

**OPTIMIZACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO MEDIANTE LA APLICACIÓN
DEL MÉTODO WALKER Y LA INTRODUCCIÓN DE UN ADITIVO
EXPERIMENTAL**

**PAUL NICOLAS HERRERA BENAVIDES
HERNAN EDUARDO VARGAS GORDILLO**

**Proyecto de Investigación para optar
Por el título de Ingenieros Civiles**

**Director:
FERNEY OSWALDO PEÑA REY
Ingeniero Civil, M. Sc**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2018**

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta investigación que se llevó a cabo junto a mi compañero Hernán Eduardo Vargas Gordillo ha significado un gran esfuerzo y compromiso por parte de nosotros, futuros Ingenieros Civiles. Sin embargo, el resultado de este proyecto no se hubiera podido culminar sin contar con la colaboración e intervención de varias personas que aportaron su granito de arena para cumplir esta meta. A quien primero le doy gracias es a Dios por permitirme estar en vida y tener la capacidad y las cualidades para afrontar y culminar este gran proyecto, con el fin de cumplir un sueño, recibir el título de ingeniero civil.

A mis padres que sin dudar un instante siempre estuvieron a mi lado apoyándome en todas mis decisiones, respaldándome y dándome fuerzas para poder finalizar este proyecto de investigación. A mis hermanos por su apoyo incondicional y su compañía en el proceso de elaboración.

A nuestro director Ferney Oswaldo Peña que siempre estuvo pendiente de la secuencia del trabajo, por su apoyo constante y por todo el tiempo que dedico a sacar este proyecto adelante. A nuestro par Juan Miguel Duran por su colaboración y dedicación para poder obtener un excelente trabajo de grado. Así mismo a la Universidad Santo Tomás por formar de mí un ingeniero de calidad, con muchas virtudes y un gran sentido humano. Por facilitarnos el uso de los laboratorios y equipos para la realización de diferentes ensayos.

Por último, a mi “Compañero de tesis”, mi gran amigo Hernán Eduardo Vargas Gordillo por asumir esta responsabilidad, por toda su dedicación, por el esfuerzo que empeño en el desarrollo de esta investigación, por todo su conocimiento y enseñanzas brindadas en este proceso de aprendizaje.

Paul Nicolás Herrera Benavides

A Dios, por acompañarme en todos los momentos de mi vida y guiarme por el camino correcto en los momentos más difíciles, gracias por estar a mi lado y por darme la bendición de poder estar finalizando este sueño.

A mi familia, por apoyarme en cada una de las decisiones que le dieron rumbo a mi vida, a mi padre, mi madre y mis hermanos, que estuvieron siempre conmigo en la ejecución del presente proyecto.

A la Universidad Santo Tomás, mi Alma Mater, por cimentar los pilares de los valores y el conocimiento, los cuales, me ayudaran a sobresalir como futuro profesional; igualmente, infinitas gracias doy a todos los profesores de la facultad, especialmente a nuestro director Ferney Oswaldo Peña y nuestro par académico Juan Miguel Duran, por guiarnos en el desarrollo de esta investigación, y acompañarnos incondicionalmente en la producción del proyecto de grado.

A mi compañero de proyecto Paul Nicolás Herrera Benavides, por brindarme la oportunidad de desarrollar esta investigación que logramos llevar a cabo conjuntamente, gracias por ser un verdadero amigo y por compartir su sabiduría, gracias por los resultados alcanzados.

Por último, agradecemos a la Sra. Ana Lucia Alba Barajas, directora de la empresa Gon-Quimicos Ltda, por el suministro del aditivo experimental durante el desarrollo del proyecto

Hernán Eduardo Vargas Gordillo

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Justificación	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo general.....	13
2.2. Objetivos específicos	13
2.3. Formulación del problema	14
2.4. Alcance	15
3. ESTADO DEL ARTE	16
3.1. Evolución del concreto.....	18
3.2. Los aditivos en la historia.....	20
4. MARCO TEÓRICO	23
Concreto – generalidades.	24
4.1.1. <i>Tecnología del concreto.</i>	27
4.1.2. <i>Función de sus componentes.</i>	32
4.2. Metodologías de dosificación.....	42
4.2.1. <i>Método Walker</i>	43
4.2.2. <i>Método del ACI</i>	44
4.2.3. <i>Otros métodos de dosificación</i>	47
4.3. Fundamentos para el diseño de mezclas	50
4.3.1. <i>Reglamentación NSR-10</i>	51
4.3.2. <i>C.4 – Durabilidad</i>	52
4.3.3. <i>C.5 - Calidad del concreto, mezclado y colocación</i>	53
4.3.4. <i>Dosificación según NSR-10</i>	53
5. METODOLOGÍA	56
5.1. Diseño de mezcla	56
5.1.1. <i>Ensayos y equipos de laboratorio.</i>	57
5.1.2. <i>Método de dosificación Walker.</i>	63

5.1.3. <i>Diseño de mezcla – Software</i>	70
5.1.4. <i>Estructura de dosificación</i>	86
5.2. Especificaciones para el concreto	92
5.2.1. <i>Cemento</i>	93
5.2.2. <i>Agregados</i>	94
5.2.3. <i>Granulometrías</i>	98
5.2.4. <i>Requisitos del agua de mezclado</i>	104
5.2.5. <i>Requisitos básicos para concreto</i>	106
5.3. Fabricación de los cilindros.....	108
5.4. Curado y falla.....	114
6. RESULTADOS	117
6.1. Tablas de resultados.....	117
6.2. Gráficas	120
6.3. Ecuación	122
6.4. Mapa de resistencias.....	125
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	127
7.1. Interpretación de resultados	127
7.2. Impacto ambiental	129
7.3. Evaluación costo – beneficio.	132
7.4. Viabilidad del aditivo	134
8. CONCLUSIONES.....	136
BIBLIOGRAFÍA.....	139

