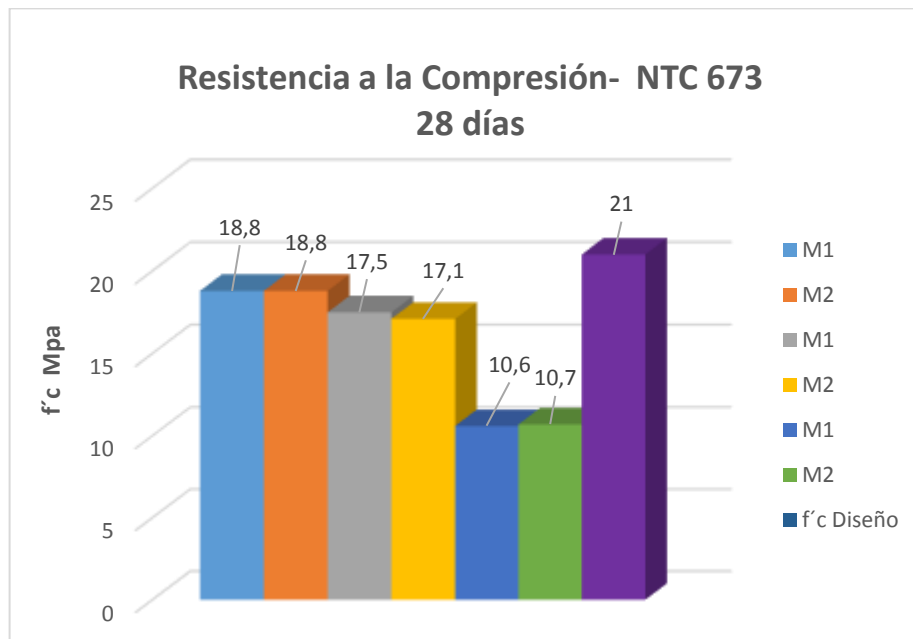


Gráfico 4. Resistencia a la compresión 28 días. (Elaboración propia)

Luego de determinar los valores de resistencia a la compresión para un periodo de tiempo de curado sumergido de 28 días, se puede decir que ninguna dosificación alcanzó la resistencia de diseño estipulada ($f'_c=21$ Mpa) lo cual confirma lo dicho anteriormente en el documento que estos concretos producidos a partir de las arenas provenientes del río Guatiquía no deben emplearse para un uso estructural.

El gráfico 5 muestra la curva de f'_c respecto al tiempo, como ya se dijo anteriormente en el documento estos valores reportados de resistencia no son competentes para considerar un concreto estructural, sin embargo, si se revisa las dosificaciones planteadas estas podrían utilizarse como mortero de pega para mampostería, según [23] en su investigación presenta los valores permitidos para mortero utilizados de pega para mampostería después de un curado de 28 días de acuerdo a los criterios de ASTM 270). Es importante resaltar que los valores de f'_c a los 28 días de curado de las tres dosificaciones cumplen con los requisitos exigidos en la Tabla D.3.4-1 [2], para el contexto nacional.

