



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE
CONCRETO CON DOSIFICACIONES DE
DIFERENTES PORCENTAJES DE
ADICIÓN DE ARCILLAS CALCINADAS
DEL ESTADO CARABOBO A LOS
FINOS DE LA ARENA.**

Autor(es):

Andrés Eloy Teixeira Goncalves

Gabriel José Téllez Aldana

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO
CON DOSIFICACIONES DE DIFERENTES PORCENTAJES DE ADICIÓN DE
ARCILLAS CALCINADAS DEL ESTADO CARABOBO A LOS FINOS DE LA ARENA**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Autor(es):

Andrés Eloy Teixeira Goncalves

C.I: 28.402.266

Gabriel José Téllez Aldana

CI:28.402.266

Tutor(a):

Alejandro Francisco Pocaterra Bonilla

San Diego, junio de 2023



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Análisis de Resistencia a la compresión de muestras de Concreto con dosificaciones de diferentes porcentajes de adición de arcillas colonadas del Estado Carabobo a los finos de la arena

Realizado por el (la) Br. Andrés Teixeira

C.I. N° 25.402.266 cursante de la carrera de Ingeniería Civil

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Alejandro Teixeira
C.I.: 7103371

El Jurado

Jurado
Nombre: Ana Barreto
C.I.: 11008932

Jurado
Nombre: Luis T Rodríguez
C.I.: 15148806

Fecha: 06/07/23



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Análisis de Resistencia a la compresión de muestras de concreto con dosificaciones de diferentes porcentajes de adición de orcillos colocados del Estado congreso a los fines de arena

Realizado por el (la) Br. Gabriel Tellez

C.I. N° 29.506.228 cursante de la carrera de Ingeniería Civil

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Alejandro Tocotira
C.I.: 7105821

El Jurado

Jurado
Nombre: Ana Borroto
C.I.: 11800932

Jurado
Nombre: Luis F Rodríguez
C.I.: 15148806

Fecha: 6/7/23





**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Pocaterra B, Alejandro F, portador de la cédula de identidad N° 7.109.571, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Teixeira G, Andrés E, Téllez A, Gabriel J, portadores de las cédulas de identidad N° 28.402.266; N° 29.500.274, titulado **“ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CON DOSIFICACIONES DE DIFERENTES PORCENTAJES DE ADICIÓN DE ARCILLAS CALCINADAS DEL ESTADO CARABOBO A LOS FINOS DE LA ARENA”**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 15 días del mes de junio del año dos mil veintitrés.



Alejandro Francisco Pocaterra Bonilla

C.I: 7.109.571



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

FI L 011 2022-3CR TG

Valencia, 14 de abril de 2023

Ciudadanos:

TEIXEIRA GONCALVES, ANDRÉS ELOY

28.402.266

TELLEZ ALDANA, GABRIEL JOSÉ

29.500.274

Presente -

Cumplo con informarles que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 04-2023 de fecha 09/02/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

Análisis de resistencia a la compresión de muestras de concreto con dosificaciones de diferentes porcentajes de adición de arcillas calcinadas del estado Carabobo a los finos de la arena.

Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Alejandro Francisco Pocaterra Bonilla, titular de la cédula de identidad V- 7.109.571

Atentamente

Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

DEDICATORIA

A mi padre:

Duarte Miguel Teixeira Pestana, quien ha sido cimiento fundamental para mi desarrollo como persona y como futuro ingeniero, quien a sembrado en mí su voluntad, dedicación al trabajo y estudio, a siempre aprender algo nuevo, a pretender todos los días ser una versión más capaz de uno mismo que el día anterior y por sobre todas las cosas, a nunca rendirse.

A mi madre:

María Alicia Goncalves Sieiro, quien me enseñó a tener pasión por lo que hago cada día, por el amor incondicional que me provee y el apoyo en mis días buenos y malos, que ha velado siempre por mi bienestar presente y futuro, quien de la mano con mi padre ha sido mi hogar y base solida para crecer y levantarme cada día.

A mi hermano:

Alexis Miguel Teixeira Goncalves, quien ha estado en las buenas en las malas, quien como hermano mayor me ha aconsejado y hecho lo que esté a su alcance para ayudarme en mi crecimiento como persona.

A mi enamorada:

Sthephania Audelina Villalonga Yusti, quien me ha acompañado desde los inicios de mi carrera universitaria y ha servido mi vida de risas, amor y buenos momentos, quien ha sido mi confidente incondicional y me ha apoyado profundamente en todo momento, quien me llena de inspiración para superarme todos los días.

A mi compañero de Trabajo de Grado:

Gabriel Téllez, el cual sirvió de apoyo mutuo para desarrollar este proyecto de investigación que me llena de orgullo, quien se llevó las manos a la cabeza junto a mi cuando las dificultades se atravesaban en nuestro camino, así como también se sentó a mi lado para con ingenio, lograr apartarlas.

A mis compañeros:

Quienes han sido los que han vivido esta experiencia universitaria a mi lado, en especial a los que me acompañan desde el día uno; Alexandra Marrero, Beatriz Castellanos, Valeria Caicedo y María Victoria Bakhos. Por el apoyo, las risas y los momentos que quedaran por siempre en mi memoria, solo nosotros sabemos realmente cuanto esfuerzo y pasión dedicamos a esta carrera.

~Andrés Teixeira.

DEDICATORIA

A mi madre Eva Aldana, por todo el apoyo que me ha dado, por todo el sacrificio que ha hecho para yo poder estar aquí, por ser mi ayuda diaria e inspiración para seguir adelante, ser mi motor y motivación para cumplir cada una de mis metas y mis sueños, por ser paciente, tolerante y siempre estar ahí cuando más lo necesitaba. Gracias por ayudarme a mantener una actitud positiva a cada circunstancia que se me ha presentado.

A mi padre Javier Tellez, por ser mi modelo a seguir, por los valores y enseñanzas que me dejaste en el tiempo que estuviste a mi lado, y aunque no estes físicamente, sé que has estado ahí para mí y me has acompañado a lo largo de este camino y me llena de orgullo saber que a partir de este momento no solo somos padre e hijo, sino también colegas.

A mis abuelos, tíos y primos, por acompañarme en todos estos momentos y ayudarme de distintas maneras a lo largo de toda mi carrera, estando presente en toda esta trayectoria.

A mis compañeros, colegas y promoción, por ayudarme y soportarme a lo largo de toda la carrera, por siempre estar ahí cuando lo necesitaba, por esos momentos de desvelos y risas en cada proyecto que nos tocó hacer. Eternamente agradecido con la amistad que se forjó en estos años.

A mis colegas y amigos de la UC, por la ayuda y enseñanzas que me brindaron los semestres que pude compartir con ellos, dando su apoyo siempre que lo necesitaba.

A Valeria Caicedo, por ser un gran apoyo estos últimos meses de carrera, por estar siempre que la necesité, por todo el apoyo que me brindó y haberme ayudado en todos esos momentos que sentía que no lo lograba, dándome siempre los mejores consejos para mantener esa confianza que necesitaba.

Y por supuesto a mi compañero de tesis y amigo Andrés Teixeira, por ser ese amigo que siempre estuvo para mí, por luchar siempre codo a codo en todas las circunstancias que se presentaron, por apoyarnos en cada proyecto que estuvimos juntos. Has sido un gran amigo para mí a lo largo de toda esta travesía. Estoy orgulloso de las metas y logros que hemos cumplido y todos los que vendrán. Te deseo el mayor de los éxitos.

~Gabriel Tellez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios, por habernos permitido llegar hasta este punto y poder lograr nuestras metas y objetivos, por iluminarnos a lo largo de esta travesía y darnos fuerzas a pesar de todos los obstáculos, por la fortaleza, sabiduría, perseverancia que nos han traído hasta acá y haber estado con nosotros en todo te momento. Te damos las gracias.

Queremos agradecer a la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad José Antonio Páez, por ser nuestra casa de estudio, así como a sus integrantes, por ser la fuente de conocimientos que nos llevan a ser futuros ingenieros.

A nuestros padres, que no solo nos llenaron de apoyo día a día, sino también pusieron todo el esfuerzo que estaba en sus manos y más allá de eso para que lográramos cursar esta carrera con plenitud.

A nuestro Tutor académico, Alejandro Francisco Pocaterra Bonilla, que apporto su gran repertorio de conocimientos, su dedicación, atención y disposición incondicional sin importar horas o días de la semana, para que este proyecto fuese llevado a cabo exitosamente y alcanzara la calidad posee.

A FRAMEX C.A que nos recibió como investigadores para desarrollar este gran proyecto experimental aportando sus instalaciones, equipos, herramientas, materiales y conocimientos en el área para que este fuese llevado a cabo y completado de forma satisfactoria.

A Alfarería Hispano Venezolana, que permitió cumplir una parte fundamental para el desarrollo de este proyecto, prestando su horno de pruebas para calcinar las Arcillas que fueron utilizadas para el proceso de experimentación de este proyecto de investigación.

~Andrés Teixeira y Gabriel Tellez

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
RESUMEN INFORMATIVO.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Formulación del Problema.....	7
1.3 Objetivos de la Investigación.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Justificación.....	8
1.5 Alcance y Limitaciones.....	9
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	10
2.2. Teoría central de la investigación.....	14
2.3 Bases Teóricas.....	14
2.3.1. Concreto.....	14
2.3.2. Resistencia a la compresión del concreto	15
2.3.3. Control de calidad	15
2.3.4. Ensayos de control del concreto	16
2.3.5. Criterios de aceptación y rechazo	17
2.3.6. Cemento	17
2.3.7. Arcilla	17
2.3.8. Agregados	18
2.3.9. Agregados finos	19

2.3.10. Agregados Gruesos	20
2.4 Bases Legales.....	20
2.4.1. COVENIN 344:2002	21
2.4.2. COVENIN 338:2002	21
2.4.3. COVENIN 255:1998	21
2.4.4. COVENIN 277:2000	21
2.4.5. COVENIN 1976:2003	22
2.4.6. COVENIN 342:2004	22
2.4.7. COVENIN 3549:1999	22
2.5 Definición de Términos.....	22
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	24
3.2 Diseño de la Investigación.....	25
3.3 Nivel de la investigación.....	25
3.4. Población y muestra.....	25
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	27
3.5.1. Observación directa	27
3.5.3. Revisión Bibliográfica	28
3.5.4. Pruebas	28
3.6. Técnicas de análisis de resultados.....	28
3.7. Fases metodológicas.....	29
IV RESULTADOS	
4.1 Fase I: Caracterización de los agregados suministrados por la empresa Framex C.A, así como las arcillas obtenidas en canteras a cielo abierto del estado Carabobo.....	33
4.2 Fase II: Realización los ensayos de rotura a compresión a las probetas de concreto con diferentes dosificaciones de arcillas calcinadas en adición a los finos de la arena a 7 y 28 días.....	53

4.3 Fase III: Análisis los resultados de resistencia a la compresión de las probetas obtenidos en los ensayos de rotura.....	67
4.4 Fase IV: Evaluación de las medidas de tendencia central, así como las medidas de dispersión estadísticas de los resultados de resistencia a compresión.....	73
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	94

LISTA DE FIGURAS

DESCRIPCIÓN

FIGURA		pp.
1	Agregado fino y Grueso en Patio.....	33
2	Cemento almacenado.....	34
3	Cemento almacenado.....	35
4	Arcillas crudas almacenadas.....	36
5	Tamizadora automática.....	37
6	Muestra de agregado fino.....	38
7	Tamizado de agregado fino.....	39
8	Muestra de agregado grueso.....	41
9	Tamizado de agregado grueso.....	42
10	Prueba por decantación de arcillas crudas.....	45
11	Muestra de arcillas calcinadas.....	46
12	Arcillas calcinadas almacenadas.....	47
13	Proceso de ensacado de material.....	48
14	Proceso de ensacado de material.....	49
15	Parte de los agregados ensacados.....	51
16	Parte de los agregados ensacados.....	52
17	Parte de los agregados ensacados.....	53
18	Trompo mezclador e investigadores.....	54
19	Mezcla de concreto en trompo.....	55
20	Mezcla de concreto en trompo.....	56
21	Mezcla de concreto en trompo.....	57
22	Cono de Abrams y placa.....	58
23	Prueba de asentamiento mediante el Cono de Abrams.....	59
24	Herramientas y equipo utilizado para fabricar probetas cilíndricas.....	60
25	Muestra de concreto antes de fraguado.....	61
26	Muestra de concreto a las 24 horas de fraguado.....	62

27	Probetas cilíndricas en piscinas de curado.....	63
28	Retenedor de acero y neopreno para ensayos a compresión de probetas cilíndricas.....	63
29	Probeta cilíndrica lista para ensayar.....	64
30	Prensa hidráulica lista para ejecutar ensayo a compresión.....	65
31	Ensayo a compresión culminado.....	66
32	Representación de fractura de probeta cilíndrica.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

DESCRIPCIÓN

GRÁFICO		pp.
1	Curva granulométrica de agregado fino.....	40
2	Curva granulométrica de agregado grueso.....	44
3	Resultados de resistencia a compresión a 7 días de curado.....	74
4	Resultados de resistencia a compresión a 28 días de curado.....	75
5	Comportamiento a compresión muestras de cada grupo a 7 días de curado.....	76
6	Comportamiento a compresión muestras de cada grupo a 28 días de curado.....	76
7	Histograma de frecuencias grupo 0% a 7 días de curado.....	82
8	Histograma de frecuencias grupo 60% a 7 días de curado.....	83
9	Histograma de frecuencias grupo 30% a 7 días de curado.....	84
10	Histograma de frecuencias grupo 45% a 7 días de curado.....	85
11	Histograma de frecuencias grupo 0% a 28 días de curado.....	86
12	Histograma de frecuencias grupo 60% a 28 días de curado.....	87
13	Histograma de frecuencias grupo 30% a 28 días de curado.....	88
14	Histograma de frecuencias grupo 45% a 28 días de curado.....	89

LISTA DE TABLAS

DESCRIPCIÓN

TABLA		pp.
1	Muestras Totales.....	27
2	Pasante Tamiz N°200 del agregado fino.....	39
3	Granulometría de agregado fino.....	40
4	Pasante Tamiz N°200 de agregado grueso.....	42
5	Granulometría de agregado grueso.....	43
6	Diseño de mezcla patrón.....	47
7	Volumen de concreto requerido.....	49
8	Dosificación de materiales por muestra y grupo.....	50
9	Dosificación de arcillas calcinadas por muestra y grupo.....	50
10	Costos finales del metro cubico de concreto con los diferentes porcentajes de adición de arcillas calcinadas.	68
11	Resultados de resistencia a compresión a 7 días de curado.....	68
12	Resultados de resistencia a compresión a 28 días de curado.....	69
13	Evaluación de promedios consecutivos a 7 días de curado.....	71
14	Evaluación de promedios consecutivos a 28 días de curado.....	72
15	Resistencia a compresión media alcanzada por cada grupo a 7 días de curado.....	74
16	Resultados de resistencia a compresión a 28 días de curado.....	75
17	Evaluación estadística de resultados a 7 días de curado.....	78
18	Evaluación estadística de resultados a 28 días de curado.....	79
19	Control de calidad a partir de la desviación estándar según COVENIN 1976:2003.....	80
20	Control de calidad a partir del Coeficiente de variación de Pearson según COVENIN 3549:1999.....	80

21	Tabla de frecuencias grupo 0% a 7 días de curado.....	82
22	Tabla de frecuencias grupo 60% a 7 días de curado.....	83
23	Tabla de frecuencias grupo 30% a 7 días de curado.....	84
24	Tabla de frecuencias grupo 45% a 7 días de curado.....	85
25	Tabla de frecuencias grupo 0% a 28 días de curado.....	86
26	Tabla de frecuencias grupo 60% a 28 días de curado.....	87
27	Tabla de frecuencias grupo 30% a 28 días de curado.....	88
28	Tabla de frecuencias grupo 45% a 28 días de curado.....	89



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO
CON DOSIFICACIONES DE DIFERENTES PORCENTAJES DE ADICIÓN DE
ARCILLAS CALCINADAS DEL ESTADO CARABOBO A LOS FINOS DE LA ARENA**

Autor(es): Andrés Eloy
Teixeira Goncalves
Gabriel José
Téllez Aldana

Tutor: Alejandro Francisco Pocaterra
Bonilla
Fecha: junio 2023

RESUMEN INFORMATIVO

El presente proyecto surgió de la necesidad en la industria de la construcción y el concreto de lograr producir cada vez concretos de mejor calidad a un mejor precio, puesto a que este material es uno de los más utilizados en este rubro. Las arcillas calcinadas podrían lograr mejorar la resistencia a compresión, de esto nace la pregunta ¿Cómo varía la resistencia a la compresión de muestras de concreto dosificadas con la adición de arcillas calcinadas a los finos de la arena?, motivo por el cual el presente proyecto tuvo como objetivo determinar la resistencia a compresión de mezclas de concreto con porcentajes de adición de arcillas calcinadas a los finos de la arena, obtenidas en canteras a cielo abierto del estado Carabobo, evaluadas a partir de un diseño de mezcla $f'c = 250\text{kg/cm}^2$. Desarrollada en la Universidad José Antonio Páez con apoyo de la empresa Framex C.A y adscrita la línea de investigación de ciencias cognitivas y aplicadas bajo una metodología de campo documental, con diseño experimental y nivel descriptivo, usando para el desarrollo de este proyecto técnicas para la recolección de datos tales como Observación directa, Registro fotográfico Revisión bibliográfica y Pruebas.

Descriptor: Concreto, Arcillas calcinadas, Resistencia a compresión, Tecnología del concreto.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**COMPRESSION STRENGTH ANALYSIS OF CONCRETE SAMPLES WITH
DIFFERENT PERCENTAGES OF ADDITION OF CALCINED CLAYS FROM
CARABOBO STATE TO SAND FINES.**

Authors: Andrés Eloy

Teixeira Goncalves

Gabriel José

Téllez Aldana

Tutor: Alejandro Francisco Pocaterra
Bonilla

Date: june 2023

ABSTRACT

This project arose from the need in the construction and concrete industry to produce increasingly better-quality concrete at a better price, since this material is one of the most used in this area. Calcined clays could improve the compressive strength, from this arises the question: How does the compressive strength of concrete samples dosed with the addition of calcined clays to the sand fines? reason for which the present project The objective was to determine the compressive strength of concrete mixtures with percentages of addition of calcined clays to the sand fines, obtained in open-air quarries in Carabobo state, evaluated from a mix design $f'c = 250\text{kg}/\text{cm}^2$. Developed at the José Antonio Páez University with the support of the company Framex C.A and attached to the line of research of cognitive and applied sciences under a documentary field methodology, with experimental design and descriptive level, using for the development of this project techniques for the collection of data such as direct observation, photographic record, bibliographic review and tests.

Descriptores: Concrete, Calcined clays, compressive strength, Concrete technology.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tuvo como objetivo determinar la resistencia a la compresión de mezclas de concreto modificadas con porcentajes de adición de 30%, 45% y 60% de arcillas calcinadas en función del peso de los finos de la arena, respecto de un diseño de mezcla base con una resistencia a compresión teórica de 250 kg/cm². También se determinó cuál de estas dosificaciones produce mayor capacidad a compresión por medio de análisis estadístico y mediciones de dispersión, esto dejó constancia de la fiabilidad de los resultados. Esta investigación resulta de la necesidad de mejorar la calidad y las capacidades del concreto reduciendo los costos de producción, puesto que este material de construcción es uno de los más utilizados no solo en Venezuela sino también en prácticamente en todo el mundo, resultando siempre conveniente descubrir una forma más económica de producir concreto manteniendo o mejorando las capacidades y características del mismo.

Esta investigación se realizó por medio de un diseño experimental, puesto que los investigadores llevaron a cabo personalmente pruebas y ensayos a las mezclas de concreto para obtener los resultados de resistencia a compresión, así como ensayos a los materiales necesarios para la fabricación del concreto de modo que se garantice la calidad de estos procesos de control de calidad. Para este estudio se tuvo una población y muestra de 7 mezclas de concreto por cada porcentaje de adición de arcillas calcinadas, resultando en un total de 112 cilindros a ensayar a compresión. Para el presente proyecto se llevó a cabo la indagación de las bases teóricas fundamentales para la obtención de los conocimientos necesarios por parte de los investigadores, así como de las normativas competentes para el desarrollo de los experimentos.

