



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE DURABILIDAD
DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE AGREGADO
LIGERO

PRESENTADO POR:

NOMBRE: MARÍA ALEJANDRA RINCÓN

CÓDIGO: 505524

NOMBRE: ZULLY ESTHEFANY BARRETO RAMÍREZ

CÓDIGO: 505466

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE DURABILIDAD
DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE AGREGADO
LIGERO

PRESENTADO POR:

NOMBRE: MARÍA ALEJANDRA RINCÓN

CÓDIGO: 505524

NOMBRE: ZULLY ESTHEFANY BARRETO RAMÍREZ

CÓDIGO: 505466

DIRECTOR:

CAMILO HIGUERA FLÓREZ

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTA D.C.
2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

BOGOTA D.C.

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero agradecerle a Dios por permitirme llegar lejos y por ponerme las mejores personas en mi camino.

Se lo dedico a mis padres por su amor y apoyo incondicional en todo momento, por su esfuerzo y por enseñarme a nunca rendirme. Gracias a ellos soy la persona que soy hoy en día y se los voy a agradecer toda la vida.

Dedicado a mi hermoso hijo Jerónimo,
por ser mi fuente de motivación para seguir adelante y
y así, brindarle el mejor de los futuros.

A mi novio, por apoyarme y siempre creer en mis capacidades.
Por su amor y paciencia incondicional.

María Alejandra Rincón

Este trabajo lo dedico a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.
A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano

Zully Esthefany Barreto

AGRADECIMIENTOS

Le queremos agradecer al Ingeniero Camilo Higuera, por transmitirnos su valioso conocimiento, acompañarnos y guiarnos a lo largo de este proceso. Gracias por la paciencia y la disposición para enseñarnos. Para nosotras fue muy enriquecedor realizar este trabajo de grado ya que aprendimos muchísimo sobre los materiales y el comportamiento de cada uno de ellos sometidos a diferentes procesos. Es importante tener muy claro todos estos conceptos ya que en la vida laboral se deben aplicar.

También, queremos agradecer a la Universidad Católica de Colombia, por brindarnos sus instalaciones para realizar este trabajo de grado. A los docentes y personal administrativo que nos acompañaron durante estos 5 años, por todos los conocimientos que nos han brindado con amor y formarnos como profesionales.

Por último, gracias a nuestras familias por su amor y apoyo incondicional, por su esfuerzo incasable y la confianza depositada en nosotras para sacar nuestra carrera profesional adelante.

Sin ellos, este triunfo no hubiera sido posible, así que estamos muy agradecidas por cada una de las personas que aportaron en este proceso de formación y nos hicieron ser las personas que somos hoy en día.

CONTENIDO

RESUMEN	14
INTRODUCCION	15
1 GENERALIDADES	17
1.1 ANTECEDENTES	17
1.1.1 Historia	17
1.1.2 Ataque de cloruros en el concreto	18
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.2.1 Descripción del problema	20
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo general.	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
1.4 JUSTIFICACIÓN	21
1.5 DELIMITACIÓN.....	22
1.5.1 Espacio	22
1.5.2 Tiempo	22
1.5.3 Alcance	23
2 MARCO REFERENCIAL	23
2.1.1 Marco teórico.....	23
2.1.2 Marco conceptual	28
2.1.3 Marco legal.....	29
2.2 METODOLOGÍA	30
2.2.1 Ensayos de caracterización física y mecánica.....	30
2.2.2 Elaborar probetas de concreto.....	31

2.2.3	Comportamiento mecánico del concreto.....	31
2.2.4	Ensayo de migración del ion cloruro (NT BUILD 492).....	31
2.2.5	Comportamiento de durabilidad al ion cloruro.....	32
2.2.6	Análisis de resultados obtenidos	32
2.2.7	Tipo de estudio.....	32
3	CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	33
3.1	AGREGADO	33
3.2	GRAVA	34
3.2.1	Granulometría	34
3.2.2	Densidad Bulk – Peso Unitario	35
3.2.3	Densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del agregado grueso.....	36
3.2.4	Absorción	37
3.3	ARENA.....	38
3.3.1	Granulometría	38
3.3.2	Densidad Bulk – Peso Unitario	39
3.3.3	Densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del agregado fino.40	
3.3.4	Absorción	42
3.4	AGREGADO LIGERO.....	42
3.4.1	Granulometría	42
3.4.2	Densidad Bulk – Peso Unitario Grava ligera	42
3.4.3	Densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del agregado grueso ligero.	43
3.4.4	Absorción	44
3.5	Arena Ligera.....	44
3.5.1	GRANULOMETRÍA	44
3.5.2	Densidad Bulk – Peso Unitario	45
3.5.3	Densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del agregado grueso.....	45
3.5.4	Absorción	46
3.6	CEMENTO	46

3.6.1	Parámetros físicos y químicos del cemento.....	46
3.6.2	Prueba de fluorescencia de rayos X	47
4	DISEÑO DE MEZCLA.....	49
4.1	Elaboración de diseño mezcla con variación porcentual.....	49
4.2	Elaboración de cilindros y vigas	53
4.2.1.	Cilindros de concreto hidráulico.....	53
4.2.2.	Proceso de curado	54
4.3	Preparación de muestras para ensayos de laboratorio.....	54
5	RESULTADOS OBTENIDOS	56
5.1	MECÁNICOS	56
5.1.1	Resistencia a la compresión.....	56
5.2	FÍSICOS.....	61
5.2.1	Densidad aparente	61
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
6.2	Relación del contenido de agregado y la resistencia a la flexión (Vigas)	65
6.3	Relación de contenido de agregado ligero y resistencia a la tracción	67
6.4	Penetración de cloruros (NT Build -492).....	68
6.5	RELACIÓN DE DENSIDAD APARENTE VS contenido de agregado ligero	69
7	CONCLUSIONES	71
8.	RECOMENDACIONES	73
9.	BIBLIOGRAFÍA	74

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Ataque de cloruros en concreto- Extendiendo La Durabilidad Del Concreto Con Una Nueva Tecnología En Aditivos – MCI 2005NS.....	19
Figura 2 Ataque de sulfatos y oxidación del acero de refuerzo. El papel del concreto en la construcción de puentes.360 en concreto Argos	19
Figura 3 Probetas de concreto para ensayos	54
Figura 4 Muestras de concreto con adición de 30% de agregado ligero	55
Figura 5 Cilindro de concreto con 30% de adición agregado ligero	65

TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Curva granulométrica agregado grueso	35
Gráfica 2. Curva granulométrica agregado fino	39
Gráfica 3. Curva granulométrica agregado ligero	45
Gráfica 4. Relación resistencia a la compresión y tiempo de curado 0%.....	57
Gráfica 5. Relación resistencia a la compresión y tiempo de curado 15%.....	58
Gráfica 6. Relación resistencia a la compresión y tiempo de curado 30%.....	59
Gráfica 7. Relación resistencia a la compresión y tiempo de curado 45%.....	¡Error! Marcador no definido.
Gráfica 8. Relación de resistencia a la compresión y tiempo de curado a los 0,14 y 28 días.	61
Gráfica 9. Relación de densidad aparente y contenido de agregado a los 14 días de curado.....	62

Gráfica 10. Relación de densidad aparente y contenido de agregado a los 28 días de curado.....	63
Gráfica 11. Relación de resistencia a la compresión y tiempo de curado a los 28 días.	64
12. Gráfica Relación Resistencia a la flexión y contenido de agregado ligero	66
Gráfica 13. Relación de contenido de agregado ligero y resistencia a la tracción .	67
Gráfica 14. Relación de Dnssm y adición de agregado ligero.....	69
Gráfica 15. Relación de densidad aparente y agregado ligero (14 y 28 días).....	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Análisis granulométrico Agregado Grueso.....	34
Tabla 2 Densidad Bulk Agregado Grueso.....	35
Tabla 3 Estados material Agregado Grueso	37
Tabla 4 Densidad relativa y absorción del Agregado.....	37
Tabla 5 Absorción Agregado Grueso.....	38
Tabla 6 Análisis granulométrico agregado fino	38
Tabla 7 Densidad Bulk Agregado fino.....	40
Tabla 8 Estados de material agregado Fino	41
Tabla 9. Densidad relativa y absorción del agregado	41
Tabla 10 Absorción Agregado fino.....	42
Tabla 11. Estado de material agregado grueso ligero	42
Tabla 12 Estados de material Agregado ligero	43

Tabla 13. Densidades Agregado grueso ligero	43
Tabla 14 Absorción agregado ligero	44
Tabla 15. Granulometría arena ligera	44
Tabla 16 Densidad relativa Agregado fino	45
Tabla 17 Estados de material agregado Fino	46
Tabla 18 Absorción Agregado fino.....	46
Tabla 19 Parámetros físicos del cemento	47
Tabla 20 parámetros químicos del cemento	47
Tabla 21 Composición química del cemento para la fabricación de las probetas. .	48
Tabla 22 Diseño de Mezcla.....	49
Tabla 23 Porcentajes y cantidades reales	50
Tabla 24 Volumen agregado grueso compactado por unidad de volumen de concreto	50
Tabla 25. Distribución porcentajes cilindros.....	50
Tabla 26. Diseño de mezcla 0% de agregado ligero.....	51
Tabla 27. Diseño de mezcla 15% de agregado ligero.....	52
Tabla 28. Diseño de mezcla 30% de agregado ligero.....	52
Tabla 29. Diseño de mezcla 45% de agregado ligero.....	53
Tabla 30. Resultados resistencia a la compresión de acuerdo al tiempo de curado	57
Tabla 31. Resistencia a la compresión de acuerdo al tiempo de curado	58
Tabla 32. Resultados resistencia a la compresión de acuerdo al tiempo de curado	¡Error! Marcador no definido.

Tabla 33. Resultados resistencia a la compresión de acuerdo al tiempo de curado	60
Tabla 34. Resultados resistencia a la compresión a los 0, 14 y 28 días de tiempo de curado.....	61
Tabla 35. Resultados de densidad aparente y contenido de agregados para un tiempo de curado de 14 días.....	62
Tabla 36. Resultados de densidad aparente y contenido de agregados para un tiempo de curado de 28 días.....	63
Tabla 37. Resultados resistencia a la compresión a los 28 días de curado.....	64
Tabla 38. Resultados obtenidos prueba resistencia a la flexión	66
Tabla 39. Resultados resistencia a la tracción a los 28 días de tiempo de curado.	67
Tabla 40. Resultados de coeficiente de difusión de cloruros y contenido de agregado ligero	68
Tabla 41. relación de densidad aparente y agregado ligero (14 y 28 días).....	70

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Rubrica de revisión del documento escrito de la propuesta de proyecto, asignatura trabajo de grado (TG).....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 2 Caracterización de materias primas	76
ANEXO 3 Elaboración de muestras.....	77
ANEXO 4 Ensayos realizados	78
ANEXO 5 Formato de registro de uso del laboratorio.....	80

RESUMEN

El presente trabajo de grado se presenta la caracterización de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto hidráulico con sustitución parcial de agregado ligero comparándolo con el concreto convencional.

Para realizar esta investigación, se procede a la caracterización de la materia prima de ambos agregados, tanto el agregado normal, como el agregado ligero. Esta caracterización permitirá realizar un análisis granulométrico y conocer las propiedades intrínsecas del agregado (densidad y absorción).

Luego se procederá a realizar el diseño de mezcla correspondiente a cada variación porcentual de agregado ligero y de esta forma, llegar a la elaboración de muestras de concreto.

A cada muestra se le realizará ensayos correspondientes que permitan caracterizar propiedades mecánicas y de durabilidad, con el fin de hacer las comparaciones entre los porcentajes de adición y así analizar el comportamiento de cada una de ellas. Con estos ensayos se llegarán a unas conclusiones que nos permiten dar certeza si el agregado ligero es apto o no para uso estructural

Lo anterior nos permitirá realizar relaciones entre propiedades y ensayos, las cuales se evidenciará si la funcionalidad del concreto hidráulico con agregado ligero es igual o mayor con respecto al concreto con agregado normal o si por el contrario esta adición disminuye la resistencia y las propiedades mecánicas del concreto normal.

Todo esto con el propósito de disminuir la densidad del concreto hidráulico utilizando una adición de agregado ligero teniendo en cuenta que las propiedades mecánicas y físicas son muy distintas a las del agregado convencional.

Palabras clave: Concreto hidráulico, agregado ligero, propiedades mecánicas y de durabilidad, densidad.

INTRODUCCION

El presente documento corresponde a la propuesta del anteproyecto de grado, en el cual se propone a realizar estudios del concreto ligero, analizando sus propiedades y aplicaciones. El concreto es un material compuesto por cemento, agregados (gruesos y finos) y agua. Tiene un comportamiento mixto, ya que soporta esfuerzos de compresión, pero no es capaz de soportar grandes esfuerzos de flexión y tracción. El concreto y el acero son un complemento, ya que el acero le ofrece el esfuerzo faltante (flexión). A su vez, el concreto posee una alcalinidad lo que sirve de barrera de protección al acero a los ataques ambientales (corrosión). Los concretos livianos son aquellos que tienen una densidad seca entre 1200 y 1600 kg/m³ y resistencia a compresión de 17 MPa. (Herrera, Quintero Ortiz, Corzo, & Garcia, 2011)

En los últimos años, el uso de este tipo de concreto se ha vuelto importante, debido a que tiene propiedades que mejoran el comportamiento de las estructuras, sin embargo, como todo material tiene sus ventajas y desventajas. En Colombia este material no ha sido ampliamente implementado como material estructural (a diferencia de otros países), debido principalmente a la falta de estudios acerca de las propiedades del material en mención. Sin embargo, es usado en estructuras secundarias como lo son rellenos y recubrimientos, aplicaciones con requerimientos termoacústicos especiales, losas de entrepiso no sismorresistentes, muros divisorios fundidos en sitio, prefabricados livianos, concretos de nivelación de pisos; entre otros, principalmente con el fin de disminuir cargas muertas de la estructura. (Lopez L. G., 2013)

En los últimos años, con el fin de lograr buenos niveles de aislamiento de las estructuras de concreto reforzado, las investigaciones han enfatizado en el estudio de las propiedades mecánicas del material, y de esta forma mejorar su capacidad de carga. Un estudio realizado por Al-Sibahy y Edwards, en el cual se implementó el uso de un superplastificante, tenía como objetivo reducir la tensión superficial, de tal forma que se minimizara la permeabilidad al agua y mejorara los procesos de adsorción y desorción en la mezcla de cemento. (Y, 2017)

Adicionalmente, se utilizó Metacaolín, el cual es un subproducto industrial que sirve como adición mineral, ya que tiene propiedades puzolánicas superiores y se suele usar con un sustituto parcial del cemento. Lo anterior ha generado un interés por sus aplicaciones en el área de la construcción. Sus principales efectos son la mejora

de la resistencia y de durabilidad en las mezclas de concreto; sin embargo, también se usa como relleno y acelerante para la hidratación del cemento Portland. (Y, 2017)

En la actualidad, se han ido desarrollando diferentes estudios con el fin de mejorar los usos anteriormente relacionados y que sea calificado como válido para su uso estructural frente a concretos convencionales.