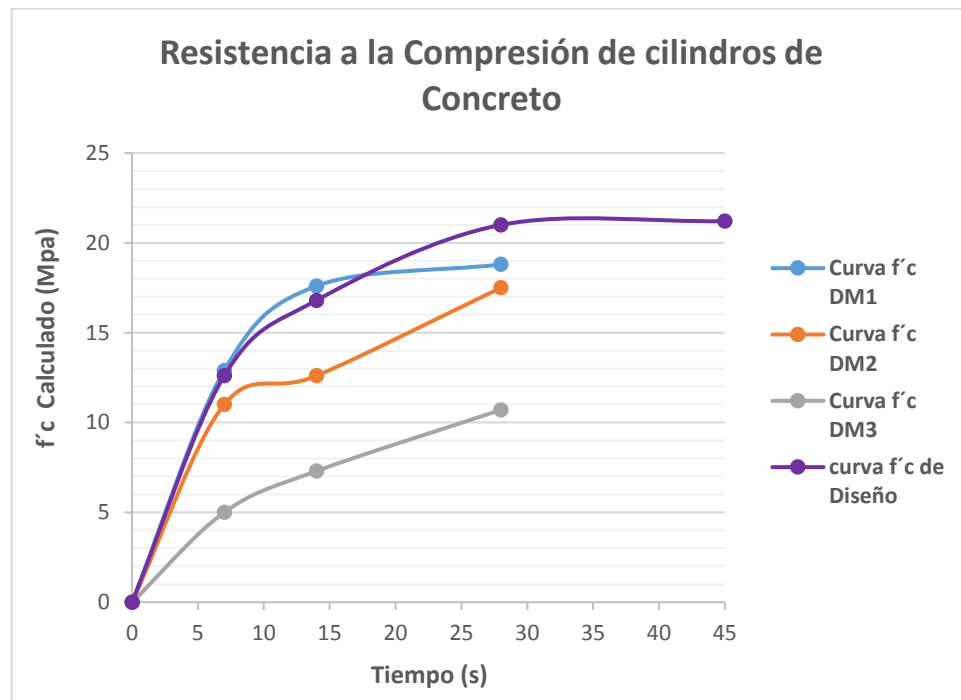


Gráfico 5 Curvas de f'_c vs Tiempo a los 28 días. (Elaboración propia)

Además, con seguridad las dosificaciones correspondientes a 50% finos – 50% Grueso y 20% Grueso - 80% Fino, según [2], pueden ser utilizadas como mortero de relleno.

Finalmente, si se analiza los resultados de f'_c para las dosificaciones 20% Finos – 80% Grueso, y 50% Finos – 50% Grueso, se puede decir que estas cumplen para concretos de resistencia baja como aquellos que son utilizados como concreto de limpieza para bases de cimentaciones, andenes y sardineles, entre otros.

11.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La resistencia a la flexión en el concreto sin acero de refuerzo se puede decir que no es muy competente, esto se debe a que la naturaleza del concreto es tolerar grandes resistencias a la compresión. Esta investigación se orientó en estudiar el comportamiento de materiales agregados proveniente del río Guatiquía por lo cual se estimó únicamente el comportamiento para un concreto sin ningún tipo de refuerzo, en este caso se evaluó el módulo de rotura del material en 2 edades de curado, 7 y 28 días respectivamente, no se consideró una edad intermedia dado que con anterioridad se sabe que los valores de resistencia a la flexión serían bajos.

El módulo de rotura se estudia mucho para las estructuras de pavimento rígido, como lo dice [21] en su investigación, “no es la resistencia a la compresión el factor determinante de la calidad del concreto para pavimentos, sino la resistencia a la flexión, por el paso de los vehículos y por diferencia de temperatura a un lado de la losa estará sometida a tensión y el otro lado a compresión”.

El grafico 6 muestra los valores de resistencia a flexión para un periodo de curado de 7 días, como se puede observar para la dosificación de 20% finos – 80% Grueso el módulo de rotura calculado supera al de diseño (110.1 %), mientras que la dosificación de 50% finos – 50% Grueso arroja un valor aproximado del 54.34%, finalmente la dosificación de 80% finos – 20% Grueso, arroja el menor valor con respecto a MR de diseño (MR Diseño = 3.8 Mpa) siendo del 43.58%