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. MAMPOSTERÍA - MACHU PICCHU. PERÚ.	16
ILUSTRACIÓN 2. CORROSIÓN PROMEDIO VERSUS TIEMPO DE EXPOSICIÓN.	22
ILUSTRACIÓN 3. MEZCLA DE CONCRETO - BOGOTÁ.....	25
ILUSTRACIÓN 4. SECUENCIA DE DISEÑO - MÉTODO ACI.	46
ILUSTRACIÓN 5. MATERIAL ALMACENADO PARA LA MEZCLA.	108
ILUSTRACIÓN 6. MEZCLA EN SECO DE MATERIALES - LAB. MISAEL GUERRA	109
ILUSTRACIÓN 7. MEZCLA DE MATERIALES EN SECO.....	110
ILUSTRACIÓN 8. CUANTÍA DE AGUA Y ADITIVO.	110
ILUSTRACIÓN 9. ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO.	111
ILUSTRACIÓN 10. AJUSTE DE LOS MOLDES PARA ELABORAR LOS CILINDROS.	112
ILUSTRACIÓN 11. CILINDROS FUNDIDOS Y DESENCOFRADOS.	112
ILUSTRACIÓN 12. CILINDROS FUNDIDOS - LAB. MISAEL GUERRA.	113
ILUSTRACIÓN 13. CURADO DE LOS ESPÉCIMENES.....	115
ILUSTRACIÓN 14. DISPOSICIÓN DE ESPÉCIMEN EN LA PRENSA.	115
ILUSTRACIÓN 15. FALLA DE CILINDRO.....	116
ILUSTRACIÓN 16. MAPA DE GRADIENTE DE RESISTENCIAS.....	126

LISTA DE GRAFICAS

GRÁFICO 1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS DEL PROYECTO.	58
GRÁFICO 2. GRANULOMETRÍAS IDEALES FULLER – WEYMOUTH.....	98
GRÁFICO 3. FRANJAS GRANULOMETRÍAS - ASOCRETO.....	99
GRÁFICO 4. FRANJA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO GRUESO, IDU.....	100
GRÁFICO 5. FRANJA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO FINO, IDU	100
GRÁFICO 6. FRANJA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO GRUESO, ICONTEC E IVIAS	101
GRÁFICO 7. FRANJA GRANULOMÉTRICA - AGREGADO FINO, ICONTEC E INVIAS	101
GRAFICO 8. RESISTENCIA Vs. RELACIÓN PORCENTUAL - PRIMER LOTE.....	120
GRAFICO 9. RESISTENCIA Vs. CANTIDAD DE ADITIVO.	121
GRAFICO 10. RESULTADOS, RESISTENCIA Vs. % DE ADITIVO.	122

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. TIPOS DE CEMENTO.....	36
TABLA 2. RELACIONES C:A:T - MEZCLAS EN OBRA.	50
TABLA 3. REQUISITOS SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN.	53
TABLA 4. RESISTENCIA PROMEDIO CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES.	56
TABLA 5. RESULTADOS OBTENIDOS DE GRANULOMETRÍA.	58
TABLA 6. RESULTADOS OBTENIDOS DEL MÓDULO DE FINURA DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.	59
TABLA 7. RESULTADOS OBTENIDOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS.	61
TABLA 8. RESULTADOS OBTENIDOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS.	63
TABLA 9. DATOS INICIALES PARA EL DESARROLLO DEL MÉTODO A UNA RESISTENCIA DE 21 MPA.	64
TABLA 10. RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA.	64
TABLA 11. CONTENIDO DE AGUA DE LA MEZCLA.	65
TABLA 12. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO EN LA MEZCLA.	65
TABLA 13. RELACIÓN AGUA/CEMENTO DE LA MEZCLA.	66
TABLA 14. VOLUMEN DE CEMENTO AGUA Y AIRE POR M ³	68
TABLA 15. VOLUMEN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS EN M ³	68
TABLA 16. DATOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DE LAS ARENAS Y LAS GRAVAS.	69
TABLA 17. COMPARACIÓN DE DOSIFICACIONES.	85
TABLA 18. DOSIFICACIONES PARA LA PRIMERA PRODUCCIÓN DE CILINDROS.	89
TABLA 19. DOSIFICACIONES PARA LA SEGUNDA PRODUCCIÓN DE CILINDROS.	90
TABLA 20. ESPECIFICACIONES PARA CEMENTO.	93
TABLA 21. ESPECIFICACIONES PARA CEMENTO HIDRÁULICO.	94
TABLA 22. ESPECIFICACIONES PARA AGREGADO FINO.	96
TABLA 23. ESPECIFICACIONES AGREGADO GRUESO.	96
TABLA 24. GRANULOMETRÍAS REQUERIDAS PARA AGREGADOS.	97