En esta investigación se haya una estructura conformada por capítulos, respectivamente el capítulo I que confiere el problema a estudiar, el capítulo II el cual contiene las bases teóricas y legales que fundamentan la investigación, el capítulo III el cual permite conocer la metodología bajo la cual se desarrolló la investigación y, por último, el capítulo IV en el cual se dejan establecidos los recursos que poseían de su lado los investigadores para llevar a cabo el mencionado proyecto.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El concreto o hormigón, es en esencia una mezcla de algún aglomerante (como el cemento) y agregados fino y grueso, como arena y grava respectivamente. El aglomerante en si no posee capacidades adherentes, sin embargo, en el caso del cemento al ser hidratado con agua este se vuelve una pasta viscosa en mayor o menor medida según la relación agua-cemento que tenga la mezcla y con el paso del tiempo se producirá el endurecimiento de la misma, proceso conocido en la industria como fraguado.

El fraguado de la mezcla tiene como resultado la generación de resistencia a la compresión, la cual depende en gran medida de la relación agua-cemento (aunque no directamente) y aumenta logarítmicamente con el pasar de los días, es decir, los primeros días de estudio aumenta más que los últimos que suele ser hasta los 28 días, sin embargo, este aumento se considera continuo a lo largo de su vida útil.

Alrededor de todo el mundo el concreto es, al igual que el acero y la madera, uno de los materiales más utilizados en el sector de la construcción. Esto es un hecho debido a su variedad de virtudes tales como su facilidad obtención y trabajabilidad, su costo, su durabilidad en entornos agresivos y una de las más importantes, su gran resistencia a la compresión.

Es importante destacar que es el material de construcción que posee la mayor resistencia a compresión por costo unitario. Pero esto ha sido un resultado de muchos intentos, estudios y esfuerzo a lo largo de los años buscando optimizar al máximo posible los recursos necesarios para la fabricación de un concreto de la mayor resistencia posible por el menor costo necesario.

Según Maya, Yurma (2014) en su informe nos señala que,

el sector de construcción, uno de los más dinámicos y crecientes de la economía venezolana, en cuanto a la demanda de viviendas de interés social y de otras infraestructuras, posee una combinación particular que describe su participación en el PIB situado entre un 5% y 7% (p. 2).

Por esto es necesaria la constante innovación, mejora y optimización de los materiales de construcción para lograr lo que se conoce como un concreto de alto desempeño o *high performance concrete*, en lo que respecta al concreto siempre resultará conveniente conseguir mejoras en su resistencia a la compresión, así como en otras propiedades.

La resistencia a la compresión que puede adquirir una mezcla de concreto depende de muchos factores que entre sí pueden ser positivos o negativos para dicha resistencia. Entre ellos, uno de los factores que se da por hecho que está cubierto a la hora de realizar una mezcla son los agregados, puesto que estos poseen una resistencia a la compresión propia, así como cualidades físicas de la cual depende directamente la resistencia del concreto en el cual está dicho agregado.

Los agregados son los componentes inertes del concreto y su influencia en las características del concreto es notable. El Ingeniero Swamy destaca que, durante varios años su estudio fue descuidado, debido principalmente, al bajo costo comparativo con el costo del cemento, además de los bajos requerimientos de resistencia, en los cuales los agregados no tienen gran influencia, sin embargo, hoy en día se conoce la influencia del agregado en las propiedades del concreto tanto en estado fresco y endurecido.

En el caso de los agregados son hasta cierto punto un factor que puede llegar a ser un limitante para la capacidad del concreto, puesto que de usarse agregados con una resistencia a la compresión menor que la requerida en el concreto, el mismo colapsará no por la falla en la pasta de cemento endurecida, sino porque el agregado se quebrará antes causando un colapso indeseado del concreto.

En términos generales, la resistencia y elasticidad de los agregados dependen de su composición, textura y estructura. Sin embargo, una baja resistencia en los agregados puede ser causada por la debilidad de los granos propiamente, bien, estos siendo muy resistentes no estén bien unidos entre sí. Un buen valor promedio de los agregados está en el orden de los 2100 kg/cm² que, siendo el caso a usar en una mezcla de concreto, está muy lejos de ser una limitante en la resistencia final del concreto, pero muchos agregados pueden tener una baja resistencia de 800 kg/cm². Por lo que, para un concreto de muy alta resistencia, superando los 1000 kg/cm², el agregado podría estar siendo una barrera para lograr el objetivo.

También, existen recomendaciones para la elección de los agregados que tienen importancia de considerar para lograr buenos resultados en la resistencia a compresión del concreto. Por ejemplo, para el agregado fino, lo recomendable es conseguir un perfil redondeado y una textura suavizada, ya que estos requerirán menor cantidad de agua que, por consiguiente, permite reducir la relación de agua-cemento.

Por parte del agregado grueso, lo que se recomienda es que se use, por ejemplo, cantos rodados triturados y piedras trituradas por su mayor adherencia mecánica de las partículas de perfil angular. Lo ideal es que este posea una textura rugosa, poco absorbente y limpia. Es importante tener en cuenta que la piedra triturada si bien consigue una mayor resistencia a compresión, produce una menor trabajabilidad que los cantos rodados sin triturar, ya que estos permiten un fácil deslizamiento entre sí.

Por definición del Ingeniero Swamy, un concreto de alto desempeño tal como es diseñado para dar características optimizadas de desempeño para condiciones dadas de cargas, uso y condiciones de exposición, consistentes con los requerimientos de costo, ciclo de vida, y durabilidad. Un concreto de alto desempeño no necesariamente implica el uso de materiales costosos o procesos tecnológicos complejos, sino que estos están condicionados por los requerimientos estructurales, de uso y de medioambiente.

Esto se ha conseguido de diferentes formas como lo es el añadido o sustitución de elementos que integran las mezclas de concreto que es otro de los factores que afectan la resistencia a la compresión del concreto. El uso de adiciones minerales, por ejemplo, no es una tecnología reciente, se tiene reportes de un viejo ejemplo que data de 5000 a 4000 años A.C, la cual fue una mezcla de limos y una puzolana natural. Estas piezas puzolánicas eran anteriormente utilizadas como el cemento de hoy en día, por si solas tiene poca o nula capacidad cementante, pero estas al ser molidas poseen propiedades aglutinantes al humedecerse tal como el cemento.

Escritos de un antiguo ingeniero romano llamado Marcus Vitruvius Pollio, reporta cementos hechos por los griegos y romanos, los cuales son descritos con una durabilidad superior, estos hechos también con mezclas de limos y puzolanas. Actualmente, como ejemplo de estos casos se encuentran materiales como la ceniza volante, y el *filler calizo*. El incremento del uso de este tipo de adiciones se debe principalmente a las mejoras en las propiedades del concreto tanto en estado endurecido (como su resistencia a compresión y durabilidad) como en estado fresco (como su trabajabilidad y su baja segregación).

Los aditivos plastificantes, generalmente basados en compuestos orgánicos, consiguen optimizar los diseños de concreto disminuyendo la cantidad de agua y cemento necesarias para mantener y garantizar una trabajabilidad y resistencia a compresión del concreto, lo cual solía

suponer un aumento considerable del cemento y agua necesarios para conseguir dichas propiedades solo a partir de agua.

El efecto directo de los plastificantes sobre la pasta de cemento es reducir la viscosidad de la misma, haciendo que fluya más rápido, esto lo consigue recubriendo las partículas de cemento provocando repulsión entre ellas, logrando que tengan menos resistencia al flujo entre sí. Además, los plastificantes dan lugar a una eliminación de micro flóculos que son grumos de material en las mezclas, lo que permite la liberación y mejor distribución del agua.

Por otro lado, el concreto reforzado con la microfibras o microfibras es aquel que incorpora refuerzos con dichas fibras estructurales discontinuas, estas suelen ser de acero o polipropileno. Según el contenido de fibras que se añade al concreto, le proporcionan a este una serie de propiedades especiales como lo es la resistencia a agrietamientos y fisuraciones que se genera tan pronto inicia un proceso de fisuración. Esto es causado por el esfuerzo de tracción que son capaces ejercer las fibras al iniciarse la fisuración, creando una acción de puente a través de estas microgrietas limitando así mecánicamente su expansión. Eso le proporciona al concreto una resistencia adicional denominada capacidad residual.

En el caso de las microfibras, son destinadas a evitar la fisuración en estado fresco, lo que se conoce como agrietamiento plástico, que es uno de los fenómenos indeseados del concreto ya que esto permite el ingreso e infiltración de agentes que pueden causar corrosión y deterioro en el concreto, como sulfatos, cloruros e incluso simplemente agua más allá de la superficie.

Hoy en América Latina, se ha estandarizado la proporción de 600 g de microfibras por m³ de concreto. Aunque en la vanguardia tecnológica se han diseñado modelos de fibra que son capaces de requerir menores cantidades cercanas a los 300 g/m³ que consiguen proporcionar mejores beneficios que las que exigen 450 o 600 g/m³. Las microfibras se encuentran de diferentes longitudes según sean los requerimientos de la mezcla de concreto, normalmente de $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, y $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Aumentando el costo de los aditivos que pueden mejorar la resistencia a la compresión del concreto se tiene la sílice y sus derivados como la microsílice y la más reciente nano-sílice que han demostrado también tener una mejora considerable de la resistencia a la compresión a costa de un aumento considerable de su costo unitario.

La sílice cristalina es un componente natural que se encuentra de forma natural en abundantes cantidades en rocas, suelo y arena. Esta es óxido de silicio SiO_2 y la forma más común en la que se encuentra es en el cuarzo. Esta presenta características físicas como diámetro promedio muy pequeño, alto contenido de sílice y ser de tipo amorfo, con un color que varía de gris oscuro a claro.

La presencia de la microsíllice en el concreto fresco generalmente da como resultado una reducción en la exudación y riesgo de segregación y mayor cohesividad. Esto como resultado de incorporar partículas extremadamente finas en la mezcla. También tiene un efecto catalizador en la hidratación del cemento, así como en estado endurecido un mejor acomodo del material sólido al llenar los espacios entre granos de cemento.

Bache demostró 1981 que la adición de microsíllice logra reducir la demanda de agua debido a que esta ocupa espacios vacíos que de otra manera estarían ocupados por agua. También si estos estuviesen ocupados por agua, aumenta la porosidad lo cual es una característica indeseada en el concreto. Puesto que la porosidad o espacios vacíos se traduce directamente en áreas internas que no transmiten esfuerzos, reduciendo la resistencia a la compresión. Adicionalmente, la porosidad perjudica otras características en el concreto como su durabilidad en el tiempo y la capacidad de aislamiento térmico, a causa de que los espacios vacíos permiten la acumulación de agua o humedad dentro del concreto y está teniendo esta una gran conducción térmica, causa que la temperatura pase de un lado a otro con mayor facilidad.

Como se puede notar, estas soluciones, aunque son efectivas, poseen un inherente aumento del costo de la mezcla de concreto, sin embargo, existen muchos materiales que podrían resultar en nuevas soluciones que consigan mejorar la resistencia a la compresión y otras características de concreto, pero que, a su vez, sean más económicas y accesibles. Uno de estos podría ser las arcillas calcinadas.

Las arcillas son una roca sedimentaria compuesta por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, un ejemplo de ellos es el grafito. Están compuestas por partículas extremadamente pequeñas y de superficie lisa, su diámetro es inferior a 0.0039 mm y presenta coloraciones según las impurezas que contiene y va desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando se encuentran pura. Se caracteriza por adquirir plasticidad al mezclarse con el agua, así como obtener gran

dureza al calentarse por encima de 800 °C lo que logra la calcinación o activación térmica de las arcillas. Al calcinar arcillas estas forman puzolanas, a partir de la eliminación de las moléculas de agua que tienen adheridas en su estructura, dando una estructura cristalina modificada. Al cambiar su estructura se consiguen ciertas propiedades, una de ellas es capacidad cementicia al humedecerse y secarse. Antiguamente las arcillas calcinadas eran usadas los humanos como aglutinante, entonces existe la posibilidad de que, con la adición a los finos de la arena de un porcentaje arcillas calcinadas se consiga un incremento en la resistencia a la compresión del concreto a un costo inferior debido a su abundancia en el planeta y fácil calcinación, que el requerido por otros aditivos ya mencionados que se conocen hoy en día.

1.1.1 Formulación del Problema.

¿Cómo varía la resistencia a la compresión de muestras de concreto dosificadas con la adición de arcillas calcinadas a los finos de la arena?

1.1 Objetivos de la Investigación.

1.2.1 Objetivo General.

Establecer la resistencia a la compresión en las mezclas de concreto, con porcentajes de adición de arcillas calcinadas a los finos de la arena obtenidas de canteras a cielo abierto del estado Carabobo, evaluadas a partir de un diseño general de mezcla base con una resistencia teórica, $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Caracterizar los agregados suministrados por la empresa Framex C.A, así como las arcillas obtenidas en canteras a cielo abierto del estado Carabobo a utilizar para el diseño de las mezclas caso estudio.
- Realizar los ensayos de rotura a compresión a las probetas de concreto con diferentes dosificaciones de arcillas calcinadas en adición a los finos de la arena a 7 y 28 días.
- Analizar los resultados de resistencia a la compresión de las probetas obtenidos en los ensayos de rotura.
- Evaluar las medidas de tendencia central, así como las medidas de dispersión estadísticas de los resultados de resistencia a compresión obtenidos.

1.3 Justificación de la investigación.

Tomando en cuenta que el sector de la construcción en Venezuela es uno de los más demandantes y principales promotores del desarrollo económico, además de la industria petrolera y de la industria productora de acero y hierro, se hace necesario evaluar nuevas formas de producir mezclas de concreto, todo esto con el fin de aumentar las resistencias nominales de las muestras, pero manteniendo los costos dentro de los rangos de economía necesarios, por la constante subida de precios. Es importante saber que en Venezuela destacan las obras y construcciones de concreto armado mayoritariamente sobre las demás, siendo este uno de los materiales más usados en las obras de construcción y civiles de todo el territorio venezolano.

Los distintos aditivos y materiales que son usados para el mejoramiento de las cualidades de compresión y resistencia del concreto varían de costos y efectividad. Al presentar el concreto una mediana y alta demanda dependiendo de las temporadas y circunstancias de la oferta en Venezuela, existe una variación de costos, que hace necesario buscar nuevas formas de producir concretos. Todo esto intentando disminuir sus costos, y que se consiga mantener o mejorar la resistencia a la compresión del concreto, cómo ya se había enunciado con anterioridad.

Es por esto, que es necesario buscar un material que contenga las características necesarias para garantizar la resistencia a la compresión del concreto, además de reducir costos significativos e implementar una nueva técnica en la industria de la construcción, consiguiendo un nuevo material el cual permita al concreto, poseer esas mismas características de resistencias que le dan los otros aditivos y materiales ya conocidos, como la fibra, el sílice y sus derivados entre otros, por unos nuevos de características similares y de fácil acceso para su compra y posterior traslado a los centros de producción.

Las arcillas calcinadas aparentemente, podrían garantizar y conferir estas características de alta resistencia a las mezclas del concreto, así mismo, reduciendo sus costos de elaboración, teniendo así, la posibilidad de acercarse a la misma resistencia de compresión de otras soluciones preexistentes.

Con este análisis de una mezcla modificada de concreto por arcilla calcinadas, se pudo indicar para qué tipo de uso y para qué tipos de construcción se pudieran utilizar, dependiendo de la capacidad de resistencia que estas muestras presentan, observando si podrían ser usadas

al igual que el concreto con materiales conocidos, para estructuras edificadas u obras y estructuras que representen menos carga a compresión.

Siendo esto evaluado mediante ensayos de medida de la resistencia a compresión de probetas de concreto, en diferentes periodos de tiempo, para generar confianza, factibilidad y eficiencia en el proceso productivo de las mismas, en virtud del alcance de una mayor resistencia a la compresión respecto al diseño de mezcla base. Observando si estas muestras nuevas producidas en el laboratorio, presentan totalmente las características similares de un concreto común, y resistente a las distintas cargas que se le apliquen.

1.4 Alcance y Limitaciones.

Del presente proyecto de investigación se obtuvieron y compararon los resultados de la resistencia a la compresión en kg/cm² de las muestras de concreto con los porcentajes de adición de 30%, 45% y 60% de finos de la arena por arcillas calcinadas del estado Carabobo obtenidas a cielo abierto respecto al diseño de mezcla base. Una vez evaluadas las distintas resistencias y sus medidas de dispersión, se dio un veredicto referente a la conveniencia o no, del uso de este nuevo material en mezclas de concreto, con el fin de obtener un beneficio en resistencia a la compresión con al menos, un mantenimiento en los costos originales de la misma.

En esta investigación se conocieron las características de los agregados suministrados por la empresa Framex C.A por medio de ensayos granulométricos por tamizado en seco y de la toma de arcillas netamente por un proceso de decantación. Los ensayos de rotura a compresión se realizaron a las edades de 7 y 28 días.

También, para el presente proyecto es necesario considerar que, si bien suele tomarse 30 muestras de concreto como cantidad representativa para el análisis estadístico según la normativa ACI, no es la normativa a la cual se apega este proyecto y en este caso teniendo 4 grupos de mezcla (el diseño base y tres modificados) se realizó una cantidad inferior de muestras por cada grupo en virtud de reducir los costos, tiempo uso de laboratorio, herramientas suministradas así como el tiempo necesario para el desarrollo del proyecto adaptándose de esta forma al recurso tiempo disponible.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Arias, Fidias (2012, p. 106) señala que el marco teórico se define como, “el producto de la revisión documental-bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven a base de la investigación a realizar”. Por lo que el marco teórico es una pieza fundamental en la investigación donde se recopilan las fuentes primarias que van a dar la base de la investigación de los temas que se relacionan a profundidad con el proyecto.

2.1 Antecedentes.

Hace referencia a la información documentada en investigaciones que se han elaborado anteriormente y mantienen una relación con el problema que se plantea en el proyecto de investigación que se está llevando a cabo, se pueden encontrar en trabajos de grados precedentes, artículos de revistas científicas, blogs y otras fuentes. El autor Arias, Fidias (2012, p. 106) nos señala que, “reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones”.

2.1.1 Locales.

Se tiene como antecedente el trabajo de grado realizado por Muñoz, Adonay y Barbosa, Numa (2020), titulado “**Evaluación de la incidencia de la sobredosificación de aditivos superplastificantes en concreto**”. Presentado en la Universidad José Antonio Páez, como requisito para optar por el título de Ingeniero Civil. Tuvo como objetivo general evaluar la incidencia de la sobredosificación de aditivos súper plastificantes en la resistencia del concreto.

Investigaron la realidad experimental de la incidencia de la sobredosificación de aditivos superplastificantes en mezclas de concreto de resistencia 250 Kg/cm². A raíz de esto, adicionaron dosificaciones mínimas y máximas recomendadas, además, de sobredosificaciones con este adjetivo en proporciones del 20% y 40%.

Apoyados en una investigación de tipo experimental debido a que se realizaron una serie de ensayos en probetas con sobredosificación de superplastificantes en varias mezclas de concreto con respecto al diseño de mezcla patrón, determinando de esta manera la dosificación con mejores resultados a la prueba de compresión mecánica del concreto de acuerdo los parámetros señalados en las normas COVENIN.

Lograron concluir que los cilindros de concreto de resistencia 250 Kg/cm² evidenciaron un incremento en los valores de resistencia usando las cantidades mínimas y máximas de superplastificantes recomendadas por el fabricante oscilando entre un valor a los 28 días oscilaron entre 47,87 % y 88,06 % en relación con la muestra patrón.

Este proyecto aporta a la presente investigación el conocimiento y la modificación de las características comunes de la resistencia a la compresión del concreto, añadiendo distintos tipos de aditivos, aumentando o disminuyendo, según sea el aditivo, su proporción, características, uso, logrando una modificación de la resistencia del concreto.