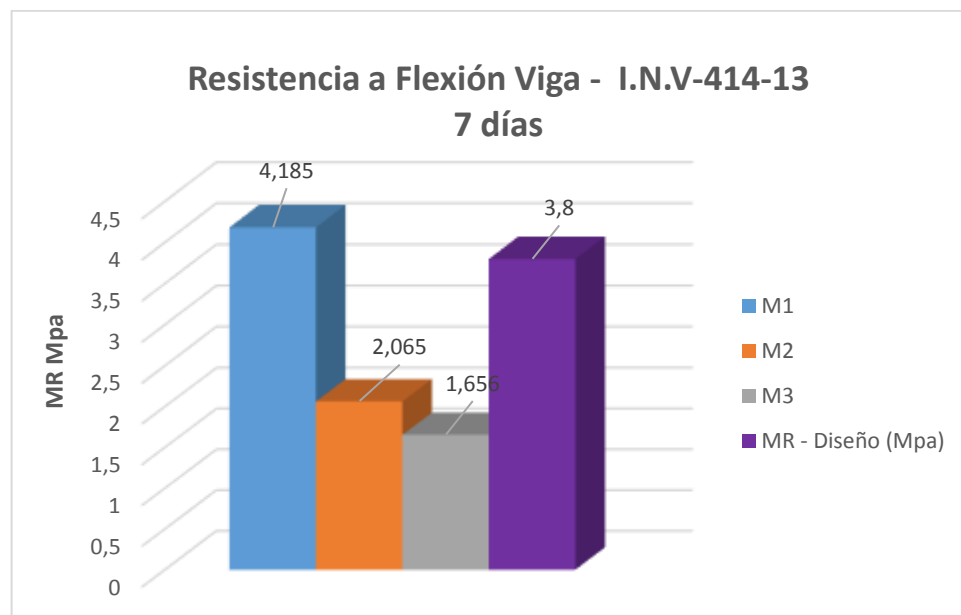


Grafico 6. Resistencia a la flexión 7 días. (Elaboración propia)

El grafico 7 muestra los valores de resistencia a flexión para un periodo de curado de 28 días, como se puede observar para la dosificación de 20% finos – 80% Grueso el módulo de rotura calculado supera al de diseño (113.21 %), mientras que la dosificación de 50% finos – 50% Grueso arroja un valor aproximado del 90.53%, finalmente la dosificación de 80% finos – 20% Grueso, arroja el menor valor con respecto a MR de diseño (MR Diseño = 3.8 Mpa) siendo del 59.34%

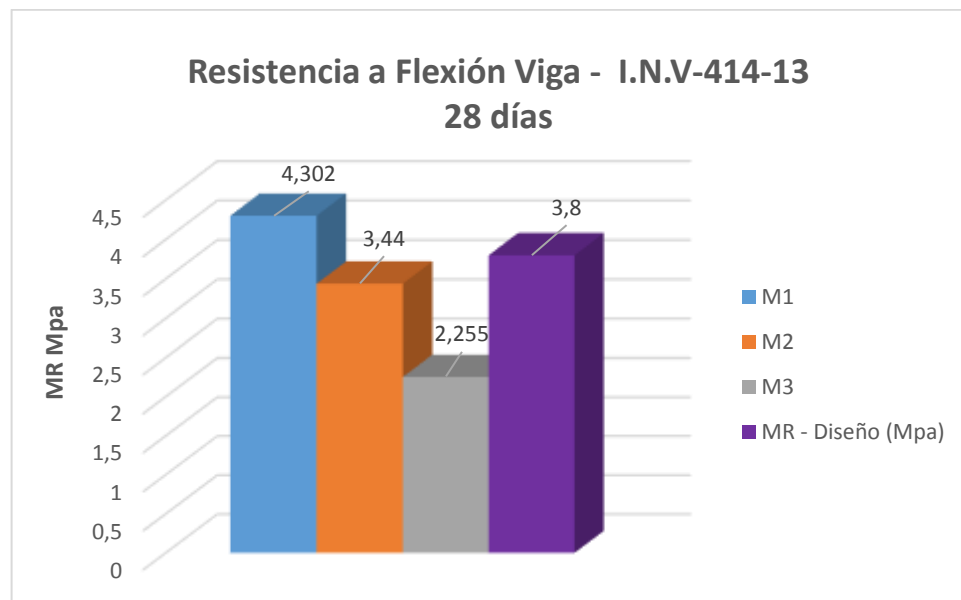


Grafico 7. Resistencia a la flexión 28 días. (Elaboración propia)

El grafico 8 muestra las curvas de MR respecto al tiempo, como ya se dijo anteriormente en el documento estos valores reportados de resistencia no son competentes para considerar un concreto estructural, sin embargo, si se revisa las dosificaciones planteadas se podría decir que aquellas que tiene 20% finos – 80 Gruesos puede llegar a cumplir en un pavimento rígido que no tolere altas demandas de tráfico, en otra palabras podría contemplarse para elaborar pavimentos donde las cargas sean de vehículos livianos o peatones.