Por lo tanto, en este proyecto de investigación, se propone hacer el estudio de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto hidráulico con una sustitución parcial de agregado grueso ligero, la cual nos permitirá hacer comparaciones en cada una de las probetas realizadas.

1 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Historia

Los agregados también llamados áridos, son minerales granulares como pequeños trozos de roca, arena y grava. En la prehistoria la mezcla de cemento con agua, arena y agregados gruesos o ligeros dieron como resultado un nuevo material que tenía propiedades maleables y que cuando este endurecía, adquiere características de resistencia, solidez y durabilidad.

Se dice que los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos materiales que venían de depósitos volcánicos mezclados con caliza y agua, daban como resultado un mortero con gran fuerza y resistencia, capaz de resistir la acción del agua dulce o salada. De esta manera el mortero fue cogiendo fuerza, convirtiéndose en uno de los elementos fundamentales para la construcción. (Trinidad Santos, 2014)

Los agregados que más se emplean para la construcción son los derivados de las rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas; dependiendo que tipo de agregado sea, varían sus propiedades físicas y mecánicas. En la antigüedad se decía que los agregados eran elementos con características inertes debido a que su trabajo dentro del concreto no era gran cosa ya que no reacciona químicamente.

Gracias a la tecnología moderna, se logró establecer que los agregados son un material que tiene mucha participación dentro de una unidad cúbica de concreto, por esta razón sus características y propiedades suelen ser diversas, esto depende de las propiedades del concreto.

Los agregados tienen efectos importantes en el concreto como lo son: la trabajabilidad, la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y el peso unitario del concreto endurecido. Los agregados ligeros proceden de la explotación de fuentes naturales que durante su formación existió aire. Este tipo de agregados han sufrido procesos de abrasión y intemperismo, pero sus características no son alteradas. Por lo tanto, su uso puede darse tal como se encuentra en la naturaleza. Un ejemplo de un agregado ligero puede ser la piedra pómez que son rocas de origen volcánico, son muy ligeras debido al gas que se

escapa de la lava fundida cuando erupcionan desde lo más profundo de la tierra. (Lopez L. G., 2013)

1.1.2 Ataque de cloruros en el concreto

El ataque de sulfatos es parte de uno de los deterioros ambientales más agresivos y el que más tiene consecuencias en las estructuras ya que afectan la durabilidad a largo o corto plazo. Estos iones de sulfatos provienen de la tierra y del agua subterránea o marítima y se suelen combinar con otros iones tales como lo de sodio, potasio, magnesio y calcio. Esta exposición a los iones sulfato conduce a la expansión del material y ocasiona grietas, lo cual da como resultado el deterioro de estructuras que se encuentran expuestas a un ambiente sulfatado, tales como: puentes, muelles etc. (Al- Akhras, 2016)

El contenido de ion cloruro presente en la mezcla es controlado en su diseño. En la práctica, su aporte es diminuto, salvo que se utilicen aguas no potables, de pozo y determinados agregados de zonas áridas. El contenido máximo de ion cloro en la mezcla indicada en los reglamentos de diseño de concreto. Por otra parte, de acuerdo a lo expuesto anteriormente los cementos con más alto contenido de aluminato tricálcico, C3A, aseguran una mejor performance. Además, los cementos con mayor contenido de álcalis son también favorables en cuanto producen un medio alcalino más elevado. (Trinidad Santos, 2014)

Este fenómeno ocurre cuando el recubrimiento de las barras opone una barrera con el fin de evitar la penetración del agua y del oxígeno del entorno. El acero en el concreto suele tener una fina capa de óxido compacta y continua, que su función principal es crear condiciones de pasivación. Esta capa pasivante se forma en el proceso de hidratación del cemento y permanece por la elevación del calcio, en especial por la actividad de la portlandita $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que crea un pH de 12.4 y el contenido de álcalis que puede elevar el pH a 13.2. La capa proyectora que cubre el acero es destruida al aparecer la corrosión que es inducida por los iones de cloruro presentes en la interface con el acero, en este proceso se forma una superficie anódica muy pequeña con relación a la gran superficie catódica que está constituida por la barra de acero pasiva. Estas condiciones producen una acelerada penetración de la corrosión al refuerzo. (Trinidad Santos, 2014)

El deterioro por ataque de sulfatos es causado parcialmente por la degradación del hidrato de silicato de calcio a través de la lixiviación de los compuestos de calcio. Esta interacción depende de muchos factores como lo son: la temperatura, el tipo de cemento, la permeabilidad del concreto y la presencia de materiales cementantes

suplementarios (cenizas volantes, humo de sílice). Adicionalmente, otro factor que influye en esta patología es la relación a/c , la cual afecta varias propiedades del concreto tales como la distribución de tamaño de poros, refinamiento de los poros capilares y la resistencia a la compresión. (A.I.M, E.R, M., & A. abd El- Hakeem, 2007)

Figura 1 Ataque de cloruros en concreto- Extendiendo La Durabilidad Del Concreto Con Una Nueva Tecnología En Aditivos – MCI 2005NS



Fuente: Autores

Figura 2 Ataque de sulfatos y oxidación del acero de refuerzo. El papel del concreto en la construcción de puentes.360 en concreto Argos



Fuente: Autores

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema

El uso, la clasificación y el comportamiento del concreto estructural aligerado en Colombia es bastante escaso, por las diferentes características que se han dado de los agregados esto lleva a poder realizar análisis de cargas para determinar los esfuerzos a los cuales se pueden someter; además de esto el comportamiento dinámico para lograr estructuras más competitivas reducir su peso propio esta última conlleva a una menor cortante basal.

Este tipo de concreto es un material relativamente nuevo, por lo tanto, no se tiene evidencia que haya gran cantidad de estudios sobre su comportamiento ante la acción de ataques químicos y de durabilidad. Sin embargo, este material tiene un gran potencial de uso práctico, debido a sus ventajas tales como: la reducción de su peso hasta una quinta parte del concreto común, la modificación de sus características de trabajabilidad y sus propiedades termoacústicas.

En la actualidad, el principal uso del concreto aligerado es para reducir la carga muerta de una estructura, lo que permite dimensiones menores de los elementos estructurales, así como el consumo de un menor volumen de concreto, lo cual reduce notablemente el costo global de la obra. Sin embargo, su uso se ha visto limitado, especialmente en el caso de aplicaciones sismo-resistentes o en estructuras altamente expuestas a ataques químicos, debido a que no ha sido lo suficientemente estudiado.

En ese orden de ideas, la pregunta de investigación es:

¿Cuál es el efecto de hacer sustituciones parciales de agregado ligero en las propiedades mecánicas y durabilidad del concreto hidráulico?

1.3 OBJETIVOS

Para el proyecto de grado se plantean los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivo general.

Caracterizar el comportamiento mecánico y de durabilidad del concreto hidráulico con sustitución parcial de agregado grueso ligero.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Elaborar probetas de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo de agregado grueso ligero.
- Realizar ensayos de caracterización física y mecánica a cada una de las muestras elaboradas.
- Evaluar el comportamiento mecánico del concreto con reemplazos de agregado grueso ligero de acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización.
- Hacer el ensayo de migración del ion cloruro (NT Build 492) en las probetas de concreto elaboradas.
- Determinar el comportamiento de durabilidad al ion cloruro del concreto con reemplazo de agregado grueso ligero.
- Analizar los resultados obtenidos de la caracterización del comportamiento del concreto con reemplazos de agregado grueso ligero.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La importancia del concreto en todo tipo de proyectos básicamente es su versatilidad, resistencia y durabilidad, ya que con este material es posible realizar cualquier tipo de construcción civil. Lo anterior, depende del tipo y cantidad de agregado que se usa y de los efectos químicos a la cual se somete la mezcla. Actualmente, es el material más utilizado en el mundo con una producción mundial de 13,000 millones de m³ al año. (Ceballos Arana, 2016)

Tiene muchas ventajas destacando las siguientes:

- Posee capacidad de resistir una amplia lista de condiciones de exposición extremas durante su vida útil, debido a su alta durabilidad y resistencia en cualquier condición.
- Sus propiedades estéticas, ya que permiten innovaciones en el área de la arquitectura y brindan una flexibilidad en su diseño. (Ceballos Arana, 2016)

Los agregados que se usan en el concreto tienen como objetivo principal reducir costos en la producción, controlar cambios volumétricos y aportar a la resistencia. Estos, son de gran importancia ya que su volumen dentro del concreto está entre 65% y 70%. Su clasificación puede ser según su tamaño, su procedencia y densidad. (Nuñez Remolina, 2016)

En cuanto a los agregados ligeros suelen ser porosos y de baja densidad, se pueden encontrar el Clinker, Escoria Espumosa, las arcillas Expandidas y la Pómez; la resistencia y propiedades del concreto ligero se verán afectadas por el tipo de agregado que se utilice; por ejemplo la resistencia del concreto hecho con pizarra y arcilla expandida es relativamente alta y se compara de manera favorable con la del concreto común y la piedra pómez, la escoria, y algunas escorias expandidas producen un concreto de resistencia intermedia esto conlleva que la mayoría de los concretos ligeros tienen características que los hacen más manejables ya que se pueden clavar y aserrar. (Huerta, 2009)

Por lo tanto, la presente investigación analiza los distintos comportamientos del concreto cuando se incluye agregado grueso ligero en su fabricación; todo esto, con el fin de obtener concretos que presenten mejor desempeño, tanto mecánico como de durabilidad.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio

Estamos limitados a realizar los laboratorios correspondientes en las instalaciones designadas de la Universidad Católica de Colombia, a su vez estamos condicionados al horario que tienen disponible para hacer dichas prácticas. A su vez, la Universidad no cuenta con los equipos necesarios para realizar el ensayo de migración lo que puede generar algunas demoras en nuestros objetivos propuestos.

1.5.2 Tiempo

Para la realización de la tesis contamos con 5 meses, iniciando en el mes de Julio del 2019 y finalizando en noviembre del mismo año. Nuestro trabajo de grado se centra en los resultados y análisis de los laboratorios programados, lo que podría causar un poco de contratiempo para el cumplimiento de nuestros objetivos. Realizamos varios laboratorios con el fin de obtener los resultados requeridos para el análisis y así, obtener un buen resultado en el presente trabajo de investigación.

Se anexan los nombres y fechas de los ensayos realizados (anexo 5)

1.5.3 Alcance

Esta investigación nos permitirá realizar una caracterización de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto las muestras a emplear tendrán una variación en la relación agua cemento y una sustitución parcial de agregado ligero.

Se realizan un total de cuarenta y ocho muestras las cuales tendrán una sustitución porcentual de agregado ligero de la siguiente manera 0%-15%-30%-45%, para cada porcentaje se fabrican diez (10) cilindros y dos (2) vigas teniendo así un total de cuarenta (40) cilindros y ocho (8) vigas.

Con las muestras se evalúan las propiedades mecánicas determinando su resistencia a partir de ensayos de laboratorios como la resistencia a la compresión de cilindros normales de Concreto, determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por medio de su resistencia a la penetración propuestos por las normas NTC 673, NTC 890 respectivamente.

2 MARCO REFERENCIAL

A continuación, se presenta el marco de referencia para el proyecto de investigación:

2.1.1 Marco teórico

Los concretos de agregados ligeros poseen un peso volumétrico relativamente bajo debido a los agregados mismos que intervienen en su elaboración, de los cuales la gran mayoría son elementos que se caracterizan por tener una estructura porosa y de muy bajo peso volumétrico. Aunque los procedimientos de producción y fabricación de los concretos ligeros y concretos ordinarios son similares, las normas y consideraciones de diseño de los concretos genéricos no son aplicables para estos ya que las propiedades de los agregados porosos son diferentes a los de grava y/o piedra triturada. (Santalla Blanco cedeiria, 2015)

Los agregados pueden clasificarse por su tamaño en finos y gruesos, para el caso de Colombia, se tiene la Norma Técnica Colombiana NTC 174: "Concretos. Especificaciones de los Agregados para Concretos", esta norma establece los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos (excepto los agregados livianos y pesados).

La clasificación de los agregados se puede presentar de la siguiente manera:

2.1.1.1 Agregados Livianos Clasificación

Los agregados livianos usados en la elaboración de hormigones han sido adoptados en consideración a ser una estructura celular, que ofrece una de las principales ventajas, que es la baja densidad y consecuentemente el aislamiento térmico, (hormigón, 2010) a la par de ciertas propiedades acústicas, pues amortiguan las vibraciones de esta manera se puede clasificar de la siguiente manera:

Los agregados se pueden clasificar según:

- Clasificación por origen.
- Clasificación por color.
- Clasificación por tamaño de partícula.
- Clasificación por modo de fragmentación.
- Clasificación por peso específico.
- Agregados reciclados.

