

DISEÑO DE MEZCLAS PARA UN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Angie Yulieth Castellanos Rodríguez



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Programa académico, Facultad de ingeniería Civil

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C

2024

Diseño de mezclas para un concreto de alta resistencia

Angie Yulieth Castellanos Rodríguez

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

José Darío Gavilanes

Director



Programa académico, Facultad de Ingeniería Civil

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo al universo, mi madre y mi padre, quienes me demostraron que puedo hacer todo lo que desarrollen mis ideas.

Agradecimientos

El presente trabajo agradece en especial a dos profesionales de ingeniería, que, sin el apoyo de ellos, no habría sido posible desarrollar la siguiente investigación:

Al ingeniero José Gavilanes, docente de la Universidad La Gran Colombia, quien estuvo desde el primer momento guiándome como estudiante y profesional, y quien se ha convertido en un gran ejemplo a seguir. De igual forma agradezco a la empresa Euclid Chemical Toxement y al ingeniero William; quien desde que estuvimos en contacto, mantuvo gran disposición para poder desarrollar y ejecutar el presente proyecto, especialmente en la donación del material requerido.

Finalmente poseo un porcentaje de agradecimiento al laboratorista José Rozo, pues estuvo al tanto y dispuso de su tiempo y conocimiento para que este proyecto fuera desarrollado en los laboratorios de la universidad La Gran Colombia Bogotá, sede de ingenierías.

Tabla de contenido

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
CAPITULO I.....	18
MARCO TEÓRICO	18
1.1. MARCO REFERENCIAL	19
1.1.1. <i>Propiedades del concreto de alta resistencia</i>	19
1.1.2. <i>Normatividad</i>	21
1.1.3 <i>Método ACI</i>	21
1.2. MARCO CONTEXTUAL	23
1.2.1. <i>Bases teórico científicas</i>	23
1.2.2. <i>El Concreto</i>	25
1.2.3. <i>Concreto de alta resistencia</i>	26
1.2.4. <i>Componentes del concreto de alta resistencia</i>	26
1.3. MARCO HISTÓRICO - ANTECEDENTES	28
CAPITULO II.....	29
ASPECTOS METODOLÓGICOS	29
2.1. HIPÓTESIS Y VARIABLES	29
2.1.1 <i>Formulación de la hipótesis</i>	29
2.1.2 <i>Variables – operacionalización</i>	29

2.1.3	Indicadores de muestra	30
2.2	MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS RECOLECCIÓN DE DATOS.....	33
2.2.1	Ensayos de muestra de estudio	33
2.2.2	Ensayos de los materiales.....	37
2.2.3	Método para realizar el diseño de mezcla.....	48
2.2.4	Elaboración de concreto	54
2.2.5	Fallo a compresión	59
2.2.6	Fallo a flexión.....	59
CAPITULO III	60
RESULTADOS	60
3.1.	ENSAYOS DE LOS MATERIALES.....	60
3.1.1	Densidad del cemento.	60
3.1.2	Granulometría de agregado fino	60
3.1.3	Granulometría de agregado grueso	61
3.1.4	Absorción y densidad del agregado fino.....	63
3.1.5	Absorción y densidad del agregado grueso.....	64
3.1.6	Masas unitarias del agregado	65
3.2	DISEÑO DE MEZCLAS – MÉTODO ACI 211.....	66
3.3.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	68
3.4.	RESISTENCIA FLEXIÓN	71
CAPITULO IV	73
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
4.1	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	73
4.2	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ADITIVOS	74
4.3.	DISEÑO DE MEZCLAS.....	74

DISEÑO DE MEZCLAS PARA UN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	7
4.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	75
4.6 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO	75
CAPITULO V	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
CAPITULO VI	78
LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA.....	78
CAPITULO VI	81
ANEXOS	81

Lista de Figuras

Figura 1 Camisa para especímenes de concreto.....	31
Figura 2 Camisa para espécimen de viga	32
Figura 3 frasco de Le Chatelier usado para hallar la densidad del cemento.	34
Figura 4 Primera lectura en frasco de Le Chatelier.....	35
Figura 5 Procedimiento norma NTC 221.....	36
Figura 6 frascos de Le Chatelier utilizados para determinar promedio.....	36
Figura 7 Procedimiento granulométrico agregado fino.....	39
Figura 8 Procedimiento granulométrico agregado grueso	41
Figura 9 Ensayo de cono para la humedad superficial	43
Figura 10 Procedimiento para el cálculo de la Absorción y densidad del agregado fino	44
Figura 11 Procedimiento para el cálculo de la Absorción y densidad del agregado grueso	46
Figura 12 Procedimiento de masas unitarias del agregado.....	47
Figura 13 Curado de las probetas de concreto	56
Figura 14 Escogiendo moldes de concreto	57
Figura 15 Proceso para realizar especímenes de concreto	58
Figura 16 Curva granulométrica agregado fino	61
Figura 17 Curva granulométrica agregado grueso.....	62
Figura 18 Comportamiento resistencia a la compresión	69
Figura 19 Fallo de cilindros 7 días	69
Figura 20 Fallo de cilindros 14 días	70
Figura 21 Fallo de cilindros 28 días	70
Figura 22 Comportamiento resistencia a flexión	72

Figura 23 Fallo a flexión 7 días	72
Figura 24 Fallo a flexión 14 días	72
Figura 25 Fallo a flexión 28 días	73

Lista de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	30
Tabla 2 Clasificación agregado fino.....	38
Tabla 3 Requisitos de gradación para agregado grueso	40
Tabla 4 Asentamientos recomendados generales.....	49
Tabla 5 Cantidad de agua para el diseño	50
Tabla 6 Relación a/c.....	51
Tabla 7 Contenido de agregado grueso	52
Tabla 8 Numero de capas requeridas para la muestra	55
Tabla 9 Diámetro de varilla y número de golpes para utilizar en el moldeo de muestras de ensayo	55
Tabla 10 Resultados ensayo densidad del cemento	60
Tabla 11 Datos granulometría agregado fino	61
Tabla 12 Datos granulometría agregado grueso	62
Tabla 13 Resultados ensayo absorción y densidad del agregado fino	63
Tabla 14 Resultado de cálculos ensayo absorción y densidad del agregado fino.	63
Tabla 15 Resultados ensayo de absorción y densidad del agregado grueso.....	64
Tabla 16 Resultado de cálculos ensayo absorción y densidad del agregado grueso.....	64
Tabla 17 Resultados ensayo de Masas Unitarias de los agregados	65
Tabla 18 Cantidad de materiales Toxement para el diseño.....	66
Tabla 19 Diseño de mezcla concreto de alta resistencia, calculado para 44 MPa	66
Tabla 20 Valores para ajuste de humedad diseño de mezclas	67
Tabla 21 Diseño de mezclas propuesto para el nivel de resistencia en estudio.....	67

Tabla 22 Laboratorio ensayo a la resistencia de compresión..... 68

Tabla 23 Laboratorio ensayo a la resistencia a flexión 71

Resumen

El continuo uso de los materiales de construcción, genera una alta explotación y disminución de recursos, que obliga a las generaciones encontrar soluciones que solventen los escasos causados por sobrepasar los límites. El presente escrito, describe una investigación exploratoria – experimental, que consiste en realizar un diseño de mezcla de concreto donde en primer lugar, sus capacidades de resistencia sean mayor a las que se usan generalmente y segundo, este diseño se realice sin necesidad de equipos con altas capacidades, pues se efectúa las pruebas desde el Laboratorio de la Universidad La Gran Colombia Facultad de Ingenierías Bogotá; con el fin de que estos resultados puedan ser usados a una amplia gama de estructuras (sencillas y complejas), y dando paso a la posible disminución del uso de materias primas para la construcción, pues al tener mayor resistencia, se podrían generar diseños con menor área de construcción.

Palabras clave: Concreto alta resistencia, diseño de mezclas, aditivos.

Abstract

The continuous use of construction materials generates high exploitation and reduction of resources, which forces generations to find solutions that solve the shortages caused by exceeding the limits. This monographic document describes an exploitative - experimental investigation, which consists of being able to generate a concrete mix design where, firstly, its resistance capacities are greater than those generally used and secondly, it can be carried out without the need for equipment. with high capacities, since the tests are carried out from the Laboratory of the Universidad La Gran Colombia, Faculty of Civil Engineering, in order that these results can be used for a wide range of structures, simple and complex, and giving way to the possible decrease in raw materials for construction, since having greater resistance could generate foundations with a smaller area.

Keywords: High resistance concrete, mix design, additives.

Introducción

El concreto es el material compuesto más utilizado en la industria de la construcción, por su versatilidad, economía y posibilidad de realizar elementos estructurales y no estructurales (Sánchez De Guzmán, 2001); adicional a esto es un material que presenta grandes resistencias al fuego sin perder sus características mecánicas.

En este sentido, el desarrollo de grandes proyectos como rascacielos o grandes puentes construidos a nivel mundial difícilmente se habrían podido realizar sin la ayuda del concreto reforzado; se puede demostrar en proyectos como el Burj Kalifha edificio en donde se utilizó 330.000 m³ de concreto (Vidaud, 2013), o el aeropuerto flotante de la ciudad de Kansai en Japón, que requirió 21 millones de metros cúbicos de hormigón (Argos, 2023).

De la misma forma, la tendencia actual en obras civiles es exigir propiedades físico mecánicas cada vez mayores a los materiales, los cuales deben cumplir con un bajo costo y garantizar la seguridad en el servicio, junto con un ciclo de vida prolongado (Matallana Rodríguez, 2015). Incluso el desplazamiento de la población rural hacia las ciudades a lo largo del tiempo se ha aumentado, según datos del Banco Mundial, en 1960 la población urbana de Colombia era del 46% mientras que para el 2022 llegó al 82% (Banco Mundial, 2023). Esto ha conllevado al aumento desmedido de materiales de construcción, ampliación desmedida de conectividad de servicios públicos y la construcción acelerada de vivienda en las ciudades, lo que lleva a desarrollar por parte de la Industria y la academia diversas formas de construcción rápida, con la utilización de menor material, entre los que se destaca el cemento, que, de acuerdo con Ennomotiva (2023), por cada 1000 g de producción se emiten a la atmosfera 900g de CO₂. Es coherente con lo que menciona (Rodgers, 2018):

“Si la industria del cemento fuera un país, sería el tercer emisor de CO₂ más grande del mundo, detrás de China y EE.UU. Emite a la atmósfera más CO₂ que el combustible de aviación (2,5%) y no está muy lejos del que emite el negocio mundial de la agricultura (12%)”

Gracias a esto, se evidencia que el concreto se ha definido como uno de los materiales más contaminantes, especialmente por el origen y tratamiento de sus materias primas; aun así, ha sido uno de los materiales más prácticos durante la historia para la construcción de ciudades, obligando el uso de este para abastecer el crecimiento poblacional. Hoy en día, el reto ha crecido de tal forma que el concreto se vio con la obligación de evolucionar según las necesidades sociales y ambientales, y al mismo tiempo se mitigue los daños del uso de este. Uno de los avances generados se dio con el concreto de alta resistencia.

Cuando se habla de un concreto de alta resistencia, se debe tener en cuenta que es aquel que en general tiene una resistencia mínima a la compresión de 40 MPa (6000 psi) (NRMCA), y es usado comúnmente para obras que soliciten este tipo de resistencia. En Colombia, debido al desconocimiento de las bondades de los concretos de alta resistencia, la resistencia promedio con la que se trabaja es de tan solo 24 MPa, resistencia comparativamente baja con respecto a otros países donde la resistencia promedio se encuentra a 48 MPa (Velandia, s.f.). Aun así, Colombia presenta las mismas necesidades al querer abastecer el crecimiento poblacional y mitigar la afectación ambiental. Según las características específicas del concreto de alta resistencia, este puede considerarse un concreto de alto desempeño, pues la resistencia no es la única propiedad mejorada, sino también su durabilidad (PSI, 2021) y entre otras.

Teniendo en cuenta lo ya descrito, se puede destacar que el desarrollo de concretos de alta resistencia desencadena en la sociedad una disminución de gases efecto invernadero por la menor cantidad de cemento que se requiere para la ejecución de una obra civil, comparada con las secciones y reforzamientos que requiere una estructura de tipo convencional de 21Mpa. Si bien es cierto que el costo directo del concreto es mayor, a largo plazo su valor disminuye dado que, los concretos de alta resistencia

conlleven a tener menores relaciones agua cemento, lo que genera una disminución en su porosidad interna y por consiguiente el aumento de la vida útil de la estructura ejecutada. Es decir que, a mayor durabilidad del concreto, se genera menores gastos para el propietario de la obra en cuanto a mantenimientos periódicos preventivos o correctivos, lo que a la postre, repercute en la economía, ya sea de privados (empresa, industria entre otros) o pública por proyectos de infraestructura o bienestar social ciudadano.