Para la dosificación de 50% finos – 50% Grueso estuvo por debajo un -9.47% del MR de diseño, valor que si podría llegar a ser competente si se contempla incrementar la pasta cementante o incluir aditivos que mejore su resistencia.

Por último, la dosificación de 80% finos – 20% grueso definitivamente tiene muy baja competencia para considerarse como un concreto resistente al MR, pues esta estuvo por debajo un 40.66% lo cual es un valor bastante representativo que hace descartable para ser usado en una estructura de pavimento rígido.

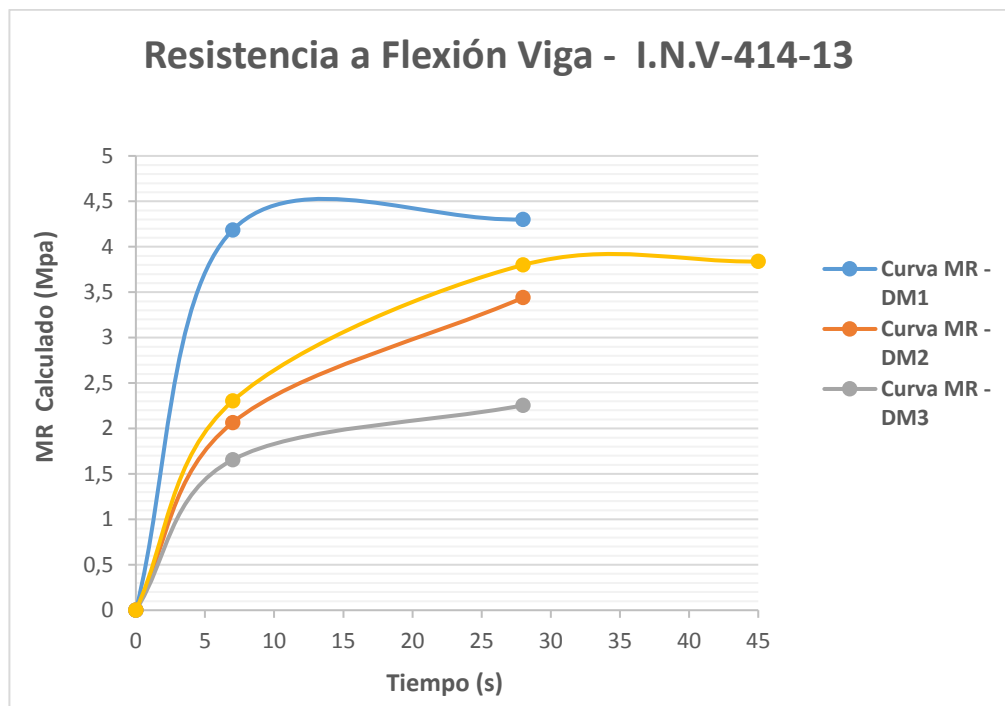


Gráfico 8. Curvas de Resistencia a la flexión 28 días. (Elaboración propia)

Luego de estimar los valores de f'_c y MR para todas las dosificaciones, la tabla 28 resume la correlación existente ente la compresión y flexión para los concretos elaborados en esta investigación. Según [21], dice que “El módulo de rotura presenta valores que varían entre un 10% y 20% de la resistencia a la compresión”