Los agregados para concretos ligeros pueden ser naturales o artificiales. En la gran mayoría de casos estos agregados son inorgánicos, es decir, que no han pasado por ningún proceso químico, también suelen ser porosos y de baja densidad. Existen varios tipos de agregados ligeros, algunos de ellos son:

- **Clinker:** Son de origen mineral y contienen carbón, calcita y kaolin. Los estudios previos arrojan un excelente comportamiento por parte de este agregado y más aún cuando es extraído de hornos con alta temperatura de combustión ya que el carbón parcialmente quemado hace que el agregado se expanda al entrar en contacto con el cemento, aumentando los cambios de volumen por contracción y/o humedad. El clinker está compuesto por:

Silicato tricálcico : de 40 a 60%

Silicato bicálcico : de 20 a 30%

Aluminato tricálcico: de 7 a 14%

Ferrito aluminato tetracálcico: de 5 a 12%.

La gran desventaja que tiene es que suele generar efectos de corrosión al acero de refuerzo en caso de estar en contacto con la humedad debido al contenido de sulfuro.

- **Escoria Espumosa:** Este tipo de agregado ligero se obtiene mediante el enfriamiento acelerado de la escoria líquida, producto de altos hornos de hierro. Se caracteriza por tener una acción cementante desarrollada al entrar en contacto con cal o cemento, teniendo como resultado aumentar la resistencia esperada en el concreto.
- **Arcillas Expandidas:** Es un árido cerámico de gran ligereza empleado en la construcción en hormigones, en rellenos para formar pendientes en cubiertas planas, en recrecidos para soleras, y como aislante térmico. (construmática, 2009). Cuando estas se someten a altas temperaturas hasta llegar a un estado plástico, incrementan 6 veces su volumen debido a la formación de gases que se originan por la reacción de sulfatos y carbonatos al descomponerse los compuestos orgánicos. No contiene materiales de origen orgánico por lo tanto no puede ser atacada por parásitos ni por microorganismos lo que la hace resistente a condiciones de temperatura y humedad extremas.
- **Pómez:** Es un tipo de lava volcánica ligera, se caracteriza por ser muy porosa y con estructura vidriosa. Posee un alto contenido de sílice y bajo contenido de magnesio. Estas surgen del proceso de liberación de gases y endurecimiento de lava al fundirse por las bajas temperaturas de la atmósfera. Este agregado fue el primero del cual se tiene registro debido a que en estructuras emblemáticas del imperio romano esta se encuentra presente. (Oscar, Chávez Porras, & Velasquez Castiblanco, 2017)

2.1.1.2 Concreto estructural ligero

El concreto ligero es un concreto que tiene una densidad menor. Se lo produce con agregados ligeros (concreto totalmente ligero) o con una combinación de agregados ligeros y normales. El término “peso ligero-arena” se refiere al concreto ligero producido con agregado grueso ligero y arena natural.

Según fuentes, se considera como concreto estructural ligero a aquel cuya densidad no excede los $2000\text{kg}/\text{m}^3$. Dependiendo con que agregado ligero se trabaje, este concreto variara sus propiedades y también determinara si se usa como sustituto parcial o total.

La disminución de la densidad de estos concretos se produce por una presencia de vacíos en el agregado, en el mortero o entre las partículas de agregado grueso.

Esta presencia de vacíos ocasiona la disminución de la resistencia del concreto, por lo que muchas veces la resistencia no es la condición predominante para los concretos, y en otros casos se compensa. En construcciones de concreto, el peso propio de la estructura representa una proporción importante en la carga total de la estructura por lo que reducir la densidad del mismo resulta beneficioso. Así se reduce la carga muerta, con la consiguiente reducción del tamaño de los distintos elementos estructurales, llegando a los cimientos y al suelo con menores cargas. Básicamente el uso de concretos ligeros depende de las consideraciones económicas.

Las ventajas de tener materiales con baja densidad son numerosas. Algunas de ellas pueden ser:

- Reducción de las cargas muertas
- Mayor rapidez de construcción
- Menores costos de transportes y acarreos

El peso que gravita sobre la cimentación de un edificio es un factor importante en el diseño del mismo especialmente hoy en día en que la tendencia es hacia la construcción de edificios cada vez más altos. Los agregados producidos por aplicación de calor para expandir la pizarra, arcilla, esquisto, la pizarra diatomácea, perlita, obsidiana y vermiculita tienen una densidad de 650 a 900 kg/m^3 para el caso del proceso mediante aglutinado y de 300 a 650 kg/m^3 cuando se hacen en el horno giratorio. Los concretos que se obtienen tienen densidades entre 1,400 a 1,800 kg/m^3 . Tienen la ventaja de que se obtienen resistencias más elevadas que con cualquier otro agregado ligero.

2.1.1.3 Agregado ligero

Entre los agregados ligeros manufacturados encontramos la arcilla expandida térmicamente (AET), la escoria expandida y los cascotes de ladrillo. La arcilla expandida térmicamente es un material de origen cerámico, el cual es producido industrialmente. Este material se fabrica a partir de arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto. En primera instancia, luego de la extracción se procede a realizar el desbaste, que consiste en separar los materiales no deseados, para posteriormente almacenar estos en naves cerradas para su

homogeneización y secado. En segunda instancia cuando la arcilla ya está seca se procede a molerla hasta obtener un polvo que se denomina crudo, el cual aglomerado con el agua en los platos granulares y por efecto de la rotación obtienen su forma esférica. (Correa Chaparro & Ratti Guzmán, 2015)

Finalmente, la expansión de la arcilla se produce en hornos rotatorios a una temperatura de 1200 °C, a la cual la arcilla se comienza a fundir mientras que en su interior se produce la combustión de la materia orgánica. Estos gases que se producen en la combustión son los que expanden las bolas esféricas de arcilla.

2.1.1.4 Agregado termo-expandido liviano

Material aligerante y aislante obtenido mediante un proceso industrial de expansión y sintetización de arcillas naturales. Está naturalmente exento de materia orgánica y es altamente estable en el tiempo, inerte y compatible con los materiales comúnmente usados en la construcción, tales como cemento, agregados finos y gruesos de densidad normal, aditivos, entre otros. Según la dosificación empleada, se pueden obtener concretos porosos no estructurales desde 600 kg/m³; concretos estructurales desde 1.660 kg/m³, en comparación con los concretos tradicionales que son mayores de 2.200 kg/m³. Su uso puede darse en:

- Aligeramiento de concretos mediante la sustitución parcial o total del agregado, alcanzando las mismas resistencias.
- Fabricación de capas de revestimiento aislante para las cubiertas de las edificaciones y los techos de las viviendas, como aislante térmico y acústico. También puede usarse para la fabricación de concreto aislante.
- En nivelación de pisos puede usarse para realizar afinados, recebos o recrecidos de losa cuando se usa como material suelto. Se puede usar como parte de un sistema de instalación de piso cuando se utiliza mezclado con cemento, de tal forma que se obtenga un conglomerado de baja densidad.

2.1.1.5 Resistencia a la compresión

Es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, expresándose en términos de esfuerzos. Los resultados de estas pruebas de resistencia se emplean

fundamentalmente para determinar la mezcla de concreto cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada.

2.1.1.6 Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción del concreto es una forma de comportamiento de gran interés para el diseño y control de calidad en todo tipo de obras. El método de ensayo de tracción directa consiste en aplicar al cilindro en dirección axial, un esfuerzo de tracción creciente, generalmente hasta la rotura, con el fin de determinar una o más de sus características mecánicas.

2.1.2 Marco conceptual

Durante el proyecto de investigación se utilizarán los siguientes conceptos:

- **Estructura:** Es un ensamble de elementos, diseñado para soportar las cargas gravitacionales y resistir las fuerzas horizontales.
- **Agregado:** Material granular el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.
- **Agregado Fino:** Aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas. La arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas es generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas.
- **Agregado grueso:** Aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.
- **Funcionalidad:** La estructura debe mantenerse en funcionamiento durante su vida útil para las cargas de sollicitación. Un puente que presenta deformaciones excesivas daría la sensación de inseguridad y la gente dejaría de usarlo, en ese momento deja de ser funcional.
- **Aditivos:** Son aquellas sustancias o productos (inorgánicos u orgánicos) que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el trascurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado

fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

- **Puzolana:** Materia con bastante silíceos, el cual tiende a ser finamente dividida. Dentro de su estructura posee constituyentes de sílice y alúmina que son capaces de fijar el hidróxido de cal con el fin de brindar compuestos estables con propiedades hidráulicas. (Sánchez de Rojas, Rivera Lozano, & Felix, 2011)
- **Puzolánico:** Se refiere a la cantidad máxima de hidróxido de calcio con la que la puzolana puede combinar y la velocidad con la cual ocurre esta reacción. Esta actividad depende de la naturaleza y de la proporción de las fases activas que se encuentran en las puzolanas. (Salazar Jaramillo, 2002)
- **Metacaolín:** Es un material cementante suplementario, puesto que es aluminosilicatos activad térmicamente, se produce al calcinar el caolín a temperaturas mayores a 550°C, produciéndose una transformación de su estructura cristalina. (Santalla Blanco cedeiria, 2015)
- **Etringita:** Mineral sulfato- sulfo aluminato de calcio hidratado que se forma durante las primeras etapas de hidratación del cemento Portland a partir de la reacción de la fase aluminato del Clinker con el yeso empleado para retardar el fraguado. Es un material de tono incoloro que cristaliza en un sistema cristalino trigonal. (Arias de Velasco, 2010)
- **Lixiviación:** es un proceso en el cual un disolvente líquido se pone en contacto con un sólido pulverizado produciéndose la posterior disolución de uno de los componentes del sólido. También se puede definir como un lavado de una sustancia pulverizada con el fin de extraer las partes solubles. (Arias de Velasco, 2010)

2.1.3 Marco legal

Entre las Normas que se utilizarán en el desarrollo del presente proyecto de investigación se encuentran:

2.1.3.1 NSR 10 – Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente 2010 (Asociación Colombiana de ingeniería sísmica- AIS)

- Título A- Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente
- Título C- Concreto estructural.

2.1.3.2 1.6.3.2 ASTM - American Society for Testing and Materials

- ASTM C330 - Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete
- ASTM C567 - Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete
- ASTM C331 - Standard Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units
- ASTM C123 - Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate

2.1.3.3 NTC - Norma Técnica Colombiana

- NTC 396 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.
- NTC 454 - Concreto Fresco. Toma de muestras.
- NTC 504 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de especímenes cilindros de Concreto.
- NTC 550 – Concretos, elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.
- NTC 673 - Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de Concreto.
- NTC 890 - Ingeniería civil y Arquitectura. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por medio de su resistencia a la penetración
- NTC 4025 - Concretos. Método de ensayo para determinar el módulo de Elasticidad estático y la relación de Poisson en concreto a Compresión.

2.2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto propuesto se plantea la siguiente metodología:

2.2.1 Ensayos de caracterización física y mecánica

Con el fin de realizar la caracterización de cada uno de los materiales y sus distintos comportamientos se tendrá:

- Búsqueda del agregado ligero y reconocimiento de los materiales.

- Caracterización de los agregados, para esto se propone realizar los siguientes ensayos con el propósito de obtener resultados validos a la hora de diseñar la mezcla: Granulometría (Agregado normal y Agregado ligero), masas unitarias, densidades y absorción

2.2.2 Elaborar probetas de concreto

Para elaborar las probetas de concreto, se tendrán en cuenta actividades como:

- Revisión bibliográfica.
- Diseño de mezcla previamente analizado con el fin de determinar los porcentajes de inclusión de agregado ligero.
- Moldeo
- NTC 176 – Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso ligero
- Desmoldeo
- Curado

2.2.3 Comportamiento mecánico del concreto

Teniendo en cuenta que se debe realizar una evaluación del comportamiento mecánico, entonces se plantean hacer los siguientes ensayos:

- Medida de manejabilidad del concreto en estado fresco.
- Resistencia a la compresión
- Módulo de elasticidad

2.2.4 Ensayo de migración del ion cloruro (NT BUILD 492)

Para la realización del ensayo de migración del ion cloruro en las probetas elaboradas se debe:

- Preparas las muestras para ensayo
- Medir la porosidad de cada una de las muestras elaboradas.
- Hacer el ensayo de migración del ion cloruro (NT Build 492) en las probetas elaboradas

2.2.5 Comportamiento de durabilidad al ion cloruro

Para determinar el comportamiento de durabilidad del concreto al ion cloruro se debe:

- Determinar el coeficiente de migración del cloruro para el estado no estacionario (D_{nssm}) de todas las muestras de concreto elaboradas.

2.2.6 Análisis de resultados obtenidos

Para finalizar, se realizarán las siguientes actividades:

- Comparación de resultados de caracterización mecánica.
- Comparación de resultados del ensayo de migración del ion cloruro en concreto (NT Build 492).
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Elaboración del informe final de Trabajo de grado.

2.2.7 Tipo de estudio

Experimental

3 CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

3.1 AGREGADO

Es de gran importancia trabajar con un concreto de buena calidad, que cumpla con todas las especificaciones básicas y a su vez que tenga un excelente comportamiento. Por este motivo se hace indispensable conocer a detalle las características y propiedades de los componentes que lo conforman, ya que tanto la resistencia como la durabilidad del concreto depende de las propiedades fisicoquímicas que estos componentes tengan, en especial la de los agregados.

El concreto está constituido por agregados, agua, aire y cemento. El porcentaje de agregados varía entre un 50% y 80% en volumen, por este motivo un concreto de buena calidad depende de las características y propiedades de estos. Para la caracterización del agregado la dividimos entre arenas y gravas. A cada una de ellas se le realizó las respectivas prácticas de laboratorios y pruebas correspondientes, con el fin de analizar y comparar el comportamiento y variaciones de estos materiales.