En este sentido, el desarrollo de concretos de altas resistencias se ha vuelto una necesidad en la sociedad actual, debido a que permite la ejecución de luces y espacios más grandes, altos y la disminución de material; es decir, se puede considerar una forma de mitigar estas reacciones naturales, sin causar afectaciones en sus propiedades mecánica. Es por ello que el presente proyecto se ve en la necesidad de presentarle al ingeniero civil en formación, la importancia de reconocer uno de los avances tecnológicos más aplicados del concreto, desde un concepto práctico y a su alcance, ya que se ilustra pruebas con equipos utilizados desde la Universidad La Gran Colombia sede Bogotá desde el Semillero de Materiales de Construcción y Sostenibilidad SEIMAS, abriendo la ejecución del presente proyecto, el cual se debe tener en cuenta que hace parte de un gran trabajo que aporta a otro de especialización, denominado "Concreto Avanzado de Alta Resistencia", descrito por el estudiante de la universidad Sebastián Moreno, y que en el presente responderá a la pregunta: ¿Cómo realizar un diseño de mezclas para concreto de alta resistencia de 42 Mpa en los laboratorios de la Universidad La Gran Colombia Sede Bogotá?

Objetivos

Objetivo General

Elaborar el diseño de mezclas que permita obtener un concreto de 42Mpa de resistencia, siguiendo los parámetros establecidos en la literatura para esta clase de concreto.

Objetivos Específicos

Identificar que ensayos se requieren realizar a los materiales constitutivos del concreto que permitan la ejecución de un diseño de mezclas que satisfaga las condiciones de resistencia propuestas.

Determinar el porcentaje necesario para cada material con el fin de realizar un diseño de mezclas que satisfaga las condiciones de resistencia propuestas.

CAPITULO I

Marco Teórico

Una mezcla de concreto se debe diseñar tanto para estado fresco como para estado endurecido. Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de manejabilidad, resistencia, durabilidad y economía; donde se refiere que el costo de la elaboración de una mezcla de concreto está constituido básicamente por el costo de los materiales, equipo y mano de obra (Osorio, 2023) En el medio colombiano las obras se construyen con concreto de resistencia a la compresión normal de 21MPa. Se piensa que es un concreto económico y que equivocadamente satisface los requerimientos de cualquier tipo de obra. Concretos con mayor desempeño que el de 21 MPa, pueden significar un proceso de adaptación a estructuras sostenibles y duraderas, en el tiempo que no requerirán mayor inversión en mantenimiento (Benavides, 2014). Según esto, se concuerda con lo mencionado por (Herrera, 1998): “comúnmente se pasa por alto el concepto de concreto reforzado debido a diversos factores como pueden ser:

- La inercia existente entre la mayoría de los diseñadores a seguir diseñando con criterios anticuados, basados principalmente en la resistencia del concreto a la compresión.
- La creencia errónea, por parte del constructor, de que, al contemplar el aspecto de la durabilidad por corrosión del acero, los costos se pueden incrementar.
- Aunque este aspecto se haya contemplado en la etapa de proyecto, en algunas ocasiones la incapacidad técnica del personal encargado de la supervisión de la obra durante la etapa de construcción, quien, por desconocimiento de los problemas de durabilidad, no siguen al pie de la letra las especificaciones de construcción.

- Las obras comúnmente resultan mal construidas y poco durables, por el desconocimiento de la importancia de los factores involucrados” Por estos factores, se reconoce la alta importancia de que el estudiante de Ingeniería indague sobre los avances del concreto.

En el caso de concretos de alto desempeño, “las propiedades típicas pueden involucrar alta resistencia a la compresión, alto módulo de elasticidad, así como manejabilidad y larga vida de servicio en condiciones medioambientales severas. No se puede afirmar que concretos con resistencias a la compresión inferiores a 42MPa tengan un mal desempeño; el alto desempeño identifica el incremento de cualidades que favorecen a un tipo de estructura, sometida a sollicitaciones específicas de diseño estructural y preservación en el tiempo”. (Benavides, 2014).

1.1. Marco Referencial

1.1.1. Propiedades del concreto de alta resistencia

El concreto de alta resistencia es una mezcla de concreto que se caracteriza por tener propiedades mecánicas superiores en comparación con el concreto convencional. A continuación, se enumeran algunas de las propiedades típicas del concreto de alta resistencia:

1.1.1.1 Resistencia a la compresión:

El concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión significativamente mayor que el concreto convencional. Generalmente, se define como concreto de alta resistencia aquel que tiene una resistencia a la compresión superior a 40 megapascales (MPa).

1.1.1.2 Módulo de elasticidad:

El módulo de elasticidad del concreto de alta resistencia suele ser más alto que el del concreto convencional. Esto significa que el concreto de alta resistencia es más rígido y tiene una mayor capacidad para soportar cargas sin deformarse excesivamente.

1.1.1.3 Durabilidad:

A menudo, el concreto de alta resistencia tiene una mejor durabilidad en términos de resistencia a la abrasión, a los ciclos de congelación y descongelación, y a la corrosión de las armaduras. Esto se debe a la calidad de los materiales utilizados y a la reducción de porosidad en la mezcla.

1.1.1.4 Relación agua-cemento baja:

El concreto de alta resistencia generalmente tiene una relación agua-cemento baja, lo que contribuye a una mayor resistencia y durabilidad. La baja relación agua-cemento ayuda a reducir la porosidad y mejorar la capacidad del concreto para resistir la penetración de agentes agresivos.

1.1.1.5 Trabajabilidad:

Aunque el concreto de alta resistencia tiende a tener una relación agua-cemento baja, los aditivos superplastificantes se utilizan a menudo para mejorar su trabajabilidad. Esto facilita la colocación y consolidación del concreto durante la construcción.

1.1.1.6 Reducción del tamaño de agregados:

En algunos casos, se utilizan agregados de menor tamaño para incrementar la resistencia del concreto de alta resistencia. Sin embargo, esto puede afectar la trabajabilidad, y es importante encontrar un equilibrio adecuado entre resistencia y manejabilidad.

1.1.1.7 Retracción reducida:

El concreto de alta resistencia puede tener una retracción reducida, lo que es beneficioso para minimizar la formación de grietas en el concreto.

1.1.2. Normatividad

En Colombia, el uso y producción de concreto de alta resistencia están regulados por normas y especificaciones técnicas establecidas por entidades como el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Algunas de las normas más relevantes incluyen:

Norma Técnica Colombiana (NTC) 673 - Cemento Portland de Alta Resistencia:

Esta norma establece los requisitos y métodos de prueba para el cemento Portland de alta resistencia, que es un componente fundamental en la producción de concreto de alta resistencia.

Norma Técnica Colombiana (NTC) 121 - Concreto de Alta Resistencia:

Esta norma establece los requisitos y métodos de prueba para el concreto de alta resistencia. Incluye aspectos como la composición de la mezcla, las proporciones de los ingredientes, las pruebas de resistencia y otros aspectos relevantes para garantizar la calidad del concreto.

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10):

Este reglamento establece los requisitos para el diseño y la construcción de estructuras sismo resistentes en Colombia. Puede incluir especificaciones relacionadas con la resistencia del concreto y otros materiales utilizados en la construcción.

Norma Técnica Colombiana (NTC) 175 - Concreto: Requisitos generales para la durabilidad:

Esta norma establece los requisitos generales para la durabilidad del concreto, incluyendo aspectos relacionados con la resistencia a la corrosión, la abrasión, y otros factores que pueden afectar la vida útil del concreto.

1.1.3 Método ACI

El método ACI (American Concrete Institute) es un conjunto de prácticas y normativas desarrollado por el American Concrete Institute, una organización líder en el ámbito de la investigación y

el desarrollo de estándares para el concreto. El ACI proporciona pautas para el diseño, la construcción, la inspección y el mantenimiento del concreto.

En el contexto del diseño de estructuras de concreto, el método ACI se centra en la resistencia a la flexión y a la compresión del concreto, así como en la capacidad de las armaduras para resistir esfuerzos de tracción.

El método ACI para el diseño de mezcla de concreto implica varios pasos, y la información detallada se encuentra en la norma ACI 211.1 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete". Un resumen paso a paso del proceso de diseño de mezcla según el método ACI se describe a continuación:

Requisitos Iniciales:

Determinar los requisitos del proyecto, como resistencia del concreto, exposición al ambiente, tamaño máximo del agregado y condiciones de curado.

Propiedades del Cemento y Materiales Cementantes:

Conocer las propiedades del cemento, las cenizas volantes, la escoria y otros materiales cementantes que se utilizarán en la mezcla.

Propiedades del Agregado:

Obtener información sobre las propiedades del agregado, como tamaño máximo y mínimo, forma, densidad, absorción y humedad.

Relación Agua-Cemento:

Determinar la relación agua-cemento inicial basándose en la resistencia requerida, las condiciones de exposición y las propiedades de los materiales.

Relación Agua-Cemento Efectiva:

Ajustar la relación agua-cemento inicial para tener en cuenta las características del agregado y otros aditivos presentes en la mezcla.

Contenido de Aire:

Calcular y ajustar el contenido de aire si es necesario, especialmente para resistir la congelación y descongelación.

Proporciones de Mezcla:

Utilizar métodos específicos para determinar las proporciones de agregado y agua necesarias para cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad.

Ajustes Finales:

Realizar ajustes finales en la mezcla, como correcciones por la variabilidad de los materiales y consideraciones prácticas del proceso de colocación y curado.

Se debe tener en cuenta que la norma ACI 211.1 proporciona ecuaciones y métodos específicos para realizar estos cálculos.

1.2. Marco contextual

1.2.1. Bases teórico científicas

Las propiedades mejoradas del concreto de alta resistencia, se logran mediante la utilización de materiales de alta calidad y técnicas de mezcla específicas, como:

1.2.1.1 Proporciones de mezcla

La base teórica del concreto de alta resistencia, incluye la determinación de las propiedades adecuadas de los componentes del concreto, como el cemento, los agregados, el agua y, en algunos casos, aditivos químicos. La relación agua-cemento es crítica para lograr resistencia elevada.

1.2.1.2 Materiales de alta calidad

La calidad de los materiales constituyentes del concreto (cemento, agregados, agua) es esencial para el concreto de alta resistencia. El uso de cemento de alta resistencia, agregados duros y limpios, así como agua de calidad, contribuye significativamente a la mejora de las propiedades mecánicas.

1.2.1.3 Adiciones minerales

La incorporación de adiciones minerales como la sílice activa (humo de sílice) o las escorias de alto horno puede mejorar la resistencia y durabilidad del concreto. Estos materiales reactivos pueden aumentar la densidad de la matriz de concreto y reducir la porosidad.

1.2.1.4 Curado

El proceso de curado del concreto es fundamental. Un adecuado curado, ya sea por medio de métodos húmedos o utilizando compuestos de curado, es esencial para permitir el desarrollo completo de las propiedades mecánicas.

1.2.1.5 Tamaño de partículas de agregados

La granulometría y el tamaño de partícula de los agregados también juegan un papel crucial en las resistencias del concreto. La utilización de agregados finos y gruesos bien graduados puede mejorar compactibilidad y la resistencia.

1.2.1.6 Aditivos superplastificantes

El uso de aditivos de superplastificantes puede mejorar la trabajabilidad del concreto sin comprometer la relación agua-cemento, lo que resulta en un concreto más denso y de mayor resistencia.

1.2.1.7 Diseño estructural

La base teórica de diseño estructural para el concreto de alta resistencia implica consideraciones específicas para aprovechar al máximo sus propiedades. Esto puede incluir el uso de secciones más delgadas y detalles de refuerzo.

1.2.1.8 Investigación y desarrollo continuo

La investigación continua en el campo del concreto de alta resistencia contribuye a mejorar las formulaciones y técnicas de producción. La comprensión de los procesos de hidratación del cemento y la microestructura del concreto es crucial para optimizar su rendimiento.

1.2.2. El Concreto

En Colombia, el concreto desempeña un papel crucial en el desarrollo de la infraestructura, la construcción de viviendas y el crecimiento económico, siendo un material ampliamente empleado en las edificaciones modernas, como apartamentos, oficinas y centros comerciales. Suelen utilizar concreto en diversas formas, desde columnas y vigas hasta losas y muros, desempeñando un papel importante especialmente en viviendas de interés social, pues estas buscan la eficiencia en costos y la durabilidad para proporcionar soluciones habitacionales a un amplio segmento de la población, por lo que el concreto, ha auxiliado el crecimiento urbano. Gracias a esto, el país enfrenta desafíos en términos de mantenimiento de infraestructuras existentes, gestión de riesgos naturales y adaptación a condiciones climáticas cambiantes. El concreto, junto con prácticas de construcción adecuadas, se considera una herramienta clave para abordar estos desafíos y aprovechar oportunidades de desarrollo.

El concreto hidráulico en la actualidad se compone básicamente de cemento portland, agua, aire, agregados y aditivos (Gavilanes, 2021).