TABLA 25. LIMITES QUÍMICOS PARA EL AGUA DE MEZCLADO.	105
TABLA 26. CRITERIOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO, IDU	106
TABLA 27. RESISTENCIAS MÍNIMAS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE USO, INVIAS	107
TABLA 28. RESULTADOS, PRIMER LOTE DE CILINDROS.....	118
TABLA 29. RESULTADOS, SEGUNDO LOTE DE CILINDROS.	119
TABLA 30. EVALUACIÓN DEL IMPACTO, GASTO VS. AHORRO.....	131
TABLA 31. PRESUPUESTO POR UNIDAD DE MATERIAL PARA CONCRETO.....	132
TABLA 32. COSTO POR M ³ PARA LA DOSIFICACIÓN EXPUESTA, SIN ADITIVO.....	133
TABLA 33. COSTO POR M ³ PARA LA DOSIFICACIÓN EXPUESTA, CON ADITIVO.....	133

RESUMEN

TÍTULO: Optimización de Mezclas de Concreto Mediante la aplicación del Método Walker y la Introducción de un Aditivo Experimental

Son varios los materiales que se intenta incorporar en el campo de la construcción con el fin de mejorar los procedimientos y los materiales compuestos como el concreto. Como una alternativa para mejorar sus características mecánicas, se lleva a cabo una metodología que permite implementar el uso de un aditivo experimental.

Se tiene una idea de lo que el aditivo experimental puede causar en el concreto, la hipótesis fundamental de la aplicación del mismo se encuentra en mejorar su resistencia mecánica disminuyendo la cantidad de cemento. Lo que no está explícito es la cantidad de aditivo que se debe adicionar para tener un concreto en óptimas condiciones, así como la relación porcentual de cemento que se debe reducir.

El caso de estudio de este proyecto, es encontrar una dosificación dada por el Método Walker (método que trabaja bajo las propiedades fisicoquímicas de los agregados pétreos), y la cantidad optima de aditivo que se debe adicionar para tener una mezcla de concreto bajo las especificaciones de diseño inicial con una relación proporcional de cemento-arena.

Para el desarrollo de este proyecto se generó una dosificación inicial, la cual se elaboraron quince (15) cilindros de concreto, a los cuales se hicieron cinco grupos, tres cilindros por grupo para promediar la resistencia final; el lote de cilindros presentaba una relación porcentual diferente (0%, 10%, 14%, 18% y 22%), dichos porcentajes representan la cantidad de cemento que se debía reducir y la cantidad de arena que tendría que aumentar para cada grupo respectivamente, mantenido constante la cantidad de aditivo. Esto con el fin de analizar, con qué relación porcentual, el aditivo operaba de la mejor manera.

Luego de encontrar el valor óptimo de la relación porcentual, se decidió realizar otro lote de diecisiete (17) cilindros, en la cual se pudieran analizar dos variables, resistencia y porcentaje de aditivo suministrado. Con el objetivo de confirmar que el valor de la relación porcentual era el adecuado y mantenía la resistencia última esperada, se elaboraron cilindros con relación porcentual al 0% y 18% (relación cemento - arena) para seis grupos de especímenes con variaciones en la cantidad de aditivo (0%, 0.2%, 2%, 2.6%, 3.2% 3.8%) para cada relación porcentual.

Con los resultados obtenidos se pudo concluir y confirmar la viabilidad del aditivo para su inclusión en mezclas de concreto; la aplicación de esta sustancia genera un cambio significativo en las propiedades mecánicas del concreto, específicamente en la resistencia, además, de acuerdo a los resultados obtenidos, se pudieron analizar las bondades ambientales que implica la aplicación del aditivo. Así mismo, se comprobó que al emplear el método Walker para generar el diseño de mezclas de concreto, logra alcanzar la resistencia última esperada con total certeza; asimismo, se puede inferir que su adaptación en cuanto a la introducción del aditivo se refiere, es correcta.

1. INTRODUCCIÓN.

El concreto es una mezcla de agregados pétreos, agua y cemento en determinadas proporciones, que tiene como función principal, en términos estructurales, resistir esfuerzos de compresión. “Para lograr mejores propiedades mecánicas del concreto es necesario contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible” (Chan & Solis, 2003, pág. 42). Su aparición se dio cuando “los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada” (Arqhys, 2018).

Con el pasar del tiempo se han ido usando materiales para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, uno de esos materiales son los aditivos. Los aditivos son ingredientes del concreto o mortero que, además del agua, agregados, cemento hidráulico y, en algunos casos, fibra de refuerzo, son adicionados a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado.

Se utilizan con el objeto de modificar las propiedades del concreto o mortero, ya sea en estado fresco, durante el fraguado o en estado endurecido, para hacerlo más adecuado según el trabajo o exigencia dada y para que cumpla los requisitos y especificaciones particulares de cada tipo de estructura. (Silva, 2017, pág. 2)

Para el desarrollo de este proyecto se hará uso de un aditivo experimental, en el cual el fabricante establece las bondades de su producto como un compuesto que mejora las propiedades mecánicas del concreto reduciendo la cantidad de cemento a emplear en las mezclas. Los requerimientos actuales para obtener concretos más eficientes, hace que sea una necesidad seguir indagando sobre nuevos productos que hagan un aporte significativo al rendimiento de este material.

1.1. Justificación

El aditivo experimental cuenta con una ficha técnica básica, la cual hace una serie de sugerencias para su uso. En un principio este aditivo se usaba como lubricante para la molienda del cemento, aunque la ficha técnica hace alusión a que este aditivo es capaz de mantener e incluso mejorar la resistencia mecánica del concreto, reduciendo la cantidad de cemento y aumentando la cantidad de arena respecto a las cantidades arrojadas por la dosificación inicial. Sin embargo, no está clara la relación exacta de cemento-arena-aditivo que se debe usar para poder tener una resistencia puntual del concreto.