En la universidad José Antonio Páez, se encontró información del trabajo de grado de Pastrán, Anny y Piera, Xavier (2018), titulado **“Análisis comparativo entre el concreto convencional con el concreto con arcillas expansivas en la construcción en el estado Carabobo”** que se trató de un trabajo de grado de desarrollo documental (teórico) en la cual se recopiló información de los resultados de este análisis comparativo en distintos laboratorios de varios países de los resultados compresión que se habían realizado en los mismo, a muestras de concreto con adiciones de arcillas expandidas. Luego analizaron cada uno de los resultados obtenidos, realizaron los diagramas de bosque y, por último, presentaron la propuesta de la sustitución del clinker por materiales suplementarios como la arcilla, cumpliendo con las especificaciones normativas, más conveniente en cuanto a seguridad y confiabilidad, para la construcción en el estado Carabobo.

Este trabajo proporcionó a la presente investigación la manera en que se puede representar los resultados de los análisis provenientes de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto, ya que se pueden representar estos resultados mediante gráficos, siendo de gran aprovechamiento para la presente investigación, induciendo otra manera de análisis y toma de resultados para proyectos posteriores referentes al análisis de resistencia a la compresión de probetas de concreto.

También, se obtuvo información sobre el trabajo ejecutado por Bello, Astrid y D'erdelee, Luis (2018), titulado **“diseño de mezcla de concreto compactado con rodillo (c.c.r) de resistencia 310 kg/cm² con plastificante retardador para pavimento rígido”**. Expuesto como trabajo especial de grado para optar por el título de Ingeniero Civil, en la Universidad José Antonio Páez. La investigación buscaba mejorar e indagar sobre las nuevas tecnologías para la construcción de pavimentos rígidos, modelando un concreto compactado con rodillo

para analizar su comportamiento a la Compresión derivando sus ventajas y limitaciones de este tipo de concreto en pavimentos de concreto. Partiendo de una investigación de tipo descriptivo con diseño cuasi experimental, debido a que se manipulan las dosificaciones de cemento, agregados, aditivos y métodos de compactación con rodillo para obtener los resultados de ensayos realizados a estas mezclas de concreto, ejecutados en el laboratorio.

Concluyeron, mediante los ensayos de resistencia a la compresión de concreto, que los materiales que utilizaron en la producción de la mezcla para concreto compactado con rodillo (C.C.R), cumplieron con las especificaciones y requisitos mínimos que estipulan las normas COVENIN, también se logró apreciar una gran diferencia al comparar los resultados obtenidos de la resistencia a la Compresión del concreto, teniendo el concreto (CCR) una resistencia mucho mayor a la del concreto convencional equivalente a un 70% de superioridad, a los 7,14 y 28 días.

El proyecto de investigación antes mencionado, presenta un gran aporte para la presente investigación, debido se basa en el concepto sobre realizar ensayos de resistencia a la compresión del concreto para analizar su comportamiento con distintos aditivos y compuestos fuera de lo convencional del concreto, ensayando probetas a 7,14 y 28 días graficando y comparando los distintos resultados.

2.1.2 Nacionales.

Goncalves, José y Albi, José (2022), realizaron el trabajo de grado titulado **“Incidencia del polvo calizo en las propiedades del concreto estructural”**. Realizado en la Universidad Católica Andrés Bello, como requisito para optar por el Título de Ingeniero Civil. Teniendo como objetivo específico, determinar la incidencia que tiene el exceso de polvo calizo en las propiedades del concreto estructural. Buscaron desarrollar pruebas de muestras de probetas cilíndricas las cuales estuvieron desarrolladas para tres (3) resistencias nominales (210, 280 y 320) kgf/cm², ejecutando ensayos con tres diseños, donde cada una se les agregó porcentajes de polvo calizo con base en la masa de la piedra de 2%, 4%, 6%, 8%, 10% y 12% en condición seca, tomando como referencia un diseño de mezcla patrón con 0% de contenido polvo calizo, con ello se pudo evaluar la incidencia del exceso de polvo calizo en la absorción capilar, densidad y en la pérdida de capacidad resistente del concreto estructural.

Luego de las pruebas lograron objetar que hay alta variabilidad en los resultados obtenidos de los ensayos de absorción capilar, demostrando que, a medida que se aumenta la

adición de polvo calizo en la mezcla, va disminuyendo la altura de absorción capilar en el concreto endurecido, con respecto a la densidad se logró consolidar que a medida que se aumenta el porcentaje de pasante #200, se incrementa la densidad. Además, con respecto a la resistencia a compresión del concreto se obtuvo que la resistencia del concreto varía según la dosificación del polvo calizo, debido a que un porcentaje moderado de polvo de caliza dicha resistencia aumenta, bajo adiciones excesivas esta resistencia se reduce, ya que a medida que es mayor la resistencia deseada, el máximo valor alcanzado se encuentra en un menor porcentaje de polvo calizo, siendo entre 6% para 280 kgf/cm² y del 4% para 320 kgf/cm² los valores obtenidos, Concluyendo que, el valor más óptimo fue el de 280 kgf/cm² con un 6% de adición de calizas.

Esto orienta en el presente proyecto, sobre los posibles resultados que se pueden obtener con las proporciones de adición de arcillas calcinadas planteadas como tema objetivo y principal en el presente proyecto, puesto que se emplearán distintos porcentajes de arcillas calcinadas para evaluar los análisis y resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de probetas en concreto.

2.1.3 Internacionales.

Caamaño, Nathali y Güette, Karen (2018). “Dosificaciones de mezclas para obtener un concreto estructural empleando arcillas calcinadas del sector El Hatillo, Materiales pétreos del río Algodonal y de la E.A.T Provias en Ocaña, Norte de Santander”. Realizado en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Como requisito para optar por el Título de Ingeniero Civil. Tuvo como objetivo general dosificar mezclas para obtener concreto estructural empleando arcillas calcinadas del sector El Hatillo, Materiales pétreos del Río Algodonal y de la E.A.T. Provias en Ocaña, Norte de Santander.

Siendo una investigación experimental, ya que está basado en el estudio de características de distintas dosificaciones empleando arcillas calcinadas por la sustitución de arenas en la mezcla de concreto, estimando y analizando distintos porcentajes de agregado fino generado por la calcinación de arcilla para la sustitución parcial de la arena en la mezcla de concreto, evaluando el impacto y la resistencia característica que generan en la mezcla cumpliendo con la resistencia y requisitos requeridos de una mezcla común que presente los agregados finos.

Valdez y Güette concluyeron que la arcilla calcinada térmicamente en cada mezcla de concreto presentó una buena característica de adherencia, comparado con los finos de río algodonado presentó una disminución en la resistencia debido a que las partículas no se adherían de manera correcta, generando bolsas de aire, a diferencia que añadiendo las arcillas se notó como esta mejoró significativamente el comportamiento del concreto. La arcilla aportó a su resistencia hasta un 50 % más a comparación del concreto convencional, agregando, que se obtuvo una reducción del 9,87% del costo total del concreto comúnmente usado en Colombia, indicando que el material es viable, ayudando a mejorar las características físico-mecánicas del concreto.

De esta forma, el trabajo antes mencionado sirve como aporte a la presente investigación creando una base e idea del funcionamiento de las arcillas calcinadas y su comportamiento en las distintas mezclas y dosificaciones del concreto, comparando y sustitución de finos de la arena, evaluando mediante ensayos proctor el comportamiento y resistencia de los cilindros de concreto.

2.2 Teoría central de la investigación.

2.2.1 Teoría de falla en materiales frágiles de Coulomb Mohr.

Según un curso de contenido abierto de la Universidad Pública del País Vasco, la teoría de falla en materiales frágiles, es un modelo matemático que logra describir la respuesta de materiales muy quebradizos, como el hormigón (concreto) al corte, que es un esfuerzo muy común en las estructuras y probetas de ensayo de concreto a compresión. Destacando que los materiales frágiles son no equi-resistentes (que no tienen la misma resistencia a tensión que a compresión), entra en materia la teoría de Coulomb Mohr y Mohr modificada, que describe la respuesta de materiales no equi-resistentes al corte (esfuerzos tangenciales). Esto explica que el corte de un material se produce no solo por esfuerzo tangencial sino más bien una combinación de esfuerzo tangencial y esfuerzo de tensión normal.

2.3 Bases teóricas.

2.3.1 Concreto.

Indican Porrero, Joaquín, et. al. (2009) que:

El concreto u hormigón es un material que se puede considerar constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante 0

conglomerante, que es el cemento. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar, con ello, a su endurecimiento (p. 31).

2.3.2 Resistencia a compresión del concreto.

Es la capacidad que posee un miembro de concreto para soportar una carga por unidad de área, es decir la característica mecánica principal del concreto Portugal, Pablo (2007) señala que:

La resistencia del concreto es considerada la propiedad más importante de este material, sin embargo, como ya se mencionó en las definiciones del Capítulo I, para los concretos de alto desempeño la resistencia a la compresión es tan importante como la durabilidad del concreto; la importancia de la resistencia a la compresión radica en las funciones estructurales de este material. (p. 210).

Para que un concreto sea factible o no, es necesario determinar su resistencia a la compresión, para esta resistencia última a la compresión del concreto es necesario, graficar el diagrama de esfuerzo-deformación unitario que es obtenido a partir de la realización del ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Dicha resistencia a la compresión se suele mejorar a partir de adiciones como lo podrían ser las arcillas calcinadas de este caso de estudio.

2.3.3 Control de calidad.

En una obra o proyecto llevado a cabo es necesario llevar un control de calidad sobre el concreto que se proporciona y es obtenido por las empresas o ente encargado, esto para llevar una correcta gestión del concreto y producto a usar. Un control inadecuado de estos factores incide en los costos de producción y en la calidad del control, puesto que para satisfacer las especificaciones de calidad será necesario mantener un valor medio elevado y por consiguiente un mayor consumo de materiales.

Según Pocaterra, Alejandro (2007 p.9) “Es el proceso mediante el cual se logra analizar la condición de determinados factores y precisas variables que entran en juego en una obra. Se da en las diferentes etapas de construcción y ejecución de proyectos.” en su clase No. 10 de materiales y ensayos de Evaluación estadística para el control del concreto. Es en esencia el proceso necesario en muchas ramas de la ingeniería y otras, de registrar, procesar y analizar, variables dependientes, así como sus causantes variables independientes de un proceso, a fin de determinar la calidad, precisión o validez del mismo, pudiendo considerar un sistema o criterio de aceptación y rechazo de su producción o resultado. En la industria del concreto suele aplicarse un profundo y estricto control de calidad en los agregados, bajo ensayos

granulométricos, colorimétricos y en el producto terminado concreto, por medio de ensayos a compresión, ensayo de cono de abrams para asentamiento, y control del curado y desencofrado.

2.3.4 Ensayos de control del concreto.

El ensayo a la compresión del concreto es un método vital y muy común empleado por ingenieros, proyectistas, empresas de construcción o empresas especializadas en concreto, para determinar si el concreto tiene el potencial para desarrollar y alcanzar las propiedades correctas que se necesitan. A través de este ensayo, podemos verificar si el concreto que se está empleando en una obra o proyecto estructural con una proporción determinada logra alcanzar la resistencia exigida por los proyectistas del proyecto, debiendo cumplir con las propiedades de resistencia, consistencia, flexibilidad y asentamiento requeridas.

El ensayo de aceptación se realiza cuantitativamente para verificar si el concreto cumple con los requerimientos del cliente o comprador, con relación a los ensayos y criterios de aceptación, se encuentran por escrito en las especificaciones del proyecto o se indican mediante estándares de la industria tales como el ACI 301, el ACI 318, y la ASTM C 94.

Los ensayos deben ser realizados por técnicos certificados que han demostrado en forma escrita y práctica su conocimiento en la realización de los ensayos de acuerdo a las normas pertinentes. Los programas de certificación los ofrece el *American Concrete Institute*, (Instituto Americano de Concreto), y otras organizaciones para técnicos que realizan pruebas en el campo y laboratorio.

En los ensayos a la compresión es necesario la rotura de probetas para así permitir conocer la resistencia a la compresión de las mismas, por ello se considera este proceso como un método destructivo. Para realizar el ensayo a la compresión se requieren dos probetas como mínimo, luego a partir de ellas podemos hallar el valor promedio de los resultados obtenidos, verificar si se cumple con los parámetros requeridos o descartar el resultado de la probeta que se considere inadecuado y no cumpla con los parámetros adecuados de resistencia que pide. Esto puede ocurrir por una variedad de factores que pudiesen afectar su resultado. Se requieren un total de treinta (30) probetas para obtener una curva de desviación estándar de las probetas ensayadas. Los moldes de las probetas que se emplean deben ser rígidos y no absorbentes. Se untan con aceite de vehículos u otra sustancia que no ataque al cemento y evite la adherencia.

2.3.5 Criterios de aceptación y rechazo.

Son una serie de condiciones y requisitos para la toma de decisión de aceptar o rechazar un producto concreto, estos deben cumplirse a cabalidad para considerarse un vaciado de concreto satisfactorio y de calidad mínimo aceptable. Caso contrario que no se cumplan tales requisitos, de inmediato deben tomarse medidas correctivas en la dosificación y/o materiales usados para la fabricación de dicho concreto. El MSc. Esp. Ing. Pocaterra, Alejandro (2007 p.12) menciona en su clase 10 de materiales y ensayos de Evaluación estadística para el control del concreto que “Es el proceso de decisiones relativas a través de las cuales se puede llegar a la decisión de aceptar o rechazar una determinada actividad en las obras”

2.3.6 Cemento.

Es un material de construcción de color normalmente gris con alta capacidad aglomerante mezclarse con agua, este hecho principalmente de piedra caliza y arcilla, en su proceso de fabricación se calcinan en hornos rotativos es posteriormente molido para fabricar el Clinker que, al añadirse una pequeña porción de yeso se forma lo que se conoce como cemento, el cual hace de material principal en mezclas usada en construcción, como el mortero y el concreto. Este tiene la capacidad de endurecerse mediante un proceso exotérmico denominado “fraguado”, logrando alcanzar conforme pasan los días, mayor dureza y resistencia a compresión. Hoy en el cemento más conocido es el cemento Portland que según Sanjuan, Miguel y Chinchón, Servando (2014, p. 15) el cemento portland es “un conglomerante hidráulico. El más conocido y el más utilizado de todos los cementos es el cemento portland. Este material es el objeto del presente libro, por lo que se desarrollará en los apartados siguientes.”

2.3.7 Arcilla.

Es una roca sedimentaria con una composición base de silicatos de aluminio que, en su estado puro suele ser de color blanco, sin embargo, según sus impurezas puede tener un tono rojo o café. Proviene de la descomposición de rocas que contienen feldespatos, como el granito, y está constituida por partículas extremadamente pequeñas. Este tiene propiedades plásticas al humedecerse y dureza al calentarse por encima de los 800 °C. Es utilizada para la fabricación de cerámica y fue utilizado como el cemento en la antigüedad, es uno de los materiales más baratos y de fácil ubicación. Su punto temperatura de descomposición se encuentra a partir de los 600 °C y algunos tipos llegan a los 900 °C. Según Domínguez, José y Schifter, Issac (1995,

p.7) “Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 4 micras”.

2.3.8 Agregados.

Son uno de los materiales granulares usados para las mezclas de concreto los cuales afectan las propiedades de la misma según, forma y textura, gradación, absorción, mineralogía, resistencia y módulo de elasticidad, tamaño máximo, gravedad específica, resistencia al ataque de sulfatos y dureza, ocupando de un 60 a 75% del volumen total del concreto premezclado. Waddell, Joseph y Dobrowsky, Joseph (1997) señalan que,

Alrededor de las tres cuartas partes del volumen del concreto convencional es ocupado por agregados que consisten en materiales como la arena, grava, roca triturada o escoria de altos hornos enfriada por aire. Es inevitable que un componente que ocupa un porcentaje tan grande de la mezcla deba contribuir con importantes propiedades tanto para el producto plástico como para el endurecido. Además, para desarrollar características especiales de poco peso, de aislamiento térmico o de blindaje contra la radiación, a menudo se emplean agregados fabricados específicamente para obtener estas propiedades (p.21).

Cumpliendo con la función de proporcionar una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas del concreto. Se clasifican a su vez en Agregado Grueso y agregado fino siendo generalmente piedra triturada y arena respectivamente. Estos son un factor importante a influir en los resultados a compresión del concreto y pueden variar los beneficios que se pueden obtener por otras adiciones como la de la presente investigación.

Para Martínez, Rudy (2009 p. 34), “Los agregados que se utilizan en la preparación del concreto pueden clasificarse de acuerdo a su tamaño, por su densidad o por su forma y origen”:

Clasificación por tamaño. De acuerdo al volumen de sus partículas se dividen en:

Agregado fino (Arena): es el material que pasa en un 95 por ciento de sus partículas por el tamiz No. 4 (tamiz según norma estadounidense), de 4.76 mm (3/16”) de abertura entre hilos.

Agregado grueso (Grava o Piedrín): es el material que queda retenido en el tamiz de 150 mm (6”), cuyas partículas son en un 95 por ciento mayores de 4.75 mm.

Clasificación por su forma y origen. Pueden ser naturales, artificiales y mixtos:

- Naturales (canto rodado): proveniente del cauce de ríos, de forma redondeada. Como las gravas y arenas de ríos. Produce concreto de buena calidad y de mayores ventajas (trabajabilidad o docilidad y economía) por lo que debe preferirse a los otros tipos,

siempre que satisfaga las especificaciones de calidad tamaño y bajo costo de explotación.

- **Artificiales (triturados):** proveniente de trituración de piedra de cantera. Los piedrines entran en esta categoría. Si bien, tiene ventajas por su composición mineralógica más uniforme, este material de aristas vivas (cantos angulosos), produce concreto menos trabajable y de mayor consumo de cemento, además de presentar un mayor costo.
- **Mixtos (naturales y artificiales):** proveniente de trituración de grava y comúnmente mezclado con grava natural. Es de buena clase. Para su utilización económica, hay que fijar un límite a la parte triturada.

Clasificación por densidad. Los agregados pueden constituirse en ligeros, normales o pesados de acuerdo a su densidad.

- **Agregados ligeros:** son aquellos cuya densidad oscila entre 500 y 1000 kg/m³, son utilizados en concreto de relleno o en mampostería estructural.
- **Agregados normales:** son aquellos cuya densidad se encuentra comprendida entre 1300 y 1600 kg/m³, se utilizan en concretos de uso general.
- **Agregados pesados:** son aquellos cuya densidad está entre 3000 y 7000 kg/m³, se utilizan en hormigones pesados, tales como los utilizados en centrales nucleares o usos especiales.

2.3.9 Agregados Finos.

Son aquellas arenas naturales provenientes de canteras, piedras trituradas, ríos, etc. la cuales pasan por el tamiz número 4 y queda retenido en el tamiz número 200, deben estar compuestos de partículas limpias de perfil angular duras, libres de materia orgánica y otras sustancias dañinas, estos agregados crean en el concreto un esqueleto estable y rígido uniendo el cemento con el agua, para poder cumplir con esta función la mezcla debe cumplir totalmente la superficie de los agregados. los agregados finos y grueso.

En el concreto fresco, es decir, recién elaborado y hasta que comience su fraguado, la mezcla con cemento tiene la función de lubricar las partículas del agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto, también interviene favorablemente el agregado fino(arena). La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero, no debe estar en exceso porque perjudica las resistencias. Rivva, Enrique (2002 p.24), establece que: “La granulometría óptima del

agregado fino para concretos de alta resistencia está determinada más por su efecto en el requerimiento de agua que por sus características físicas”.

2.3.10 Agregados Gruesos

Compuestos por partículas limpias, de perfil recomendablemente angular, duras, compactas, resistentes y de textura preferiblemente rugosa, además deben ser partículas químicamente estables y libres de escamas, tierra, polvo, limo, materia orgánica, entre otras sustancias dañinas, materiales como, grava, grava triturada, roca triturada todos materiales retenidos en el tamiz número 4. Debido a la mayor adherencia mecánica del perfil angular la roca triturada produce resistencias mayores que la grava, donde la angularidad aceptada debe ser evitada por requerir altos contenidos de agua y presentar reducciones en la trabajabilidad.

Para las mezclas de concreto, siempre se ha buscado una mayor resistencia, reduciendo costos y materiales, los agregados con partículas esféricas y cúbicas presentan dicha característica debido a que aumentan la capacidad de resistencia del concreto siendo menor el consumo de cemento debido al mayor acomodo de partículas en la mezcla, es decir, mayor cantidad de material por unidad de volumen.