1.2.3. Concreto de alta resistencia

El concreto de alta resistencia en Colombia está experimentando un crecimiento significativo, impulsado por la demanda de estructuras más eficientes y seguras gracias al crecimiento poblacional. La combinación de normativas específicas, investigación continua y aplicación en proyectos clave contribuye al desarrollo sostenible de esta tecnología en el contexto colombiano. Es por ello que la investigación y el desarrollo de nuevas mezclas de concreto de alta resistencia son áreas activas en la ingeniería civil colombiana. La búsqueda de materiales locales y sostenibles, así como la optimización de mezclas para adaptarse a condiciones climáticas específicas, son temas de interés, puesto que esta permite la construcción de estructuras más delgadas y ligeras sin sacrificar la resistencia, lo que puede traducirse en eficiencia de materiales y reducción de la huella ambiental. Además, se exploran enfoques para mejorar la sostenibilidad mediante la incorporación de materiales reciclados. Aunque este ofrece numerosas ventajas, también presenta desafíos, como la necesidad de técnicas de curado más cuidadosas y control de calidad riguroso. Los desafíos económicos y logísticos asociados con la adquisición de materiales de alta calidad también deben abordarse, por lo que se debe intensificar la capacitación y concientización entre profesionales de la construcción sobre las ventajas y consideraciones específicas del concreto de alta resistencia. Esto incluye la formación en técnicas de diseño, mezcla y construcciones adaptadas a las propiedades particulares del concreto de alta resistencia.

1.2.4. Componentes del concreto de alta resistencia

1.2.4.1 Cemento

En Colombia, se utiliza cemento Portland que mejore las características solicitadas del concreto. En este caso, debe mejorar la resistencia y la durabilidad, por lo que se ve en la

necesidad de utilizar cemento Portland con adiciones (cemento ART). Estas adiciones pueden incluir escoria de alto horno, cenizas volantes, humo de sílice u otros materiales puzolánicos.

1.2.4.2 Agregados

Los agregados utilizados en el concreto de alta resistencia en Colombia incluyen gravas y arenas de alta calidad. La selección cuidadosa de agregados es esencial para garantizar la resistencia y durabilidad del concreto.

1.2.4.3 Adiciones minerales

El concreto de alta resistencia en Colombia a menudo incorpora adiciones minerales, como humo de sílice. Estos materiales mejoran las propiedades del concreto, como la resistencia a la compresión y la durabilidad.

1.2.4.4 Aditivos

Se emplean aditivos químicos, como superplastificantes y reductores de agua, para mejorar la trabajabilidad del concreto sin comprometer la relación agua-cemento. Estos aditivos son fundamentales para lograr mezclas más homogéneas y con mayores resistencias.

1.2.4.5 Relación Agua – Cemento (a/c)

En la fabricación de concreto de alta resistencia, se presta especial atención a la relación agua-cemento. Mantener una baja relación a/c es esencial para maximizar la resistencia del concreto sin sacrificar la trabajabilidad.

1.3. Marco histórico - Antecedentes

Los concretos de alto desempeño están orientando esfuerzos hacia el reciclaje, la reutilización, la recuperación de materiales y uso eficiente de los recursos, que le permita ser sostenible en el tiempo (Benavides, 2014)

Se dice que el concreto era un material muy noble ya que muy a menudo, al estar trabajando, se le exigía soportar esfuerzos o ataques que, por desconocimiento, no fueron contemplados en la etapa de diseño; entre éstos, la corrosión del acero de refuerzo propiciada por la carbonatación del concreto por el ataque del CO₂ (Herrera, 1998).

En sí en la actualidad, el diseño del concreto de alta resistencia debe plantearse con un ciclo de vida donde se orienta desde la extracción de materias primas, a la reutilización de las mismas para favorecer la sostenibilidad, durabilidad y reusó. El ciclo de vida del concreto incluye las fases de: ·Adquisición de materias primas · Producción · Construcción · Uso: operaciones y mantenimiento · Reciclado (Benavides, 2014)

La resistencia mecánica de este concreto llega a ser siete veces más grande que la de un concreto convencional. Por ello, hace posible construir estructuras más ligeras por demandar menor 4 volumen para lograr una misma resistencia estructural, además de permitir moldear formas más abiertas a la creatividad de los arquitectos. La porosidad del material es cero, y, por lo tanto, la durabilidad de este concreto deberá ser mayor (Oliveira, 2019), siendo una solución al crecimiento y desarrollo poblacional de las ciudades.

Se reconoce como una solución que aporta durabilidad y optimiza el uso de materiales constructivos en elementos estructurales (Argos, 2022).

CAPITULO II

Aspectos Metodológicos

Esta investigación será de tipo descriptivo- experimental y correlacional; descriptivo - experimental dado que busca especificar las propiedades y características del diseño de mezclas realizado en el laboratorio de la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia; con lo cual se pretende recoger información sobre las variables que influyen en la elaboración de un concreto de alta resistencia (Hernández Sampieri, 2014). A su vez, será de tipo correlacional debido a que se requiere conocer la relación que existe entre la cantidad de cemento y el porcentaje de agregado grueso y fino, como influye los aditivos tanto reductores de agua como plastificantes en la muestra propuesta. (Hernández Sampieri, 2014).

2.1. Hipótesis y variables

2.1.1 Formulación de la hipótesis

Según lo plasmado, y teniendo en cuenta la pregunta problema ya descrita, se formula la siguiente hipótesis:

El diseño de mezcla propuesto en el presente escrito permite obtener un concreto de más de 42 MPa de resistencia, siguiendo los parámetros establecidos por la literatura colombiana, y generando flexibilidad en las exigencias de los equipos y metodología a utilizar.

2.1.2 Variables – operacionalización

- Variable independiente: Diseño de mezclas propuesto en el presente escrito.
- Variable dependiente: Resistencia del concreto (medida en megapascales, MPa).

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ÍNDICE
INDEPENDIENTE	DISEÑO DE MEZCLAS PROPUESTO EN EL PRESENTE ESCRITO.	PROPORCIONES ESPECÍFICAS DEL CEMENTO, AGREGADOS Y AGUA SEGÚN EL DISEÑO PROPUESTO.	REVISIÓN DOCUMENTAL DEL DISEÑO DE MEZCLA PROPUESTO.	ÍNDICE DE CUMPLIMIENTO CON EL DISEÑO PROPUESTO.
		USO DE ADITIVOS O ADICIONES ESPECIALES SEGÚN LA PROPUESTA.	REGISTRO DE LA PRESENCIA Y CANTIDAD DE ADITIVOS EN LA MEZCLA.	ÍNDICE DE UTILIZACIÓN DE ADITIVOS SEGÚN DISEÑO.
		PARÁMETROS ESPECÍFICOS DE MEZCLA (RELACIÓN AGUA - CEMENTO, TIPO DE CEMENTO, ETC).	MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE AGUA CEMENTO Y TIPO DE CEMENTO.	ÍNDICE DE CUMPLIMIENTO CON PARÁMETROS DE MEZCLA.
DEPENDIENTE	RESISTENCIA DEL CONCRETO (MEDIDA EN MPA).	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO MEDIDA MEDIANTE PRUEBAS ESTANDARIZADAS.	ENSAYOS DE COMPRESIÓN UNIAXIAL SEGÚN NORMATIVAS COLOMBIANAS.	VALOR NUMÉRICO DE RESISTENCIA EN MEGAPASCALES (MPA).

Tabla 1 Operacionalización de variables

(fuente propia).

2.1.3 Indicadores de muestra

2.1.3.1 Muestra en cilindros

Se lleva a cabo el ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 673.

- Número de Especímenes:

Se está realizando un total de 9 especímenes cilíndricos de concreto.

- Edades de Ensayo:

La muestra se divide en tres grupos, cada uno con una edad de ensayo diferente:

3 especímenes se ensayarán a los 7 días.

3 especímenes se ensayarán a los 14 días.

3 especímenes se ensayarán a los 28 días.

- Dimensiones de los Especímenes:

Los especímenes son cilíndricos y tienen una dimensión de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura.

- Camisas:

Los especímenes se ensayarán utilizando camisas de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura. Las camisas son dispositivos cilíndricos que rodean los especímenes y brindan apoyo durante el ensayo.



Figura 1 Camisa para especímenes de concreto
(fuente propia)

- Curado:

Los especímenes se someterán a un curado continuo bajo las condiciones propuestas por el laboratorio de materiales y la normativa vigente. El curado es un proceso crítico que afecta las propiedades del concreto y se realiza para garantizar que los especímenes alcancen resistencias deseadas.

2.1.3.2 Muestra en vigas

Se lleva a cabo el ensayo de resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada cargada en el punto central de acuerdo con el Instituto Nacional de Vías INV E 415 - 13.

- Número de Especímenes:

Se está realizando un total de 6 especímenes de concreto.

- Dimensiones de los Especímenes:

Los especímenes son cúbicos y tienen una dimensión de 15 cm de ancho, 15 cm de alto y 53 cm de profundidad.

- Camisas:

Los especímenes se ensayarán utilizando camisas de las dimensiones ya mencionadas. Las camisas son dispositivos cúbicos que rodean los especímenes y brindan apoyo durante el ensayo.

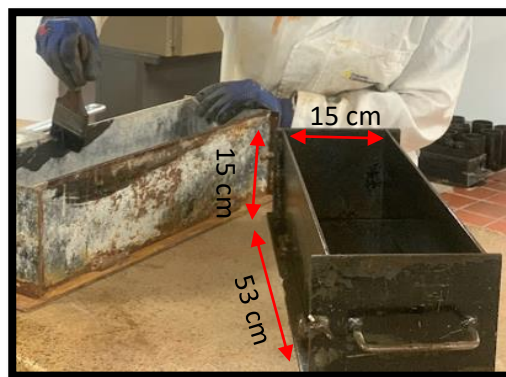


Figura 2 Camisa para espécimen de viga

(fuente propia)

- Curado:

Estos especímenes, así como los cilindros, se someterán a un curado continuo bajo las condiciones propuestas por el laboratorio de materiales y la normativa vigente. El curado es un proceso crítico que afecta las propiedades del concreto y se realiza para garantizar que los especímenes alcancen resistencias deseadas.

2.2 Métodos, técnicas e instrumentos recolección de datos

La fase investigativa implica la recopilación de datos fidedignos provenientes de fuentes bibliográficas existentes, con el propósito de facilitar el desarrollo preciso y fundado del presente trabajo de investigación. Las fuentes aplicadas y utilizadas se basan especialmente en:

- Bibliografía.
- Manual de diseño de mezclas de concreto ACI 211.
- Normas Técnicas Colombianas (NTC).
- Normas ASTM.

2.2.1 Ensayos de muestra de estudio

2.2.1.1 Densidad del cemento.

La densidad del cemento se refiere a la masa de una unidad de volumen específico de cemento. Es una medida de cuánta masa está contenida en un determinado volumen de cemento. La densidad se expresa comúnmente en unidades como kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) en el sistema métrico. Esta es un parámetro clave en el diseño de mezclas de concreto, ya que impacta directamente en la proporción de ingredientes, la relación agua-cemento y, en última instancia, en las propiedades del concreto endurecido. Un diseño de mezcla preciso es esencial para lograr el rendimiento y la durabilidad deseados en las estructuras de concreto.

Para esto, se tiene en cuenta lo descrito en la Norma Técnica Colombiana NTC 221: “Ingeniería civil y arquitectura. Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico”, donde describe el siguiente proceso para el respectivo ensayo:

2.2.1.1.1 Aparatos para la determinación de la densidad del cemento.



El frasco de Le Chatelier, también conocido como frasco de Le Chatelier-Bouyoucos, es un dispositivo utilizado en la determinación de la expansión volumétrica del cemento hidráulico durante el proceso de fraguado.

El frasco de Le Chatelier consiste en un pequeño recipiente de vidrio en forma de bulbo, conectado a un cuello delgado y graduado. El método del frasco de Le Chatelier se rige por normas específicas, como la Norma ASTM C151 en los Estados Unidos, y se utiliza en laboratorios de control de calidad de materiales de construcción para evaluar la expansión de cementos hidráulicos.

Figura 3 frasco de Le Chatelier usado para hallar la densidad del cemento.

(fuente propia)

2.2.1.1.2 Procedimiento para la determinación de la densidad del cemento.

Primero se inserta Kerosene libre de aire dentro del frasco. Como lo indica la norma en la página 3, debe ser hasta un punto situado entre las marcas 0 ml y 1 ml, anotando esta primera lectura. En este caso, la primera lectura se evidencia en 0.9 ml.



Figura 4 Primera lectura en frasco de Le Chatelier.

(fuente propia)

Luego de esto, se debe tomar $64 \text{ gramos} \pm 0.05 \text{ gramos}$ de cemento y se inserta en el frasco con el kerosene en pequeñas cantidades, con la ayuda de un embudo, con el fin de evitar salpicaduras y/o adherencias del cemento. Después de finalizar este paso, se coloca el tapón en el frasco y se gira con cuidado en círculos horizontales para retirar las burbujas de aire que estén dentro de la mezcla. Luego de 24 horas, se toma la lectura final.



Figura 5 Procedimiento norma NTC 221
(Fuente propia)

Este procedimiento se repite en tres ocasiones, con el fin de obtener poder sostener una similitud en los resultados y un respectivo promedio de los mismos.



Figura 6 frascos de Le Chatelier utilizados para determinar promedio.