Este aditivo tampoco cuenta con el respaldo de ensayos de laboratorio, que respalden la veracidad de la afirmación que argumente la hipótesis del mejoramiento mecánico del concreto de manera considerable.

Por ende, la necesidad de este proyecto de investigación es complementar los vacíos que tiene la ficha técnica de este producto mediante ensayos donde se compruebe el incremento de la resistencia mecánica por medio de ensayos a compresión. La viabilidad del proyecto podría beneficiar al sector de la construcción, por cuanto se espera tener un concreto con mejores propiedades mecánicas, manteniendo las edificaciones seguras, económicas y amigables con el medio ambiente, atendiendo a las implicaciones en cuanto a producción se refiere de este material.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar las afectaciones mecánicas en las mezclas de concreto, así mismo calcular la mezcla por medio de la caracterización de sus agregados pétreos, haciendo uso del Método Walker para generar su dosificación y encontrar la óptima relación cemento-arena-aditivo.

2.2. Objetivos específicos

Recopilar, analizar y completar la información obtenida en el semillero de estructuras respecto a las propiedades fisicoquímicas de los agregados pétreos propuestos para el diseño de mezclas de concreto a una resistencia $f'c$ de 21 MPa.

Comparar las características de los agregados suministrados a la mezcla, con las diferentes especificaciones dadas por las entidades encargadas del control y regulación del material a nivel nacional.

Comparar la dosificación dada por dos metodologías alternativas de diseño con las cantidades entregadas por el método Walter, haciendo uso un software computacional para la obtención de dichas dosificaciones.

Comparar la resistencia mecánica de mezclas de concreto de 21 MPa sin aditivo, respecto a mezclas de la misma resistencia con la inclusión de un aditivo experimental en diferentes porcentajes.

Calcular el porcentaje de aditivo necesario y la relación cemento-arena para una cantidad de mezcla específica con una resistencia determinada, mediante la rotura de cilindros de concreto con variación en su dosificación y cantidad de aditivo.

Analizar la relación costo-beneficio del uso del aditivo en el sector de la construcción en función de la disminución de cemento desde un punto de vista ambiental y económico.

2.3. Formulación del problema

La ingeniería civil es una disciplina que emplea su conocimiento en diferentes campos de acción, uno de ellos se encarga de la construcción de obras de infraestructura. Muchas de estas obras se construyen a base de concreto, por tal motivo, a lo largo de los años se ha buscado incorporar diferentes aditivos para mejorar algunas características y propiedades del hormigón en función de la optimización de este material.

En busca de seguir mejorando el comportamiento mecánico del concreto, este documento hace referencia a la implementación de un aditivo experimental que sea capaz de alterar positivamente las características mecánicas del concreto, específicamente la resistencia a la compresión, ya que es la propiedad con la que se califican y comercializan los concretos a nivel nacional, además de la importancia de dicha característica mecánica en el diseño estructural.

Adicionalmente, la viabilidad del aditivo experimental, podría cimentar las bases en la generación de nuevas tecnologías que apoyen el desarrollo sostenible del concreto, maximizando su rendimiento en función de la reducción de la cantidad de cemento empleada en el material.

2.4. Alcance

Se realizarán ensayos fisicoquímicos a los agregados pétreos, para poder ingresar esta información al Método Walker y poder obtener una dosificación a una resistencia específica, tal como trabajo el Semillero de Estructuras de la Universidad Santo Tomás. Sin embargo, esta dosificación tendrá una variación, se reducirá la cantidad de cemento y se aumentará la de arena en la misma proporción, adicionalmente se añadirá una dosis de aditivo en función de la cantidad de cemento que haya arrojado el Método Walker. Posteriormente se fabricarán cilindros de concreto con estas variaciones para fallarlos a los 28 días y analizar cuál fue la resistencia obtenida para cada cilindro teniendo en cuenta su dosificación y la cantidad de aditivo con el que se fabricó.

3. ESTADO DEL ARTE

El cemento, materia prima fundamental para fabricar el concreto, no divisaba su necesidad en la construcción hasta que la demanda en infraestructura, por parte de los imperios latinoamericanos, obligo a una aceleración en los procesos de edificación para obras de gran envergadura. Las obras de ingeniería se basaban entonces, en la generación de mampuestos detalladamente labrados con el fin de encajarlos perfectamente sin ningún tipo de ingrediente en su interface, de manera que la infraestructura para la época (siglo XIII) se fundamentaba en la firmeza de sus construcciones.



Ilustración 1. Mampostería - Machu Picchu. Perú.

Fuente: Autores, 2017.

En los orígenes de la ingeniería, los materiales para la construcción satisfacían parcialmente las necesidades en infraestructura de las sociedades de la época (siglo XVIII), sin embargo, el desarrollo social, obligo a los ingenieros de la época a construir grandes faros para la orientación de las embarcaciones que comunicaban

a la antigua Inglaterra, fue entonces donde John Smeaton, uno de los grandes ingenieros del siglo XVIII, logró un triunfo al construir el faro de Eddystone en Inglaterra.

Los faros anteriores en este punto habían sido destruidos por las tormentas y el sitio estaba expuesto a la extrema fuerza del mar. Sin embargo, Smeaton utilizó un sistema en la construcción que le daría paso al nacimiento del hormigón. Él bloqueó las piedras unas contra otras utilizando una mezcla de la cal viva, arcilla, arena y escoria de hierro machacada, alcanzando así el primer concreto de la historia¹ (Sigfried, 1954) .