Tabla 28. Correlación del MR y f'_c

No Muestra	Descripción	Tiempo (días)	MR - Calculado (Mpa)	f'_c Calculado (Mpa)	20% f'_c (Mpa)
M1	20% finos y 80% Grueso	28	4.302	18.8	3.76
M2	50% finos y 50% Grueso	28	3.44	17.5	3.5
M3	80% finos y 20% Grueso	28	2.255	10.7	2.14

Nota: Presenta la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión en los 3 diseños de mezcla. (Elaboración propia)

11.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

Este parámetro de medida corresponde a la relación existente entre el esfuerzo de compresión o tracción y la deformación unitaria que este produce, para el caso de esta investigación no se tuvo lecturas de las deformaciones unitarias de las muestras sometidas al ensayo de resistencia a la compresión, por lo cual para determinar un módulo de elasticidad aproximado, lo que se hizo fue utilizar la formula señalada en la tabla 1.1 que presenta [9] en su libro, la cual dice que es un valor medio según experimentación nacional.

$$Ec = 4700 * \sqrt{f'c} \quad (Mpa)$$

Al aplicar la anterior ecuación para los valores de resistencia calculados a los 28 días de curados de las tres dosificaciones objeto de estudio se determinó que los módulos de elasticidad del concreto presentados en la tabla se asemejan a los valores determinados por experimentación nacional presentados por [9] en la tabla 1.1 en su libro.

Tabla 29. Módulos de elasticidad del concreto determinados por experimentación nacional

No Muestra	Descripción	Tiempo (días)	f'c (Mpa)	Ec (Mpa)
M1	20% finos y 80% Grueso	28	18.8	20378.7144
M2	50% finos y 50% Grueso	28	17.5	19661.5106
M3	80% finos y 20% Grueso	28	10.7	15374.1016

Nota: Presenta los módulos de elasticidad determinados por experimentación nacional en los 3 diseños de mezcla. (Elaboración propia)

12.RESULTADOS E IMPACTOS

Tabla 30. Resultados esperados

RESULTADO	INDICADOR	OBJETIVO RELACIONADO
Listado de las concesiones comprometidas con agregados finos del Río Guatiquía.	Documento en lista.	Objetivo específico 1
Caracterización física del agregado fino (Arena proveniente del río Guatiquía)	Cumplimiento al artículo I.N.V E 630-13.	Objetivo específico 2
Caracterización del comportamiento mecánico del concreto para 3 dosificaciones diferentes.	Ensayo a compresión (INV E-410-13 y NTC 673-10), flexión (módulo de rotura) INV E-414-13	Objetivo específico 3
Recomendaciones específicas del uso óptimo y pertinente para el agregado fino del Río Guatiquía.	Documento de tesis.	Objetivo específico 4

Nota: Presenta los resultados esperados a partir de los objetivos planteados. (Elaboración propia)

Los impactos esperados para la tesis de investigación son de aspecto académico, técnico y social, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 31. Impactos

ÁMBITO	IMPACTO	PLAZO
Social	Análisis de la vulnerabilidad y riesgo estructural que tienen los concretos que implementan materiales finos del río Guatiquía.	Corto
Técnico	Análisis mecánico del concreto con arenas del Río Guatiquía y de su comportamiento físico ante diferentes ensayos destructivos en estado húmedo por curado, cumpliendo la normativa (INV E-410-13 y NTC 673-10, INV E-414-13).	Mediano

Social	Informe de los estudios pertinentes que quedan fuera del alcance del proyecto con el objetivo de encontrar un ente que financie el resto de la investigación.	Mediano
Académico	Este proyecto busca incentivar la investigación en el área de los materiales de construcción para ingeniería civil, con el fin de impactar a los estudiantes y docentes, para que a través de los semilleros y proyectos de aula sigan desarrollando las recomendaciones que esta investigación les aporte.	largo
Social	Fortalecimiento de las relaciones interinstitucionales entre el programa de Ingeniería civil de la Universidad Santo Tomas sede Villavicencio con otras instituciones públicas como la alcaldía de Villavicencio, instituciones nacionales e internacionales, a las cuales se les difundirán los resultados.	Largo