A lo largo de los años se ha tratado de determinar cuál es el tamaño adecuado de los agregados gruesos para que tenga las características convenientes para lograr una resistencia óptima a la compresión. Considerando que los agregados de menor tamaño contribuyen a producir concretos de mayor resistencia debido a una menor concentración de partículas de esfuerzos originados por diferencias de los módulos de elasticidad de la mezcla y el agregado.

Rivva (2002), afirma que,

Para obtener una óptima resistencia en compresión, con un adecuado contenido de material cementante, que incluye microsilices, y una baja relación agua-cemento, se ha determinado que el tamaño máximo del agregado deberá ser mantenido en un mínimo, en el orden de ½” a ¾”. No es recomendable emplear agregados de ¾” y 1. (p.

Las lesiones más comunes y habituales en una construcción de concreto reforzada, tales como corrosión, agrietamientos o manchas de óxido en el concreto, pudiendo ocurrir distintas patologías alcanzando un proceso de deterioro aún más marcado resultado de la delimitación del recubrimiento del concreto por la corrosión del acero de refuerzo

2.4 Bases Legales

Las bases legales de un proyecto de investigación son las leyes, reglamentos o normativas necesarias a las cuales debe apegarse dicho proyecto de ser necesario. Estas

fundamentan legalmente el proyecto, validan los resultados obtenidos y demuestran la calidad y precisión del proceso de investigación al ser realizados bajo los reglamentos y normativas que amerite el mismo. Palella, Santa y Martins, Felipe (2017 p. 55) indican que las bases legales "son las normativas jurídicas que sustenta el estudio desde la carta magna, las leyes orgánicas, las resoluciones decretos entre otros".

En el caso del presente proyecto de investigación, al ser de tipo experimental, es vital apearse a todas las normativas venezolanas competentes al desarrollo de los experimentos necesarias en materia de control de calidad del concreto. Este proyecto se apega a todos los artículos y procedimientos que tengan relación en los procesos de laboratorio del mencionado proyecto que se encuentran en las normativas que se presentan a continuación, entre ellas se tiene las siguientes secciones de la normativa COVENIN:

2.4.1 COVENIN 344:2002. CONCRETO FRESCO. TOMA DE MUESTRAS.

Esta norma tiene por objeto establecer las condiciones necesarias para obtener muestras representativas de mezclas concreto fresco con agregado de tamaño máximo 7,6 cm o 3", tal como se entrega en obra y dichas muestras están destinadas realizar ensayos para determinar si se cumplen con los requisitos de calidad y especificaciones bajo las cuales se elabora.

2.4.2 COVENIN 338: 2002. CONCRETO. METODO PARA LA ELABORACIÓN, CURADO Y ENSAYO DE CILINDROS DE CONCRETO.

El objeto de esta norma refiere a establecimientos de los métodos para la elaboración, curado y ensayo de cilindros de concreto provenientes de muestras de mezclas de concreto. Describe también las características de los aparatos y herramientas para el proceso.

2.4.3 COVENIN 255:1998. AGREGADOS. DETERMINACION DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMETRICA.

Esta norma contempla los lineamientos para el desarrollo de los ensayos para la determinación de las características granulométricas del agregado fino y grueso a utilizar para la fabricación de concreto, especificando los equipos para los ensayos y sus características, así como una descripción del procedimiento de uso de los mismos.

2.4.4 COVENIN 277:2000: CONCRETO, AGREGADOS Y REQUISITOS.

Esta norma establece los requisitos mínimos que deben cumplir los agregados finos y gruesos que son utilizados para la fabricación de concreto, excluyendo los agregados livianos.

Describiendo condiciones granulométricas, criterios de aceptación y rechazo de impurezas y sustancias nocivas y su proceso de inspección.

2.4.5 COVENIN 1976:2003. CONCRETO, EVALUACIÓN Y METODOS DE ENSAYO.

Esta norma establece los procedimientos con base a la estadística que ayuden a determinar planes de ejecución de ensayos de resistencia a compresión del concreto, así como la forma de evaluación y manejo de los resultados de forma eficiente respecto del control de calidad y apego a los requisitos. Describe definiciones básicas, simbologías, establece aspectos a considerar respecto a las variaciones de los ensayos y sus causas, aspectos incontrolables y los principios estadísticos sobre los cuales se analizan los resultados de los ensayos.

2.4.6 COVENIN 354:2001. CONCRETO. METODO PARA MEZCLADO EN EL LABORATORIO.

Contempla los métodos establecidos para el mezclado del concreto en el laboratorio, ya sea a mano o con máquina, específicamente de mezclas de concreto con fines de estudiar alguna característica, ya sean proporciones de mezcla, condiciones de operación o cualquier experimento. Describe principalmente los aparatos a utilizar y la metodología del mezclado.

2.4.7 COVENIN 3549:1999. TECNOLOGIA DEL CONCRETO. MANUAL DE ELEMENTOS DE ESTADISTICA Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Esta normativa tiene por objeto establecer la metodología de experimentos, la clasificación y manejo de los datos, los elementos matemáticos a utilizar, así como los métodos de análisis estadísticos aplicables al concreto.

2.5 Definición de términos.

La definición de términos básicos es necesaria para darle al lector el conocimiento de bajo qué significado se usan términos que posee el trabajo de grado, según Tamayo, Mario la definición de términos básicos “es la aclaración del sentido en que se utilizan las palabras o conceptos empleados en la identificación y formulación del problema”. (p. 78).

Arcillas Calcinadas. Se refiere a las arcillas que fueron llevadas a su temperatura de descomposición o calcinación en una mufla u otro dispositivo que permita alcanzarla, logrando su modificación molecular.

Finos de la arena. Se refiere puntualmente a la porción de arena que pasa el tamiz No. 200 en un ensayo granulométrico, húmedo o seco, conformado por limos y arcillas, con un tamaño de partícula de 0.05 a 0.002 mm para los limos y menos de 0.002 mm para las arcillas.

Mezcla de concreto. Es la unión de los materiales a utilizar para hacer un concreto, incluyendo el agua haciendo que este está húmedo si se forma una pasta heterogénea con facilidad de mezclarse.

Muestra. Porción de mezcla de concreto que se toma para el análisis de las características de la misma, comúnmente su asentamiento con el cono de Abrams y su resistencia a compresión en estado endurecido por medio del ensayo destructivo a compresión de probetas cilíndricas. En este proyecto, este término se utiliza para nombrar una toma de concreto que será usada para la fabricación de probetas cilíndricas, específicamente 2 que se ensayaron 7 días de curado y 2 a 28 días de curado.

Mufla. Es un horno destinado normalmente para la cocción de materiales cerámicos y para la fundición de metales a través de la energía térmica. Dentro del laboratorio un horno mufla se utiliza para calcinación de sustancias, secado de sustancias, fundición y procesos de control.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico es el espacio en el cual se define a profundidad los métodos por los cuales se resolvió o se estudió el caso estudio. En palabras de Arias, Fidias (2012, p. 110) “La metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “cómo” se realizará el estudio para responder al problema planteado”. También se definió un aspecto muy importante como lo es la población y muestra de este proyecto.

3.1 Tipo de investigación.

Esta investigación, en lo que respecta a su clasificación, se haya unida de manera secuencial por varios tipos, siendo documental puesto que inicialmente se basa completamente en la indagación, recopilación y asimilación de información y conocimientos por parte de los investigadores, para tener un panorama claro acerca del tema estudiado de forma tal, que se tenga claridad respecto a las materias, procesos y posibles resultados a esperar. Escribe Arias, Fidias (2012) en su libro que:

La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (p. 27).

También, se trata de una investigación de campo, puesto que se recolectó información de la población estudiada directamente en el sitio que esta se encuentra observando directamente de la mano de un registro fotográfico. En palabras de Arias, Fidias (2012):

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (p. 31).

Esto debido a que se realizaron muestras de concreto con el diseño de muestra base con una resistencia a compresión teoría $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, sin modificar ninguna variable estudiada, pero manteniendo el resto de variables que influyen en los resultados diarios de control en la empresa, como lo son las proporciones de los materiales de mezcla e igualando las condiciones

de humedad a la del resto de materiales usados en la empresa, así se recolectaron datos acerca de muestras de concreto tal como se encontraron.

3.2 Diseño de la investigación.

El presente proyecto se encontró enmarcado en un diseño experimental pues, en este se realizaron experimentos o pruebas en las que se sometió a un grupo de individuos a un estímulo externo y se realizaron ensayos para estudiar la influencia de dicho estímulo sobre los individuos. Arias, Fidas (2012, p. 34) menciona que: “La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”.

En este proyecto, se realizaron pruebas a muestras de concreto con diseño de mezcla base $f'c$ 250kg/cm² en forma de probetas cilíndricas, modificadas con la adición de diferentes porcentajes de peso de los finos de la arena en arcillas calcinadas, considerando finos de la arena como la fracción del material pasante del tamiz No. 200 en un ensayo granulométrico del agregado fino (arena). Luego de la realización y curado de las muestras, se ensayaron en pruebas destructivas de compresión para obtener así su resistencia a compresión, manteniendo las variables no estudiadas en igualdad.

3.3 Nivel de la investigación.

El presente proyecto se desarrolló respecto de un nivel de profundidad descriptivo, que, según Arias, Fidas (2012, p. 24) La investigación descriptiva “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere”. Puesto que, en la presente investigación, se realizaron ensayos a los materiales a utilizar para fabricar el concreto, para describir sus características y, se ensayaron las probetas de concreto para determinar su propiedad mecánica de resistencia a compresión.

3.4 Población y muestra.

La población en un proyecto de investigación es todo el conjunto de individuos y objetos existentes con características comunes, sobre el cual se desea obtener información. Esta población puede ser finita o infinita dependiendo si es posible o no conocer la cantidad de individuos que posee dicho conjunto. En palabras de Arias, Fidas (2012 p. 81) “La población

objetivo es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación, esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”.

El presente proyecto tuvo una población finita, que es el conjunto de todos los individuos existentes con tales características de interés para el estudio y que, además, tengan un registro de cada unidad. Explicado por Arias, Fidias (2012 p. 82) como “Agrupación en la que se conoce la cantidad de unidades que la integran. Además, existe un registro documental de dicha unidades”. De esta forma se estableció que, la población fueron todas las muestras de mezclas de concreto 250kg/cm² con los diferentes porcentajes de adición de arcillas calcinadas a los finos de la arena fabricadas por los investigadores en la empresa Framex C.A.

La muestra en esta investigación es igual a la población finita, de modo que tal población finita fue fabricada en el laboratorio de la empresa Framex C.A por los investigadores y esta fue completamente accesible para los investigadores. El muestreo de esta investigación se encontró caracterizado por el muestreo intencional, u opinático, puesto que a partir de una consulta al gerente de producción de la empresa Framex C.A y, la revisión de la normativa COVENIN 3549:1999, los investigadores tomaron criterios necesarios, para establecer el tamaño de la muestra. Se le consultó al gerente de producción de la empresa: ¿Qué cantidad de muestras de concreto considera necesaria para un análisis estadístico de resultados?, a lo que este respondió “La cantidad mínima para considerar un análisis estadístico válido podría ser de 5, sin embargo, mientras más cerca de 30 muestras, que, dicho sea de paso, es el establecido por la norma COVENIN 3549:1999, el resultado será más confiable”.

Por lo que, se consideró prudente y viable bajo factores de tiempo y disponibilidad de laboratorio, herramientas y materiales, de la empresa Framex C.A tomar la cantidad de 7 muestras por cada grupo de porcentaje de adición, teniendo que cada muestra significa una familia de 4 probetas cilíndricas, 2 que se ensayaron a 7 días de curado y 2 a 28 días de curado.

Todo esto para alcanzar un total de 112 probetas que se ensayaron a compresión, para obtener los resultados esperados. Considerando que, para obtener resultados a compresión de la última muestra de concreto, se requirió una espera de 28 días el cual es un aspecto a considerar en la cronología del proyecto.

Tabla 1: Muestras Totales

Total de muestras			
Grupos	% de Adición de arcilla	Muestras	Probetas
Grupo 1	0%	7	28
Grupo 2	30%	7	28
Grupo 3	45%	7	28
Grupo 4	60%	7	28
Total	-	28	112

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Para determinar esta población y muestra se utilizaron criterios de selección de muestras no probabilísticas, que acuerdo con Hernández, Roberto, Fernández, Carlos y Baptista, Pilar (2014 p. 176) “En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador” Explican que, el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, si no que depende el proceso de toma de decisiones de los investigadores, así como a otros criterios de la investigación.

En el presente proyecto, como se mencionó previamente se usaron como criterios de muestra no probabilística, la normativa COVENIN 3549:1999 así como las recomendaciones proporcionadas por el Gerente de producción de la empresa, el cual posee más de 30 años de experiencia en la producción y análisis de concreto en Venezuela.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para Arias, Fidias (2012 p.67) las técnicas son “el procedimiento o forma particular de obtener los datos o información”, y los instrumentos son “cualquier recurso, dispositivo, formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. Las técnicas son particulares de una materia, por lo que sirven de complemento o auxiliar del método científico, el cual posee una aplicabilidad general. Por otro lado, el medio por el cual se almacenó y se procesó la información fueron los instrumentos utilizados. Las técnicas a utilizar son en el presente proyecto son:

3.5.1 Observación directa.

Para Arias, Fidias (2012, p.69) “es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca

en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos.”

- **Registro Fotográfico.**

Como instrumento para la observación directa se tiene el Registro Fotográfico que es un paso de suma importancia para la presente investigación dentro de los procesos que se ejecutaron, ya que permitió apreciar procesos, resultados, y objetos los cuales se usaron y estuvieron incluidos en la ejecución de la investigación, permitiendo la ilustración de los procesos de elaboración de la mezcla, la toma de muestra, los equipos utilizados y los ensayos de compresión del concreto a diferentes dosificaciones realizados, estudio y ensayos granulométricos, proceso de decantación de las arcillas, capturando e ilustrando los procesos llevados a cabo, marcando la realidad del momento y estudio.

3.5.2 Revisión bibliográfica.

Hart, Chris (1998) definió la revisión bibliográfica como,

la selección de los documentos disponibles sobre el tema, que contienen información, ideas, datos y evidencias por escrito sobre un punto de vista en particular para cumplir ciertos objetivos o expresar determinadas opiniones sobre la naturaleza del tema y la forma en que se va a investigar, así como la evaluación eficaz de estos documentos en relación con la investigación que se propone (p. 14).

Esto les proporciono a los investigadores información adecuada, óptima y necesaria para que se llevara a cabo la investigación y sus procesos, ensayos, gráficos, evaluaciones, criterios, normas, objetivos, requisitos involucrativos e imprescindibles para la obtención de información y resultados requeridos para la investigación llevada a cabo.

3.5.3 Pruebas.

Las pruebas son una técnica de recolección de datos, que consiste en la recolección de información por medio de pruebas controladas a la muestra caso estudio, bajo condiciones controladas e iguales para la misma, para determinar así características de esta como la aptitud, capacidades, conocimientos, entre otros. En el presente proyecto se usaron pruebas a compresión bajo condiciones controladas y equivalentes a la muestra, siendo esta las muestras en forma de probetas cilíndricas de concreto de cada grupo de dosificación.

3.6 Técnicas de análisis de resultados.

En el presente proyecto se llevó a cabo el análisis de resultados por medio del análisis estadístico, el cual permite manejar los resultados numéricos en grandes cantidades que, mientras más resultados se tenga, más preciso y confiable se hace el producto del análisis. Los

investigadores utilizaron técnicas aplicadas de acuerdo a la fase de la investigación que fueron representadas en planillas y gráficos proporcionados por Framex C.A; entre ellas se tiene:

- **Curva granulométrica.** Es una representación gráfica de los resultados de un ensayo de granulometría obtenido en laboratorio que posee límites superiores e inferiores, establecidos por una normativa que muestra la distribución de tamaños de partículas conforman un agregado.
- **Curva de esfuerzo-deformación.** Se refiere a la representación gráfica de la relación entre el esfuerzo y la deformación generada sobre el concreto.
- **Curva de resistencia a compresión.** Es una curva que representa la resistencia a compresión de un concreto en función de su madurez o edad. Las medias estadísticas indican que, a 3 días, debe estar en el orden del 40% de la resistencia nominal, a 7 días en el orden el 65% de la resistencia nominal. Dicha resistencia nominal se refiere a la resistencia a compresión que debe alcanzar el concreto a los 28 días según su diseño de mezcla.
- **Promedio de resultados a compresión.** La media aritmética resistencia a compresión de cada pareja de probetas ensayadas, este determina un valor más fiable de que capacidad alcanza realmente el concreto producido.
- **Varianza.** Es la amplitud o dispersión que poseen los resultados a compresión, de una o varias muestras de concreto. Esta permite determinar la desviación estándar de la muestra o grupo de muestra.
- **Desviación estándar.** Es una forma de medir y representar la dispersión de los resultados respecto de la media aritmética de los mismos. Entre mayor desviación exista, menor calidad posee los procesos de laboratorio.
- **Coefficiente de variación de Pearson.** Es una medida estadística que refiere acerca de la dispersión relativa de un conjunto de datos, en el caso de los análisis de resistencia a compresión de concretos de laboratorios, indica que tanto o poco se encuentran dispersos los resultados obtenidos de los ensayos a compresión mecánica de un diseño de mezcla específico.
- **Curtosis.** Es una medida estadística relativa que define la elevación de la curva de distribución de un histograma de frecuencias, una curtosis positiva define resultados

más concentrados, por el contrario, una curtosis negativa refiere a resultados máximos y mínimos alejados entre sí.

3.7 Fases metodológicas.

Las fases metodológicas de un proyecto de investigación son la serie de pasos a seguir explicados a profundidad referente a cómo se desarrolló el proceso de investigación, desde la planificación, aplicación de herramientas para la recolección de datos, la obtención de los mismos, su procesamiento y análisis y terminando en las conclusiones y resultados.

Las fases metodológicas deben estar redactadas de forma explícita y clara y su ejecución dio a lugar a cumplir cada uno de los objetivos específicos del proyecto de investigación y por consiguiente cumplir con el objetivo general del estudio.

En el presente proyecto de investigación se contó con 4 fases metodológicas que llevaron a cumplir cada uno de los objetivos específicos planteados, así como el objetivo general, estas fases se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

Fase I: Caracterización de los agregados suministrados por la empresa Framex C.A, así como las arcillas obtenidas en canteras a cielo abierto del estado Carabobo.

En esta primera fase se realizó la recolección y determinación del origen de cada uno de los materiales requeridos para la realización del proyecto de investigación y, se mantuvo dichos orígenes, durante todo el desarrollo del mismo para garantizar la igualdad de condiciones de todas las muestras. Esto se hizo controlando dicha variable de recolección y determinación, entre estos, el cemento, el agregado fino, el agregado grueso y la arcilla calcinada. Teniendo en cuenta que dentro de esta fase también implica la recolección de arcilla en canteras a cielo abierto del estado Carabobo y su posterior análisis, por una prueba de decantación en laboratorio, para determinar la pureza de la misma.

Los agregados finos y gruesos fueron analizados por medio de granulometrías en seco, en el laboratorio, bajo los conceptos de las normativas COVENIN 255-277-258 con una tamizadora automática y con un proceso de tamizado durante un periodo de tiempo de 10 minutos. Con el ensayo granulométrico se determinó el Pasante No. 200 del agregado fino, por medio del cual se pudo determinar el peso de arcilla calcinada necesario, para cada grupo de muestras, con porcentaje de adición de arcillas calcinadas, en función al pasante N° 200 del agregado fino.

El proceso de calcinación de la arcilla, fue realizado en un horno de laboratorio en la empresa de alfarería Hispano Venezolana de Arcillas. La calcinación se realizó bajo las condiciones de temperatura de 900 °C durante una hora (que contará a partir de que se alcance dicha temperatura), El material calcinado fue almacenado en un saco impermeable y se transportaron a la empresa Framex C.A, donde fueron almacenados hasta el momento que se comenzó a realizar las muestras de concreto.

Fase II: Realización los ensayos de rotura a compresión a las probetas de concreto con diferentes dosificaciones de arcillas calcinadas en adición a los finos de la arena a 7 y 28 días.

En esta fase se realizó la mezcla de materiales para fabricar el concreto para cada grupo, para cada mezcla (a la que pertenece una sola muestra) se utilizó un trompo mezclador de concreto al aire libre.