¹ SIGFRIED, Giedion. Espacio, Tiempo y Arquitectura: el crecimiento de una nueva tradición. Massachusetts: Harvard University Press, 1954.

3.1. Evolución del concreto

En la evolución del concreto y su tecnología, es esencial recalcar la importancia del primer acercamiento a la creación del mismo, el mortero, el cual cimentó las bases necesarias para las futuras investigaciones en el material estructural. Inicialmente, según reflexiona Alfonso Montejó, “el inglés Joseph Aspdin logró obtener la primera patente del cemento portland calcinando roca caliza con pequeñas cantidades de arcilla, sin embargo no fue hasta 1845 que Isaac Johnson, encontró el actualmente conocido Clíinker”² (Montejó, Montejó, & Montejó, 2013), el cual logró perfeccionar los métodos constructivos trascendentalmente e incentivó la investigación del hoy conocido concreto u hormigón.

Bastó simplemente con la creación de este material, para que el hombre no le diera importancia a las patologías que pudieran afectar el correcto funcionamiento del concreto, haciendo caso omiso a la necesidad de la introducción de la tecnología en la fabricación del hormigón; entonces, se presume que, en vista del continuo deterioro por parte de algunas obras cerca al mar, o en contacto con algunos agentes ambientales, se vio en la necesidad de investigar las medidas y tratamientos que se debían realizar al concreto, con la intención de reducir la vulnerabilidad de algunas construcciones indispensables para el desarrollo del ser humano, dando paso a la introducción de la tecnología del concreto.

Uno de los primeros avances fue la introducción de los denominados métodos de dosificación para la cuantificación y control de mezclas de concreto empleadas en la ejecución de obras civiles; Enrique Rivva³, notifica que los primeros intentos

² MONTEJO, Alfonso; MONTEJO, Alejandro y MONTEJO, Francy. Tecnología y Patología del Concreto Armado. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2013. 540 p.

³ RIVVA, Enrique. Concreto: Diseño de Mezclas. 2 ed. Miraflores: Fondo Editorial ICG, 1992. 285 p.

oficiales de diseño de mezclas, fueron realizados por el comité 211 del ACI, en donde se trataron procedimientos rudimentarios de tanteo, que se fundamentaban en otorgarle a determinado lote de mezclas un valor constante a uno de los componentes del concreto alternando los porcentajes de los demás; estos ensayos, arrojaban puntos pico de dosificación en que se creía podrían funcionar para el diseño de mezclas de concreto dadas determinadas características.

Luego de la evolución en los métodos de dosificación, la ingeniería le abrió paso a un nuevo campo en la investigación que lograría satisfacer muchas de las necesidades que exigían los nuevos proyectos que ya no solamente se regían por la resistencia a la compresión del hormigón, fue entonces donde el estudio de los aditivos transformó la manera de concebir el concreto.

3.2. Los aditivos en la historia

A nivel mundial se han desarrollado una gran variedad de investigaciones que aportan tecnológicamente al comportamiento, protección, tratamiento y mantenimiento del hormigón, más específicamente mediante la aplicación de los denominados aditivos para el concreto. En la actualidad existe una gran variedad de aditivos que permiten manipular o adicionar algunas características al hormigón tanto fresco como endurecido, y que han logrado mejorar satisfactoriamente el manejo del material en la industria de la construcción.

Este mercado emergente, cuenta ya con una gran variedad de empresas encargadas de la producción y venta de aditivos para los derivados del cemento. En Colombia, cabe resaltar la participación de dos grandes empresas productoras de aditivos a nivel internacional, Sika Corporation y Toxement. Dichas compañías se han encargado de realizar frecuentes investigaciones para mejorar o modificar las propiedades de los elementos estructurales o no estructurales en los proyectos de infraestructura. A continuación, se presentan algunas de sus grandes innovaciones en cuanto a concreto se refiere.

- Plastificantes.
- Acelerantes de fraguado y resistencia para concretos.
- Impermeabilizantes.
- Incluidores de aire.
- Retardantes.⁴ (Toxement, 2013)

⁴ Información extraída de: <http://www.toxement.com.co/productos/portafolio/aditivos>, visita el 18 de febrero 2018.

Paralelamente a la introducción de estos aditivos, gran variedad de científicos se encuentran actualmente desarrollando investigaciones al material con el propósito de identificar experimentalmente el comportamiento del concreto frente a la inclusión de algún material ajeno a este. Yohannes Yapharya, Raymond Lam y Denvid, realizaron investigaciones sobre tecnologías químicas para la producción moderna de concreto, demostrando que el llamado Ester de Policarboxilato (PCE), “contribuye como columna vertebral en la reacción agua – cemento, en donde este ayuda a la adsorción completa de agua en las superficies de cemento principalmente a través de interacciones electrostáticas”⁵ (Yaphary, Lam & Lau, 2017, pág. 172).

Adicionalmente, en América Latina se han venido llevando a cabo estudios a posibles aditivos inhibidores de corrosión para estructuras de hormigón armado, María Carvajal⁶ logró encontrar que soluciones con micro sílice y nitrito de calcio, actúan como inhibidores de corrosión sobre la superficie metálica del acero de refuerzo anulando en el material la reacción generadora de la oxidación. Los resultados enseñan un comportamiento favorable por parte de los especímenes tratados con nitrito de calcio, donde se puede observar que las muestras con este tipo de aditivo presentan un riesgo de corrosión del 5%, mientras que las muestras con aditivo de micro sílice y sin aditivo, muestran un comportamiento desfavorable a los 10 días, con un riesgo de corrosión del 95%.