2.2.1.1.3 Cálculos para la determinación de la densidad del cemento.

Para determinar la densidad del cemento (r), la norma nos establece lo siguiente:

$$r = \frac{\text{Masa del cemento (g)}}{\text{Volumen desplazado (cm}^3\text{)}}$$

2.2.2 Ensayos de los materiales

Se precisa que los materiales bajo análisis corresponden a los agregados empleados en la formulación de la mezcla. Resulta pertinente indicar que el material en cuestión está resguardado en las instalaciones del laboratorio de la Facultad de Ingenierías de la Universidad La Gran Colombia, ubicada en la Sede Bogotá. Aunque la procedencia precisa de dichos materiales no se encuentra completamente documentada, su manipulación se halla sujeta a estricta regulación y supervisión por parte de los profesionales del laboratorio dentro de la institución universitaria. Este enfoque tiene como propósito evaluar la capacidad inherente de estos materiales y garantizar la aplicabilidad del método descrito, especialmente considerando que estos agregados son empleados de manera rutinaria por la universidad en prácticas de laboratorio.

En virtud de lo expuesto, previo a la consideración para la utilización de los agregados, se ejecuta el procedimiento correspondiente delineado en la norma INV E – 102, "Descripción e Identificación de Suelos (Procedimiento Visual y Manual)". Este protocolo se lleva a cabo con el propósito de clasificar los agregados y verificar si su implementación incide o no en los resultados del estudio.

Gracias a ello, se comprende que estos agregados corresponden a materiales producto de trituración, areniscas. La norma lo describe como: "Arenisca triturada – Producto de una trituradora comercial, se puede describir como "Arena pobremente gradada con limo (SP-SM)", correspondiendo 90% a una arena media y el 10% restante a finos amarillentos no plásticos" (ICONTEC, INV E – 102, 2013).

2.2.2.1 Análisis granulométrico de agregado fino y agregado grueso

Considerando la información detallada en el numeral 2.2.2 y tras verificar la idoneidad del agregado para el propósito actual, se procede a llevar a cabo un análisis de tamaño conforme a las disposiciones establecidas en las Normas Técnicas Colombianas NTC 174 y NTC 77.

2.2.2.1.1 Agregado fino

Según la NTC 174, en su numeral 6.1 Análisis granulométrico, este debe estar clasificado dentro de los siguientes límites (NTC 174, 2000):

Tabla 2 Clasificación agregado fino

Tamiz NTC 32 (ASTM E 11)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 µm	25 a 60
300 µm	10 a 30
150 µm	2 a 10

(Fuente: NTC 174, numeral 6.1, página 6).

2.2.2.1.2 Procedimiento desarrollo de granulometría agregado fino

Se realiza la toma de una muestra no inferior a 400 gramos, la cual es sometida a un proceso de secado en un horno, conforme a las indicaciones establecidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 77, a una temperatura de 100°C, durante un periodo aproximado de 24 horas. Una vez obtenido el agregado completamente seco, se extrae una muestra de 300 gramos para dar inicio al procedimiento de tamizado.

El tamizado se lleva a cabo de manera manual, con la manipulación individual de cada tamiz equipado con tapa y base. Durante esta operación, se aplican movimientos oscilatorios de vaivén con el propósito de facilitar la separación de las partículas a través de los tamices. Inicialmente, se procede con

el paso del 100% del material a través del tamiz de 9,5 mm; una vez confirmado el paso total, se repite el proceso con los 300 gramos en el tamiz de 4,75 mm. Posteriormente, las partículas que han pasado a través de este último tamiz se someten a un tamizado ascendente, abarcando desde el tamiz de 2,36 mm hasta el de menor tamaño, que posee una medida de 74 μm .



Figura 7 Procedimiento granulométrico agregado fino

(fuente propia)

Para concluir, se procede a registrar los pesos individuales del material que ha quedado retenido en cada tamiz, incorporándolos de manera sistemática al formato de resultados correspondiente.

2.2.2.1.3 Agregado grueso

Según la NTC 174, en su numeral 10 Gradación, este debe estar clasificado dentro de los siguientes límites (NTC 174, 2000):

Tabla 3 Requisitos de gradación para agregado grueso

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25- 60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

(Fuente: NTC 174, numeral 10., página 8).

2.2.2.1.4 Procedimiento desarrollo de granulometría agregado grueso

El procedimiento para el agregado grueso, es similar al del agregado fino, solo que se debe tener en cuenta las especificaciones establecidas en la norma colombiana para este.

Se toma de una muestra no inferior a 1200 gramos, la cual es sometida a un proceso de secado en un horno, conforme a las indicaciones establecidas por la Norma Técnica Colombiana NTC 77, a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante un periodo aproximado de 24 horas. Una vez obtenido el agregado completamente seco, se extrae una muestra de 1000 gramos para dar inicio al procedimiento de tamizado.

El tamizado, así como el proceso anterior, se lleva a cabo de manera manual, con la manipulación individual de cada tamiz equipado con tapa y base. Inicialmente, se procede con el paso del 100% del material a través del tamiz de 19 mm; una vez confirmado el paso total, se repite el proceso con los 1000 gramos en el tamiz de 12 mm. Posteriormente, las partículas que han pasado a

través de este último tamiz se someten a un tamizado ascendente, abarcando desde el tamiz de 9,5 mm hasta el de menor tamaño, que posee una medida de 2,36 mm. De la misma forma, para concluir, se procede a registrar los pesos individuales del material que ha quedado retenido en cada tamiz, incorporándolos de manera sistemática al formato de resultados correspondiente.



Figura 8 Procedimiento granulométrico agregado grueso

(fuente propia)

2.2.2.2 Absorción de agregado fino y agregado grueso

En la continuación del análisis del agregado y con miras al diseño de mezclas, se estima imperativo examinar el porcentaje de absorción de cada componente. Esta consideración es esencial dado que las variaciones en la absorción pueden incidir en el resultado esperado del cálculo de la

relación agua-cemento. La posibilidad de que los agregados retengan agua, la cual es contemplada en dicho cálculo, fundamenta la necesidad de evaluar y cuantificar el porcentaje de absorción de cada material involucrado.

2.2.2.1.1 Absorción y densidad del agregado fino

Para este proceso, se tiene en cuenta lo establecido en la Norma Técnica Colombia NTC 237 “Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino”. Es importante mencionar que, Los valores de la absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros saturables, comparado con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para satisfacer la mayoría del potencial de absorción (NTC 237, numeral 3.3, página 2).

2.2.2.1.2 Procedimiento para el cálculo de la Absorción y densidad del agregado fino

Los materiales usados son: Balanza, picnómetro, molde y pisón.

Conforme a las directrices consagradas en el numeral 6.1.2 de la norma, y considerando que el agregado se destina al diseño de mezclas y su entorno operativo implica condiciones de humedad constante, no se requiere llevar a cabo el proceso de secado y/o humedecimiento previo, tal como se indica para la preparación convencional de la muestra, por ende, se procede a tomar un porcentaje del agregado fino, y se inicia con el ensayo de cono para la humedad superficial, lo cual consiste en sostener un respectivo molde cónico firmemente sobre una superficie plana, se va insertando el material dentro del cono hasta que este esté lleno, y se apisona el agregado 25 veces con un pisón en caída libre. Luego de esto, se remueve el exceso del cono, y se levanta verticalmente.

La norma de igual forma en su numeral 6.2.1 Ensayo de Cono para la humedad superficial, establece que: si la humedad superficial está todavía presente, el agregado conservará la forma del molde. Cuando el agregado fino se asienta levemente, ello indica que ha alcanzado la condición

superficialmente seca (NTC 237, numeral 6.2.1, página 4). En este caso, el agregado mantenía humedad mayor a la requerida para el ensayo, por lo que se tuvo que hacer secados continuos, como lo establece la norma en el aporte número 4, del numeral 6.2.1 Ensayo de Cono para la humedad superficial, la cual es usando papel absorbente para secar el material hasta que tenga la consistencia deseada.



Figura 9 Ensayo de cono para la humedad superficial

(Fuente propia)

Después de que la mezcla ha satisfecho los criterios establecidos en la prueba de cono para determinar la humedad superficial, se extraen 500 gramos de esta muestra. Utilizando un frasco de Le Chatelier llenado hasta 1 ml con agua, y asegurándose de mantener la temperatura a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, se introduce el material en el frasco. Posteriormente, se emplea una bomba de vacío durante un lapso aproximado de 5 a 10 minutos con el propósito de eliminar los vacíos presentes en el interior del frasco. Luego de este procedimiento, se procede a pesar el frasco en una balanza. En caso de realizar la medición del peso específico del agregado fino, es necesario extraer la mezcla del frasco, colocarla en un recipiente y permitir que se seque en un horno. Después de transcurridas 24 horas, se procede a pesar el agregado ya seco.

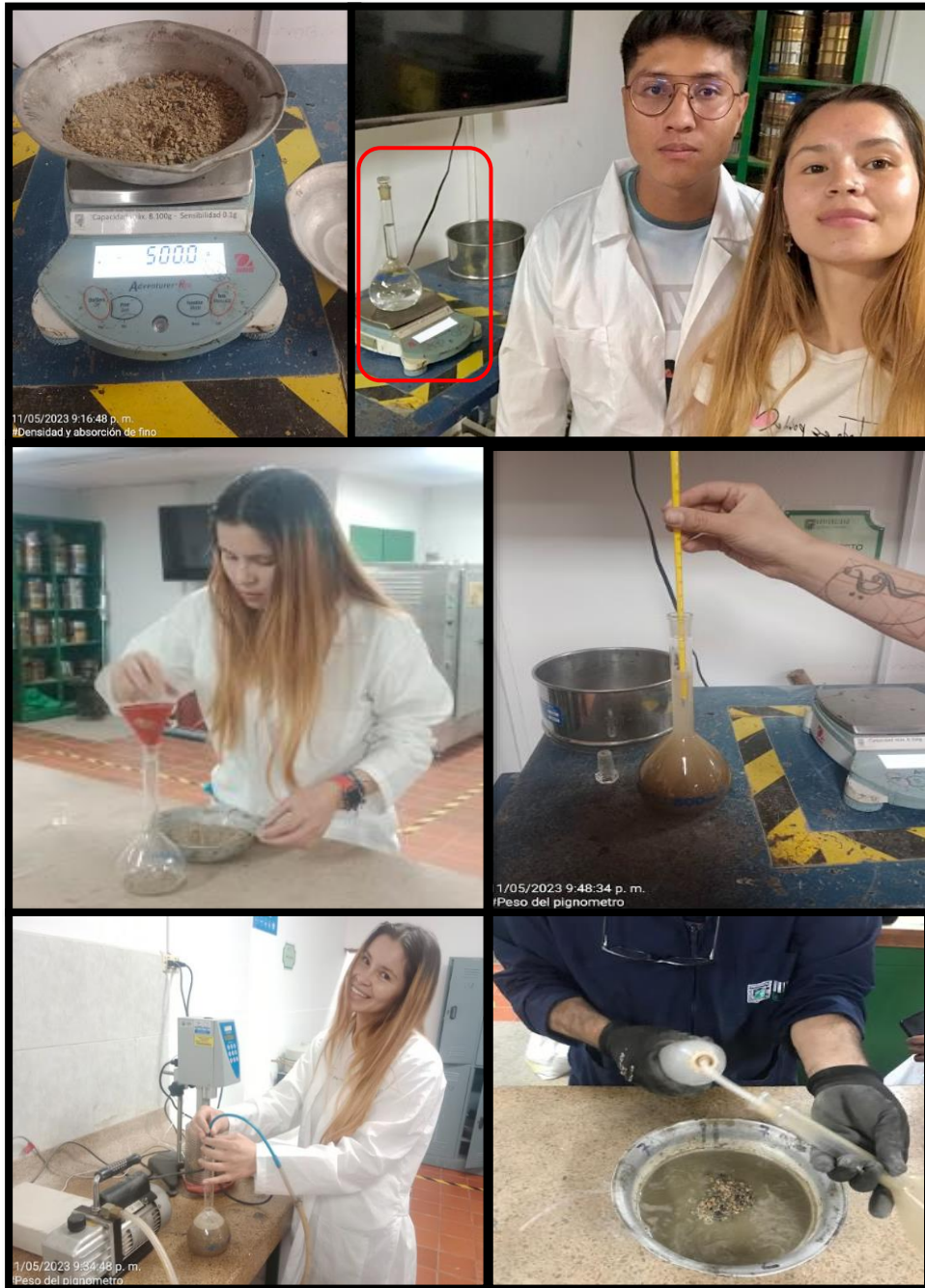


Figura 10 Procedimiento para el cálculo de la Absorción y densidad del agregado fino

(Fuente propia)

2.2.2.1.3 Absorción y densidad del agregado grueso

Los materiales usados son: Balanza, Recipiente de la muestra, tanque de agua, tamices.

Para este proceso, se tiene en cuenta lo establecido en la Norma Técnica Colombia NTC 176 “Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso”. Es importante mencionar que, Los valores de la absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros saturables, comparado con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para satisfacer la mayoría del potencial de absorción (NTC 176, numeral 5.3, página 3).