El vaciado fue realizado primero en una carretilla con cauchos de goma, con la cual se transportó al laboratorio, donde se vaciaron a los moldes cilíndricos limpios y previamente aceitados, con aceite mineral para vehículos, y humedecidos con agua limpia abundante, de medidas 15cm de diámetro y 30 cm de altura, cumpliendo la norma COVENIN 338:2002, vaciando en 3 capas cada cilindro simultáneamente y compactando cada capa por picado, con la barra de acero, dando 25 golpes uniformemente distribuidos en toda la superficie de cada capa, hasta que se rebosen los cilindros, revisando si quedan huellas de la barra, en ese caso dar golpes laterales suaves con un martillo de goma y reducir así los espacios vacíos, para proceder a enrasar con una espátula, los topes de cada uno de ellos, cuidando que se tenga un acabado liso, para dejar los fraguar 24 horas a la sombra y sin la incidencia de polvo y ninguna condición climática desfavorable aparentemente .

Al momento del vaciado se rellenó una planilla de toma de muestra, en la que se especificó: el grupo, el número de muestra del grupo, la fecha, el porcentaje de adición de arcilla calcinada, entre otros datos, con el fin de que se tabularan los datos académicos que permitan obtener conclusiones pertinentes del trabajo realizado.

Pasadas las horas de fraguado inicial, se desencofraron las probetas, se identificaron las mismas con su grupo, número de muestra del grupo, fecha de toma y edad a la que fue ensayado, posteriormente se llevaron a las piscinas de curado, donde quedaron sumergidas completamente durante el proceso de curado hasta su edad respectiva de ensayo a (7 y 28 días).

Cada probeta se ensayó el día respectivo según su edad establecida, en una prensa a compresión, cumpliendo con la norma COVENIN 338:2002 garantizando que las caras de las probetas estén limpias de polvo y los remates en buen estado. Centrando correctamente las probetas en la base de la prensa y cerrando la compuerta de seguridad al momento de cada ensayo. Este proceso se repitió con 112 muestras de concreto.

Fase III: Análisis los resultados de resistencia a la compresión de las probetas obtenidos en los ensayos de rotura.

Tras cada ensayo a compresión se anotaron los resultados en una planilla de ensayos en Excel acorde a criterios ya no solo académicos, sino, además, los propios del laboratorio en el que se realiza la experimentación, con los datos como grupo y número de muestra de grupo, la fecha, y la resistencia a compresión soportada por cada probeta.

Fase IV: Evaluación de las medidas de tendencia central, así como las medidas de dispersión estadísticas de los resultados de resistencia a compresión.

Por medio de la evaluación de las medidas de tendencia central y desviación estándar y la variación entre los resultados, se determinó la calidad general del proceso de laboratorio y; con las medias de los resultados de cada grupo, se pudo determinar si estas dosificaciones de arcillas calcinadas proporcionan una mejora en la resistencia a compresión del diseño de mezcla base, y observar teóricamente en cuanto lo mejoraron. Adicionalmente de tener mejoría en la resistencia a compresión con estas dosificaciones, se evaluó cuál de estas fue la que mejor resultados proporcionó al concreto diseñado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Fase I: Caracterización de los agregados suministrados por la empresa Framex C.A, así como las arcillas obtenidas en canteras a cielo abierto del estado Carabobo.

La empresa FRAMEX C.A otorgó a disposición de los investigadores los agregados fino y grueso, el cemento, y el aditivo que se necesitó para el diseño de mezcla proporcionado por la empresa. continuación, se presentan los tipos y las procedencias de dichos materiales:

- **Arena lavada:** Tinaquillo, estado Cojedes. Proveedor: Materiales del Centro.
- **Piedra picada:** Acarigua, estado Portuguesa. Proveedor: Agregados Río Acarigua.

Figura 1: Agregado fino y Grueso en Patio.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

- **Cemento Portland Tipo I:** Planta San Sebastián, estado Aragua. Proveedor: INVECEM S.A.

Figura 2: Cemento almacenado.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 3: Cemento almacenado.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Las Arcillas se obtuvieron en el sector La Mariposa, estado Tocuyito y se calcinó en con un horno de pruebas en la empresa Alfarería Hispano Venezolana, en la carretera nacional de Los Guayos-Guacara.

Figura 4: Arcillas crudas almacenadas.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Se Realizaron ensayos granulométricos al agregado fino por medio de las normativas COVENIN 255-277-258 y a continuación se presentan sus resultados:

Figura 5: Tamizadora automática.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 6: Muestra de agregado fino.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 7: Tamizado de agregado fino.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 2: Pasante Tamiz N°200 del agregado fino.

Pasante Tamiz 200 COVENIN-258	
Peso seco original de muestra (g)	1501.7
Peso seco muestra lavado (g)	1464.1
% pasante Tamiz N°200	2.504

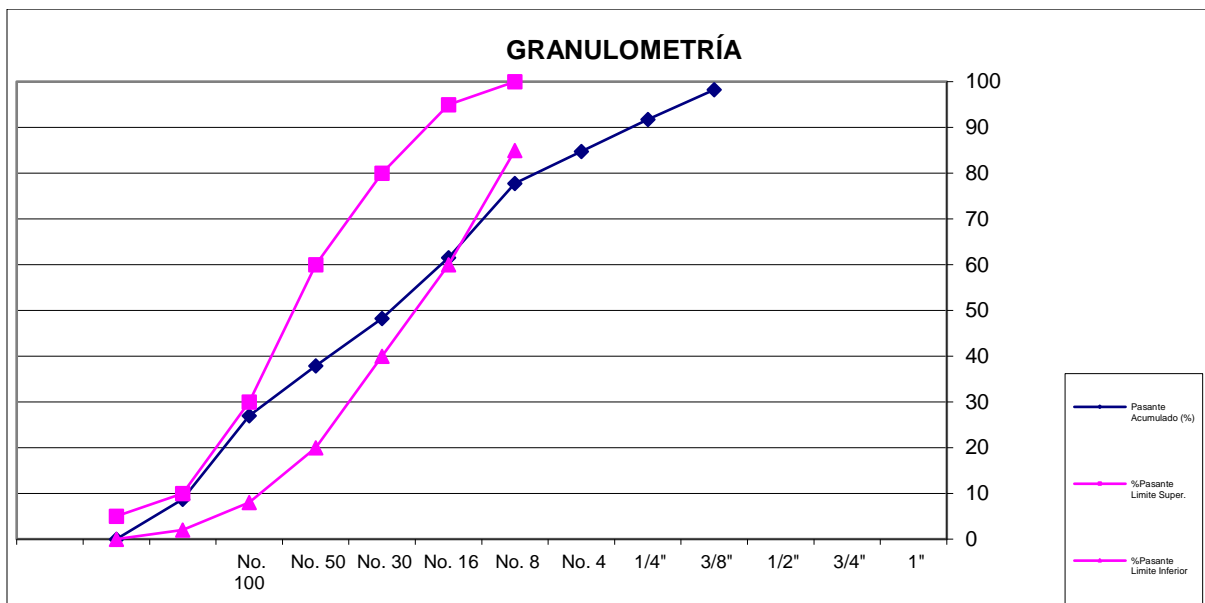
Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 3: Granulometría de agregado fino.

Granulometría Agregado Fino						
Material	Arena lavada	Procedencia	Tinaquillo	Proveedor:	Agregados Rio Acarigua	
Análisis Granulométrico - COVENIN 255			Cantidad Retenida (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
Tamices (Abertura de malla)						
	3"	76mm		0.00	0.00	
	1"	25mm		0.00	0.00	
	3/4"	19mm		0.00	0.00	
	1/2"	12.5mm	25.8	1.76	1.76	98.24
	3/8"	9.5mm	95.1	6.50	8.26	91.74
	1/4"	6.35mm	101.7	6.95	15.21	84.79
	No. 4	4.75mm	102.7	7.02	22.23	77.77
	No. 8	2.38mm	237.3	16.22	38.45	61.55
	No. 16	1.19mm	194.4	13.29	51.74	48.26
	No. 30	0.6mm	151.7	10.37	62.10	37.90
	No. 50	0.3mm	159.5	10.90	73.00	27.00
	No. 100	0.15mm	267.7	18.30	91.30	8.70
	Fondo		127.3	8.70	100.00	0.00
	Totales:		1463.2			
Módulo de Finura					3.47	

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 1: Curva granulométrica de agregado fino.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Respecto al agregado fino, como se presenta en la gráfica anterior, presenta una distribución granulométrica adecuada, caracterizada por una buena distribución de tamaños

intermedios teniendo gran cantidad de peso pasante a partir del tamiz N°50, sin exceder los límites, contando con un pasante del tamiz N°200 bastante aceptable de 2.504% considerando que el máximo permisible es 5% con base a la normativa COVENIN 255:1998 y fue obtenido con base a los procedimientos establecidos en COVENIN 258:1977.

Se Realizaron ensayos granulométricos al agregado grueso por medio de las normativas COVENIN 255-277-258 y a continuación se presentan sus resultados:

Figura 8: Muestra de agregado grueso.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 9: Tamizado de agregado grueso.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 4: Pasante Tamiz N°200 de agregado grueso.

Pasante Tamiz 200 COVENIN-258	
Peso seco original de muestra (g)	2361.2
Peso seco muestra lavado (g)	2353.8
% pasante Tamiz N°200	0.313%

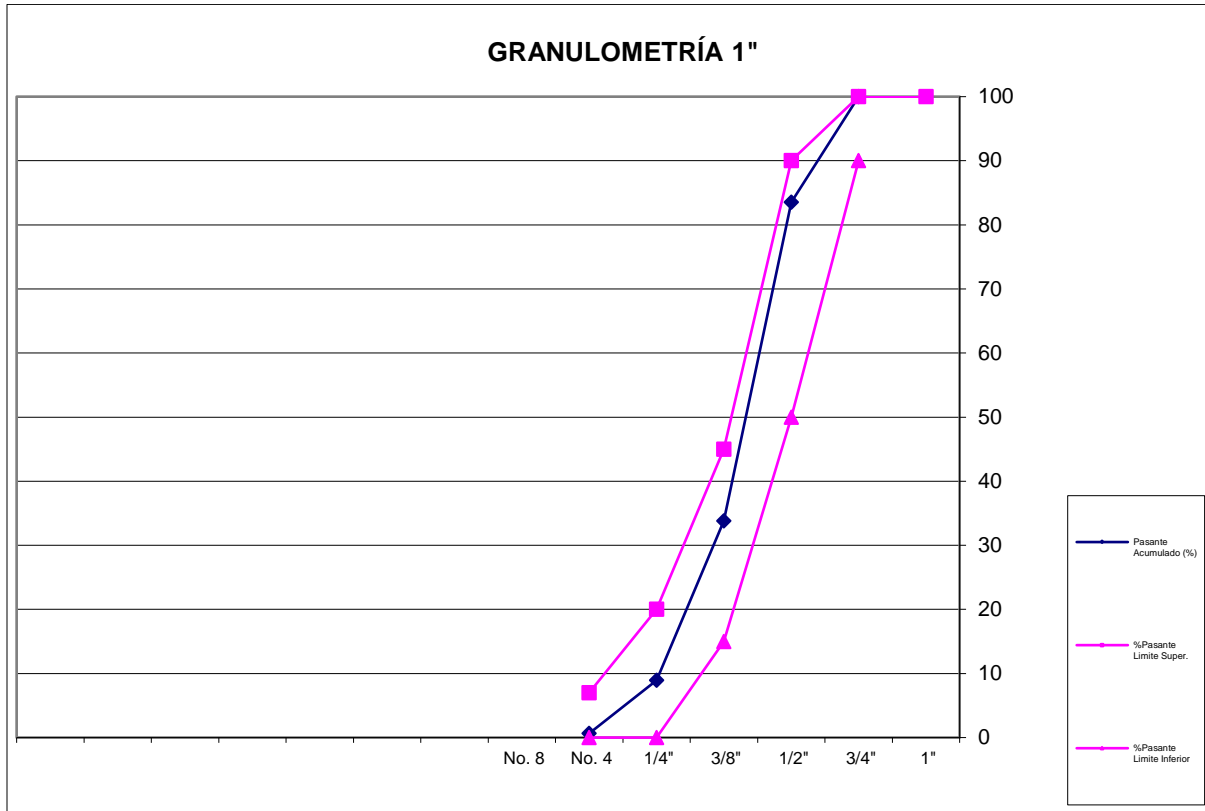
Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 5: Granulometría de agregado grueso.

Granulometría Agregado Grueso						
Material	Piedra picada	Procedencia	Acarigua	Proveedor:	Agregados Rio Acarigua	
Análisis Granulométrico - COVENIN 255			Cantidad	Retenido	Retenido	Pasante
Tamices (Abertura de malla)			Retenida (g)	(%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
76mm	3"			0.00	0.00	
25mm	1"		0	0.00	0.00	100.00
19mm	3/4"		387.7	16.47	16.47	83.53
12.5mm	1/2"		1170.5	49.73	66.20	33.80
9.5mm	3/8"		585.2	24.86	91.06	8.94
6.35mm	1/4"		195.1	8.29	99.35	0.65
4.75mm	No. 4		2.6	0.11		
2.38mm	No. 8			0.00		
1.19mm	No. 16			0.00		
0.6mm	No. 30			0.00	0.00	
0.3mm	No. 50			0.00	0.00	
0.15mm	No. 100		5.4	0.23	0.23	
Fondo	Fondo		7.3			
	Totales:		2353.80			

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 2: Curva granulométrica de agregado grueso.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Como se observa en el gráfico, el agregado grueso se mantiene dentro de los límites máximos y mínimos establecidos en la normativa COVENIN 255:1998, cuenta con un pasante del Tamiz N°200 bastante bajo, obtenido de igual forma el pasante del tamiz N°200 de la arena, por medio de la COVENIN 258:1977.

Las Arcillas se analizaron simplemente por decantación en húmedo de forma que se aprecien impurezas. Se muestra a continuación una imagen representativa.

Figura 10: Prueba por decantación de arcillas crudas.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

No se observaron impurezas de otros materiales, consistencia homogénea a excepción de pequeños terrones de arcilla que, en seco se desmoronaban con facilidad. Visualmente se pudo notar que no se presentaron capas de diferentes materiales, solo un aumento leve del tamaño de las partículas que aumenta paulatinamente según qué tan profundo hayan quedado asentadas, causado por una casi nula diferencia de densidad entre partículas, lo que es un indicador de que es el mismo material con partículas de diferentes tamaños.

Las arcillas al calcinarse adquirieron un color rojizo característico del óxido de hierro que se presenta al calcinar las arcillas.

Figura 11: Muestra de arcillas calcinadas.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 12: Arcillas calcinadas almacenadas.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

El diseño de mezcla fue proporcionado por FRAMEX C.A el cual, utilizado en su operación industrial, para los agregados, cemento y aditivos de tipo y procedencia mencionados previamente, este diseño de mezcla ha sido probado por más de una década con estos mismos proveedores de materiales por la empresa, sin embargo, se presenta a continuación.

Tabla 6: Diseño de mezcla patrón.

DOSIFICACIÓN f'c = 250kg/cm2 ASENTAMIENTO = 5"			
MATERIAL	PROCEDENCIA	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	SAN SEBASTIAN	350	kg/m3
ARENA	TINAQUILLO	1041	kg/m3
PIEDRA	ACARIGUA	750	kg/m3
AGUA	-	230	L/m3
ADITIVO	DARATARD 525	0.73	L/m3

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

La arena, la piedra y las arcillas calcinadas se almacenaron en sacos de plástico impermeable de forma que se pudiese mantener la misma humedad de los materiales a lo largo de la ejecución de todas las mezclas. Los sacos se llenaron con una cantidad específica de material cada uno de manera que al hacer una mezcla solo se necesiten verter sacos y sea necesario realizar mediciones en el momento de hacer las mezclas reduciendo así posibles errores de dosificación.

Figura 13: Proceso de ensacado de material.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 14: Proceso de ensacado de material.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

En las siguientes tablas se muestra los pesos en kg de materiales para cada una de las mezclas, así como cuanto debe pesar cada saco y cuantos sacos de material se requieren para hacer una mezcla.

Tabla 7: Volumen de concreto requerido.

VOLUMEN DE CONCRETO REQUERIDO		
MUESTRA	m3/MUESTRA	TOTAL
28	0.04	1.12

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 8: Dosificación de materiales por muestra y grupo.

DOSIFICACIÓN DE MATERIALES POR MUESTRA					POR GRUPO		
MATERIAL	CANTIDAD kg	SACOS	Nº SACOS	kg/SACO	CANTIDAD	MUESTRAS	Nº SACOS
CEMENTO	14.00	1.40	2	7.00	98	7	14
ARENA	41.64	4.16	5	8.33	291.48		35
PIEDRA	30.00	3.00	4	7.50	210		28
TOTAL	-	-	11	-	-	-	77
AGUA	9.2	-	-	-	64.4	-	-
ADITIVO	0.03507	-	-	-	0.24549	-	-

NOTA: Agua en litros

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 9: Dosificación de arcillas calcinadas por muestra y grupo.

ARCILLA CALCINADA POR MUESTRA				POR GRUPO
GRUPO	% DE ADICION	Nº200	CANTIDAD kg	CANTIDAD kg
1	0%	2.504%	0	0
2	30%		0.31279968	2.18959776
3	45%		0.46919952	3.28439664
4	60%		0.62559936	4.37919552
TOTAL	-	-	1.40759856	9.85318992

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Estas tablas permitieron determinar precisamente cuantos kg de cada material era necesario para cada muestra y para el experimento completo en sí, resultando en que se requería calcinar 10 kg y agregados y cemento para 1.5 m³ de concreto aproximadamente. A continuación, se muestra parte del material ensacado.

Respecto a costos, se parte del precio de venta de este diseño de mezcla 250kg/cm² que, en la empresa Framex C.A ronda los 130\$ + IVA (en Bs según tasa BCV). Para obtener los costos de la arcilla calcinada se consultó de forma informal a varias alfarerías de Carabobo que, si bien no venden dicho producto directamente, tienen los equipos para fabricarla, partiendo del criterio de que sean arcillas obtenidas en canteras a cielo abierto del estado Carabobo, resultando en un costo aproximado de 54\$ la tonelada de arcillas calcinadas, siendo 0.054\$ por kg. A continuación, se presenta una tabla donde se establecen los costos finales de concreto con estas adiciones.

Tabla 10: Costos finales del metro cubico de concreto con los diferentes porcentajes de adición de arcillas calcinadas.

COSTO CONCRETO POR ADICION DE ARCILLAS CALCINADAS (m3)				
Grupo de adición de arcillas calcinadas	Peso kg de arcillas calcinadas para un m3	Costo por arcillas calcinadas	Costo total m3 de concreto	Incremento porcentual de costo
0%	-	-	130.00 \$	-
30%	7.83	0.42 \$	130.42 \$	0.33%
45%	11.73	0.63 \$	130.63 \$	0.49%
60%	15.65	0.85 \$	130.85 \$	0.65%

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 15: Parte de los agregados ensacados.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 16: Parte de los agregados ensacados.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 17: Parte de los agregados ensacados.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

4.2 Fase II: Realización los ensayos de rotura a compresión a las probetas de concreto con diferentes dosificaciones de arcillas calcinadas en adición a los finos de la arena a 7 y 28 días.

Una vez se tuvo gran cantidad de material ensacado se inició la segunda fase el experimento. Antes de comenzar a producir las mezclas se decidió fabricar las mismas en un orden específico, partiendo de la muestra patrón con 0% de adición de arcillas calcinadas y los siguientes 3 grupos bajo un orden no lineal y se determinó que se fabricarían en segundo lugar

las muestras con 60% de adición de arcillas calcinadas, luego las muestras con 30% y por ultimo las muestras con 45% de tal forma que la variable “habilidad” de los investigadores para producir las muestras no tuviese la misma dirección que el incremento de la adición de arcillas calcinadas.

Se comenzó a realizar las mezclas de materiales para fabricar el concreto para cada grupo, para cada mezcla (a la que pertenece una sola muestra) con el uso un trompo mezclador de concreto al aire libre como se muestra a continuación, posicionado a escasos metros del laboratorio.