⁵ YAPHARY, Y. L., LAM, R. H. W., & LAU, D. (2017). Chemical technologies for modern concrete production. *Procedia Engineering*, 172, 1270-1277. doi://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.150.

⁶ CARVAJAL, A., & VENEGAS, R., & VERA, R., & GUZMÁN, F. (2008). Estudio de Aditivos Inhibidores de Corrosión para Estructuras de Hormigón Armado. Análisis Cualitativo y Cuantitativo de Penetración de Cloruros. *Revista de la Construcción*, 7 (2), 84-92.

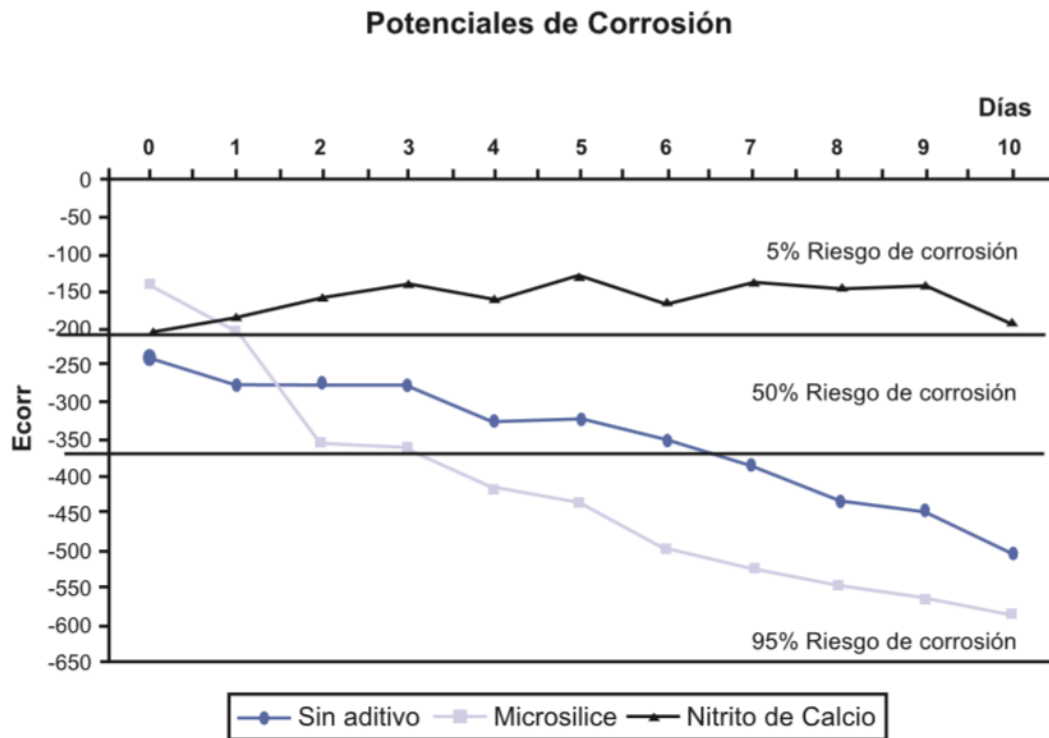


Ilustración 2. Corrosión Promedio Versus Tiempo de Exposición.

Fuente: A. María Carvajal, F. G. 2008. *Estudio de Aditivos Inhibidores de Corrosión para Estructuras de Hormigón Armado. Revista de la Construcción, IV (2), 84-92.*

Igualmente, se han realizado investigaciones en donde la premisa fundamental es inyectarle un material alternativo al concreto para mejorar o modificar alguna de sus propiedades, desde la adición de cenizas de cascarilla de arroz, hasta la aplicación de polvo de ladrillo y residuos de baldosa cerámica se han intentado probar en mezclas de concreto con el objetivo de proponer la adición de materiales alternos que complementen al concreto. Es un hecho que se seguirá profundizando en la investigación en este material del que resulta indispensable su uso para el sistema de vida y el desarrollo de la humanidad, por lo cual se plantea el siguiente documento como apoyo a su estudio y como ayuda académica para los futuros interesados en esta área del conocimiento.

4. MARCO TEÓRICO

Para poder tener un concreto de calidad, que garantice una resistencia y durabilidad esperada, tiene gran influencia el conocimiento de la naturaleza de sus componentes, así como sus características y propiedades que guiaran el diseño de una mezcla óptima de material.

El concreto y el mortero son los materiales más importantes con los cuales, los arquitectos, ingenieros y todos los demás profesionales, laboratoristas y trabajadores de la construcción diseñan y elaboran las obras concebidas para el bienestar y el progreso humano, constituido por diferentes materiales, los cuales debidamente dosificados y mezclados se integran para formar elementos monolíticos que proporcionen resistencia y durabilidad en las estructuras.⁷ (ASOCRETO, 2014, pág. 1)

⁷ ASOCRETO. Técnicas de laboratorio Modulo 3. Bogotá, 2014. 1 p.

Concreto – generalidades.