Nota: Presenta los impactos a nivel social, técnico y académico. (Elaboración propia)

13. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

13.1. CONCLUSIONES

- En todo tipo de investigación es necesario documentar de manera sistemática y ordenada toda la información que se va encontrando en el desarrollo de la misma, para el caso puntual de esta tesis era necesario conocer los sitios de explotación de material del río y quienes lo hacen, por tal motivo se realizó una base de datos que identifica plenamente los nombre de los titulo mineros, el sitio exacto de localización y la actividad minera, esto se hizo con el fin de seleccionar el material de muestra base para realizar los ensayos de caracterización física, puesto que las concesiones son los proveeros principales del material agregado que es usado para elaborar concretos y estructuras de pavimento.
- En el desarrollo de las actividades de la ingeniería civil siempre es necesario realizar un control exhaustivo en los materiales insumos de las mismas, para el caso de los agregados se requiere conocer todas sus características técnicas, de allí parte dos tipos de caracterizaciones, la primera es la física y la segunda es química, esta investigación se centró en estudiar los comportamientos mecánicos de los concretos a nivel macro, por lo cual era suficiente considerar los ensayos físicos. Se llevó a cabo 5 ensayos bajo la normatividad del INVIAS (Granulometría, perdidas con sulfato de sodio, contenido de terrones de arcilla, equivalente de arena y contenido de materia orgánica), luego de analizar los resultados se llegó a la conclusión que el material no cumplía para ser tenido en cuenta en la elaboración de concretos estructurales, dado que en 2 de los ensayos no cumplieron con los parámetros normativos. Sin embargo, se encontró que estos pueden ser utilizados como agregados base para la elaboración de concretos no estructurales ($f'c < 21$ Mpa) y estructuras de pavimentos dado lo buenos resultados en los otros ensayos.
- En el estudio de la tecnología del concreto los parámetros de resistencia mecánica son la base para la fabricación de diversos elementos en las actividades de la ingeniería civil, por ello esta tesis estudio la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto para 3 dosificaciones diferentes en los agregados. Para 20% finos – 80% Grueso se determinó que dicha dosificación es competente para fabricar concretos No estructurales ($f'c < 21$ Mpa), cuyo uso puede ser diverso (sardineles, andenes, concreto de limpieza, entre otros), por otra parte, su MR estuvo por encima del Diseño ($MR_{\text{Diseño}} = 3.8$ Mpa), lo cual abre la posibilidad de ser considerado para pavimentos rígidos cuyo uso no demande grandes demandas de carga. Para la dosificación 50% Finos – 50%

Grueso, los resultados tanto de f_c y MR estuvieron cerca a los valores de diseño, sin embargo, desde el punto de vista técnico no se puede trabajar concreto cercanos al diseño por lo cual lo que se hizo fue clasificarlos en otro tipo de uso, para estos se encontró que podrían servir mejor como morteros de pega para mampostería luego de revisar los requerimientos de la misma en el título D de la NSR-10. Finalmente, para la dosificación 80% finos – 20 grueso se concluyó que definitivamente desde el punto de vista de resistencia, este concreto no es competente, por lo cual es mejor considera utilizarlo para ser aplicado como mortero de relleno y en cerámicos.

- Las tesis de investigación permiten poner a prueba hipótesis que posteriormente pueden llegar a ser verídicas o no, desde el punto de vista científico no es relevante encontrar siempre que los planteamientos sean confirmados, lo que importa es establecer que pasó en el proceso, y eso se hace a través de un análisis de las variables que intervienen en la búsqueda de los objetivos de la investigación. Para el caso puntual de este estudio lo que se hizo fue determinar las propiedades mecánicas de concretos elaborados a partir de arenas provenientes del río Guatiquía, estableciendo hasta qué punto es aplicable un uso determinado, de acuerdo a los resultados encontrados en los ensayos de laboratorio, por ello se recomienda a aquellos que quieran retomar esta investigación, tener en cuenta lo descritos en el análisis de resultados, puesto que cualquier modificación en una variable hace que se piense en un nuevo estudio y esa es la idea, recomendarle a los futuros investigadores seguir desglosando aún más estos temas basándose en lo ya estudiado para que puedan innovar.