Realizamos los siguientes laboratorios para cada una de ellas:

- Granulometría
- Masas unitarias
- Densidades
- Absorción
- Humedad

Teniendo en cuenta que la variación de agregado ligero se debe hacer de una manera porcentual, los distribuimos de la siguiente manera:

- 0% Agregado Ligero – 100% agregado normal
- 15% Agregado Ligero – 85% Agregado normal
- 30% Agregado ligero – 70% Agregado normal
- 45% Agregado ligero – 55% Agregado normal

Gracias a las normas de INVIAS actualizadas al 2013 y a los datos obtenidos en las prácticas de laboratorio, nos fue posible hallar los datos necesarios para proceder al diseño de la mezcla. A continuación, daremos a conocer los datos obtenidos mediante los cálculos.

Esta propiedad es necesaria para conocer obtener las proporciones adecuadas en el diseño de mezcla. Cuando la masa unitaria se encuentra en estado suelto, el volumen de vacío es mayor debido a que quedan varios espacios entre las partículas y por lo tanto su masa unitaria es menor; en cambio observamos que los valores de la masa unitaria compacta son mayores, debido a que en estado se utiliza el método de compactación lo que genera un acomodamiento de las partículas y un aumento de la masa unitaria. (Lopez N. H., 2010)

Este ensayo se debe realizar para partículas sueltas y partículas apisonadas, para la preparación de la muestra utilizamos el tamiz número cuatro (No.4 – 4.75mm) separando así las partículas finas y gruesas del material en este caso realizaremos agregado grueso, seguido de esto tomamos el peso y volumen del molde normalizado, teniendo el material separado procedemos a vaciar en el cilindro el agregado grueso teniendo en cuenta que se debe ir llenando el cilindro en tres fases y en cada fase se debe realizar el apisonamiento del material con la varilla en forma espiral con veinticinco (25) golpes luego de completar las tres fases tomamos la masa del cilindro más el material compacto y realizamos este procedimiento tres (3) veces y procedemos a realizar los cálculos.

Para realizar el ensayo de agregado grueso con partículas sueltas, tomamos el peso y volumen del molde, procedemos a vaciar en el cilindro el agregado grueso teniendo en cuenta que se debe dejar caer libremente el material sin hacer ningún tipo de compactación al llegar a la cúspide del molde se enrasa y se toma el peso del mismo, se realiza este procedimiento tres veces de la misma manera para luego realizar los cálculos.

3.2.3 Densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del agregado grueso.

La norma INV – E – 223 – 13 describe el procedimiento para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso, la densidad relativa y la absorción del agregado. La densidad relativa se emplea para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas como las del concreto hidráulico, asfáltico y otras que se analizan sobre la base de un volumen absoluto.

La preparación de la muestra se obtiene pasando el material por el tamiz número cuatro (No.4 – 4.75mm), se lava el material para remover el polvo, posteriormente se sumerge la muestra durante 24 horas, luego retiramos la muestra del agua y la colocamos en un trapo absorbente hasta que la película de agua sea removida secando las partículas individualmente para así tener un estado saturado y

superficialmente seco (SSS) se registra este dato para cálculos posteriores; después de determinar la masa en aire colocamos la muestra saturada y superficialmente seca en el contenedor y determinamos la masa aparente en agua no sin antes remover el aire atrapado en la muestra sacudiendo el contenedor a medida que este se sumerge, secamos la muestra en el horno a una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, se deja enfriar la muestra al aire a una temperatura que sea confortable manejar se determina su masa y procede a realizar los cálculos.

Tabla 3 Estados material Agregado Grueso

ESTADOS MATERIAL	
SSS	1740 g
Seco al Horno	1627.2 g
Peso canasta sumergida	924 g
peso canasta sumergida con material	1919 g

Fuente. Los autores

Tabla 4 Densidad relativa y absorción del Agregado

GRAVA	
Densidad Relative SH	2184.16 kg/m ³
Gravedad Specific SSS	2335.70 kg/m ³
Densidad Relativa Aparente	2573.81 kg/m ³
Densidad Condición Seca SH	2178.70 kg/m ³
Densidad SSS	2329.73 kg/m ³
Densidad Aparente	2567,43 kg/m ³

Fuente. Los autores

3.2.4 Absorción

Los valores de absorción se usan para calcular el cambio de masa de un agregado a causa del agua absorbida por los poros permeables de sus partículas, en relación con la masa en condición seca.

mismo, se realiza este procedimiento tres veces de la misma manera para luego realizar los cálculos.

Tabla 7 Densidad Bulk Agregado fino

ARENA	
Volumen Cilindro	0.00302 m ³
Densidad Bulk (M) compacta	1380,46 kg/m ³
Densidad Bulk (M) Suelta	1189,07 kg/m ³
Densidad Bulk SSS (compacta)	1330,25 kg/m ³
Densidad Bulk SSS (Suelto)	1189,67 kg/m ³
Vacío en los agregados	99.90%

Fuente. Los autores

3.3.3 Densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del agregado fino.

La norma INV – E – 223 – 13 describe el procedimiento para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino, la densidad relativa y la absorción del agregado. La densidad relativa se emplea para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas como las del concreto hidráulico, asfáltico y otras que se analizan sobre la base de un volumen absoluto.

Para realizar el ensayo de laboratorio de peso específico del agregado fino, nos basamos en la norma la cual nos indica que el agregado debe estar en proceso de saturación aproximadamente 24±1 horas, luego de este tiempo se procede a tomar el punto óptimo de la humedad con el cono y el pisón compactador, procedimiento también descrito en la norma el cual se basa en introducir el material en el cono y generar una serie de golpes (25 golpes) al llegar a la cúspide se enrasa y se retira el cono, según la norma al retirarlo se debe generar un ligero derrumbamiento del material lo cual indica su punto óptimo para realizar el ensayo.

Posteriormente se debe tomar una muestra de 500gr del material fino, tomamos el picnómetro calibrado con agua que está a una temperatura de 25°C e introducimos la muestra con ayuda de un embudo, agitamos para retirar algunos vacíos, la norma nos da dos opciones para retirar los vacíos uno de ellos es en baño de maría

agitando constantemente hasta retirar todos los vacíos y la otra es con la bomba de vacíos la cual utiliza aire para retirar los vacíos que en este caso vamos a utilizar se realiza por un lapso de 5 a 10 min luego de retirar los vacíos se toma la lectura del peso picnómetro más material más el agua, luego llevamos la muestra a un platón la introducimos al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por un tiempo determinado, cumplido el tiempo de secado tomamos el peso de la muestra y determinamos el peso específico del agregado fino utilizando las fórmulas propuestas en la norma.

Tabla 8 Estados de material agregado Fino

ESTADOS MATERIAL	
SSS	500 g
Seco al Horno	475.8 g
peso picnometro con agua	652 g
peso picnometro sin vacios	880 g

Fuente. Los autores

Tabla 9. Densidad relativa y absorción del agregado

ARENA	
Densidad Relativa SH	1749,2 kg/m ³
Gravedad Especifica SSS	1920,0 kg/m ³
Densidad Relativa Aparente	1915,29 kg/m ³
Densidad Condición Seca SH	1744,89 kg/m ³
Densidad SSS	1833,08 kg/m ³

Fuente. Los autores

3.3.4 Absorción

Tabla 10 Absorción Agregado fino

ARENA	
Absorción	5.09%

Fuente. Los autores

3.4 AGREGADO LIGERO

3.4.1 Granulometría

Para seleccionar este agregado según su distribución de tamaños de partículas, se realizó por medio del tamiz No. 4 (4.75mm); seleccionando así la arena de la grava para agregar en la mezcla final.

3.4.2 Densidad Bulk – Peso Unitario Grava ligera

Basándonos en la norma INV E – 217 – 13 densidad Bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto; la cual nos ayuda a establecer el peso unitario de los agregados este proceso solamente se puede realizar a materiales que tengan tamaño máximo nominal menor o igual a 125mm (5”).

Tabla 11. Estado de material agregado grueso ligero

GRAVA LIGERA	
Volumen Cilindro	0.0096 m
Densidad Bulk (M) Vibrada	521.458 kg/m ³
Densidad Bulk (M) Suelta	417.29 kg/m ³
Densidad Bulk SSS (Vibrado)	521.819 kg/m ³
Densidad Bulk SSS (Suelto)	417,579 kg/m ³
Vacío en los agregados	99.96%

Fuente. Los autores

3.4.3 Densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del agregado grueso ligero.

La norma INV – E – 223 – 13 describe el procedimiento para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso, la densidad relativa y la absorción del agregado. La densidad relativa se emplea para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas como las del concreto hidráulico, asfáltico y otras que se analizan sobre la base de un volumen absoluto.

Tabla 12 Estados de material Agregado ligero

ESTADOS MATERIAL	
SSS	1944 g
Seco al Horno	1561.4 g
Peso canasta sumergida	2115,0g
peso canasta sumergida con material	2247,0 g

Fuente. Los autores

Tabla 13. Densidades Agregado grueso ligero

GRAVA LIGERA	
Densidad Relativa SH	1645.90 kg/m ³
Gravedad Especifica SSS	1072,84 kg/m ³
Densidad Relativa Aparente	1092,29 kg/m ³
Densidad Condición Seca SH	859.325 kg/m ³
Densidad SSS	1070,16 kg/m ³
Densidad Aparente	1089.64 kg/m ³

Fuente. Los autores

3.4.4 Absorción

Tabla 14 Absorción agregado ligero

AGREGADO LIGERO	
Absorción	19.8%

Fuente. Los autores

3.5 ARENA LIGERA

3.5.1 GRANULOMETRÍA

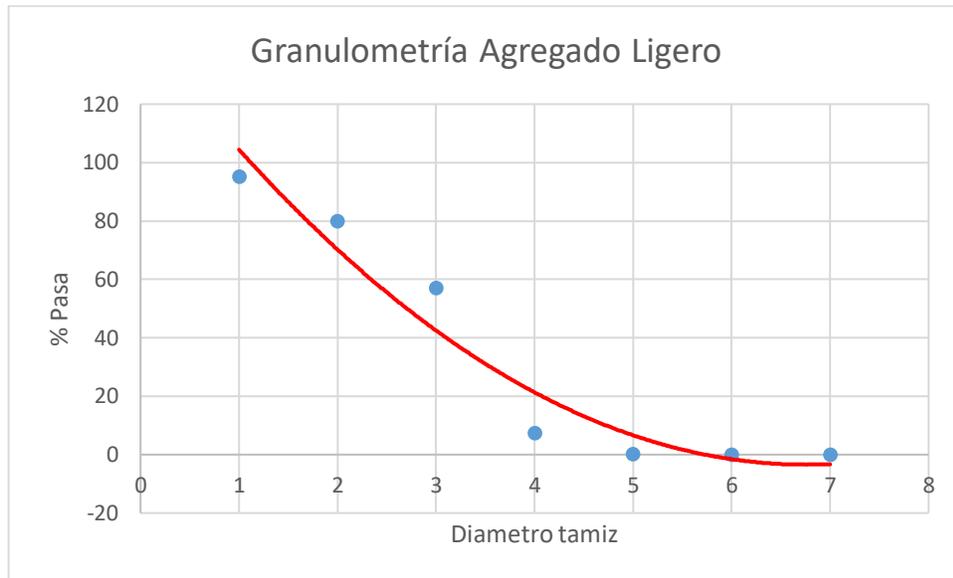
Se realizó haciendo el tamizaje con los diámetros correspondientes para arena ligera, el resultado final fue:

Tabla 15. Granulometría arena ligera

Tamiz (")	Material retenido (g)	Retenido (%)	Retenido acumulado	% Pasa
4	24	4.8	4.8	95.2
8	76	15.21	20.01	79.99
16	114	22.81	42.82	57.18
30	248	49.64	92.46	7.54
50	36	7.2	99.66	0.34
100	1.6	0.32	99.98	0.02
Fondo	0	0	0	0
	499.6	99.98		

Fuente. Los autores

Gráfica 3. Curva granulométrica agregado ligero



Fuente. Los autores

3.5.2 Densidad Bulk – Peso Unitario

Basándonos en la norma INV E – 217 – 13 densidad Bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto. Con los datos obtenidos en el laboratorio podemos determinar los siguientes datos:

Tabla 16 Densidad relativa Agregado fino

ARENA LIGERA	
Densidad Relativa SH	1583.47 kg/m ³

Fuente. Los autores

3.5.3 Densidad, densidad relativa (Gravedad Especifica) y absorción del agregado grueso.

La norma INV – E – 223 – 13 describe el procedimiento para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso, la densidad relativa y la absorción del agregado. La densidad relativa se emplea para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas como las del concreto hidráulico, asfáltico y otras que se analizan sobre la base de un volumen absoluto.

Tabla 17 Estados de material agregado Fino

ESTADOS MATERIAL	
SSS	200 g
Seco al Horno	179.8 g
peso picnmetro con agua	666 g
peso picnómetro sin vacíos	726 g

Fuente. Los autores

3.5.4 Absorción

Tabla 18 Absorción Agregado fino

ARENA LIGERA	
Absorción	11.23%

Fuente. Los autores

3.6 CEMENTO

Para el diseño de mezcla utilizamos cemento hidráulico Cemex uso general. Los beneficios de este cemento son muchas, entre ellas es brindar altas resistencias iniciales y finales, una alta retención de agua lo que garantiza una excelente manejabilidad proporcionando acabados finos y una estabilidad en sus propiedades de fraguado y resistencia.

Se toma la información suministrada por el fabricante con el fin de hallar los siguientes parámetros:

3.6.1 Parámetros físicos y químicos del cemento

De acuerdo con esto, los parámetros físicos del cemento para elaborar las muestras de concreto son:

Tabla 19 Parámetros físicos del cemento

Parámetros	
Densidad (gr/cm ³)	2.95
Fraguado inicial (min)	95
Fraguado final (min)	380
Expansión autoclave máximo (%)	0.80
Expansión en agua máximo (%)	0.02
Resistencia a 3 días (MPa)	9.0
Resistencia a 7 días (MPa)	16.0
Resistencia a 28 días (MPa)	26.0

Fuente. Los autores

Además, también se tienen los parámetros químicos del cemento utilizado para la fabricación de las muestras de concreto, los cuales son:

Tabla 20 parámetros químicos del cemento

Parámetros	
MgO (%)	6.00
SO (%)	3.50

Fuente. Los autores

3.6.2 Prueba de fluorescencia de rayos X

Esta prueba consiste en la emisión de rayos x secundarios característicos de un material en este caso sobre una muestra de cemento. Este fenómeno es muy utilizado para realizar un análisis, de esta manera determinar compuestos químicos que hacen parte de este. Más, sin embargo, al cemento si se le pudo hacer la prueba de fluorescencia de igual forma que se hizo con los agregados.