El desarrollo de la civilización moderna es totalmente dependiente del concreto. Este material es usado para hacer desde la vivienda más pequeña hasta un puente de cientos de kilómetros que sea capaz de atravesar el océano. Por ende, es necesario tener el conocimiento suficiente sobre sus componentes para realizar una mezcla apta para la construcción, capaz de cumplir con los estándares de durabilidad, resistencia y seguridad al usuario, puesto que estos factores son los que más influyen en el comportamiento a lo largo de su vida útil. Si se tiene un concreto estructural deficiente, no se tiene una infraestructura segura, lo cual puede causar pérdidas económicas, pérdida de tiempo y hasta víctimas mortales.

Sin embargo, uno de los problemas más grandes que se encuentra en el campo de la construcción, es que los ingenieros o encargados de las obras no tienen el conocimiento necesario para poder identificar y verificar las características que debe tener este material para poder emplearlo en obra, lo que causa diferentes problemas cuando este ha fraguado, un ejemplo de esto es la fisuración temprana.

El concreto tiene la facultad de poseer diferentes propiedades que se alteran con el pasar del tiempo, tales como resistencia, durabilidad, entre otras. El cemento busca alterarse químicamente con el agua para generar una pasta donde los áridos puedan quedar suspendidos heterogéneamente en esta. “El agua cumple la doble función de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento, dando lugar con ello, a su endurecimiento”.⁸ (Porrero, Ramos, Grases & Velzco, 2014, pág. 31)

⁸ PORRERO, Joaquín; RAMOS, Carlos; GRASES, José; VELAZCO, Gilberto. Manual del Concreto Estructural. Caracas, 2014. 31 p.

Las principales características y propiedades del concreto que pueden ser influidas y modificadas en las diferentes etapas que este presenta durante su elaboración y colocación, son:

Concreto fresco: Cohesión, manejabilidad, asentamiento, sangrado, tiempo de fraguado y pérdida de revenimiento.

Concreto endurecido: Generación de calor, adquisición de resistencia mecánica, cambios volumétricos, control de sulfatos.⁹ (Aquise & Nervi, 2014, pág 11).



Ilustración 3. Mezcla de concreto - Bogotá

Fuente: Autores, 2017.

El concreto, tiene ventajas y desventajas que deben ser tenidas muy en cuenta al momento de hacer uso de este material, con el fin de mantener una obra segura durante la ejecución del proyecto y después de terminada la construcción.

⁹ AQUISE, Beatriz; NERVI, Manuel. Tecnología del concreto. Juliaca, 2014. 11 p

VENTAJAS

- Moldeable
- Resistente
- Duradero
- Resistente al fuego
- Se puede fabricar in situ
- Alta resistencia a compresión

DESVENTAJAS

- Baja resistencia a tensión
- Baja ductilidad
- Pesado

La durabilidad del concreto garantiza una construcción segura durante un tiempo de vida estimado. Para ello es necesario tener en cuenta aspectos como la corrosión, resistencia mecánica, condiciones de servicio, estabilidad volumétrica, entre otras. A excepción del agua, el hombre no consume otro material tanto como el hormigón. “En muchos países la relación entre el consumo del hormigón al acero es de 10 a 1”¹⁰. (Carrasco, 2012, pág 1.) La ventaja que presenta el concreto frente a otros tipos de materiales, es que al estar endurecido y tener contacto con el agua, este no presenta graves alteraciones que puedan perjudicar su comportamiento en su vida útil estimada.

El concreto se puede encontrar en diferentes estados. En un principio, mientras se prepara la pasta, se ve un material heterogéneo, fácil de manejar y que se adapta

¹⁰ CARRASCO, Fernanda. Generalidades Sobre el Hormigón. Buenos Aires, 2012. 1 p.

a una forma sin mucho esfuerzo, adicionalmente, en estado fresco permite rellenar y moldear diferentes tipos encofrados y moldes. Posteriormente, con el pasar del tiempo el concreto se va secando y el agua va generando alteraciones químicas con el cemento que causan que este ya no sea manejable y que logre adquirir una resistencia mecánica significativa.

Hay que tener en cuenta que si el hormigón no es de buena calidad o no se ha ejecutado adecuadamente, su resistencia mecánica se reduce considerablemente. Para que un buen concreto pueda lograr su resistencia de diseño, este debe cumplir con una relación a/mc máxima y minimizar la presencia de hormigoneo en su superficie; si el hormigón no está bien hecho, la superficie comenzara a agrietarse reflejándose hacia el interior de la masa de concreto, ocasionando graves patologías en los elementos estructuras afectados por esta permeabilidad.

4.1.1. Tecnología del concreto.

Las propiedades del concreto son sus características o cualidades básicas. Las cuatro propiedades principales del concreto son: trabajabilidad, cohesividad, resistencia y durabilidad. Las características del concreto pueden variar en un grado considerable mediante el control de sus ingredientes; por lo tanto, para una estructura específica, resulta económico utilizar un concreto que tenga las características exactas necesarias, aunque esté débil en otras.¹¹ (Aquise, 2014, pág. 3)

¹¹ AQUISE, Beatriz; NERVI, Manuel. Tecnología del concreto. Juliaca, 2014. 3 p

Trabajabilidad

La trabajabilidad de las mezclas de concreto se define en función de las facilidades que ofrecen para ser utilizadas sin perder homogeneidad, lo cual involucra todos los aspectos relacionados con la fabricación y uso del concreto, desde que se le dosifica y mezcla hasta que finalmente se encuentra colocado y compactado, formando parte de la estructura.