13.2. TRABAJOS FUTUROS

- Este estudio tuvo limitantes desde el punto de vista logístico como financiero, dado que fue bastante difícil realizar los ensayos por la disponibilidad de los laboratorios, además a nivel de pregrado no se cuenta con la suficiente liquidez para poder utilizar mayor volumen de material y realizar más pruebas. Por tal motivo se recomienda a los futuros investigadores tomar este trabajo como una base para analizar variables más específicas en la tecnología de los concretos, esto les ayudaría a reducir costos en ensayos laboratorios en inclusive en propuestas de dosificaciones (80% finos y 20% grueso) que no tendrán comportamientos buenos desde el punto de vista de resistencia.
- Toda experiencia genera una oportunidad, si bien para el caso específico de esta investigación la dosificación de 80% de finos – 20% Grueso no fue competente desde el punto de vista de resistencia, si se piensa en agregarle un material adicional que la eleve o un refuerzo podría funcionar, esto abre la brecha para

quienes desean generar concretos competentes con agregados finos, o simplemente innovar con el estudio de más variables sea posible.

- La región de los llanos orientales tiene diversas opciones de aplicación de la ingeniería civil, ya sea en obras puntuales (edificaciones, industria o comercio), como en la lineales (vías, puentes, etc), lo cual hace que se requiera de innumerables estudios de los materiales propios de la región, por tal motivo es pertinente que los futuros investigadores sigan contribuyendo a fortalecer esta área de estudio la cual también puede ser una oportunidad de empleabilidad a largo a plazo.
- Se espera que los estudiantes pertenecientes a los semilleros de investigación de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Santo Tomas, aprovechen este insumo y lo sigan retroalimentando a través de sus proyectos de investigación.

14. BIBLIOGRAFIA

- [1] INVIAS, «Instituto nacional de vías,» [En línea]. Available: <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/documentos-tecnicos1>. [Último acceso: 22 04 2020].
- [2] MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, «REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10 TÍTULO D,» [En línea]. Available: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/4titulo-d-nsr-100.pdf>. [Último acceso: 01 08 2020].
- [3] J. L. Chan Yam, R. Solis Carcaño y E. I. Moreno , «Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto,» *Chan J., et. al. / Ingeniería 7-2*, p. 39, 2010.
- [4] R. B. W. V Ghio Castillo, «Innovación tecnológica en la construcción ahora es,» *Revista de Ingeniería de Construcción - Pontificia Universidad Católica de Chile*.
- [5] P. Gomez Delgado , «El tiempo,» 21 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.elespectador.com/economia/la-revolucion-de-la-infraestructura-social-articulo-813650>. [Último acceso: 30 Febrero 2019].
- [6] Alcaldia de Villavicencio , «Alcalde de villavicencio presentò informe de vivienda en foro nacional urbano de onu hàbitat,» 16 09 2017. [En línea]. Available: <http://www.villavicencio.gov.co/NuestraAlcaldia/SalaDePrensa/Paginas/Alcalde-de-Villavicencio-present%C3%B3-informe-de-vivienda-en-Foro-Nacional-Urbano-de-ONU-H%C3%A1bitat.aspx>. [Último acceso: 12 mayo 2019].
- [7] Alcaldia de Villavicencio , «Durante el 2017 se reportaron cerca de 600 construcciones ilegales en Villavicencio,» 22 Enero 2018. [En línea]. Available: <http://villavicencio.gov.co/NuestraAlcaldia/SalaDePrensa/Paginas/Durante-el-2017-se-reportaron-cerca-de-600-construcciones-ilegales-en-Villavicencio.aspx>. [Último acceso: 20 marzo 2019].
- [8] L. Lopez Gutierrez , *El concreto y otros materiales para la construccion, Manizales : Universidad Nacional de Colombia* , 2003.
- [9] S. F. J. Ignacio, *Estructuras de concreto I*, Bogota: Universidad Nacional Facultad de ingeniería, 2011.
- [10] D. A. Ferreira Cuellar y K. A. Torres Lòpez, «Caracterizaciòn fisica de agregados petreos para concretos caso: Vista Hermosa (Mosquera) y mina CEMEX (Apulo),» *Universida catolica de Colombia* , Bogota, 2014.
- [11] G. E. Bolívar Farfán, «análisis de la resistencia a la compresión f_c del concreto hidráulico adicionado con silicato de sodio, mediante ensayos de madurez y resistencia a la compresión,» *Universidad distrital Fransisco Jose de Caldas, Bogota*, 2018.