Mediante este ensayo se puede conocer toda la composición química del dicho cemento, la cual muestra que:

Tabla 21 Composición química del cemento para la fabricación de las probetas.

Elemento y/o compuesto			
% en peso			
CaO	60.416	Na₂O	0.625
SiO₂	21.465	Cl	0.430
Al₂O₃	5.578	TiO₂	0.359
SO₃	4.653	Sr	0.249
Fe₂O₃	3.835	P₂O₅	0.179
MgO	1.415	MnO	0.051
K₂O	0.719	Zn	0.019
Rb	0.008		

Fuente. Los autores

4 DISEÑO DE MEZCLA

4.1 Elaboración de diseño mezcla con variación porcentual

Para el diseño de la mezcla fue de gran importancia conocer a fondo del comportamiento y las propiedades fisicoquímicas de las materias primas a utilizar. Los cálculos se realizaron de acuerdo a la norma y recomendaciones técnicas de la A.C.I (American Concrete Institute). Las proporciones de la mezcla se realizaron en relación con el peso de los materiales empleados, de esta manera se calcularon las cantidades iniciales para proceder a variar porcentualmente el contenido de agregado ligero agregado normal, manteniendo la cantidad de agua y cemento constantes.

A continuación, se mostrará brevemente el procedimiento realizado.

Las propiedades del concreto en estado fresco son muy importantes ya que debido a ellas dependen en gran parte, las propiedades en estado endurecido. Por esta razón es importante conocer algunas propiedades que nos van a facilitar el diseño de la mezcla como por ejemplo el asentamiento del concreto, el contenido de aire que queda naturalmente retenido en el concreto durante el mezclado.

En la siguiente tabla seleccionamos el asentamiento recomendado según la tabla 11.3 de A.C.I y el contenido de aire sabiendo el tamaño máximo nominal del agregado en la tabla 11.5. Es importante conocer el agua de mezclado ya que cumple con dos funciones importantes como lo son hidratar las partículas de cemento y producir la fluidez necesaria para que la mezcla sea exitosa. (Guzman, 2016).

Tabla 22 Diseño de Mezcla

DISEÑO DE MEZCLA		
PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
DENSIDAD DEL CEMENTO	3020	kg/m ³
ASENTAMIENTO	5	cm
TM	1/2"	in
TM	1"	in
CONTENIDO DE AIRE	0.015	m ³
AGUA DE MEZCLADO	167	kg/m ³

Fuente. Los autores

Posteriormente con los datos obtenidos, se diseñará para 1m³ de volumen con el fin de ajustar esos valores a los porcentajes y cantidades reales.

Tabla 23 Porcentajes y cantidades reales

MATERIAL	V (m ³)	M (kg)
AGUA	0.167	167
CEMENTO	0.116	350
AIRE	0.015	0
GRAVA	0.36	838.8
ARENA	0.342	656.6

Fuente. Los autores

Teniendo en cuenta que la densidad del agregado normal grueso arrojó un valor de 2330 kg/m³ y con una masa unitaria compacta de 1380.7 kg, se procede a calcular el volumen absoluto por unidad de volumen compactada de agregado grueso y luego se calcula la relación de unidad de volumen compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto con ayuda de la tabla 11.15 de la A.C.I 2-11.

Tabla 24 Volumen agregado grueso compactado por unidad de volumen de concreto

bo	0.59268
b/bo	0.61

Fuente. Los autores

Para calcular el volumen total que vamos a utilizar, tenemos en cuenta la cantidad de los cilindros y vigas que usaremos en cada fundida. Los distribuimos de la siguiente manera:

Tabla 25. Distribución porcentajes cilindros

Cilindros (10cmx20cm)	3 cilindros (f'c 14 días)
	3 cilindros (f'c 28 días)
	3 cilindros (f'ct 28 días)
	1 cilindro (Dnssm)
Vigas (55cmx15cmx15cm)	2 (MR 28 días)

Fuente. Los autores

Conociendo las medidas de los cilindros y las vigas, calculamos los volúmenes de cada uno y luego lo multiplicamos por el total de las muestras a usar para los diferentes ensayos para obtener el volumen total, teniendo como resultado:

Tabla 26 medidas cilindros

CILINDROS	V (cm³)	1570.80
	V (Its)	15.71
VIGAS	V (cm³)	12375.00
	V (Its)	24.75
TOTAL	40.60 *1.3(desperdicio)	
	52.780 Its	

Fuente. Los autores

Teniendo en cuenta los datos anteriores se procede a realizar el diseño porcentual de la mezcla. En el caso de la mezcla 0% no se tuvo en cuenta el agregado ligero ya que queríamos ver que tanto varían los resultados y el comportamiento de los materiales, comenzando desde este porcentaje que se realizó exclusivamente con agregado normal.

Tabla 27. Diseño de mezcla 0% de agregado ligero

MEZCLA 0% AGREGADO LIGERO		
MATERIAL	V (m³)	M (kg)
AGUA	0.00881	8.81
CEMENTO	0.00612	18.473
GRAVA	0.019	44.27
ARENA	0.018	34.65

Fuente. Los autores

Para el diseño de mezcla de 15% el valor de agua cambió debido al aumento de material mientras que el valor del cemento se mantuvo constante. Disminuimos la cantidad de grava-arena normal y la reemplazamos por grava ligera-arena ligera.

Adicionalmente, le agregamos una pequeña cantidad de plastificante, que se define como un producto químico que se puede añadir al concreto con el propósito de mejorar su manejabilidad y trabajabilidad. Como se sabe, la resistencia del concreto

es inversamente proporcional al coeficiente de la relación agua cemento (A/C); por lo tanto, si se le añade más agua de lo calculado en el diseño, esta relación ya no será útil y el concreto se puede dañar.

Es por ese motivo que se le añade un poco de plastificante, pero añadir una cantidad excesiva de este, puede dar lugar a que el concreto presente segregación, lo cual no es aconsejable. (hormigón, 2010).

Tabla 28. Diseño de mezcla 15% de agregado ligero

MEZCLA 15% AGREGADO LIGERO		
MATERIAL	V (m³)	M (Kg)
AGUA	0.00881	10.16
CEMENTO	0.00612	18.47
GRAVA	0.00285	3.06
	0.01615	37.6
ARENA	0.0027	4.05
	0.0153	29.37
PLASTIFICANTE	15 gr	

Fuente. Los autores

Se realizó un procedimiento similar para el porcentaje del 30% de agregado ligero. Para hallar la masa en kilogramos, se multiplicó el valor del volumen en m³ por la densidad hallada de cada material. De esta manera se logra un remplazo real de 70.4% agregado normal y 29.6% de agregado ligero

Tabla 29. Diseño de mezcla 30% de agregado ligero

DISEÑO 30%		
MATERIAL	V (m³)	M (kg)
AGUA	0.00881	11.23
CEMENTO	0.00612	18.473
GRAVA	0.01266	29.4
	0.00634	6.8
ARENA	0.012	23.04
	0.004	5.98
PLASTIFICANTE	15 gr	

Fuente. Los autores

De la misma manera realizamos la variación porcentual entre agregados para el diseño de 45% de agregado ligero. Con las pruebas realizadas para este porcentaje, podremos concluir y evaluar el comportamiento mecánico del concreto ya que fue el diseño con más reemplazo de agregado ligero.

Tabla 30. Diseño de mezcla 45% de agregado ligero

DISEÑO 45%		
MATERIAL	V (m ³)	M (Kg)
AGUA	0.00881	12.86
CEMENTO	0.00612	18.473
GRAVA	0.00855	9.17
	0.01045	24.34
ARENA	0.0081	12.51
	0.0099	19.01
PLASTIFICANTE	10 gr	

Fuente. Los autores

4.2 Elaboración de cilindros y vigas

Para la elaboración de muestras se tiene en cuenta la norma NTC 550 la cual establece los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos y prismáticos, tomados del diseño de mezcla propuesto anteriormente.

4.2.1. Cilindros de concreto hidráulico

Según las cantidades de material necesario para cada porcentaje previamente determinado en el diseño de mezcla se inicia con la fabricación de los especímenes, inicialmente se mezclan las arenas, la grava y el cemento hasta obtener homogeneidad, se agrega el material ligero según el porcentaje de adición requerido mezclando continuamente posterior a esto agregamos agua y plastificante respecto al peso total de agua utilizada para cada porcentaje.

Posteriormente se vierte el material en los moldes normalizados previamente engrasados para evitar la adherencia del espécimen, esto se realiza en tres (3) capas del mismo espesor y en cada una de estas capas de debe apisonar con 25 golpes con una varilla normalizada en forma de espiral, se golpea el cilindro

repetidamente con ayuda de un martillo de goma esto con el fin de expulsar vacíos presentes en la mezcla, se retiran los excesos de material y se enrasa.

Luego de este procedimiento las probetas tanto cilíndricas como prismáticas se dejan fraguar durante veinte cuatro (24) horas a temperatura ambiente, luego de este tiempo se procede a desencofrar y sumergir para iniciar proceso de curado.

4.2.2. Proceso de curado

Por medio de este proceso controlamos y mantenemos el contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el concreto durante la hidratación de los materiales cementantes, para el desarrollo de las propiedades para las cuales se diseñó la mezcla, para la investigación se mantienen las muestras en proceso de curado durante catorce (14) y veintiocho (28) días, pasado este tiempo se realizan los ensayos requeridos para la determinación de las propiedades mecánicas.

4.3 Preparación de muestras para ensayos de laboratorio

Para realizar los ensayos de compresión a los cilindros luego de cumplir el tiempo de sumergencia (14 y 28 días), se extraen de la piscina de curado se retira el exceso de agua y se procede a realizar el ensayo.

Figura 3 Probetas de concreto para ensayos



Fuente. Los autores

Para la realización del ensayo de migración del ion cloruro a las probetas elaboradas se les debe realizar dos cortes para así obtener 3 cilindros de un espesor de 5cm para posteriormente realizar dicho ensayo.

Figura 4 Muestras de concreto con adición de 30% de agregado ligero



Fuente. Los autores

5 RESULTADOS OBTENIDOS

Teniendo en cuenta el diseño de mezcla anterior, se procede a realizar la preparación de los cilindros de concreto y vigas.

Luego, se someten a proceso muy importante como lo es el curado, lo que pretende dicho procedimiento es evitar la pérdida de agua de amasado que sirve para hidratar al cemento y conseguir la reacción química de endurecimiento. (Alario, 2014). Si el curado no se realiza correctamente, se perderá la resistencia final del concreto y los resultados no serán los esperados. Por esta razón, se inició el proceso de curado 24 horas después de que vaciamos el concreto en los moldes previamente engrasados.

El tiempo de fraguado total fue de 28 días. Sin embargo, hicimos pruebas de resistencia a la compresión de los cilindros a los 14 días con el fin de observar y analizar los cambios de resistencia que podría llegar a tener en esa diferencia de días y con esos valores, realizar una curva que nos permita analizar la situación con más claridad. A partir de la fecha de curado, esperamos 28 días para realizarles los ensayos de tracción y de ión cloruros. Mientras que, a las vigas, les realizamos el ensayo de resistencia a la flexión solo a los 28 días.

La distribución de los cilindros y vigas para los ensayos se puede encontrar en la tabla 18. Se realiza evidencia fotográfica de los ensayos realizados [anexo A]

5.1 MECÁNICOS

5.1.1 Resistencia a la compresión

Según la norma NTC 673, este ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados a una velocidad que se encuentra dentro de un rango especificado hasta que ocurra la falla.

A continuación, se presentan las gráficas de los resultados obtenidos en cada uno de los porcentajes de agregado ligero.