2.2.2.1.4 Procedimiento para el cálculo de la Absorción y densidad del agregado grueso

Se procede a la obtención de una muestra del agregado, de la cual se separa la fracción que pasa a través del tamiz de 4,75 mm, dado que el recipiente destinado para el ensayo presenta una abertura aproximada y la inclusión de partículas de menor tamaño podría resultar en su escape del recipiente.

Una vez obtenida una cantidad mínima de 2 kilogramos, la muestra es sometida a un proceso de secado al aire hasta alcanzar una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, el agregado se coloca en el recipiente y se sumerge en agua a temperatura ambiente durante un período de 24 horas. Al concluir dicho periodo, se retira del agua y se procede a su secado nuevamente a temperatura ambiente hasta alcanzar un estado manipulable, momento en el cual se registra su peso final.



Figura 11 Procedimiento para el cálculo de la Absorción y densidad del agregado grueso

(fuente propia)

2.2.2.3. Masas unitarias del agregado

Calcular las masas unitarias de los agregados es una parte esencial del diseño de mezclas de concreto. La masa unitaria se refiere al peso de un volumen específico de agregado y es crucial para asegurar la proporción correcta de materiales en la mezcla de concreto. Para hacer el respectivo análisis se tiene en cuenta lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 92, numeral 11. Procedimiento por golpeteo del molde.

Los materiales usados son: Balanza, varilla de apisonamiento, molde y herramienta menor.

2.2.2.3.1 Procedimiento de masas unitarias del agregado

Se procede a la utilizar un molde cuyas dimensiones se ajustan a lo estipulado por la normativa correspondiente, y se lleva a cabo el proceso de llenado en tres etapas sucesivas. Es recomendable que, durante cada fase de llenado, se compacte la capa de agregado mediante 25 golpes uniformemente distribuidos sobre la superficie. Una vez que el molde ha sido llenado y compactado, se realiza la nivelación de la superficie de manera que el agregado quede contenido por debajo del borde y se ocupen posibles espacios vacíos. Finalmente se toma el peso del molde vacío y el molde con el material.



Se destaca que este procedimiento se realiza 3 veces con el fin de poder relacionar resultados y así mismo obtener un promedio.

Figura 12 Procedimiento de masas unitarias del agregado

(Fuente propia)

2.2.3 Método para realizar el diseño de mezcla

2.2.3.1 Datos base

Es necesario evaluar la suficiencia de los datos ya recopilados para llevar a cabo el diseño de mezcla correspondiente. En el momento actual, el análisis se centra en los siguientes aspectos:

- Densidad del tipo de cemento seleccionado.
- Análisis granulométrico de agregados.
- Densidad y absorción de los agregados.
- Peso unitario de los agregados.

Segun el capítulo 2 del libro “Diseño de Mezclas de concreto aplicando el método ACI”, de la Universidad Francisco de Paula Santander Colombia, estos datos son suficientes para poder aplicar el método ACI 211 en el diseño de mezclas.

2.2.3.2 Método del ACI 211

El método ACI (American Concrete Institute) establece estándares internacionales para el diseño y construcción de estructuras de concreto. Su importancia en Colombia radica en garantizar la calidad, seguridad y la incorporación de innovaciones en la construcción de infraestructuras de concreto, permitiendo la interoperabilidad con proyectos internacionales y considerando las condiciones locales. Esta norma describe paso a paso lo que se debe tener en cuenta para la dosificación de la mezcla:

- Paso 1: Selección de asentamiento

El método ACI, este paso lo clasifica con una tabla que generaliza el uso del material a estudio. Gracias a ello, al ser un diseño con lucro de estudio a la resistencia, se toma un concreto en masa (ver tabla 4).

Tabla 4 Asentamientos recomendados generales

Tipos de construcción	Asentamiento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75	25
Zapatas, cajones y muros de subestructura sin refuerzo	75	25
Muros y vigas reforzados	100	25
Columnas	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto en masa	50	25

Fuente: Adaptado del método ACI

- Paso 2: Selección tamaño máximo del agregado

Los tamaños máximos nominales de un agregado bien graduado presentan una menor proporción de vacíos en comparación con los tamaños más pequeños, lo que implica que requieren una cantidad inferior de mortero por unidad de volumen. En consecuencia, se obtienen resultados óptimos al reducir los tamaños nominales máximos, favoreciendo la consecución de elevadas resistencias con una proporción agua/cemento más baja. Basándonos en los resultados de los ensayos, se establece que el Tamaño Máximo Nominal (TMN) es de 9,5 mm.

- Paso 3: Estimación de contenido de agua

Continuando con lo mencionado en la norma, para conocer un estimado de la cantidad de agua a usar en la dosificación de la mezcla, de igual forma se generaliza en la tabla 5, verificando el asentamiento en mm, junto al tamaño máximo nominal.

Tabla 5 Cantidad de agua para el diseño

Agua en l/m ³ para el tamaño nominal máximo indicado								
Asentamiento (mm)	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Concreto sin entrada de aire								
25 a 50	208,1	199,2	187,3	178,4	163,5	154,6	130,8	113,0
75 a 100	228,9	217,0	202,2	193,2	178,4	169,5	145,7	124,9
150 a 175	243,8	229,0	214,1	202,2	187,3	178,4	160,5	-
Más de 175	-	-	-	-	-	-	-	-
Cantidad aproximada de aire en mezcla (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Fuente: Adoptado del método ACI

Teniendo en cuenta lo visualizado en la tabla 5, se comprende un valor de 208,1 l/m³.

- Paso 4: Relación agua/cemento

De manera similar, la normativa clasifica la relación agua-cemento según los parámetros establecidos en la tabla 6. Aunque la descripción inicial sugiere un concreto con una resistencia de 42 MPa a los 28 días, se propone calcular el diseño para una resistencia a la compresión de 44 MPa. Este enfoque tiene como objetivo minimizar posibles errores y novedades que puedan surgir durante la utilización de la maquinaria de la universidad, especialmente porque estos equipos son de propósito educativo, donde existe una probabilidad elevada de que afecte el resultado final al emplear agregados y maquinaria de uso general.

Tabla 6 Relación a/c

Resistencia a la compresión a los 28 días (Mpa)	Relación a/c (ACI)
48	0,34
42	0,41
35	0,48
28	0,57
21	0,68
14	0,82

Fuente: Adoptado del método ACI

Considerando las indicaciones proporcionadas por la normativa, la determinación de un valor para la relación agua-cemento con una resistencia de 44 MPa implica la realización de una interpolación mediante el siguiente cálculo:

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x - x_1)$$

Donde:

Y = Relación a/c para una resistencia de 44 Mpa.

X = Resistencia a la compresión de 44 Mpa.

X1 = Resistencia a la compresión de 48 Mpa.

Y1 = Relación a/c de 0,34 por resistencia de 48 Mpa.

X2 = Resistencia a la compresión de 42 Mpa.

Y2 = Relación a/c de 0,41 por resistencia de 42 Mpa.

- Paso 5: Cálculo del contenido del cemento

El método menciona la siguiente ecuación para el cálculo de este:

$$c = \frac{a}{a/c}$$

Donde:

a = Cantidad de agua por unidad de volumen (kg/m^3).

c = Cantidad de cemento por unidad de volumen (kg/m^3).

a/c = Relación agua-cemento.

- Paso 6: Seleccionar el contenido de agregado grueso

Agregados con tamaños máximos nominales y graduaciones similares generan concretos con manejabilidad satisfactoria. En consecuencia, basándonos en el módulo de finura y el Tamaño Máximo Nominal (TMN), se determina el volumen de agregado grueso conforme a los parámetros establecidos en la tabla 7.

Tabla 7 Contenido de agregado grueso

Tamaño nominal máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen para concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,59
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Adoptado del método ACI

- Paso 7: Cálculo del agregado fino

El cálculo del agregado fino se realiza por la metodología del volumen absoluto mediante la siguiente ecuación:

$$v = \frac{w}{d}$$

Donde:

D = Densidad del material (kg/m³)

V = Volumen ocupado por el material (m³)

W = Cantidad de agregado (Kg)

Teniendo en cuenta esto y que el volumen ocupa un total de 1m³, se procede a calcular el volumen requerido por cada material con la formula anterior, en el siguiente orden:

- Paso 7.1. Cálculo volumen del cemento.
- Paso 7.2 Cálculo Volumen de agua.
- Paso 7.3 Cálculo volumen de agregado grueso.
- Paso 7.4 Cálculo volumen aire teórico.

Finalmente, después de obtener estos valores, se procede a dar despeje para calcular el volumen del agregado fino.

- Paso 8: Ajustes por humedad.

Este ajuste se realiza de acuerdo a la características obtenidas de los agregados.

2.2.3.3 Cálculo de porcentaje – Adición de aditivos.

Considerando lo previamente expuesto en el numeral 1.2.4.3 referente a Adiciones Minerales y en el numeral 1.2.4.4 acerca de Aditivos, se hace necesario ajustar el diseño de las mezclas mediante la incorporación de humo de sílice y un superplastificante específico utilizado en Colombia. Este ajuste tiene como objetivo asegurar el cumplimiento de los requisitos de resistencia. Dicho proceso se lleva a cabo mediante la consideración detallada de las fichas técnicas asociadas a cada uno de los materiales seleccionados.

2.2.4 Elaboración de concreto

2.2.4.1 Criterios para llevar a cabo la mezcla de concreto

En el proceso de confección del concreto, se otorga particular atención al mezclador proporcionado por la Universidad La Gran Colombia, ubicada en la sede de Bogotá. La capacidad de dicho mezclador adquiere relevancia en virtud de su condición de baja capacidad, ya que esta característica podría incidir en las fechas previstas para la ejecución del proyecto.

Las muestras se realizan en gran parte con la supervisión y apoyo del Laboratorista de la Universidad, sede Ingenierías.

Los materiales usados son: Mezcladora de concreto, balanzas, recipiente para mezclado y muestreo, herramienta mejor, mazos, varilla de compactación y moldeo en cilindros y vigas.

2.2.4.2 Probetas de concreto

Este numeral es realizado conforme a lo establecido en la Norma Técnica Colombiana 1377 Elaboración y Curado de especímenes de Concreto para Ensayos de Laboratorio, con el método de apisonado; el cual radica en insertar el concreto a los moldes con cierto número de capas, y cantidad de apisonamientos de una varilla. Los moldes para estas probetas son elegidas con fundamento en su utilización en la Universidad La Gran Colombia, con el propósito de contribuir al cumplimiento de los objetivos delineados en el proyecto (Es importante destacar que dichas probetas se ajustan a las disposiciones establecidas con la norma de referencia).

De igual forma, las probetas son fundidas y compactadas teniendo en cuenta las tablas compartidas en la norma:

Tabla 8 Numero de capas requeridas para la muestra

Tipo y tamaño de la muestra. Altura (mm)	Método de compactación	Número de capas	Altura aproximada de la capa (mm)
Cilindros			
Hasta 300	Apisonado	3 iguales	100
Mayor que 300	Apisonado	Las requeridas	
Hasta 460	Vibración	2 iguales	200
Mayor que 460	Vibración	3 ó más	
PRISMAS Y CILINDROS HORIZONTALES PARA FLUENCIA			
Hasta 200	Apisonado	2 iguales	
Mayor que 200	Apisonado	3 ó más	100
Hasta 200	Vibración	1	
Mayor que 200	Vibración	2 ó más	200

Fuente: NTC 1377, página 16

Tabla 9 Diámetro de varilla y número de golpes para utilizar en el moldeo de muestras de ensayo

Cilindros		
Diámetro del cilindro (mm)	Diámetro de la varilla (mm)	Número de golpes por capa
50 a 150	10	25
150	16	25
200	16	50
250	16	75
Vigas y prismas		
Área de la superficie superior de la muestra (cm ²)	Diámetro de varilla (mm)	Número de golpes por capa
160 ó menores	10	25
165 a 310	10	1 por cada 7 cm ² de área
320 ó más	16	1 por cada 14 cm ² de área
Cilindros horizontales para fluencia		
Diámetro del cilindro (mm)	Diámetro de la varilla (mm)	Número de golpes por capa
150	16	50 total. 25 a lo largo de los lados del eje

Fuente: NTC 1377, página 16

2.2.4.3 Curado del concreto

Para el curado de la muestra, se insertan en el tanque que se encuentra dentro de las instalaciones del laboratorio, puesto que las normas indican que estas deben estar con agua libre en toda el área superficial.



Figura 13 Curado de las probetas de concreto

(Fuente: Propia)

2.2.4.2 Procedimiento para realizar probetas de concreto

Tras la selección de los moldes destinados a la producción de los especímenes, se procede a su limpieza y engrase, utilizando, en este caso, ACPM como agente auxiliar. Este procedimiento se realiza con la finalidad de facilitar la desmoldabilidad de las muestras una vez que alcancen su estado endurecido. Se requiere una cuidadosa atención en la cantidad de agente de desmoldado aplicado a los moldes, dado que existe el riesgo de su dilución en el concreto en estado fresco durante el proceso de

encofrado. Asimismo, se debe permitir que el agente de desmoldado se seque adecuadamente antes de continuar con el proceso, y con el propósito de mitigar este riesgo.