Figura 18: Trompo mezclador e investigadores.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Para realizar cada mezcla se llevó un procedimiento específico, el caso de mezclado en trompos móviles como el que se muestra previamente, según la normativa se debe dosificar primero el agregado fino y grueso (y las arcillas calcinadas según el grupo de muestras que este desarrollando) realizar un mezclado rápido de estos, posteriormente, dosificar el cemento, volver a mezclar y finalmente añadir el agua con el aditivo plastificante, seguidamente mezclar al menos 10 minutos hasta que se observe homogenizado el concreto, como se observa a continuación.

Figura 19: Mezcla de concreto en trompo.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 20: Mezcla de concreto en trompo.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 21: Mezcla de concreto en trompo.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Los vaciados se realizaron primero en una carretilla con cauchos de goma, con la cual se transportaba al laboratorio, donde se vació la mezcla a los moldes cilíndricos limpios y previamente aceitados, con aceite mineral para vehículos, y humedecidos con agua limpia abundante, de medidas 15cm de diámetro y 30 cm de altura. Realizando previamente un ensayo con el cono de Abrams tomando el asentamiento generado al centro de la masa de concreto para comprobar que el diseño de mezcla con las variables de los materiales utilizados como la humedad al momento de su ensacado efectivamente alcanzaba el asentamiento de 5” luego del

mezclado, como se muestra a continuación con las herramientas que se muestran en las siguientes imágenes.

Figura 22: Cono de Abrams y placa.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 23: Prueba de asentamiento mediante el Cono de Abrams.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Siendo esto un aspecto a alcanzar en el experimento de forma indirecta, puesto que, si bien no es una variable de estudio, lo correcto es que si el diseño de mezcla estima un asentamiento del 5” la mezcla alcance tal asentamiento en el proceso.

Cumpliendo la norma COVENIN 338:2002, se vació en 3 capas cada cilindro simultáneamente surtiendo de una palada a cada cilindro por hasta llegar a cada capa de forma que se vaciara de la manera más homogénea posible la mezcla entre los 4 cilindros y entre cada capa se realizaba un mezclado manual en la carretilla de al menos 30 segundos de duración, luego, se compactó cada capa por medio de picado, con la barra de acero, dando 25 golpes uniformemente distribuidos en forma de espiral de la zona más externa a la interna de cada cilindro en toda la superficie de cada capa, hasta que se rebosaban los cilindros, revisando si quedaban huellas de la barra en cada capa, en tal caso se aplicaban golpes laterales suaves con un martillo de goma para reducir así los espacios vacíos.

Finalmente se procedía a enrasar con una espátula, los topes de cada uno de ellos, cuidando estos quedaran con un acabado liso y así mismo dejarlos fraguar 24 horas a la sombra y sin la incidencia de polvo y ninguna condición climática desfavorable aparente. Todo esto con las herramientas que se muestran a continuación.

Figura 24: Herramientas y equipo utilizado para fabricar probetas cilíndricas.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 25: Muestra de concreto antes de fraguado.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 26: Muestra de concreto a las 24 horas de fraguado.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Luego de cada vaciado se anotaba en un archivo Excel una planilla de toma de muestra, en la que se especificaba: el grupo, el número de muestra del grupo, la fecha, el porcentaje de adición de arcilla calcinada, entre otros datos, con el fin de ir tabulando los datos de cada muestra que permitan obtener conclusiones pertinentes del experimento que se llevó a cabo.

Pasadas las horas de fraguado inicial, se desencofraban las probetas, se identificaban las mismas con su grupo, número de muestra del grupo, fecha de toma y edad a la que sería ensayado, posteriormente se llevaban a las piscinas de curado, donde quedaban sumergidas completamente durante el proceso de curado hasta un día antes de su edad respectiva de ensayo a (7 y 28 días) para reducir saturación de agua de las probetas.

Figura 27: Probetas cilíndricas en piscinas de curado.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Cada probeta se ensayó el día respectivo según su edad establecida, en una prensa a compresión calibrada cumpliendo con la norma COVENIN 338:2002 garantizando que las caras de las probetas estén limpias de polvo y los remates en buen estado. Centrando correctamente las probetas en la base de la prensa y cerrando la compuerta de seguridad al momento de cada ensayo. A continuación, se muestran imágenes del proceso de ensayo.

Figura 28: Retenedor de acero y neopreno para ensayos a compresión de probetas cilíndricas.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 29: Probeta cilíndrica lista para ensayar.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 30: Prensa hidráulica lista para ejecutar ensayo a compresión.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 31: Ensayo a compresión culminado.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Figura 32: Representación de fractura de probeta cilíndrica.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Este proceso se repitió con los 112 cilindros de concreto que conformaban la población total del experimento para obtener los resultados pertinentes una vez obtenido cada resultado se anotó en un archivo Excel con todos sus datos correspondientes.

4.3 Fase III: Análisis los resultados de resistencia a la compresión de las probetas obtenidos en los ensayos de rotura.

Esta fase confiere el procesamiento de los resultados de resistencia a compresión obtenidos a 7 y 28 días en simultaneo en la plataforma Excel y su respectivo análisis con base al promedio de resistencias alcanzadas, refiriéndose con simultaneo a que se realizaron análisis no solo a la resistencia nominal (28 días de curado) sino también a 7 días de curado. A

continuación, se presentan los resultados de resistencia a compresión obtenidos a 7 y 28 días de cada uno de los grupos y sus respectivas muestras.

Tabla 11: Resultados de resistencia a compresión a 7 días de curado.

Resistencia a compresión a los 7 días de curado					
Muestra	Grupo	Fecha	R'c cil. 1	R'c cil. 2	R'c prom.
T1.1	0%	14/3/2023	265	256	261
T1.2	0%	16/3/2023	253	259	256
T1.3	0%	31/3/2023	236	229	233
T1.4	0%	31/3/2023	271	263	267
T1.5	0%	3/4/2023	265	256	261
T1.6	0%	3/4/2023	253	259	256
T1.7	0%	3/4/2023	255	249	252
T2.1	60%	4/4/2023	270	273	272
T2.2	60%	4/4/2023	276	274	275
T2.3	60%	13/4/2023	274	271	273
T2.4	60%	18/4/2023	296	288	292
T2.5	60%	19/4/2023	269	275	272
T2.6	60%	19/4/2023	277	276	277
T2.7	60%	20/4/2023	272	269	271
T3.1	30%	20/4/2023	270	268	269
T3.2	30%	27/4/2023	262	255	259
T3.3	30%	27/4/2023	243	250	247
T3.4	30%	27/4/2023	234	250	242
T3.5	30%	2/5/2023	270	269	270
T3.6	30%	2/5/2023	249	254	252
T3.7	30%	4/5/2023	250	256	253
T4.1	45%	5/5/2023	266	248	257
T4.2	45%	5/5/2023	256	259	258
T4.3	45%	5/5/2023	242	248	245
T4.4	45%	6/5/2023	250	257	254
T4.5	45%	6/5/2023	251	255	253
T4.6	45%	8/5/2023	262	266	264
T4.7	45%	8/5/2023	269	264	267

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 12: Resultados de resistencia a compresión a 28 días de curado.

Resistencia a compresión a los 28 días de curado					
Muestra	Grupo	Fecha	R'c cil. 1	R'c cil. 2	R'c prom.
T1.1	0%	14/3/2023	303	309	306
T1.2	0%	16/3/2023	322	319	321
T1.3	0%	31/3/2023	293	294	294
T1.4	0%	31/3/2023	324	328	326
T1.5	0%	3/4/2023	313	332	323
T1.6	0%	3/4/2023	319	319	319
T1.7	0%	3/4/2023	320	328	324
T2.1	60%	4/4/2023	332	321	327
T2.2	60%	4/4/2023	310	331	321
T2.3	60%	13/4/2023	347	342	345
T2.4	60%	18/4/2023	355	346	351
T2.5	60%	19/4/2023	322	337	330
T2.6	60%	19/4/2023	334	335	335
T2.7	60%	20/4/2023	331	328	330
T3.1	30%	20/4/2023	313	316	315
T3.2	30%	27/4/2023	328	312	320
T3.3	30%	27/4/2023	297	317	307
T3.4	30%	27/4/2023	319	320	320
T3.5	30%	2/5/2023	312	308	310
T3.6	30%	2/5/2023	312	319	316
T3.7	30%	4/5/2023	313	320	317
T4.1	45%	5/5/2023	310	308	309
T4.2	45%	5/5/2023	316	310	313
T4.3	45%	5/5/2023	301	312	307
T4.4	45%	6/5/2023	331	327	329
T4.5	45%	6/5/2023	321	326	324
T4.6	45%	8/5/2023	310	316	313
T4.7	45%	8/5/2023	320	313	317

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Esta es la tabla en la que vaciaron los datos de cada uno de los ensayos de rotura, y en la que se representa la resistencia media de cada una de las parejas de cilindros de cada muestra, para observar así bajo la normativa la resistencia alcanzada de las mezclas de concreto producidas. Sin embargo, para determinar que estas muestras alcanzan la resistencia esperada bajo criterios de control de calidad y seguridad de una empresa de premezclado, se realizó el

análisis de los 3 promedios consecutivos solapados, de forma de que se garantice que el diseño de mezcla alcanza la resistencia esperada considerando posibles fracciones defectuosas.

Dicha resistencia esperada se establece como: 75% de la resistencia a compresión nominal (la tipificada en el diseño de mezcla, en este caso 250 kgf/cm² a los 28 días de curado) para probetas cilíndricas con 7 días de curado y 100% de la resistencia nominal para probetas que posean un curado de 28 días. El análisis consiste en hallar la media de 3 promedios de resultados resistencia a compresión de parejas de cada muestra cronológicamente solapando el ultimo promedio del primer calculo como el primero del siguiente calculo, de la siguiente manera: primero se haya la media de los promedios 1, 2 y 3, luego, la media de los promedios 3,4 y 5 y por último la media del promedio 5,6 y 7, así para cada grupo a 7 y 28 días.

Tabla 13: Evaluación de promedios consecutivos a 7 días de curado.

R'c a los 7 días de curado (Evaluación de promedios consecutivos)				
Muestra	Grupo	R'c prom.	3 promedios consecutivos	
T1.1	0%	261		
T1.2	0%	256		
T1.3	0%	233	250	Cumple 75% f'c
T1.4	0%	267		
T1.5	0%	261	253	Cumple 75% f'c
T1.6	0%	256		
T1.7	0%	252	256	Cumple 75% f'c
T2.1	60%	272		
T2.2	60%	275		
T2.3	60%	273	273	Cumple 75% f'c
T2.4	60%	292		
T2.5	60%	272	279	Cumple 75% f'c
T2.6	60%	277		
T2.7	60%	271	273	Cumple 75% f'c
T3.1	30%	269		
T3.2	30%	259		
T3.3	30%	247	258	Cumple 75% f'c
T3.4	30%	242		
T3.5	30%	270	253	Cumple 75% f'c
T3.6	30%	252		
T3.7	30%	253	258	Cumple 75% f'c
T4.1	45%	257		
T4.2	45%	258		
T4.3	45%	245	253	Cumple 75% f'c
T4.4	45%	254		
T4.5	45%	253	251	Cumple 75% f'c
T4.6	45%	264		
T4.7	45%	267	261	Cumple 75% f'c

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Se puede apreciar que todas las muestras a 7 días alcanzaron al menos el 75% de la resistencia nominal del diseño de mezcla.

Tabla 14: Evaluación de promedios consecutivos a 28 días de curado.

R'c a los 28 días de curado (Evaluación de promedios consecutivos)				
Muestra	Grupo	R'c prom.	3 promedios consecutivos	
T1.1	0%	306		
T1.2	0%	321		
T1.3	0%	294	307	Cumple 100% f'c
T1.4	0%	326		
T1.5	0%	323	314	Cumple 100% f'c
T1.6	0%	319		
T1.7	0%	324	322	Cumple 100% f'c
T2.1	60%	327		
T2.2	60%	321		
T2.3	60%	345	331	Cumple 100% f'c
T2.4	60%	351		
T2.5	60%	330	342	Cumple 100% f'c
T2.6	60%	335		
T2.7	60%	330	331	Cumple 100% f'c
T3.1	30%	315		
T3.2	30%	320		
T3.3	30%	307	314	Cumple 100% f'c
T3.4	30%	320		
T3.5	30%	310	312	Cumple 100% f'c
T3.6	30%	316		
T3.7	30%	317	314	Cumple 100% f'c
T4.1	45%	309		
T4.2	45%	313		
T4.3	45%	307	310	Cumple 100% f'c
T4.4	45%	329		
T4.5	45%	324	320	Cumple 100% f'c
T4.6	45%	313		
T4.7	45%	317	318	Cumple 100% f'c

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

En el caso de las probetas ensayadas a 28 días se presenta la misma situación, en su totalidad alcanzan la resistencia nominal $f'c$ del diseño de mezcla.

En el caso de este diseño de mezcla, según los resultados obtenidos, tan solo a los 7 días de curado logra alcanzar la resistencia nominal en todos los resultados, pero esto no necesariamente se debe a una sobredosificación de cemento para la resistencia objetivo, esto ocurre debido a que es un diseño de mezcla que cumple bajo el uso industrial de las plantas de dosificación de la empresa FRAMEX C.A, en el que, si bien se presenta un buen control de

calidad, no es comparable la precisión de una planta de dosificación respecto a la que se logra tener en la producción de concretos en laboratorio.

4.4 Fase IV: Evaluación de las medidas de tendencia central, así como las medidas de dispersión estadísticas de los resultados de resistencia a compresión.

En esta fase se desempeñó el análisis estadístico de los resultados más allá de los promedios obtenidos, de forma que, no solo se determinara que grupo alcanzó mayor resistencia a la compresión si no también que se evidencie que el proceso de experimentación fue controlado y la calidad de estudio mismo haya sido satisfactoria por medio del análisis de las medias de resultados, sus varianzas, desviaciones estándar, los coeficientes de variación e histogramas de frecuencia de cada uno de los grupos, de lo que daría lugar a una conclusión más acertada respecto del objetivo de la investigación.

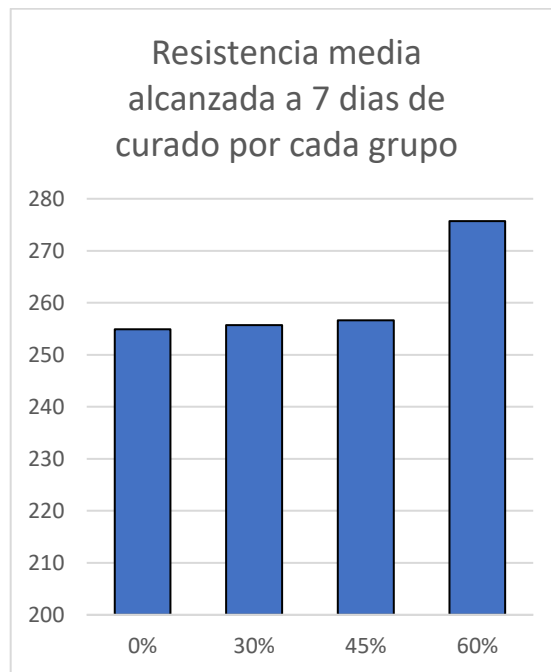
El incremento de la resistencia alcanza por las muestras de arcillas calcinadas se puede apreciar en las medias de resistencias obtenidas por cada grupo de adición de arcillas calcinadas.

Tabla 15: Resistencia a compresión media alcanzada por cada grupo a 7 días de curado.

Resistencia media alcanzada a 7 días de curado por cada grupo			
Grupo	% de adición de arcillas	R'c a 7 días de curado	Incremento de R'c
1	0%	255	-
2	30%	256	0.31%
3	45%	257	0.67%
4	60%	276	7.54%

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 3: Resultados de resistencia a compresión a 7 días de curado.



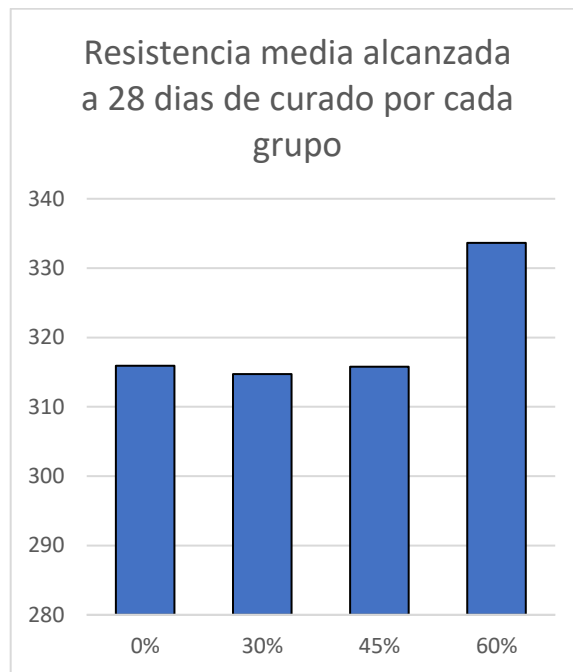
Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 16: Resultados de resistencia a compresión a 28 días de curado.

Resistencia media alcanzada a 28 días de curado por cada grupo			
Grupo	% de adición de arcillas	R'c a 28 días de curado	Incremento de R'c
1	0%	316	-
2	30%	315	-0.39%
3	45%	316	-0.05%
4	60%	334	5.31%

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

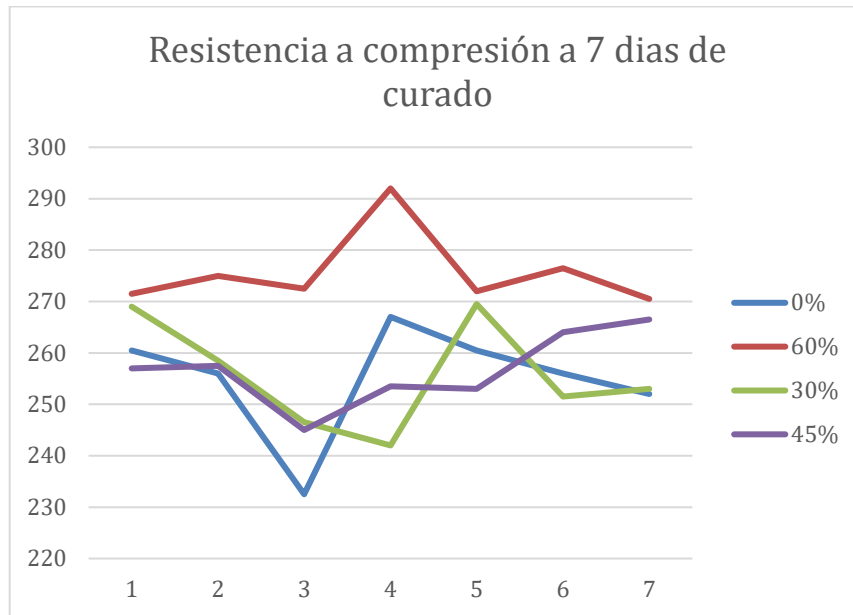
Gráfico 4: Resultados de resistencia a compresión a 28 días de curado.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

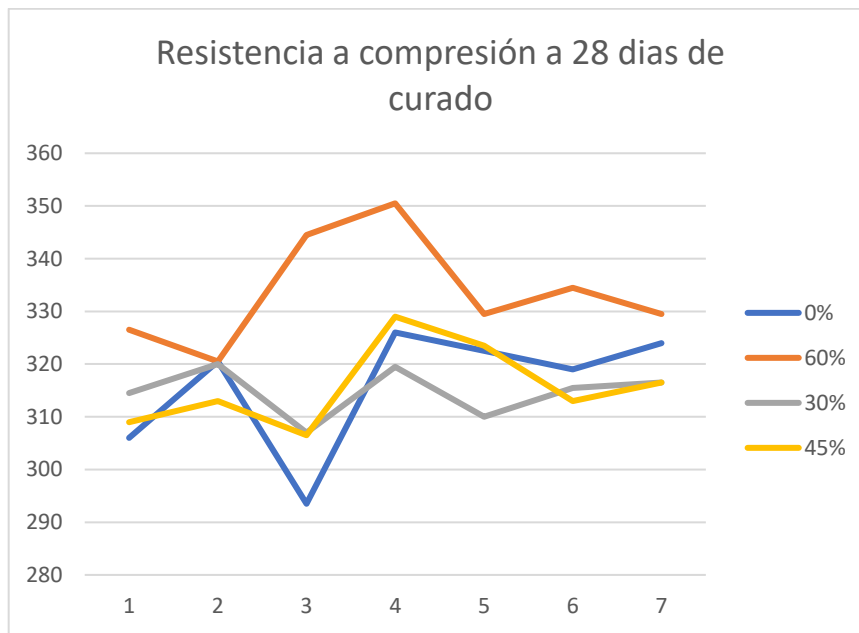
En los siguientes gráficos de líneas se puede visualizar el desempeño de cada muestra de cada grupo, a partir de los promedios de resistencia a compresión alcanzada a los 7 y 28 días de cada pareja de cilindros perteneciente a cada muestra.