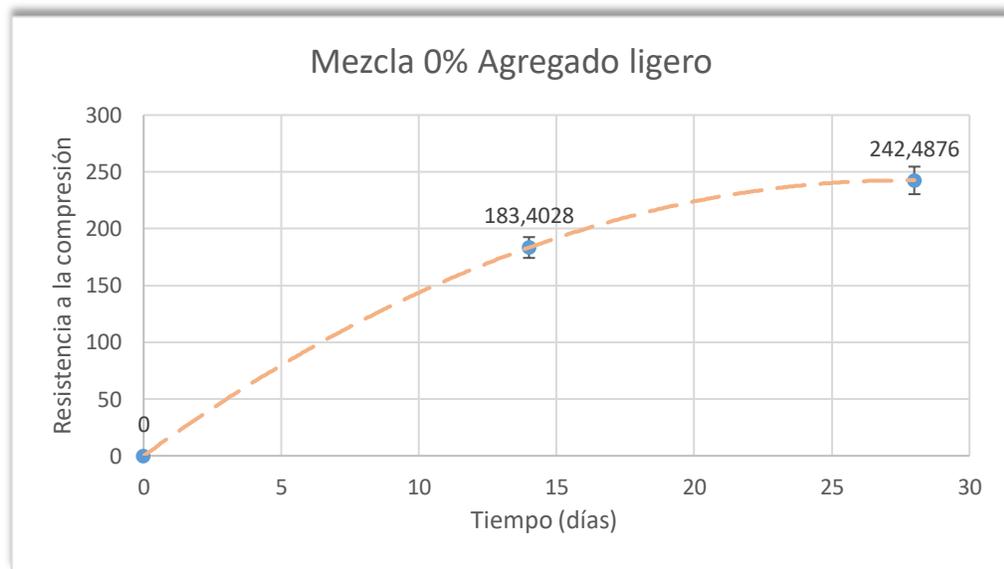
5.1.1.1 Resistencia a la compresión y Tiempo de curado- Mezcla 0% agregado ligero

Tabla 31. Resultados resistencia a la compresión de acuerdo al tiempo de curado

Mezcla 0%		
Tiempo (días)	f'c (kg/cm ²)	Desviación estandar
0	0	0
14	183.4028	3.1988
28	242.4876	8.2977

Fuente. Los autores

Gráfica 4. Relación resistencia a la compresión y tiempo de curado 0%



Fuente. Los autores

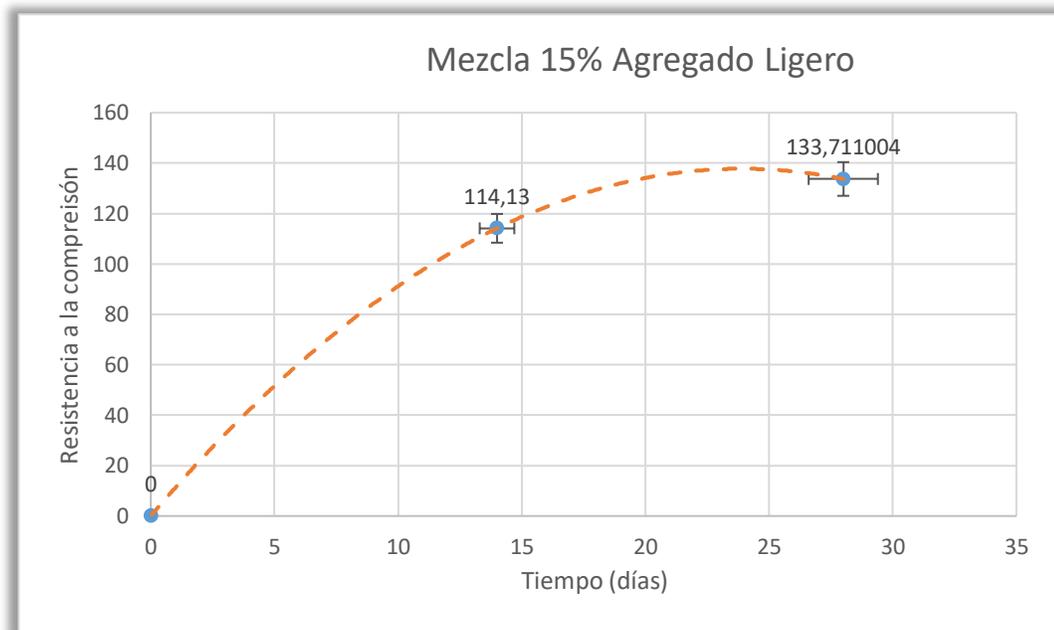
5.1.1.2 Resistencia a la compresión y Tiempo de curado- Mezcla 15% agregado ligero

Tabla 32. Resistencia a la compresión de acuerdo al tiempo de curado

Mezcla 15%		
Tiempo (días)	f'c (kg/cm ²)	Desviación estandar
0	0	0
14	114.13	8.62145936
28	133.711004	0.81253475

Fuente. Los autores

Gráfica 5. Relación resistencia a la compresión y tiempo de curado 15%



Fuente. Los autores

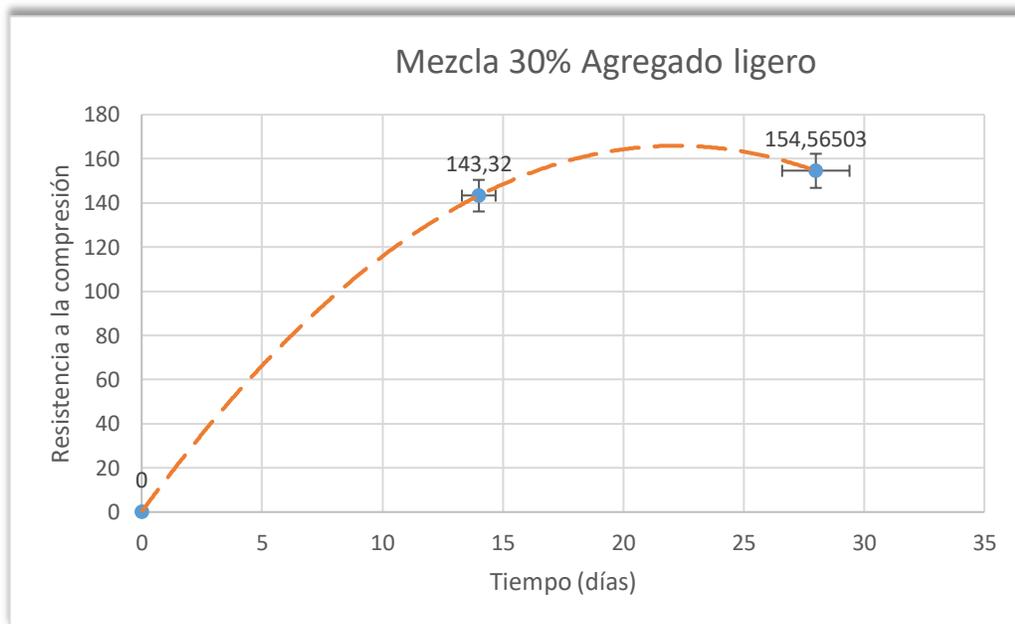
5.1.1.3 Resistencia a la compresión y Tiempo de curado- Mezcla 30% agregado ligero

Tabla 33. Resultados resistencia a la compresión de acuerdo al tiempo de curado

Mezcla 30%		
Tiempo (días)	f'c (kg/cm ²)	Desviación estandar
0	0	0
14	143.32	4.34
28	154.56503	11.78938

Fuente. Los autores

Gráfica 6. Relación resistencia a la compresión y tiempo de curado 30%



Fuente. Los autores

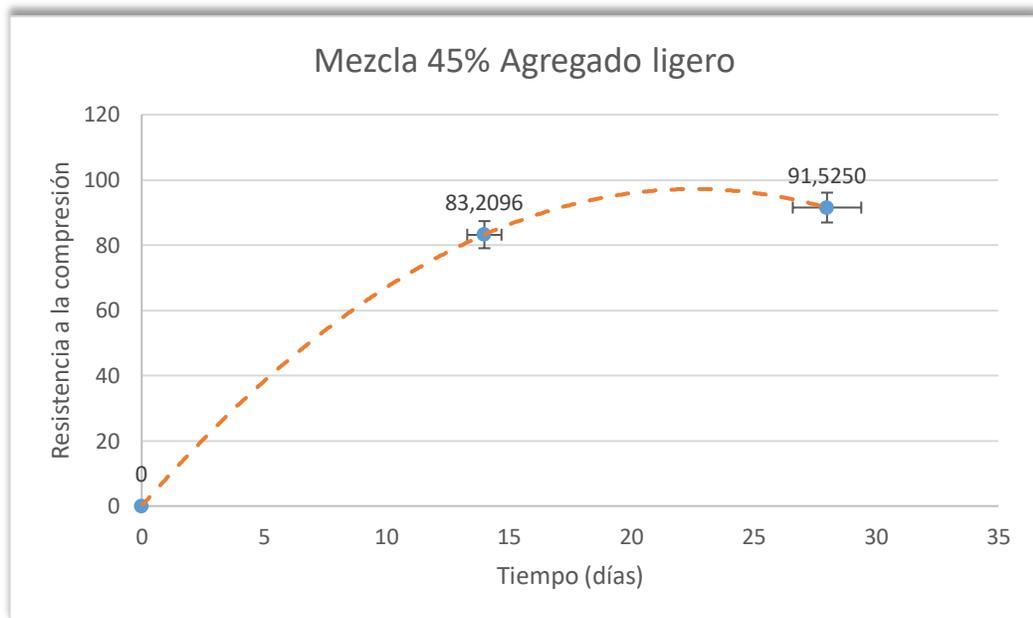
5.1.1.4 Resistencia a la compresión y Tiempo de curado- Mezcla 30% agregado ligero

Tabla 34. Resultados resistencia a la compresión de acuerdo al tiempo de curado

Mezcla 45%		
Tiempo (días)	f'c (kg/cm ²)	Desviación estandar
0	0	0
14	83.2096	9.1114
28	91.5250	8.4825

Fuente. Los autores

Gráfica 7. Relación resistencia a la compresión y tiempo de curado 45%



Fuente. Los autores

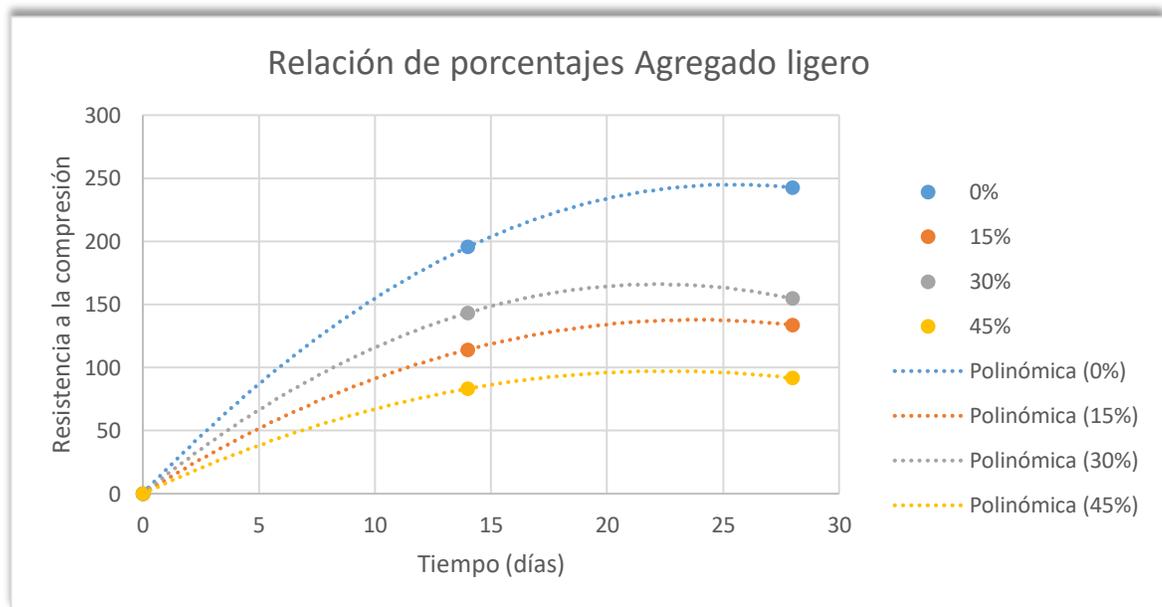
5.1.1.5 Relación de porcentajes de Agregado ligero

Tabla 35. Resultados resistencia a la compresión a los 0, 14 y 28 días de tiempo de curado.

Tiempo (días)	0%	15%	30%	45%
0	0	0	0	0
14	195.4458	114.1284	143.3178	83.2096
28	242.4876	133.7110	154.5650	91.5250

Fuente. Los autores

Gráfica 8. Relación de resistencia a la compresión y tiempo de curado a los 0, 14 y 28 días.



Fuente. Los autores

5.2 FÍSICOS

5.2.1 Densidad aparente

Con el diámetro y la altura de cada cilindro fue posible hallar el volumen de cada uno de ellos. Posteriormente, se procedió a calcular la densidad con el fin de determinar el cumplimiento del concreto y mostrar diferencias entre varios puntos

con la variación de agregado ligero y el tiempo de curado. Obtuvimos los siguientes resultados:

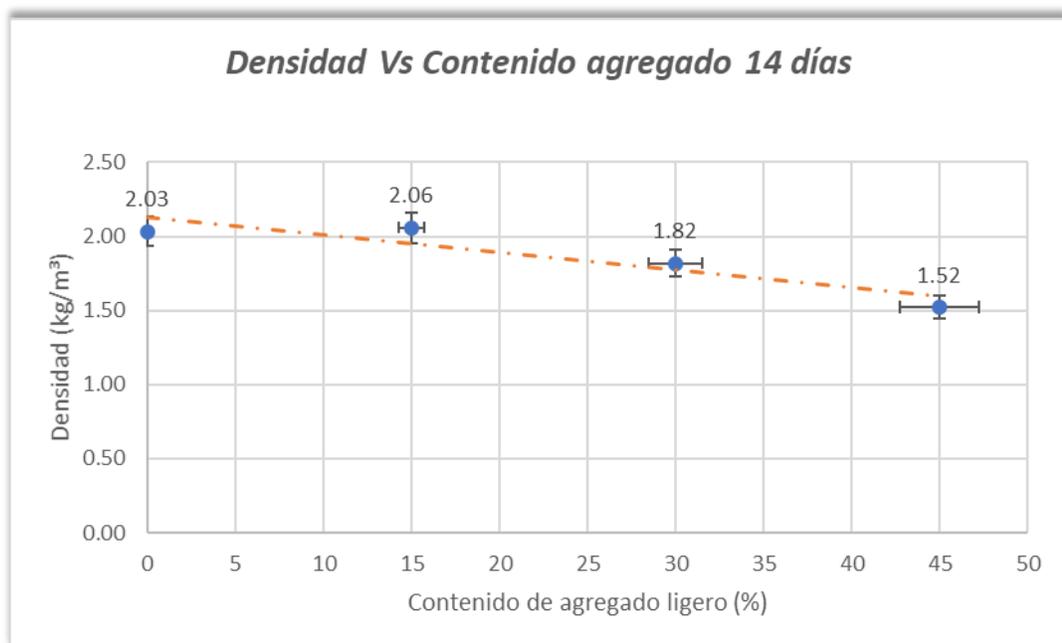
5.2.1.1 Relación de densidad aparente y contenido de agregado ligero (14 días)

Tabla 36. Resultados de densidad aparente y contenido de agregados para un tiempo de curado de 14 días

Contenido Agregado ligero (%)	Densidad (kg/m^3) 14 días
0	2.03
15	2.06
30	1.82
45	1.52

Fuente. Los autores

Gráfica 9. Relación de densidad aparente y contenido de agregado a los 14 días de curado