Se procede a separar el material según el diseño de mezclas que nos resulta del procedo. Con estos se realiza un mezclado manual pero también con el apoyo del mezclado mecánico. Primero se realiza una mezcla de agua limpia con aditivo (materiales líquidos), y se insertan en la mezcladora. Posterior, se realiza mezcla con ayuda de una pala, de los agregados, luego anexando el cemento, y finalmente los aditivos (materiales sólidos). Se activa el mezclador con los materiales líquidos en el interior, y se aplica consecuentemente los materiales sólidos.

Al dejar la mezcla en la máquina, con los tiempos establecidos por la NTC 1377, se procede a fundir en los moldes. Para el caso de los cilindros, se realizan tres capas apisonadas cada una con 25 golpes, y finalmente nivelando la superficie superior. Con golpeteo externo, se finaliza de compactar la mezcla.



Figura 14 Escogiendo moldes de concreto

(Fuente Propia)



Figura 15 Proceso para realizar especímenes de concreto

(Fuente propia)

Las muestras se dejan secar en tiempo promedio de 24 horas. Luego de esto, se desencofra los especímenes, se describe la fecha con ayuda de marcador permanente, y se insertan al tanque para su respectivo curado.

2.2.5 Fallo a compresión

Para realizar prueba de la resistencia del concreto a compresión, y gestionar el respectivo análisis, se toma en cuenta lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 673.

Teniendo en cuenta esto, las muestras son retiradas del tanque, se secan superficialmente y se toman el valor del peso en Kg. Al confirmar las medidas del tamaño de los especímenes, se procede a fallarlo en la máquina de los laboratorios de la Universidad La Gran Colombia Sede Ingenierías.

2.2.6 Fallo a flexión

Para realizar prueba de la resistencia del concreto a flexión, y gestionar el respectivo análisis, se toma en cuenta lo establecido en la Norma de invias INV E 145.

Teniendo en cuenta esto, las muestras son retiradas del tanque, se secan superficialmente y se toman el valor del peso en Kg. Al confirmar las medidas del tamaño de los especímenes, se procede a fallarlo en la máquina de los laboratorios de la Universidad La Gran Colombia Sede Ingenierías.

CAPITULO III

RESULTADOS

3.1. Ensayos de los materiales

3.1.1 Densidad del cemento.

Después de haber realizado el procedimiento prescrito del numeral 2.2.1.1 Densidad del Cemento, y teniendo en cuenta lo descrito en la Norma Técnica Colombiana NTC 221 Cementos.

Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico para los cálculos, se obtiene lo siguiente:

Tabla 10 Resultados ensayo densidad del cemento

ENSAYO No. 1	PESO DEL RECIPIENTE O MEDIDAS
PESO DEL FRASCO +LIQUIDO (Ma)	352,54 gramos
P FRASCO+LIQUIDO+CEMENTO(Mt)	416,68 gramos
LECT FINAL LIQUIDO	21,90 mm
REGISTRO NIVEL DEL QUEROSENO:	0,70 mm
VOLUMEN FINAL	21,20 mm
MASA DEL CEMENTO USADO (Mt)	64 gramos
DENSIDAD DEL CEMENTO (g/cm3)	3,019 gramos/Cm3

(Fuente: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón ensayos de laboratorio)

3.1.2 Granulometría de agregado fino

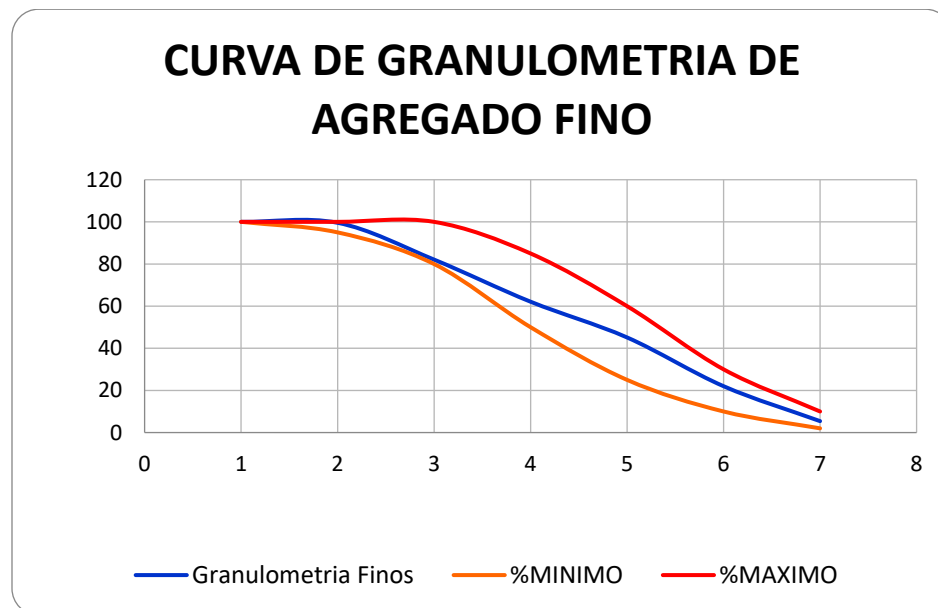
Esta se realiza según lo ya prescrito en el numeral 2.2.2.1.1 Agregado fino, y teniendo en cuenta lo especificado en la Norma Técnica Colombiana NTC 174. Posterior a la recolección de datos que se visualiza en la tabla 11 Datos granulometría agregado fino, se realiza la curva granulométrica según los datos de la tabla 2 Clasificación de agregado fino, con el fin de visualizar si el agregado cumple con los límites establecidos.

Tabla 11 Datos granulometría agregado fino

MEDIDA TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO (Kg)	% RETENIDO	% ACUMULADO	% PASA
9,5 mm	0	0.00	0	0	100
4,75 mm	9.1	0.01	0.44	0.44	99.563
2,36 mm	363.6	0.36	17.48	17.91	82.09
1,18 mm	416	0.42	19.99	37.91	62.09
600 μm	352.7	0.35	16.95	54.86	45.14
300 μm	481.5	0.48	23.14	78.00	22.00
150 μm	344.9	0.34	16.58	94.58	5.42
74 μm	89.4	0.09	4.30	98.88	1.12
Fondo	23.40	0.02	1.12	100.00	0.00
TOTAL	2080.6	2.081	100.000		100
MODULO DE FINURA				2.84	

(Fuente: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón ensayos de laboratorio)

Figura 16 Curva granulométrica agregado fino



(Fuente: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón ensayos de laboratorio)

3.1.3 Granulometría de agregado grueso

Esta se realiza según lo ya prescrito en el numeral 2.2.2.1.3 Agregado grueso, y teniendo en cuenta lo especificado en la Norma Técnica Colombiana NTC 174. Posterior a la recolección de datos que se visualiza en la tabla 12 Datos granulometría agregado grueso, se realiza la curva granulométrica según

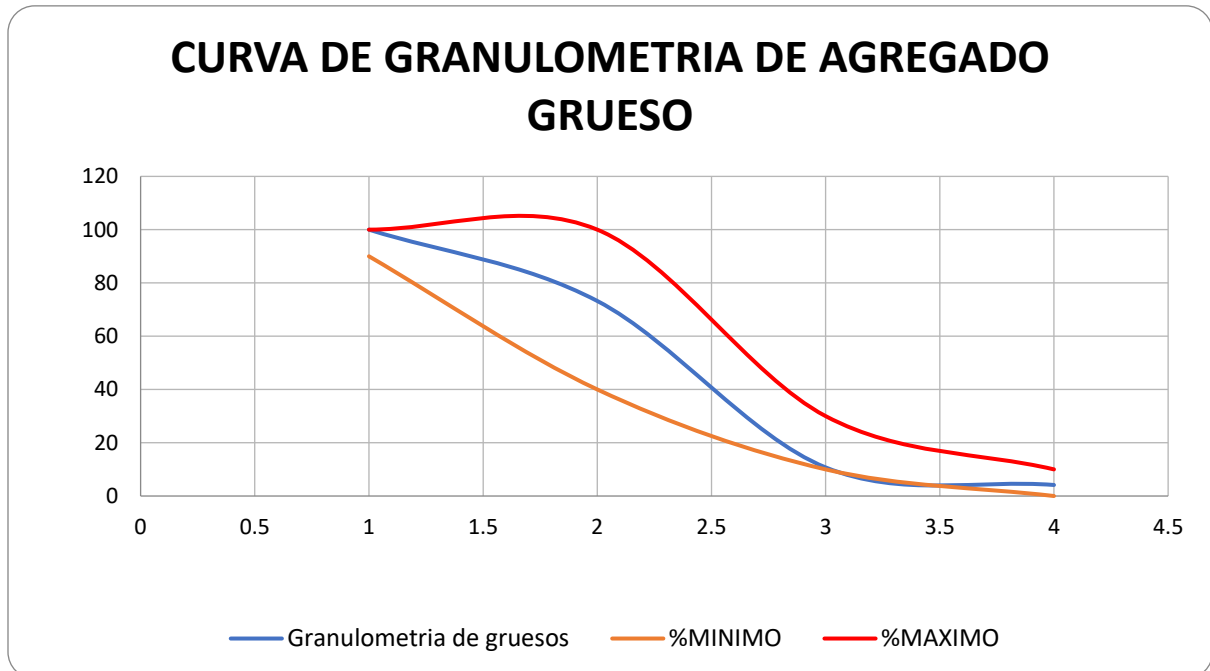
los datos de la tabla 3 Requisitos de gradación para agregado grueso, con el fin de visualizar si el agregado cumple con los límites establecidos, y ajustar en el laboratorio, en caso de que sea necesario, las cantidades del material a fin de garantizar lo descrito por el método ACI.

Tabla 12 Datos granulometría agregado grueso

MEDIDA TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO (Kg)	% RETENIDO	% ACUMULADO	% PASA
19 mm	0		0	0	100
12,5 mm	0	0	0	0	100
9,5 mm	1097.7	1.10	26.78	26.78	73.22
4,76 mm	2561.3	2.56	62.48	89.26	10.74
2,36 mm	270.4	0.27	6.60	95.86	4.14
Fondo	169.8	0.17	4.14	100.00	0.00
TOTAL	4099.2	4.10	100.00		

(Fuente: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón ensayos de laboratorio)

Figura 17 Curva granulométrica agregado grueso



(Fuente: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón ensayos de laboratorio)

3.1.4 Absorción y densidad del agregado fino

Esta se realiza según lo ya prescrito en el numeral 2.2.2.1.2 Procedimiento para el cálculo de la absorción y densidad del agregado fino, y teniendo en cuenta lo especificado en la Norma Técnica Colombiana NTC 237. La recolección de datos que se visualiza en la tabla 13 Resultados ensayo de absorción y densidad del agregado fino y tabla 14 Resultado de cálculos ensayo absorción y densidad del agregado fino, que establece los resultados finales.

Tabla 13 Resultados ensayo absorción y densidad del agregado fino

Pruebas No	GRAMOS	KILOGRAMOS
A: Peso al aire de la muestra seca	114.6	0.1146
Peso Frasco (Matrax)	178.8	0.1788
B: Peso del picnómetro aforado lleno de agua (g)	677.6	0.6776
C: Peso del Picnómetro aforado + muestra + agua	972.2	0.9722
S: Peso Muestra S.S.S	500	0.500
Gravedad Especifica (SH) $A / (B+S-C)$	0.558	
Densidad (SH) Kg/m^3		
Gravedad Especifica S.S.S $S / (B+S-$	2.434	
Densidad SSS Kg/m^3		
Gravedad Especifica Apararante $A / (B+A-C)$	0.673	
Densidad Aparante Kg/m^3 997,5	556.541	556.541
% Humedad del Agregado Fino	4.363	
Absorción (%) $(S - A) / A * 100$	3.363	

(Fuente: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón ensayos de laboratorio)

Tabla 14 Resultado de cálculos ensayo absorción y densidad del agregado fino.

Promedio Gravedad Especifica (SH)	0.558 gr
Promedio Gravedad Especifica S.S. S	2.434 gr
Promedio Gravedad Especifica Aparente	0.673 gr
Promedio Absorción	3.363 gr

(Fuente: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón ensayos de laboratorio)

3.1.5 Absorción y densidad del agregado grueso

Esta se realiza según lo ya prescrito en el numeral 2.2.2.1.4 Procedimiento para el cálculo de la absorción y densidad del agregado grueso, y teniendo en cuenta lo especificado en la Norma Técnica Colombiana NTC 176. La recolección de datos que se visualiza en la tabla 15 Resultados ensayo de absorción y densidad del agregado grueso y tabla 16 Resultado de cálculos ensayo absorción y densidad del agregado grueso, que establece los resultados finales.