Gráfico 5: Comportamiento a compresión muestras de cada grupo a 7 días de curado.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 6: Comportamiento a compresión muestras de cada grupo a 28 días de curado.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

En estas tablas y gráficos que se mostraron previamente se puede observar que, a 7 días de curado, se observa un incremento apenas considerable de la resistencia a compresión con la adición de 30% y 45% de arcillas en función del peso la fracción pasante del Tamiz N°200 de

la arena. Evaluando a 28 días de curado, inclusive se encuentra con una disminución similar porcentualmente al incremento estos primeros grupos tuvieron a 7 días.

En lo que respecta al grupo de 60% de adición de arcillas calcinadas en función del peso de la fracción pasante del Tamiz N°200 de la arena, se encuentra a que a 7 días de curado se tiene un incremento de 21 kgf/cm² de media respecto grupo patrón sin adición de arcillas calcinadas, esto es un 7.5% de incremento y a 28 días de curado se tuvo 18 kgf/cm² más de media que el grupo patrón con 0% de adición de arcillas calcinadas lo que representa un 5.3%.

Siendo estos últimos incrementos discretamente superiores al resto y siendo las resistencias del grupo con 60% de adición mayores que las que alcanzó la mezcla patrón, se puede considerar que las arcillas calcinadas poseen un efecto positivo en lo que respecta a la resistencia a compresión, sin embargo, la carencia de incremento de resistencia en los grupos de 30% y 45% pueden ser indicativo de que las proporciones de arcilla calcinadas que se añadían a las mezclas de este experimento son muy bajas para surtir un efecto apreciable en la resistencia a compresión del concreto y que el grupo con 60% de adición es el que posee una cantidad de arcillas mínima para que exista efecto alguno.

Por otro lado, estos análisis deben ir estrechamente unidos a la evaluación estadística del control de calidad del proceso de experimentación, que demuestran que el mismo estuvo controlado y que todas las variables que tuvieran influencia en el comportamiento de las probetas estuvieran bajo control, o al menos estuvieran las que al alcance de los investigadores.

A continuación, se presentan las tablas de resultados en las que se visualizan las diferencias de resistencia a compresión entre parejas de cilindros y las medias, las varianzas, las desviaciones estándar y los coeficientes de variación que poseen los resultados de cada grupo a 7 y 28 días de curado.

Tabla 17: Evaluación estadística de resultados a 7 días de curado.

Resistencia a compresión a los 7 días de curado (Evaluación estadística)								
Muestra	Grupo	R'c cil. 1	R'c cil. 2	Variabilidad	Media	Varianza	Desv. Est	C. Variación
T1.1	0%	265	256	9	255	117	11	4%
T1.2	0%	253	259	6				
T1.3	0%	236	229	7				
T1.4	0%	271	263	8				
T1.5	0%	265	256	9				
T1.6	0%	253	259	6				
T1.7	0%	255	249	6				
T2.1	60%	270	273	3	276	53	7	3%
T2.2	60%	276	274	2				
T2.3	60%	274	271	3				
T2.4	60%	296	288	8				
T2.5	60%	269	275	6				
T2.6	60%	277	276	1				
T2.7	60%	272	269	3				
T3.1	30%	270	268	2	256	111	11	4%
T3.2	30%	262	255	7				
T3.3	30%	243	250	7				
T3.4	30%	234	250	16				
T3.5	30%	270	269	1				
T3.6	30%	249	254	5				
T3.7	30%	250	256	6				
T4.1	45%	266	248	18	257	61	8	3%
T4.2	45%	256	259	3				
T4.3	45%	242	248	6				
T4.4	45%	250	257	7				
T4.5	45%	251	255	4				
T4.6	45%	262	266	4				
T4.7	45%	269	264	5				

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 18: Evaluación estadística de resultados a 28 días de curado.

Resistencia a compresión a los 28 días de curado (Evaluación estadística)								
Muestra	Grupo	R'c cil. 1	R'c cil. 2	Variabilidad	Media	Varianza	Desv. Est	C. Variación
T1.1	0%	303	309	6	316	138	12	4%
T1.2	0%	322	319	3				
T1.3	0%	293	294	1				
T1.4	0%	324	328	4				
T1.5	0%	313	332	19				
T1.6	0%	319	319	0				
T1.7	0%	320	328	8				
T2.1	60%	332	321	11	334	127	11	3%
T2.2	60%	310	331	21				
T2.3	60%	347	342	5				
T2.4	60%	355	346	9				
T2.5	60%	322	337	15				
T2.6	60%	334	335	1				
T2.7	60%	331	328	3				
T3.1	30%	313	316	3	315	47	7	2%
T3.2	30%	328	312	16				
T3.3	30%	297	317	20				
T3.4	30%	319	320	1				
T3.5	30%	312	308	4				
T3.6	30%	312	319	7				
T3.7	30%	313	320	7				
T4.1	45%	310	308	2	316	65	8	3%
T4.2	45%	316	310	6				
T4.3	45%	301	312	11				
T4.4	45%	331	327	4				
T4.5	45%	321	326	5				
T4.6	45%	310	316	6				
T4.7	45%	320	313	7				

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Para analizar el control de calidad a partir de las desviaciones estándar obtenidas para cada grupo se puede tener como criterio de evaluación la siguiente tabla elaborada a partir de la normativa COVENIN 1976:2003 siguiendo sus valores de desviación estándar medidas en kgf/cm² esperables para ensayos según el caso área de elaboración.

Tabla 19: Control de calidad a partir de la desviación estándar según COVENIN 1976:2003.

Control de calidad según desviación estándar			
COVENIN 1976	Tipo de control		
	Malo	Usual	Excelente
Obra	>9	6-9	<6
Laboratorio	>8	5-8	<5

Fuente: Normas Venezolanas de Concreto COVENIN 1976 (2003)

Como podemos observar en la tabla un control de calidad excelente a nivel de laboratorio quedaría descrito por desviaciones estándar inferiores a 5kgf/cm², en el experimento caso estudio la desviación estándar media de todos los grupos fue de 9 kgf/cm² estando a una unidad de estar enmarcado en un control de calidad calificado como usual de un laboratorio conformado por laboratoristas profesionales con experiencia en el área.

De los criterios más importantes para analizar el control del proceso de experimentación se encuentra el Coeficiente de Variación, también denominado “Coeficiente de variación de Pearson” que define cuanto varían los datos obtenidos alrededor de la media, lo que permite a partir de un porcentaje saber que tan controlado estuvo el proceso, este Coeficiente se obtiene de dividir la desviación estándar por la media de los resultados y multiplicándose por cien para obtener la expresión porcentual. En la normativa COVENIN 3549:1999 se tiene encuentra la siguiente tabla que permite evaluar el control del proceso a partir de los coeficientes de variación obtenidos.

Tabla 20: Control de calidad a partir del Coeficiente de variación de Pearson según COVENIN 3549:1999.

Tipo de Operación	Grados de control				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Deficiente
Control de campo	< 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	5,0 - 6,0	> 6,0
Mezclas de prueba en laboratorio	< 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	> 5,0

Fuente: Normas Venezolanas de Concreto COVENIN 3549 (1999)

Y partiendo de las tablas de evaluación estadística previamente mostradas se puede observar que se tienen resultados máximos de 4% y mínimos de 2%, siendo la media de todos los coeficientes de variación 3% por lo que se tiene de media un grado de control clasificado según la normativa COVENIN 3549:1999 como “Muy bueno”, siendo este un criterio más que

demuestra que se tuvo un buen control del proceso de experimentación que permite dar conclusiones solidas sobre el experimento caso estudio.

Como ultimo criterio para evaluar el control del proceso de experimentación es con base a las curtosis de histogramas de frecuencias, para lo cual se realizó un histograma de frecuencias para cada grupo a 7 y 28 días de curado. Recordando que la curtosis de un histograma define el grado de concentración de los datos caso estudio, es decir, una curtosis positiva refiere a un histograma de frecuencias con una campana leptocúrtica, con una cúspide pronunciada, por el contrario, una curtosis negativa refiere a una campana platicurtica con una cúspide poco pronunciada, significando en el primero, resultados muy precisos y el segundo, poco precisos.

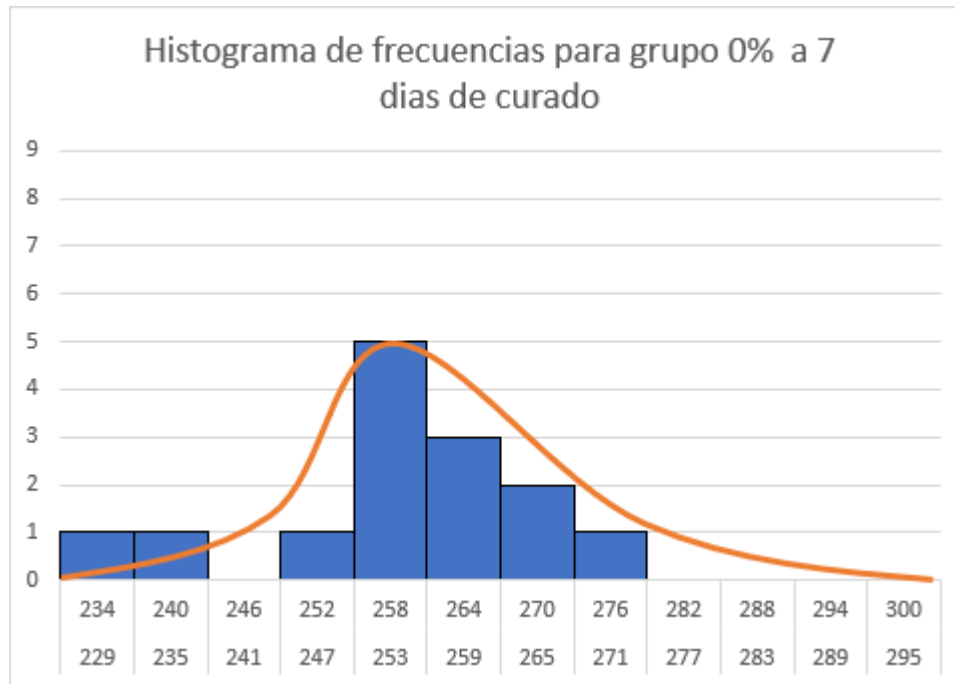
Todos los histogramas poseen rangos fijos de forma que la escala de los histogramas sea la misma para todos los casos y sea posible de forma visible entender el desempeño de cada uno de los grupos de adición de una forma más sencilla y en todos se usó intervalos de 5 kgf/cm² para el mismo propósito. A continuación, se muestran las tablas y sus respectivos histogramas de frecuencias.

Tabla 21: Tabla de frecuencias grupo 0% a 7 días de curado.

Histograma grupo 0% 7 días			
Intervalos de clase		Frecuencia	Curtosis
229	234	1	2.825232
235	240	1	
241	246	0	
247	252	1	
253	258	5	
259	264	3	
265	270	2	
271	276	1	
277	282	0	
283	288	0	
289	294	0	
295	300	0	
total		14	

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 7: Histograma de frecuencias grupo 0% a 7 días de curado.



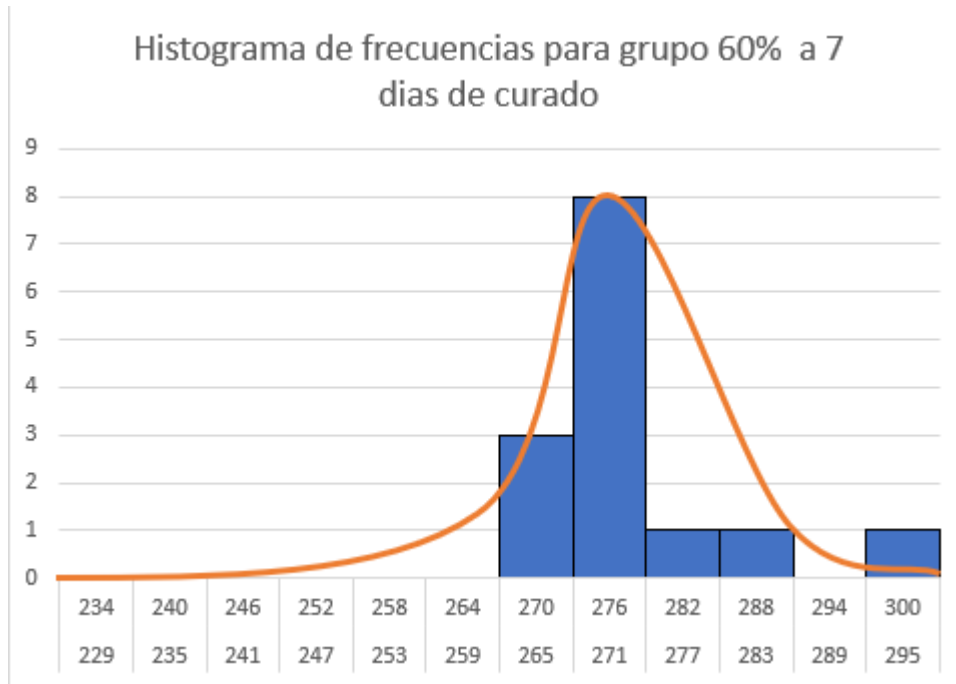
Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 22: Tabla de frecuencias grupo 60% a 7 días de curado.

Histograma grupo 60% 7 días			
Intervalos de clase		Frecuencia	Curtosis
229	234	0	7.773915
235	240	0	
241	246	0	
247	252	0	
253	258	0	
259	264	0	
265	270	3	
271	276	8	
277	282	1	
283	288	1	
289	294	0	
295	300	1	
total		14	

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 8: Histograma de frecuencias grupo 60% a 7 días de curado.



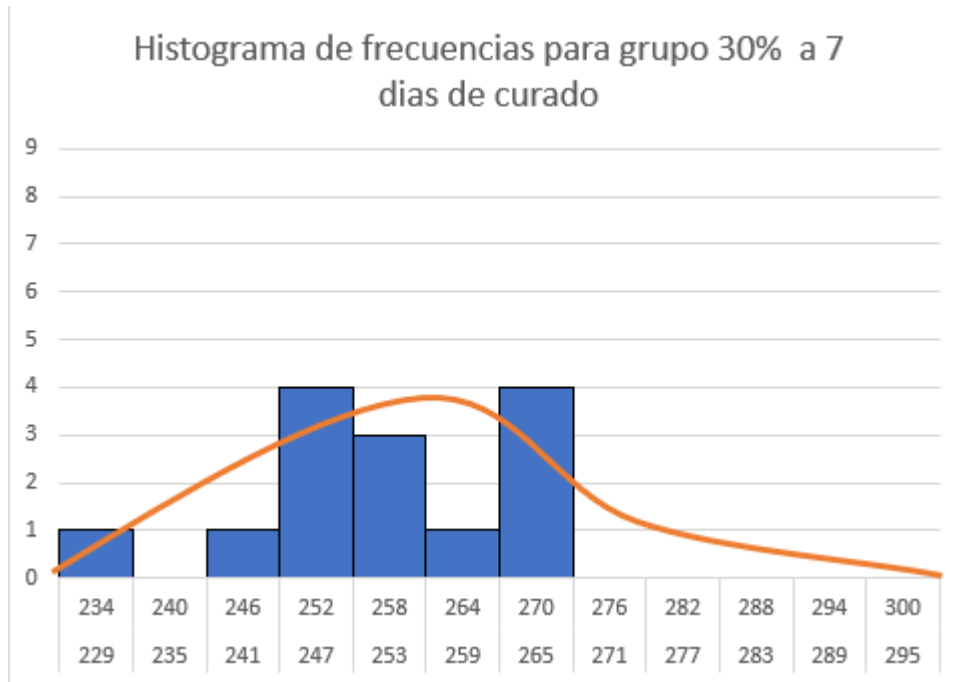
Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 23: Tabla de frecuencias grupo 30% a 7 días de curado.

Histograma grupo 30% 7 días			
Intervalos de clase		Frecuencia	Curtosis
229	234	1	-0.26442
235	240	0	
241	246	1	
247	252	4	
253	258	3	
259	264	1	
265	270	4	
271	276	0	
277	282	0	
283	288	0	
289	294	0	
295	300	0	
total		14	

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 9: Histograma de frecuencias grupo 30% a 7 días de curado.



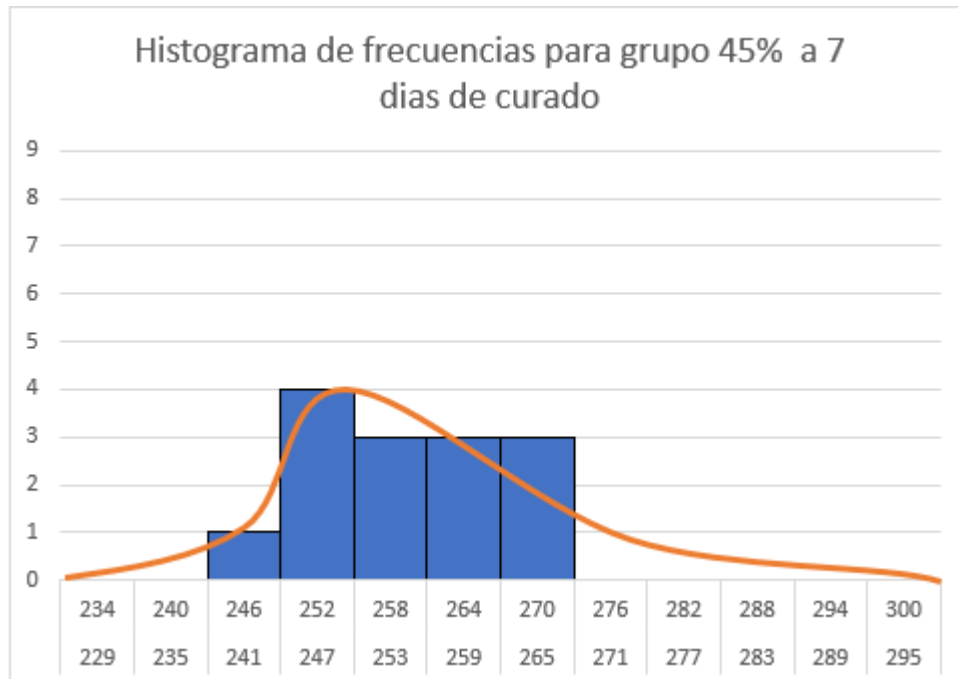
Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 24: Tabla de frecuencias grupo 45% a 7 días de curado.

Histograma grupo 45% 7 días			Curtosis
Intervalos de clase		Frecuencia	
229	234	0	-1.26079
235	240	0	
241	246	1	
247	252	4	
253	258	3	
259	264	3	
265	270	3	
271	276	0	
277	282	0	
283	288	0	
289	294	0	
295	300	0	
total		14	

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 10: Histograma de frecuencias grupo 45% a 7 días de curado.