Fuente. Los autores

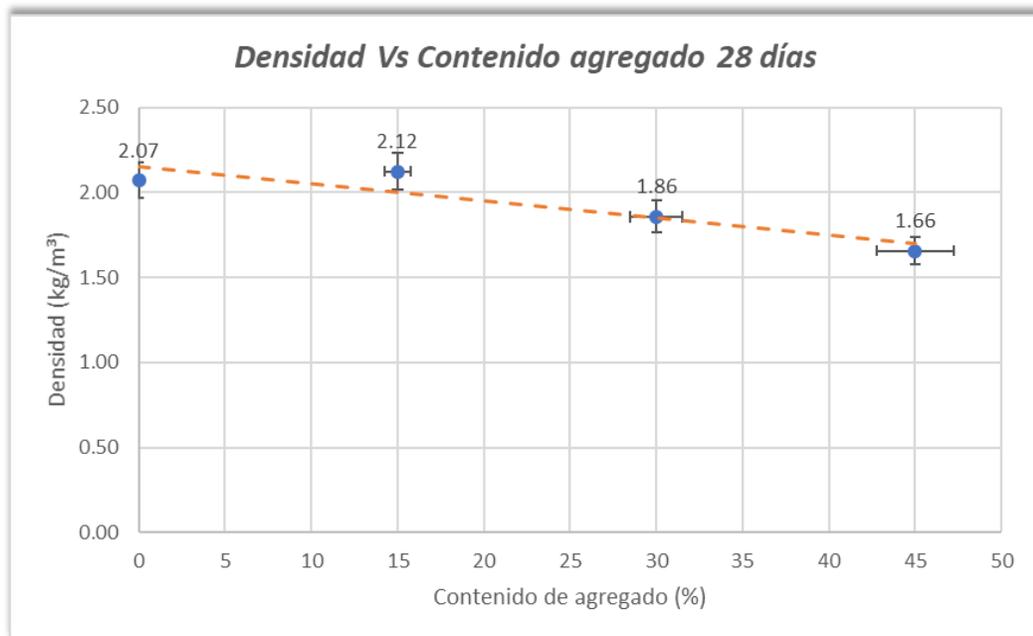
5.2.1.2 Relación de densidad aparente y contenido de agregado ligero (28 días)

Tabla 37. Resultados de densidad aparente y contenido de agregados para un tiempo de curado de 28 días

Contenido Agregado ligero (%)	Densidad (kg/m^3) 28 días
0	2.07
15	2.12
30	1.86
45	1.66

Fuente. Los autores

Gráfica 10. Relación de densidad aparente y contenido de agregado a los 28 días de curado



Fuente. Los autores

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos en el capítulo anterior y unas explicaciones adicionales que nos ayudaran a

6.1 Relación de porcentajes de agregado ligero a los 28 días de curado

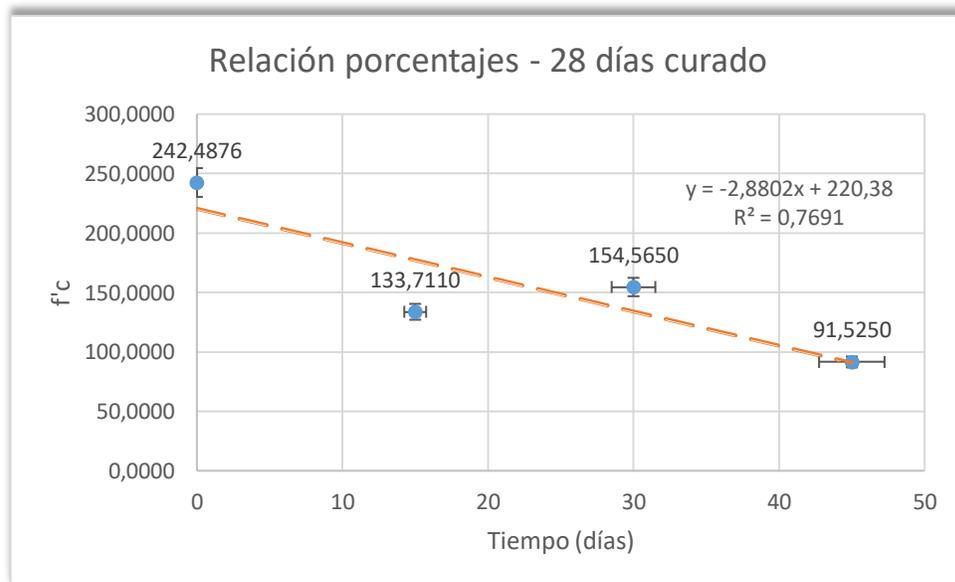
Tabla#. Resultados resistencia a la compresión 28 días de tiempo de curado.

Tabla 38. Resultados resistencia a la compresión a los 28 días de curado

Tiempo (días)	0%	15%	30%	45%
28	242.4876	133.7110	154.5650	91.5250

Fuente. Los autores

Gráfica 11. Relación de resistencia a la compresión y tiempo de curado a los 28 días.



Fuente. Los autores

A partir de la gráfica 11, se puede evidenciar que la resistencia la compresión disminuye a medida que se aumenta el contenido de agregado ligero, debido a la gradación y el tamaño de este, estas condiciones afectan en la porosidad y la textura

superficial de las muestras. Para la muestra de 15% presenta una variación con respecto a la muestra de 30%. Adicionalmente, se observó que el agregado ligero tiene una muy buena adherencia al concreto lo que indica que tiene buen comportamiento mecánico y de durabilidad.

Figura 5 Cilindro de concreto con 30% de adición agregado ligero



Fuente. Los autores

6.2 RELACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO Y LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (VIGAS)

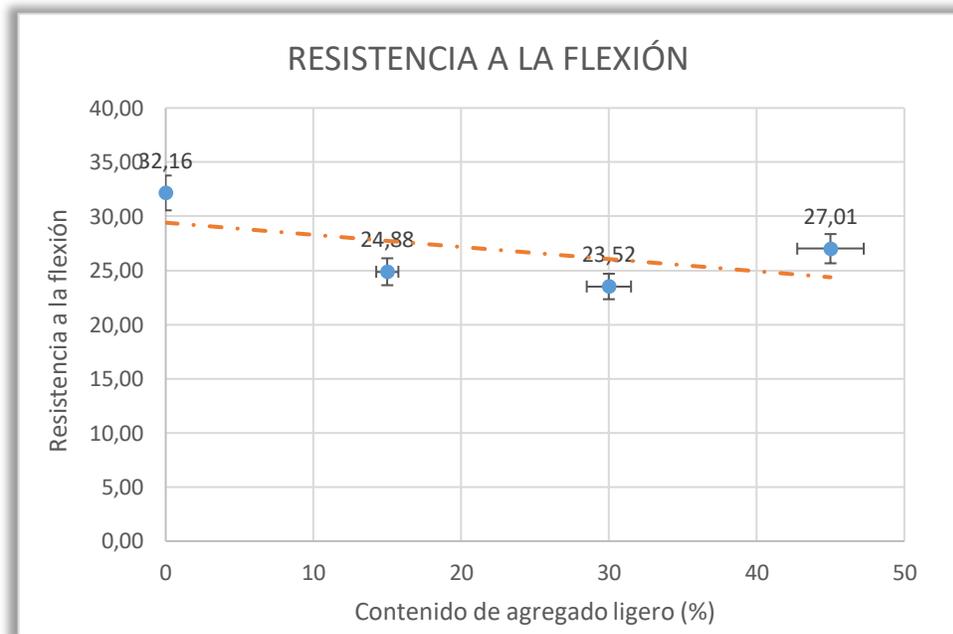
Por cada porcentaje se fundieron las vigas con el fin de observar y analizar posibles comportamientos mecánicos de cada una. Se les realizó el ensayo de resistencia a la flexión, se calcularon los diferentes porcentajes. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 39. Resultados obtenidos prueba resistencia a la flexión

Contenido Agregado ligero (%)	MR
0	32.16
15	24.88
30	23.52
45	27.01

Fuente. Los autores

12. Gráfica Relación Resistencia a la flexión y contenido de agregado ligero



Fuente: Los autores

Se puede analizar que el contenido de agregado es inversamente proporcional a la resistencia a la flexión, esto se puede atribuir que las paredes internas pierden adherencia con facilidad en el punto donde se aplicó la carga, en este caso en la mitad de la viga, donde se dio la tensión máxima en la cual el módulo de rotura es más bajo que si se hubiera cargado a tercios de esta.

Entre las muestras 15% y 30% se observa que los resultados son muy cercanos y que, a su vez, existe una pequeña variación con la muestra de 45% de agregado ligero, esto se debe a que las vigas de ese porcentaje quedaron mejor compactadas y se curaron en el momento adecuado.

6. 3 RELACIÓN DE CONTENIDO DE AGREGADO LIGERO Y RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

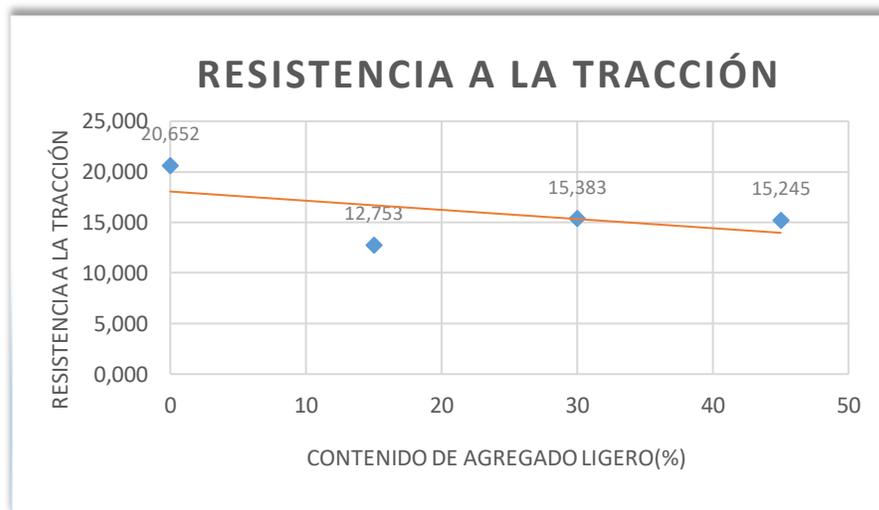
Se usaron 3 cilindros de cada porcentaje para las pruebas de resistencia a la tracción. Posteriormente se obtuvo un promedio de las cargas obtenidas con el propósito de realizar una gráfica y analizar los datos según la curva.

Tabla 40. Resultados resistencia a la tracción a los 28 días de tiempo de curado.

Contenido Agregado ligero (%)	Resistencia a la tracción (fct)
0	20.65241234
15	12.75283445
30	15.3825758
45	15.24462002

Fuente: Los autores

Gráfica 13. Relación de contenido de agregado ligero y resistencia a la tracción



Fuente: Los autores

Podemos observar en los datos obtenidos, que la línea de tendencia se comporta decreciente hablando en términos de resistencia. En el porcentaje de 15% de agregado ligero se observa una variación ya que estos cilindros fueron movidos de un lugar a otro menos favorable en el proceso de curado lo cual tuvo como consecuencia una reducción de resistencia. Entre los porcentajes 30% y 45% de agregado ligero hay una similitud en los datos, lo que nos indica que el porcentaje de adición no fue muy significativo para la resistencia a la tracción.

6.4 PENETRACIÓN DE CLORUROS (NT BUILD -492)

Este ensayo determina la resistencia del material a compuestos químicos en este caso ion cloruro Cl⁻. Se le realizó el ensayo a 1 cilindro de cada porcentaje, según la norma NT Build- 492, las medidas de la muestra deben ser 10 mm de espesor por 50 mm de altura. Este, consiste en aplicar una carga eléctrica externa (20V) de manera axial a través de la muestra, lo cual obliga a los iones de cloruro a penetrar en el concreto. Después de # días, la muestra se corta de manera axial, luego se aplica una solución de nitrato de plata sobre una de las caras teniendo como objetivo, observar la penetración del ion.

Posteriormente se hace un corte por la mitad de tal manera que se pueda determinar la profundidad de penetración tomando lecturas cada 10mm y realizando un promedio de estas.

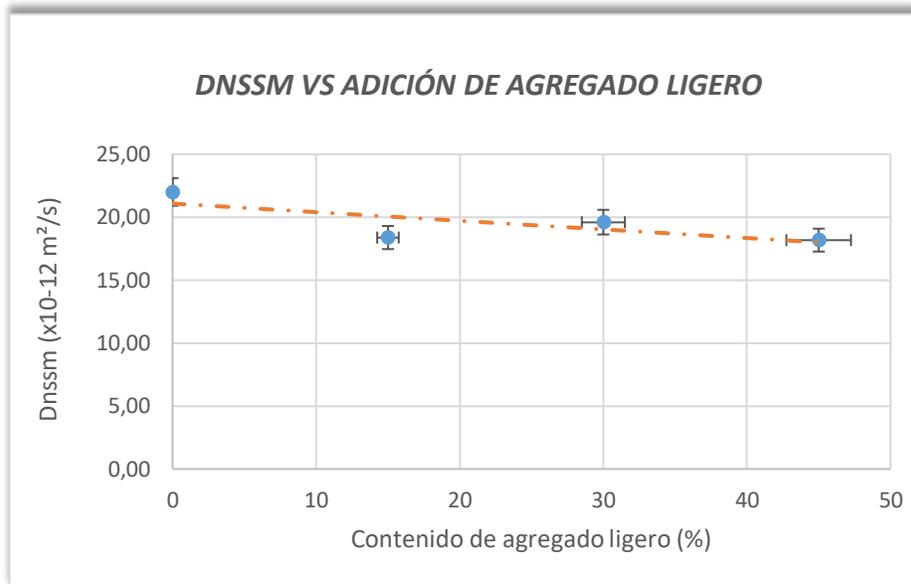
A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos en esta prueba:

Tabla 41. Resultados de coeficiente de difusión de cloruros y contenido de agregado ligero

<i>Contenido de agregado ligero (%)</i>	<i>D_{nssm} (x10⁻¹² m²/s)</i>
0	22.00
15	18.38
30	19.60
45	18.17

Fuente: Los autores

Gráfica 14. Relación de D_{nssm} y adición de agregado ligero



Fuente: Los autores

El efecto directo más nocivo por acción de cloruros en la mezcla de concreto endurecido está constituido por la cristalización de las sales dentro de sus poros, la cual puede producir rupturas debidas a la presión ejercida por los cristales de sal.