- [12] J. D. Osorio, «Grupo Argos,» 19 Enero 2011. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>. [Último acceso: Agosto 2019].
- [13] Association national ready mixed concrete, «National ready mixed concrete association,» [En línea]. Available: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>. [Último acceso: 10 Septiembre 2019].
- [14] Normas de ensayo de materiales para carreteras, «Erosion.com.co,» 13 Marzo 2012. [En línea]. Available: <https://www.erosion.com.co/presentaciones/category/23-normas-de-ensayo-de-materiales-para-carreteras.html?download=271:899-e-133>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [15] Gobernación del Meta , «El Meta,» 01 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.meta.gov.co/web/content/nuestro-departamento>. [Último acceso: 12 Marzo 2019].
- [16] Instituto geográfico Agustín Codazzi, «Mapa Colombia - Departamento del Meta,» Bogotá, 2020.
- [17] Google Earth Pro, «Imagen satelital tramo río Guatiquía,» Villavicencio, 2020.
- [18] «Rios del planeta,» 30 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://riosdelplaneta.com/rio-guatiquia/>. [Último acceso: 16 mayo 2019].
- [19] Corporación para el desarrollo sostenible de la Macarena, *Título mineros autizados para explotación del río Guatiquía*, Villavicencio, 2020.
- [20] Universidad Nacional sede Bogota , «bdigital.unal.edu.co,» [En línea]. Available: <http://bdigital.unal.edu.co/53252/17/estructuradelsueloygranulometria.pdf>. [Último acceso: 27 07 2020].
- [21] R. L. G. A, Resistencia del concreto, Bogotá, 2006.
- [22] J. L. Chan Yam, R. Solís Carcaño y É. I. Moreno, «Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto,» *Ingeniería*, vol. 7, nº 2, pp. 39-46, 2003.
- [23] I. gutierrez de lopez, El concreto y otros materiales para la construcción, Manizalez: Unal, 20003.
- [24] Redaccion Llano siete dias , «El Tiempo,» 20 octubre 2013. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13136163>. [Último acceso: Mayo 2019].
- [25] J. Martinez, Diagrama de flujo Metodología empleada tesis de investigación, Villavicencio, 2020.

ANEXOS

- Resultado de laboratorio Caracterización Granulométrica del Agregado 80% Fino y 20% Grueso. Archivo en PDF Generado por la empresa NHSQ Ingeniería firmado
- Resultado de laboratorio Caracterización Granulométrica del Agregado 50% Fino y 50% Grueso. Archivo en PDF Generado por la empresa NHSQ Ingeniería firmado
- Resultado de laboratorio Caracterización Granulométrica del Agregado 20% Fino y 80% Grueso. Archivo en PDF Generado por la empresa NHSQ Ingeniería firmado
- Resultado de laboratorio ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Archivo en PDF Generado por la empresa NHSQ Ingeniería firmado
- Resultado de laboratorio ensayo de resistencia a la flexión de viga de concreto. Archivo en PDF Generado por la empresa NHSQ Ingeniería firmado