Tabla 15 Resultados ensayo de absorción y densidad del agregado grueso

Nº	A	
	GRAMOS	KG
A : Masa de la muestra secada al horno (SH) (g)	5828.30 gr	5.83 Kg
B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca S.S.S (gr)	6200.00 gr	6.20 Kg
C : Peso sumergido de la muestra (gr)	3469.60 gr	3.47 Kg
Densidad Relativa (Gravedad Especifica) (SH) =A / (B-C)	2.135	
Densidad S.S.S (Saturado y Superficialmente seco)=B / (B-C)	2.271	
Densidad relativa Aparente (Gravedad Especifica Aparente) A/ (A-C)	2.471	
Densidad (SH) (Secado al Horno) , Kg/m ³ = 997,5 A/(B-C)	2129.259	
Densidad SSS, Kg/m ³ 997,5 B/(B-C)	2265.053	
Gravedad Especifica Aparente A / (A-C) 997,5 A/(A-C)	2464.802	
Densidad Aparente, Kg/m ³	2129.300	
% Humedad del agregado Grueso	106%	
Absorción (%) (B-A) / A * 100	637.750%	

(Fuente: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón ensayos de laboratorio)

Tabla 16 Resultado de cálculos ensayo absorción y densidad del agregado grueso

Promedio Gravedad Especifica (SH)	2.135 gr
Promedio Gravedad Especifica S.S. S	2265.053 gr
Promedio Gravedad Especifica Aparente	2464.802 gr
Promedio Absorción	638%

(Fuente: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón ensayos de laboratorio)

3.1.6 Masas unitarias del agregado

Estos resultados se obtienen según lo ya prescrito en el numeral 2.2.2.3 Masas Unitarias del Agregado, y teniendo en cuenta lo especificado en la Norma Técnica Colombiana NTC 92. En la tabla 17 Resultados ensayo de las masas unitarias de los agregados, se puede observar la respectiva recolección de datos y los valores calculados.

Tabla 17 Resultados ensayo de Masas Unitarias de los agregados

ENSAYO No.	PESO DEL MATERIAL	PESO DEL RECIPIENTE	PESO Kg
1	27.62 Kg	9.10 Kg	18.52 Kg
2	27.44 Kg	9.10 Kg	18.34 Kg
3	27.74 Kg	9.10 Kg	18.64 Kg
PESO PROMEDIO (Kg) PESO UNITARIO SUELTO PESO UNITARIO SECO SUELTO (gr/cm ³)			18.50 Kg
DENSIDAD VOLUMETRICA DEL AGREGADO (Kg/m ³)			1319.544
CALCULO DE CONTENIDO DE VACIOS			
M= DENSIDAD VOLUMETRICA DEL AGREGADO (Kg/m ³)			1319.544
S=DENSIDAD NOMINAL (BASE SECA) (NTC 176 Y NTC 237)			2491.847
W=DENSIDAD DEL AGUA 998 (Kg/m ³)			998
$\% \text{ Vacíos} = 100 \frac{(S * W) - M}{S * W}$			99.95
PESO UNITARIO APISONADO			
ENSAYO No.	PESO DEL MATERIAL	PESO DEL RECIPIENTE	PESO Kg
1	28.52 Kg	9.10 Kg	19.42 Kg
2	28.44 Kg	9.10 Kg	19.34 Kg
3	28.42 Kg	9.10 Kg	19.32 Kg
PESO PROMEDIO (Kg) PESO UNITARIO APISONADO PESO UNITARIO HUMEDO APISONADO (gr/cm ³) PESO UNITARIO SECO APISONADO (gr/cm ³)			19.36 Kg
DENSIDAD VOLUMETRICA DEL AGREGADO (Kg/m ³)			1380.884
CALCULO DE CONTENIDO DE VACIOS			
M= DENSIDAD VOLUMETRICA DEL AGREGADO (Kg/m ³)			1380.884
S=DENSIDAD NOMINAL (BASE SECA) (NTC 176 Y NTC 237)			2491.847
W=DENSIDAD DEL AGUA 998 (Kg/m ³)			998
$\% \text{ Vacíos} = 100 \frac{(S * W) - M}{S * W}$			99.94

(Fuente: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón ensayos de laboratorio)

3.2 Diseño de mezclas – Método ACI 211

El diseño de mezclas final calculado, se realiza en primer lugar teniendo en cuenta el procedimiento relacionado en el numeral 2.2.3.2 Método del ACI 211; y en segundo lugar, se sigue lo descrito en las fichas técnicas del Humo de Sílice de la empresa Toxement y el reductor de agua Plastol Extender 3000 de la misma, puesto que se tiene el apoyo desde su profesional y dona los respectivos para poder dar desarrollo al presente trabajo académico; por lo que como dato importante a tener en cuenta de estos materiales, se anexa la tabla 18 cantidad de materiales Toxement para el diseño.

Tabla 18 Cantidad de materiales Toxement para el diseño

PLASTOL EXTENDER 3000
0,2% AL 1% DEL PESO DEL CEMENTO
REDUCTOR DE AGUA
1,25% - 3% DEL PESO DEL CEMENTO

(Elaborado por: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón)

Estos se ven involucrado en el volumen total del agregado fino, por lo que se obtiene en primer lugar:

Tabla 19 Diseño de mezcla concreto de alta resistencia, calculado para 44 MPa

DISEÑO				
Material	Densidad	Volumen	Peso	porcentaje
Cemento	3019 Kg/m ³	0.18060m ³	545.23kg	34.450
Agua	1000 Kg/m ³	0.20810m ³	208.10kg	13.149
Agregado Grueso	2129 Kg/m ³	0.29570m ³	629.55kg	39.777
Agregado Fino	557 Kg/m ³	0.27434m ³	152.81kg	9.655
Aire	-	0.02000m ³	-	0.200
Humo de sílice	2300 Kg/m ³	0.01720m ³	39.56kg	2.500
Reductor de Agua(Plastol Extender 3000)	1080 Kg/m ³	0.00516m ³	5.57kg	0.352
		1 m ³	1580.82kg	100

(Elaborado por: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón)

Aun así, se deben realizar ajustes con el porcentaje de humedad de acuerdo con las características de los agregados, teniendo en cuenta que estos pueden afectar la cantidad de agua por su % de absorción, por lo que es necesario adaptar la adición de la tabla 20 Valores para ajuste de humedad diseño de mezclas.

Tabla 20 Valores para ajuste de humedad diseño de mezclas

Material	Peso por m ³ (Kg)	% absorcion-humedad	agua en adición
Agregado Grueso	629.55kg	5.3142	6.691
Agregado Fino	152.81kg	-1	-1.528

(Elaborado por: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón)

Adicionando los resultados ya mencionados, se da a lugar al desarrollo de las siguientes cantidades para el diseño de mezclas de 44 MPa de resistencia a la compresión:

Tabla 21 Diseño de mezclas propuesto para el nivel de resistencia en estudio

DISEÑO DEFINITIVO		
Material	Peso	%
Cemento	545.23kg	34.337
Agua	213.26kg	13.431
Agregado Grueso	629.55kg	39.647
Agregado Fino	152.81kg	9.623
Aire	-	0.200
Humo de silice	39.56kg	2.491
Reductor de Agua(Plastol Extender 3000)	5.57kg	0.351
	1585.98kg	100

(Elaborado por: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón)

3.3. Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión se prueba cuando se da a fallar los cilindros de concreto. En este caso, se decide fallar las muestras a tres edades, 7d, 14d y 28d. Se debe tener en cuenta que este proceso se relaciona con lo especificado en la Norma Técnica Colombiana NTC 673.

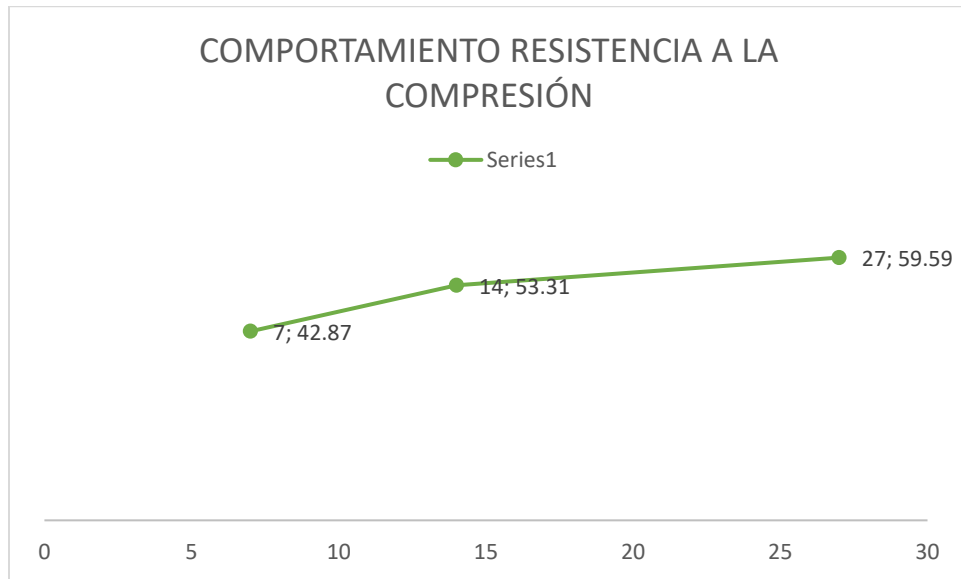
En la tabla 22 Laboratorio ensayo a la resistencia de compresión, se evidencia la fecha desde que los especímenes ingresan al proceso de curado, medidas, edad de rotura junto a las fechas donde se realiza la gestión, y la resistencia resultado correspondiente.

Tabla 22 Laboratorio ensayo a la resistencia de compresión

NOMBRE DE LA MUESTRA	FECHA DE LA MUESTRA			RESISTENCIA DISEÑO (PSI)	RESISTENCIA DISEÑO (Mpa)	EDAD DE ROTURA	FECHA DE LA ROTURA			MEDIDAS (cm)		AREA (cm ²)	CARGA MAXIMA (KN)			PROMEDIO (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO			% DE DESARROLLO	cumple			
	D	M	A				D	M	A	Diam	Alt						Kg/cm ²	PSI	Mpa		si	no		
MUESTRAS CONCRETO FINAL	16/11/2023			6286	44	7	23/11/2023			10	20	78.54	318	337	355	336.67	428.7	6164.1	42.87	97.42%	X			
	14/11/2023					14	28/11/2023						390	437	429		418.67	533.1	7665.4		53.31	121.15%	X	
	16/11/2023					27	13/12/2023						440	481	483		468.00	595.9	8568.7		59.59	135.42%	X	

(Elaborado por: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón)

Figura 18 Comportamiento resistencia a la compresión



(Elaborado por: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón)

Figura 19 Fallo de cilindros 7 días



(Fuente propia)

Figura 20 Fallo de cilindros 14 días



(Fuente propia)

Figura 21 Fallo de cilindros 28 días



(Fuente propia)

3.4. Resistencia flexión

La resistencia a la flexión se prueba cuando se da a fallar las vigas de concreto. De igual forma como los cilindros, se decide fallar las muestras a tres edades, 7d, 14d y 28d. Se debe tener en cuenta que este proceso se relaciona con lo especificado en la Norma Invias INV E 414, el cual establece el módulo de rotura (la resistencia a flexión), con el siguiente cálculo:

$$R = \frac{3 P L}{2 b d^2}$$

Donde:

R: Módulo de rotura

P: Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo

L: Luz libre entre apoyos

b: Ancho de espécimen

d: Altura del espécimen

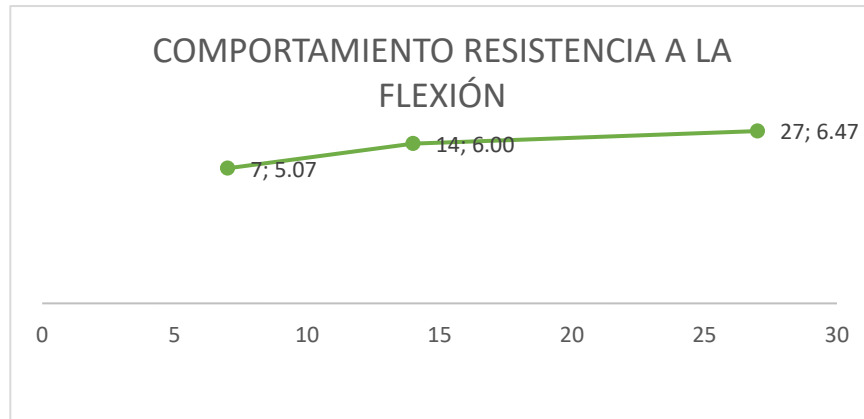
En la tabla 23 Laboratorio ensayo a la resistencia a flexión, se evidencia la fecha desde que los especímenes ingresan al proceso de curado, medidas, edad de rotura junto a las fechas donde se realiza la gestión, y la resistencia resultado correspondiente.