A partir de la gráfica 14, se puede analizar que el coeficiente de difusión disminuye a medida que se aumenta el contenido de agregado ligero, aunque para la muestra de 30% se evidencia una pequeña variación con respecto a la muestra del 15%. La muestra que presentó un comportamiento favorable a la penetración de cloruros fue la de 45%.

6.5 RELACIÓN DE DENSIDAD APARENTE VS CONTENIDO DE AGREGADO LIGERO

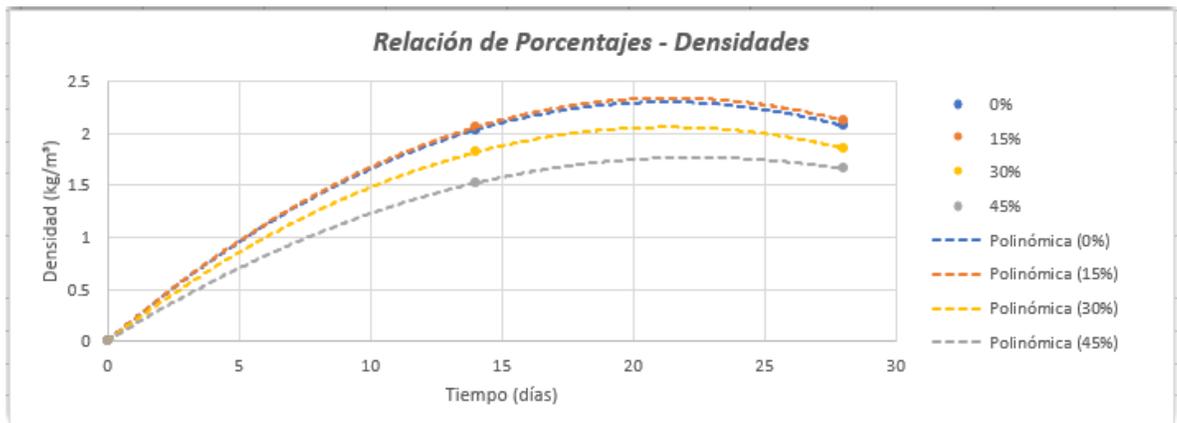
La relación entre la densidad aparente de las muestras de concreto y la adición de agregado ligero se puede analizar en la siguiente gráfica:

Tabla 42. relación de densidad aparente y agregado ligero (14 y 28 días)

Tiempo (días)	0%	15%	30%	45%
0	0	0	0	0
14	2.03	2.06	1.82	1.52
28	2.07	2.12	1.86	1.66

Fuente: Los autores

Gráfica 15. Relación de densidad aparente y agregado ligero (14 y 28 días)



Fuente: Los autores

De la figura anterior, se pudo analizar que la densidad del concreto es directamente proporcional al porcentaje de adición de agregado ligero, lo que nos indica que entre mayor sea el contenido de agregado ligero la densidad de la muestra va a ser menor, lo anterior se debe a que la densidad del agregado ligero es mucho inferior que la del cemento. La disminución de la densidad produce presencia de vacíos dentro del concreto lo que ocasiona una notoria disminución de resistencia del mismo.

7 CONCLUSIONES

- De acuerdo con el objetivo principal en el que se plantea caracterizar y analizar el comportamiento mecánico y físico del concreto hidráulico con una variación porcentual de agregado ligero, se puede concluir que si es posible emplear el concreto con una adición moderada de agregado ligero ya que reduce notablemente el peso específico del mismo comparándolo con el concreto convencional.
- El uso de agregado ligero garantiza una disminución en la densidad del concreto hidráulico ligero. Lo anterior debido a que este agregado tiene una absorción mayor debido a que sus partículas internas son muy porosas lo cual hace que la relación agua-cemento aumente. Por esta razón, en algunas ocasiones es necesario agregar aditivos líquidos a la mezcla con el fin de mejorar la manejabilidad y consistencia de la misma sin afectar dicha relación.
- Al someter los cilindros a una carga axial, el tipo de falla que se presentó en la mayoría de muestras fue cónica lo que indica que la carga a compresión fue bien aplicada sobre el espécimen y este a su vez, fue bien fabricado.
- Con respecto a la penetración de cloruros, se evidenció que el coeficiente de difusión disminuye a medida que se aumenta el contenido de agregado ligero. Por lo tanto, se analiza que las muestras con agregado ligero tienen un mejor comportamiento comparándolo con una muestra de concreto convencional.
- Al evaluar el comportamiento mecánico del concreto con reemplazos de agregado grueso ligero, se determinó que tiene una muy buena adherencia al concreto, lo cual hace que las partículas de agregado ligero no se desprendan con facilidad y así, evitar segregaciones en la muestra.

El agregado ligero tiene propiedades de aislamiento térmico lo cual contribuye al ahorro de energía para el acondicionamiento de la temperatura al interior de una vivienda, edificio o cualquier otro tipo de recinto.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener conocimiento de las normas técnicas y procedimientos para cada ensayo, lo que garantiza competencia técnica y fiabilidad de los resultados analíticos.
- Se recomienda usar las proporciones calculadas en el diseño de mezcla de la investigación ya que alterarlos podría causar daños en la mezcla o impedir que los datos obtenidos no sean los esperados.
- Los agregados se deben almacenar en un lugar cubierto para evitar cambios bruscos de humedad. Igualmente, el cemento ya que, si este entra en contacto con el ambiente, pierde propiedades de humedad y se seca totalmente por lo tanto su uso se reduce al mínimo.
- Es importante realizar de la mejor manera la compactación de la mezcla en el molde, debido a que si no se hace puede generar inconvenientes de resistencia al momento de someter la muestra a cargas.
- Se debe tener precaución de no romper el agregado ligero a la hora de realizar el proceso de compactación, ya que este presenta alto contenido de vacíos lo que causa fragilidad en el material.
- Se recomienda usar las proporciones calculadas en el diseño de mezcla de la investigación ya que alterarlos podría causar daños en la mezcla o impedir que los datos obtenidos no sean los esperados.

BIBLIOGRAFÍA

- A.I.M, I., E.R, S., M., F., & A. abd El- Hakeem, E. H. (21 de Agosto de 2007). Production of Lightweight Concretes From Pumice. City, EE. UU: Springer International Publising- Geotech Geol Eng.
- Al- Akhras, N. M. (26 de Marzo de 2016). Cement and concrete research. *Durability of Metacaolin Concrete Of Sulphate Attack*. Irbid, Jordania: University of Jordania.
- Alario, E. (13 de 10 de 2014). *Cuidados del hormigón, curado del hormigón*. Obtenido de Alario Arquitectura técnica: <https://enriquealario.com/curado-de-hormigon/>
- Arias de Velasco, J. (Septiembre de 2010). Revisra de la sociedad española de mineralogía. *Incorporación de Se(VI) en Etringita Ca₆(Al(OH)₆)₂((SO₄),(SeO₄)*. Oviedo, España: Universidad de Oviedo.
- Asociación Colombiana de ingeniería sísmica- AIS. (s.f.). NSR 10- Reglamento Colombiano de construccion sismo resistente. Bogotá DC, COLOMBIA.
- carreteras, M. d. (2007). Manual de normas de ensayo de materiales para carreteras. En INV, *Manual de normas de ensayo de materiales para carreteras* (pág. Sección 200).
- Ceballos Arana, M. A. (2016). Ing. Civil MBA, Centro de innovacin tecnologica para la construccion (CiTec). *Construcción y Tecnología*, 24-25.
- construmática, m. d. (2009). *construmática, metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción*. Obtenido de <https://www.construmatica.com/construpedia/Clinker>
- Correa Chaparro, J. D., & Ratti Guzmán, G. L. (7 de Diciembre de 2015). Evaluación del efecto de la variacion de la dosificacion de agregado ligero de arcilla. Bogotá, Colombia: Ponticia universidad javeriana.
- Deividas, R., Darius, B., Edmundas, S., & Adasm, M. (2016). Moderns buildind materials, Structures and Techniques, MBMST 2016. *Comparasion of material properities of lightweight concrete*. Elsevier.

Guzman, D. S. (2016). Diseño de mezclas.

Herrera, J., Quintero Ortiz, L. A., Corzo, L., & Garcia, J. (8 de Abril de 2011). RELATIONSHIP BETWEEN COMPRESSIVE STRENGTH AND POROSITY OF CONCRETE EVALUATED. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.

hormigón, A. p. (2010). *Canal de construccion*. Obtenido de Canal de construccion: <http://canalconstruccion.com/aditivos-plasticantes-hormigon.html>

Hormigones. (2014). *Departamento de mecanica aplicada y estructuras*. Ciudad del rosario: Universidad Nacional del Rosario.

Huerta, R. (Julio de 2009). Concretos ligeros y tecnología. Instituto mexicano del cemento y del concreto.

Lopez, L. G. (2013). *El concreto y otros materiales para la construccion*. Manizales: Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia.

Lopez, N. H. (2010).

Núñez Remolina, M. (Febrero de 2016). Los agregados en el concreto . Argos Educativo.

Oscar, P. L., Chávez Porras, A., & Velasquez Castiblanco, Y. (2017). Evaluación y comparación de análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados. *Evaluación y comparación de análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclado*, 96-106.

Salazar Jaramillo, A. (2002). Síntesis de la tecnología del concreto, una manera de entender a los materiales compuestos. Cali, Colombia: Corporación Construir.

Sánchez de Rojas, M. i., Rivera Lozano, j., & Felix, M. (2011). Research about the pozzolanic activity of waste materiales from calcined clay. Madrid, España: Instituto de Ciencias de la construcción Eduardo Torroja (IETCC).

Santalla Blanco cedeiria, L. m. (2015). Definiciones. Coruña.

Trinidad Santos, L. V. (2014). *Agregados para la construccion (Piedra y arena)*. Lima: Universidd Nacional Federico Villareal

ANEXO 1 Caracterización de materias primas



Fotografía 1. Juego de tamices



Fotografía 2. Granulometría Agregado ligero



Fotografía 3. Agregado grueso ligero y fino ligero



Fotografía 4. Eliminación de vacíos

Fuente: Los autores

ANEXO 2 Elaboración de muestras



Fotografía 5. Moldes engrasados



Fotografía 6. Asentamiento de la mezcla- Prueba de cono de Abrams



Fotografía 7. Elaboración de muestras



Fotografía 8. Cilindros y vigas en estado fresco

Fuente: Los autores

ANEXO 3 Ensayos realizados



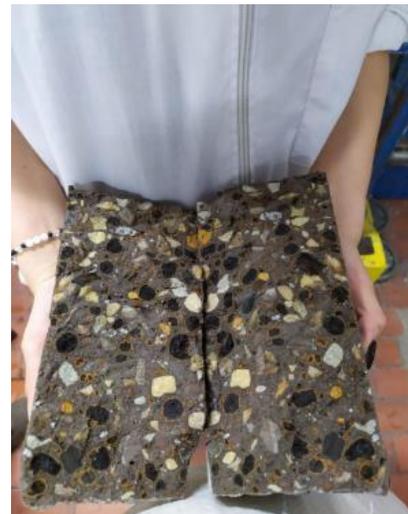
Fotografía 11. Ensayo resistencia a la compresión



Fotografía 12. Ensayo resistencia a la flexión



Fotografía 13. Ensayo resistencia a la tracción



Fotografía 14. Cilindro 45% Agregado ligero (Tracción)

	
<p>Fotografía 15. Muestras para realizar ensayo ión cloruro</p>	<p>Fotografía 16. Ensayo NT Build 492</p>
	
<p>Fotografía 17. Penetración ión cloruro muestra 0% agregado ligero</p>	<p>Fotografía 17. Penetración ión cloruro muestra 30% agregado ligero</p>

Fuente: Los autores

ANEXO 4 Formato de registro de uso del laboratorio

<i>Formato de registro de consumo de tiempo de laboratorio</i>		
fecha	hora	nombre de práctica
24-jul-19	10:00- 12:00	caracterización de agregado ligero
25-jul-19	9:00-11:00	caracterización de agregado ligero
05-ago-19	20:00-22:00	granulometría y masas unitarias agregado ligero
08-ago-19	18:00-20:00	densidades y absorción agregado ligero
12-ago-19	20:00-22:00	caracterización de agregado convencional
14-ago-19	18:00-20:00	granulometría y masas unitarias
15-ago-19	18:00-20:00	densidades y absorción
22-ago-19	18:00-22:00	diseño de mezcla- 0% agregado ligero
26-ago-19	18:00-22:00	diseño de mezcla- 30% agregado ligero
28-ago-19	18:00-22:00	diseño de mezcla- 45% agregado ligero
29-ago-19	20:00-22:00	fallo de cilindros 0% a los 7 días de curado
04-sep-19	20:00-22:00	fallo de cilindros 30% a los 7 días de curado
07-sep-19	18:00-20:00	fallo de cilindros 45% a los 7 días de curado
11-sep-19	18:00-22:00	diseño de mezcla- 15% agregado ligero
19-sep-19	18:00-20:00	fallo de cilindros y vigas de 0% a los 28 días de curado/ ensayo tracción
21-sep-19	08:00- 10:00	fallo de cilindros 15% a los 7 días de curado
25-sep-19	18:00-20:00	fallo de cilindros y vigas de 30% a los 28 días de curado/ ensayo tracción
26-sep-19	18:00-20:00	fallo de cilindros y vigas de 45% a los 28 días de curado/ ensayo tracción
09-oct-19	18:00-20:00	fallo de cilindros y vigas de 15% a los 28 días de curado/ ensayo tracción

Fuente: Los autores