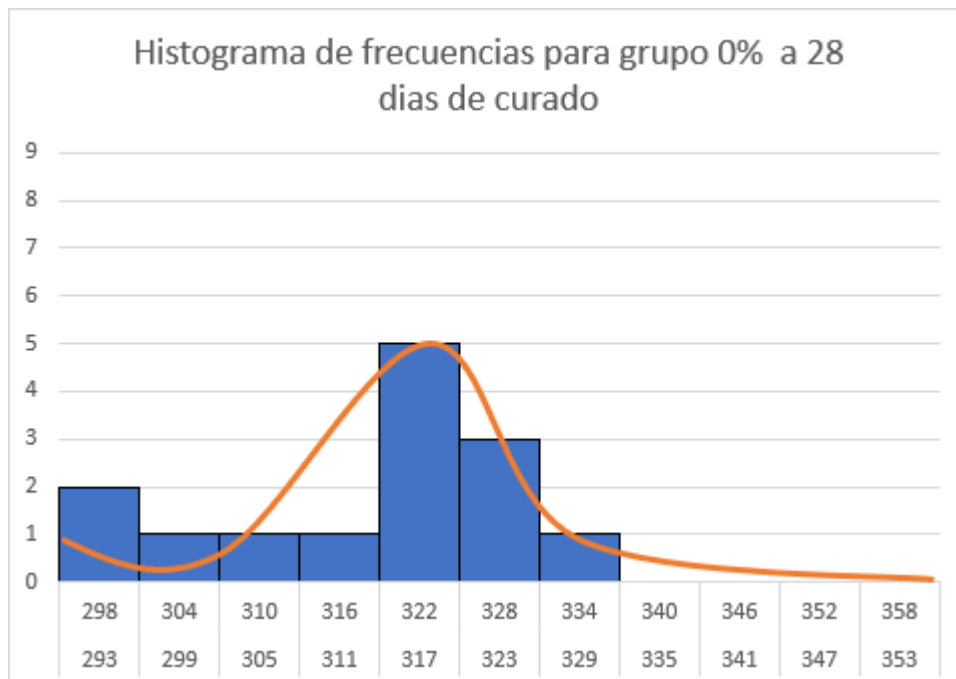
Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 25: Tabla de frecuencias grupo 0% a 28 días de curado.

Histograma grupo 0% 28 días			
Intervalos de clase		Frecuencia	Curtosis
293	298	2	2.5019315
299	304	1	
305	310	1	
311	316	1	
317	322	5	
323	328	3	
329	334	1	
335	340	0	
341	346	0	
347	352	0	
353	358	0	
total		14	

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 11: Histograma de frecuencias grupo 0% a 28 días de curado.



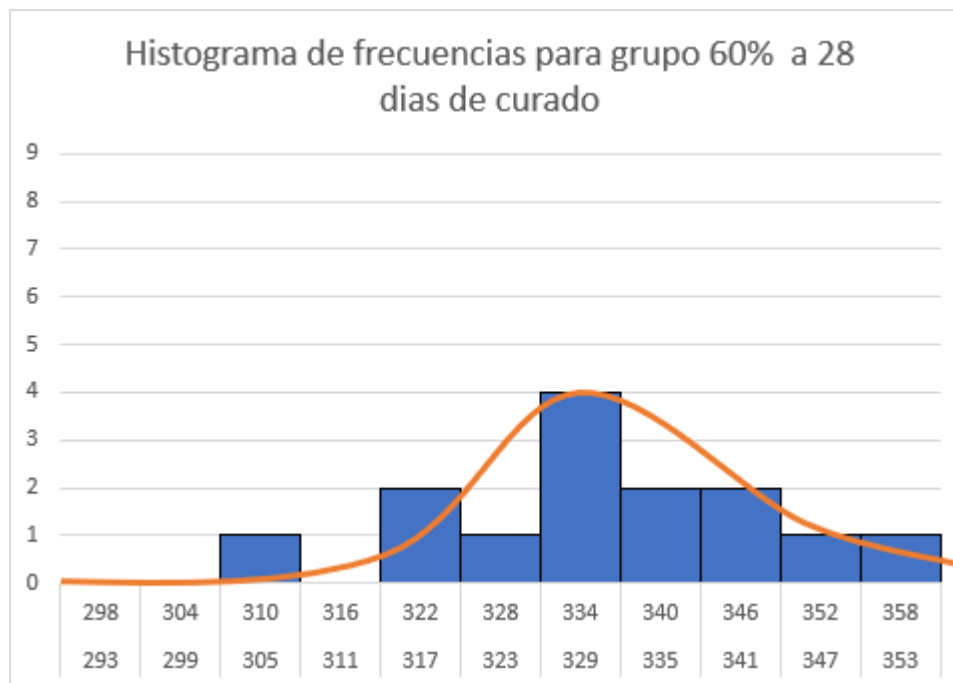
Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 26: Tabla de frecuencias grupo 60% a 28 días de curado.

Histograma grupo 60% 28 días			
Intervalos de clase		Frecuencia	Curtosis
293	298	0	1.6724195
299	304	0	
305	310	1	
311	316	0	
317	322	2	
323	328	1	
329	334	4	
335	340	2	
341	346	2	
347	352	1	
353	358	1	
total		14	

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 12: Histograma de frecuencias grupo 60% a 28 días de curado.



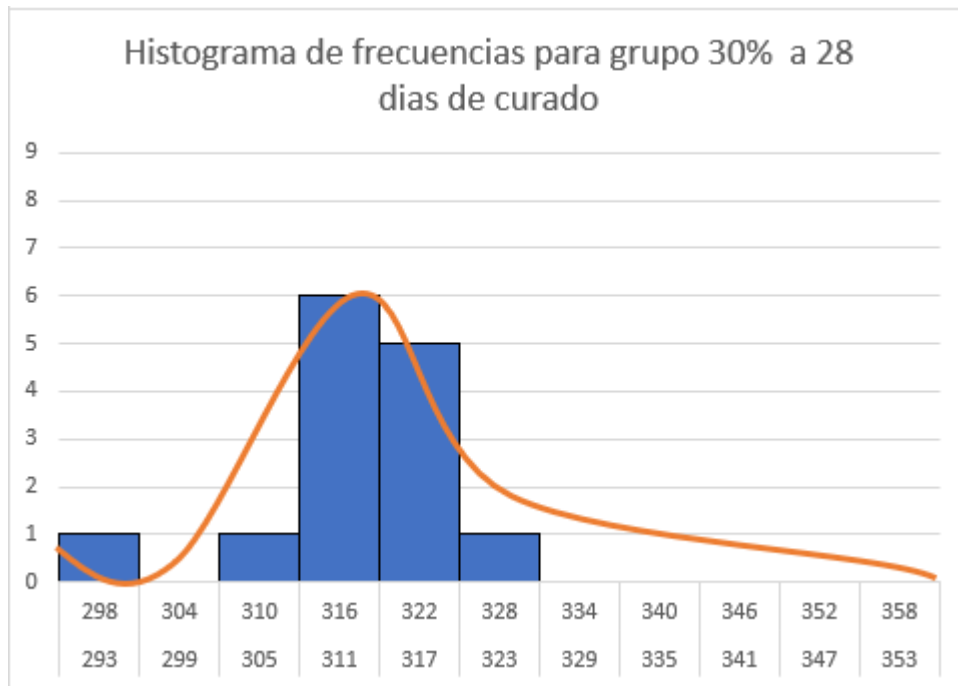
Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 27: Tabla de frecuencias grupo 30% a 28 días de curado.

Histograma grupo 30% 28 días			Curtosis
Intervalos de clase		Frecuencia	
293	298	1	1.9206863
299	304	0	
305	310	1	
311	316	6	
317	322	5	
323	328	1	
329	334	0	
335	340	0	
341	346	0	
347	352	0	
353	358	0	
total		14	

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 13: Histograma de frecuencias grupo 30% a 28 días de curado.



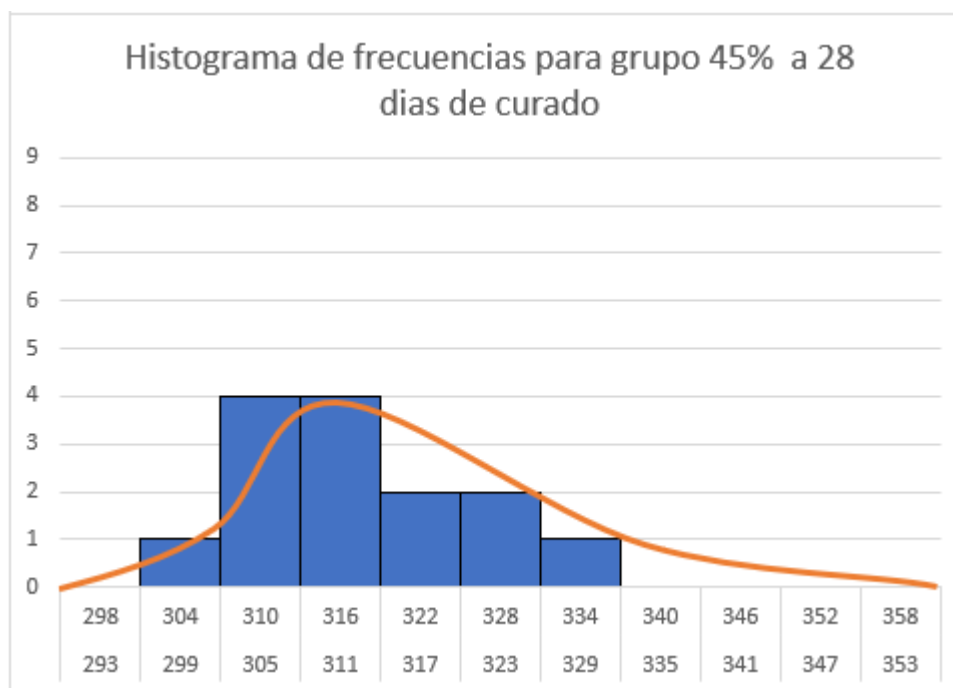
Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Tabla 28: Tabla de frecuencias grupo 45% a 28 días de curado.

Histograma grupo 45% 28 días			
Intervalos de clase		Frecuencia	Curtosis
293	298	0	-0.268434
299	304	1	
305	310	4	
311	316	4	
317	322	2	
323	328	2	
329	334	1	
335	340	0	
341	346	0	
347	352	0	
353	358	0	
total		14	

Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Gráfico 14: Histograma de frecuencias grupo 45% a 28 días de curado.



Fuente: Teixeira, Téllez (2023).

Como se puede observar en las tablas y gráficos presentados, se tienen situaciones diferentes, en algunos casos se presentan curtosis positivas y en otros se encuentran curtosis negativas, lo cual significa que la precisión de resultados no es la misma en todos los casos en

cuanto a concentración de resultados a partir de la curtosis, y para los casos donde esta es negativa refiere máximos y mínimos alejados, sin embargo, esto puede deberse a los pocos resultados implicados en cada análisis, siendo estos 14 para cada uno, sin embargo, en todos los casos se encuentra una concentración de resultados y un apuntamiento de campana suficiente para obtener valores concentrados que indiquen una diferencia de resistencia media de existir alguna. Lo que demuestra que los datos se repartieron en rangos adecuados y se distribuyeron de forma aleatoria normal alrededor de la media. Esto da significado al proceso de experimentación, dónde se puede constatar que el mismo fue controlado en todas sus fases.

CONCLUSIONES

En este experimento se llevó a cabo en la empresa de concreto premezclado FRAMEX C.A, donde se analizó del comportamiento de concretos en cuanto a resistencia a compresión bajo adición de diferentes porcentajes de arcillas calcinadas obtenidas en canteras a cielo abierto del estado Carabobo, siendo estos 30%, 45% y 60% en función del peso pasante del Tamiz N° 200 de la arena utilizada respecto de un diseño de mezcla patrón con 0% de adición a forma de comparación.

- Se logró caracterizar los agregados suministrados por la empresa Framex C.A, así como las arcillas obtenidas en canteras a cielo abierto del estado Carabobo a utilizar para el diseño de las mezclas caso estudio.
 - Se realizó la caracterización de los agregados por medio de granulometrías por tamizado y decantación húmeda para las arcillas según variedad de normativas COVENIN, los resultados de las granulometrías fueron satisfactorios estando tanto el agregado fino y grueso dentro de los límites inferiores y superiores establecidos en la normativa venezolana y las arcillas en su prueba de decantación demostraron ser bastante puras.
 - Se determinó que el incremento de costo del metro cúbico de concreto por la adición de arcillas calcinadas es 0.85\$ para el grupo de mayor adición de arcillas calcinadas (60%).
- Se pudo analizar los ensayos de rotura a compresión a las probetas de concreto con diferentes dosificaciones de arcillas calcinadas en adición a los finos de la arena a 7 y 28 días.
 - El estudio enmarcó la fabricación de 7 muestras de concreto para cada grupo siendo 4 grupos en total, cada muestra refirió 4 cilindros a confeccionar 2 de ellos que se ensayaron a 7 días de curado en piscinas saturadas de cal y 2 a 28 días de curado, siendo en total 112 cilindros ensayados a compresión con una prensa hidráulica y su posterior análisis estadístico con base a una variedad de normativas COVENIN de forma que se pueda no solo determinar si las arcillas calcinadas proporcionan una mejora en cuanto a resistencia a compresión del concreto a 7 y 28 días de curado si no también, se pudiera establecer el nivel de

control de calidad del proceso, conforme a los estándares establecidos por la normativa COVENIN.

- Se logró analizar los resultados de resistencia a la compresión de las probetas obtenidos en los ensayos de rotura.
 - Se determinó que los resultados cumplen con la resistencia esperada tanto a 7 como a 28 días de curado conforme a la evaluación de los 3 promedios consecutivos cronológicamente.
 - Los resultados arrojaron que los grupos de muestras con 30% y 45% de adición de arcillas calcinadas en función del peso del pasante de Tamiz N° 200 tenían un efecto nulo sobre la resistencia a compresión del concreto respecto del grupo con 0% de adición, sin embargo, el grupo con 60% presentó un incremento notorio de 7.5% a 7 días y de 5.3% a 28 días de resistencia a compresión respecto a las muestras de patrón.
- Se alcanzó evaluar las medidas de tendencia central, así como las medidas de dispersión estadísticas de los resultados de resistencia a compresión obtenidos.
 - Los análisis estadísticos que responden a cuál fue el control de calidad del proceso fueron satisfactorios, medidos a partir de desviaciones estándar, coeficientes de variación de Pearson y curtosis de cada grupo por separado a 7 y 28 días de curado, teniendo dispersiones máximas de 12 kg/cm² y mínimas de 7kg/cm², que dan según COVENIN 1976:2003 un Grado de control “Usual” en laboratorios de premezclado.
 - Coeficientes de variación de Pearson Satisfactorios inferiores al 4% y de 2% como mínimo, siendo la media un 3%, que enmarca el nivel de control de calidad de laboratorio como “Muy bueno” según la COVENIN 3549:1999.
 - Por último, la evaluación de las curtosis de los histogramas de frecuencias de cada grupo a 7 y 28 días arrojó curtosis tanto positivas y negativas, significando que se tiene algunos máximos y mínimos relativamente alejados, sin embargo, se asocia a la baja cantidad de probetas cilíndricas ensayadas para cada análisis sin dejar de tener una precisión satisfactoria para dar con el veredicto.

RECOMENDACIONES

Como recomendaciones se tienen los siguientes puntos relevantes para alcanzar nuevos y mejores hallazgos en el tema caso estudio:

- Reducir la cantidad de grupos de dosificación a 2 considerando solo un grupo de mezcla patrón y otro con una adición de arcillas calcinadas de forma que se puedan realizar más muestras de cada grupo a partir de las limitaciones de tiempo y costo comunes de cualquier experimento, permitiendo así realizar análisis con mayor amplitud de resultados.
- Con base a que los grupos de menor adición de arcillas presentaron efectos nulos, se plantea aumentar la dosificación de arcillas calcinadas de forma que se pueda evaluar el efecto que es capaz de proporcionar las arcillas calcinadas sobre la resistencia del concreto a mayores proporciones.
- Establecer el porcentaje de adición de arcillas en función del peso de cemento por metro cubico del diseño de mezcla sobre el cual se hará el experimento, de forma que, de utilizar dosificación de mayores resistencias a compresión, aumente en misma proporción cantidad de arcillas calcinadas que se deba añadir a la mezcla.
- Evaluar propiedades del concreto bajo adiciones de arcillas calcinadas tales como la porosidad, permeabilidad y durabilidad a condiciones abrasivas que permitan determinar si las arcillas tienen efectos positivos en otras propiedades del concreto más allá de su resistencia a compresión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2012). **El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica.** Episteme.
- ASTM C33 (2007). *Especificación Normalizada de Agregados para Concreto.* West Conshohocken, PA, 19428-2959, Estados Unidos de América.
- ASTM C94 (2003). *Especificación Normalizada para el hormigón premezclado.* West Conshohocken, PA 19428-2959, Estados Unidos de América
- Bello, Astrid y D'erdelee, Luis. (2018) **Diseño de mezcla de Concreto Compactado con Rodillo (C.C.R) de resistencia 310 kg/cm² con plastificante retardador para pavimento rígido.** [Trabajo de Grado, Universidad José Antonio Páez].
- Caamaño, Nathali y Güette, Karen. (2018). **Dosificaciones de mezclas para obtener un concreto estructural empleando arcillas calcinadas del sector El Hatillo, Materiales pétreos del río Algodonal y de la E.A.T Provias en Ocaña, Norte de Santander.** [Trabajo de Grado Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña].
- Cano, Juan y Cruz, Carlos. (2017) **Análisis de mezclas de concreto con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular como aditivo, a fin de aumentar la resistencia a la compresión del hormigón.** [Trabajo de Grado, Universidad libre seccional Pereira].
- CIP 41. (2022). **El Concreto en la Práctica, ¿Qué?, ¿por qué? Y ¿Cómo?: Ensayo de Aceptación del Concreto.** NRMCA. (Artículo) Disponible <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP41es.pdf>.
- COVENIN 1753:2006. *Proyecto y Construcción de Obras en concreto estructural.*
- COVENIN 1976:2003. *Concreto. Evaluación y Métodos de Ensayo.*
- COVENIN 255:1998. *Agregados. Determinación de la composición granulométrica.*
- COVENIN 277:2000. *Concreto. Agregado. Requisitos.*
- COVENIN 338:2002. *Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.*
- COVENIN 354:2001. *Concreto. Método para el mezclado en el laboratorio.*
- COVENIN 344:2002. *concreto fresco. toma de muestras.*

- COVENIN 3549:1999. **Tecnología del concreto. Manuel de elementos de estadística y diseño de experimentos.**
- Domínguez, José y Schifter, Issac (1995). **Arcillas: El barro noble.** fondo de cultura económica (FCE).
- Goncalves, José y Albi, José. (2022). **Incidencia del polvo calizo en las propiedades del Concreto Estructural.** [Trabajo de grado, Universidad Católica Andrés Bello].
- Hart, Chris (1998). **La Revisión Bibliográfica.** (Artículo). Disponible: [https://investsocperu.medium.com/la-revisi%C3%B3n-bibliogr%C3%A1fica-1188b99df9b7#:~:text=Hart%20\(1998\)%20define%20la%20revisi%C3%B3n,tema%20y%20la%20forma%20en](https://investsocperu.medium.com/la-revisi%C3%B3n-bibliogr%C3%A1fica-1188b99df9b7#:~:text=Hart%20(1998)%20define%20la%20revisi%C3%B3n,tema%20y%20la%20forma%20en)
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). **Metodología de la Investigación.** Mc Graw Hill.
- Muñoz, Adonay y Barbosa, Numa (2020) **Evaluación de la incidencia de la sobredosificación de aditivos superplastificantes en concreto.** [Trabajo de Grado, Universidad José Antonio Páez].
- Normas para la Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado** (2007) San Diego, Venezuela. Universidad José Antonio Páez.
- Palella, Santa, y Martins, Feliberto. (2017). **Metodología de la Investigación Cuantitativa.** 4ta Edición. Fedupel.
- Pastran, Anny y Píera, Xavier. (2018) **Análisis Comparativo entre el Concreto convencional con el Concreto con arcillas expansivas en la construcción en el estado Carabobo.** [Trabajo de Grado, Universidad José Antonio Páez].
- Pocaterra, Alejandro. (2007). **Clase 10 de materiales y ensayos de Evaluación estadística para el control del concreto.**
- Porrero, Joaquín, Ramos, Carlos, Grases, Jose, Velazco, Gilberto. (2009). **Manual del concreto estructural.** 3ra edición.
- Portugal, Pablo (2007). **Tecnología del Concreto de alto Desempeño: high performance concrete.**
- Rivva, Enrique. (2000). **Naturaleza y Materiales del Concreto. Congreso nacional de estructuras**

Sanjuan, Miguel y Chinchón, Servando (2014). **Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland.** Universidad de Alicante.

Waddell. Joseph y Dobrowsky. Joseph (1997). **Manual de la Construcción con Concreto.** Tomo 1. 3ra Edición.