Tabla 23 Laboratorio ensayo a la resistencia a flexión

NOMBRE DE LA MUESTRA	FECHA DE LA MUESTRA			EDAD DE ROTURA	FECHA DE LA ROTURA			MEDIDAS (mm)			AREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	CARGA MAXIMA (KN)		PROMEDIO (KN)	MÓDULO DE ROTURA MPa	MÓDULO DE ROTURA Kg/cm ²
	D	M	A		D	M	A	X	Y	Z							
MUESTRAS CONCRETO FINAL	16/11/2023			7	23/11/2023			150	150	530	225	119250	21.5		21.54	5.07	51.74
	14/11/2023			14	28/11/2023								25.5	25.5	25.475	6.00	61.19
	16/11/2023			27	13/12/2023								26	28.9	27.47	6.47	65.98

(Elaborado por: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón)

Figura 22 Comportamiento resistencia a flexión



(Elaborado por: Angie Yulieth Castellanos Rodríguez y Jhoan Sebastián Moreno Rincón)

Figura 23 Fallo a flexión 7 días



(Fuente propia)

Figura 24 Fallo a flexión 14 días



(Fuente propia)

Figura 25 Fallo a flexión 28 días

(Fuente propia)

CAPITULO IV

Análisis y Discusión de Resultados

4.1 Propiedades de los materiales

El material que presenta un mayor riesgo en términos de gestión es representado por los agregados, dado que su origen no se reconoce de manera precisa, y se deben considerar cuidadosamente las prácticas de conservación asociadas, ya que se realizan en los laboratorios de la Universidad La Gran Colombia. Dada su naturaleza como material con propósitos académicos, surgen incertidumbres en cuanto a su idoneidad para aplicaciones en estudios de índole práctica. No obstante, estos agregados han cumplido con los requisitos establecidos por las normas, indicando que, a pesar de sus propiedades fundamentales, podría lograrse un uso efectivo de los mismos. Esta conclusión sugiere que, para el desarrollo de concreto de alta resistencia, la calidad de los materiales puede mantenerse en bajo presupuesto, siempre y cuando se disponga de un diseño adecuado. Es esencial reconocer que este tema constituye otra área de estudio que requiere una investigación más profunda.

4.2 Propiedades de los materiales aditivos

Es fundamental destacar que los resultados logrados son atribuibles a las propiedades distintivas del Humo de Sílice suministrado por la empresa Toxement y del reductor de agua Plastol Extender 3000 de la misma entidad. Por consiguiente, es imperativo subrayar la posibilidad de variaciones en los resultados en caso de emplear aditivos de diferente naturaleza. Hasta el momento, se puede inferir que estos aditivos específicos son idóneos para la formulación de diseños de mezcla destinados a alcanzar elevadas resistencias.

4.3. Diseño de mezclas

La metodología ACI 211 se posiciona como una herramienta de notable robustez al momento de abordar el diseño de concretos de alta resistencia. Las directrices normativas compartidas en este contexto delinear exhaustivamente cada paso del proceso de formulación de dicho concreto, y, conforme a los resultados corroborados en el presente proyecto, se verifica su adecuación a los requisitos normativos establecidos.

Desde una perspectiva más amplia, la inmersión académica en textos de esta índole, rigurosos y eficientes, emerge como un catalizador propicio para la comprensión integral por parte del ingeniero civil en formación. La consulta y estudio profundo de estas fuentes validadas proporcionan una visión más completa y sofisticada de los diferentes aspectos y alcances involucrados en la ingeniería de concretos de alta resistencia.

Este enfoque académico, validado por la aplicación práctica en proyectos como el presente, no solo facilita la asimilación de conceptos y técnicas avanzadas, sino que también confiere un propósito más fundamentado a las investigaciones del estudiante, alineándolas con los estándares y necesidades actuales en el ámbito de la ingeniería civil.

4.4 Resistencia a la compresión del concreto

Al observar resultados de resistencia a la compresión que significativamente exceden las estimaciones calculadas, se evidencia un comportamiento habitual. En este caso, se atribuye este fenómeno al empleo del tipo de cemento específico que se tomó para gestionar el diseño de mezclas. En el contexto colombiano, el cemento ART, además de poseer propiedades que contribuyen a sostener elevados niveles de resistencia, también exhibe la capacidad de generar resultados de resistencia en etapas tempranas. En consecuencia, se hace imperativo el uso de este material particular, concretamente el cemento estructural MAX Argos, a fin de obtener los resultados de resistencia mencionados, y sobre todo aprovechar las capacidades que se tienen, puesto que la ficha técnica especifica en las ventajas estructurales y ambientales. Es fundamental tener claro que no es factible emplear cemento Tipo 1 o de Uso General en el diseño de mezclas propuesto, ya que, en comparación, sus propiedades no satisfacen los requisitos estipulados para el presente proyecto de diseño de mezclas.

4.6 Resistencia a la flexión del concreto

Según el ingeniero Ricardo Bardasano, en su artículo "La resistencia del hormigón para pavimentos", un concreto con resistencia de 40 Mpa, aproximadamente tienen una resistencia a la flexión de mínimo 5,0 Mpa (valores obtenidos a 28 días de edad). Al observar que el módulo de rotura es de 6,47 MPa, se puede definir como un concreto de alta resistencia a la flexión. De igual forma hay que tener en cuenta que si se busca obtener más virtudes a la flexión, se debe complementar el estudio de este. Conforme al ingeniero Ricardo Bardasano, cuyas consideraciones están detalladas en el artículo "La resistencia del hormigón para pavimentos", se destaca que un concreto con una resistencia de aproximadamente 40 MPa exhibe una resistencia a la flexión mínima de 5,0 MPa, considerando los valores obtenidos a los 28 días de edad. Este análisis revela que, al tener un módulo de rotura de 6,47

MPa, dicho concreto puede ser caracterizado con propiedad como un material de alta resistencia a la flexión.

Cabe subrayar la relevancia de reconocer que, para lograr mayores virtudes en términos de flexión, es imperativo abordar un estudio complementario más exhaustivo en esta materia. Este enfoque adicional permitirá una apreciación más completa de las características y posibilidades del concreto en términos de su capacidad para resistir fuerzas de flexión, promoviendo así una mejor comprensión y optimización de sus propiedades mecánicas.

CAPITULO V

Conclusiones y Recomendaciones

El presente documento se articula como un respaldo argumentativo para corroborar la hipótesis previamente expuesta: "El diseño de mezcla propuesto en este escrito permite alcanzar una resistencia superior a 42 MPa en el concreto, ajustándose a los parámetros establecidos por la literatura colombiana y proporcionando flexibilidad en las exigencias de los equipos y la metodología a emplear" (numeral 2.1.1). Este diseño se concreta mediante la utilización de materiales, equipos y técnicas generales, principalmente con fines académicos, puesto que todo el proceso se realiza en los laboratorios de la Universidad La Gran Colombia. Bogotá. Facultad de ingenierías.

En concordancia con el método para el diseño de mezclas ACI 211 y los resultados obtenidos en la presente investigación, los ensayos pertinentes, necesarios para llevar a cabo un diseño de mezclas efectivo, se sustentan en los siguientes aspectos: densidad del tipo de cemento seleccionado, análisis granulométrico de agregados, densidad y absorción de los agregados, y peso unitario de los agregados.

Los porcentajes esenciales para la realización del diseño de mezclas correspondiente se encuentran detalladamente expuestos en la norma ACI 211. En el caso de que el estudiante de ingeniería profundice en el estudio de dicha normativa, podrá aplicar sus conocimientos con mayor profundidad sin la necesidad de supervisar elementos de alta calidad, obteniendo, de esta manera, una guía para abordar de manera más eficiente los desafíos asociados al crecimiento poblacional, con menores dificultades.

CAPITULO VI

Lista de Referencia o Bibliografía

Argos, G. (2022). Concreto de altas resistencias. Concreto de altas resistencias. Medellin, Colombia.

Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=vaLbaevxto&ab_channel=Argos

Argos. (2023). Kansai, un aeropuerto que se niega a desaparecer. 360 en Concreto. Colombia.

Recuperado el 26 de 04 de 2023, de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/kansai-unaeropuerto-que-se-niega-desaparecer/>

Banco Mundial. (25 de 03 de 2023). Población rural (% de la población total) - Colombia. Obtenido de

<https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?locations=CO>

Benavides, R. J. (2014). Concreto de Alto Desempeño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Bardasano, R. (2018). La resistencia del hormigón para pavimentos. Blog Web PaveIng – el asombroso mundo de la ingeniería de pavimentos. Párrafo 1 – 7. Obtenido de:

<https://paveing.blogspot.com/2018/05/resistencia-del-hormigon.html>

Chavarry, G (2018) Elaboración de concreto de alta resistencia incorporando partículas residuales del chancado de piedra de la cantera Talambo, Chepén. Chiclayo. Universidad Católica Santo Toribio de Moglovejo. Obtenido de:

https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1340/1/TL_ChavarryBoyGuido.pdf.pdf

Cordero, G. Cárdenas, Rojas, J. (2019) Diseño de mezclas de concreto aplicando metodología ACI.

Bogotá. Universidad Francisco de Paula Santander. Obtenido de:

<https://libros.ufps.edu.co/index.php/editorial-ufps/catalog/view/25/20/678>

Ennomotiva. (2023). Producción de cemento: Cómo reducir las emisiones de CO2. Recuperado el 27 de

04 de 2023, de [https://www.ennomotive.com/es/produccion-](https://www.ennomotive.com/es/produccion-decemento/#:~:text=Existen%20dos%20fuentes%20principales%20de,%C3%B3xido%20de%20calcio%20(CaO))

[decemento/#:~:text=Existen%20dos%20fuentes%20principales%20de,%C3%B3xido%20](https://www.ennomotive.com/es/produccion-decemento/#:~:text=Existen%20dos%20fuentes%20principales%20de,%C3%B3xido%20de%20calcio%20(CaO))

[de%20calcio%20\(CaO\)](https://www.ennomotive.com/es/produccion-decemento/#:~:text=Existen%20dos%20fuentes%20principales%20de,%C3%B3xido%20de%20calcio%20(CaO))

Gómez. M (2011) Diseño estructural de edificios altos tipo torre empleando concreto de alta resistencia.

México D.F. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis digital.

Hernández Sampieri, R. F. (2014). METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. México: McGRAW-

HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

Herrera, A. D. (1998). La durabilidad del concreto afectada por la contaminación ambiental. Ciudad de

México: Universidad Autónoma de Nuevo Leon.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2013). Norma Técnica Colombiana

INV E 102 - 13: Descripción e Identificación de Suelos (Procedimiento Visual y Manual), párrafo

B.4.2, página 25. Bogotá: ICONTEC.

Matallana Rodríguez, R. (2015). El Concreto Fundamentos y nuevas tecnologías. Corona. Recuperado el

25 de 04 de 2023

Moreno, J. S (2022) Concreto Avanzado de Altas Resistencias. Trabajo de grado en Fase Anteproyecto

Posgrado. Universidad La Gran Colombia. Bogotá. Colombia.

NRMCA. (s.f.). El concreto en la práctica ¿Qué, por qué y cómo? CIP 33 - Concreto de alta resistencia, 2

Oliveira, F. (26 de Junio de 2019). Construcción Latinoamericana CLA . Obtenido de kHL:

<https://www.construccionlatinoamericana.com/news/argos-logra-patente-de-concretode-ultra->

[alta-resistencia/4139015.article](https://www.construccionlatinoamericana.com/news/argos-logra-patente-de-concretode-ultra-alta-resistencia/4139015.article)

Osorio, J. D. (2023). 360 En Concreto. Obtenido de Argos:

<https://360enconcreto.com/blog/detalle/disenio-mezclas-de-concreto-conceptos-basicos/> PSI.

(22 de Enero de 2021).

PSI. Obtenido de Concreto de alta resistencia: características y usos en contextos industriales.:

[https://psiconcreto.com/concreto-de-altaresistencia/#:~:text=El%20concreto%20de%20alta%20resistencia%20es%20un%20tipo%20de%20concreto,o%2040%20megapascales%20\(MPa\).](https://psiconcreto.com/concreto-de-altaresistencia/#:~:text=El%20concreto%20de%20alta%20resistencia%20es%20un%20tipo%20de%20concreto,o%2040%20megapascales%20(MPa).)

Reina, J. Sanchez, M. Solano, E (2010) Influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido. San Salvador. Ciudad Universitaria. Universidad de el Salvador. Obtenido de: <https://docplayer.es/26815303-Influencia-de-la-tasa-de-aditivo-superplastificante-en-las-propiedades-del-concreto-de-alta-resistencia-en-estado-fresco-y-endurecido.html>

Sánchez De Guzmán, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Bogotá: Bhandar Editores

Velandia, D. (s.f.). 360 En Concreto. Obtenido de Lo que debes saber sobre el concreto de alta resistencia: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/lo-que-debes-saber-sobre-elconcreto-de-alta-resistencia/>

Vidaud, I. y. (09 de 2013). Burj Khalifa: Una construcción de excelencia. (imyc, Ed.) Construcción y Tecnología en concreto, 28-31. Recuperado el 26 de 04 de 2023, de <http://imcyc.com/revistacyt/septiembre2013/pdfs/tecnologia.pdf>

CAPITULO VI

Anexos

ANEXO I FICHAS DE LA UGC RESULTADO DE ENSAYOS

ANEXO II FICHA TÉCNICA DE MATERIALES UTILIZADOS

ANEXO III VISUALIZACIÓN EXCEL CÓMO SE REALIZA LA CURVA GRANULOMETRICA.

ANEXO IV PROCEDIMIENTO COMPLETO ELIGIENDO LOS RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE
MEZCLAS METODOLOGIA ACI

ANEXO V FOTOGRAFIAS COMPLEMENTARIAS FALLA DE ESPECÍMENES