Así mismo se puede presentar por tres principales características: Estabilidad, resistencia que el concreto opone para ser segregado y exudar. Compactibilidad, facilidad con que las mezclas de concreto permiten la remoción del aire atrapado durante el moldeo, a fin de lograr un alto grado de compacidad en el concreto endurecido. Y Movilidad, “tiene que ver con la capacidad de la mezcla para fluir, cuya característica depende de la cohesión, viscosidad y ángulo de fricción interna del concreto fresco”.¹² (ACI, 1986, pág. 2)

Durabilidad

La durabilidad del concreto hace referencia al conjunto de propiedades que debe tener el hormigón al final de su vida útil prevista con un coeficiente de seguridad aceptable. Así mismo debe ser capaz de resistir la intemperie, desgaste por vientos y agua, además de la acción de productos químicos a los que puede estar sometido en servicio.

¹² ACI. Comité 309. USA, 1986. 02 p

Impermeabilidad

Esta propiedad permite que el concreto pueda estar constantemente en contacto con agua y que este no tenga alteraciones en sus propiedades mecánicas, se encuentra directamente relacionado con la durabilidad del material.

Resistencia

La resistencia es la capacidad que adquiere el concreto en estado endurecido, para resistir una carga determinada sin fallar, alterarse volumétricamente o tener desprendimientos en su superficie.

Existen varios tipos de concretos, estos pueden variar dependiendo al uso que se les quiera dar, el contexto, y el tiempo con el que se cuente para la realización de la obra. Esta es una clasificación de los concretos más comunes usados en el mercado comercial de la construcción:

Concreto ciclópeo

Concreto con adición de piedras medianas o grandes, con buenas propiedades, capaces de aportar una alta resistencia. La proporción máxima del agregado ciclópeo será en sesenta por ciento (60%) de concreto simple y del cuarenta por ciento (40%) de rocas desplazadas de tamaño máximo de 10"; "éstas deben ser introducidas previa selección y lavado, con el requisito indispensable de que cada piedra, en su ubicación definitiva, debe estar totalmente rodeada de concreto simple."¹³(Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2006). Este tipo de agregados

¹³ Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Especificaciones Técnicas para la Construcción de Viviendas. Bogotá. 2006.

pueden ser extraídos del dragado en los bordes de los ríos donde el agua golpea con mucha fuerza.

Concreto armado

Este tipo de concreto lleva en su núcleo una serie de refuerzos como barras o mallas de acero, aumentando su resistencia a la tensión. El concreto cumple con resistir fuerzas a compresión, mientras que la función de los hierros es someterse y aguantar los esfuerzos a tracción. Para este tipo de concretos es necesario verificar que no exista agrietamiento en la superficie, pues fácilmente el oxígeno puede introducirse ocasionando corrosión, lo cual puede debilitar la estructura fácilmente. Este tipo de concreto se usa en todas las estructuras que se encuentren sometidas a esfuerzos de tensión.

Concreto ligero

Este concreto está compuesto básicamente por agua, cemento y agregado fino (grout). Este tipo de concreto puede ser usado como pañete, dovelas y dinteles, que requieren resistir cargas relativamente bajas. Este concreto es útil en zonas donde la carga muerta es muy inferior al peso propio aportado por un concreto normal.

Concreto normal

“Este concreto debe tener un peso por unidad de volumen entre 2200 kg/m³ y 2400 kg/m³.”¹⁴ (ACI, 1986, pág. 8)

¹⁴ ACI. Comité 309. USA, 1986. 08 p

Concreto pesado

“Su peso por unidad de volumen debe ser igual o mayor a 2500 kg/m³.”¹⁵ (ACI, 1986, pág. 11) Este concreto se usa generalmente en puentes vehiculares.

Concreto con aire incorporado

Es un tipo especial de material de construcción liviano que se produce en forma de bloques o paneles utilizados para construcción de edificios residenciales o comerciales. El uso de este tipo de concreto es asociado principalmente a zonas sometidas constantemente a ciclos de congelamiento y deshielo.¹⁶ (Silva, 2016)

Concreto premezclado

Este concreto es preparado en una planta dosificadora central y es transportado mediante camiones pre-mezcladores directamente a la obra. En la obra este concreto se usa de inmediato, se presume que ya deben estar listas las formaletas para proceder con el vertimiento de este material.

Concreto vibrado

Este concreto, después de estar puesto en obra, logra su compactación por medio de vibradores, que buscan extraer las burbujas de aire contenidas al interior del mismo, así como acomodar el concreto de tal manera que se logre consolidar reduciendo al máximo los espacios vacíos en su interior.

¹⁵ ACI. Comité 309. USA, 1986. 11 p

¹⁶ SILVA, Omar. Propiedades y Aplicaciones del Concreto Celular. Bogotá, 2016.

4.1.2. Función de sus componentes.

“Aproximadamente un 80% del peso del concreto u hormigón está compuesto por partículas de origen pétreo, de diferentes tamaños, material denominado usualmente como agregados, áridos o inertes.”¹⁷ (PORRERO, RAMOS, GRASES, &VELAZCO, 2014, pág. 28)

Los agregados naturales se clasifican en finos y gruesos. Los agregados finos o arenas, son aquellos que pasan el tamiz No. 4 y quedan retenidos en el tamiz No. 200, mientras que los agregados gruesos o gravas, son aquellos que pasan el tamiz 6,35 mm y quedan retenidos en el tamiz No. 4. “Estos últimos presentan mejores propiedades de adherencia con la pasta de cemento cuando son triturados, ya que estas partículas, presentan aristas que logran mejorar la fricción en la interface pasta - agregado.”¹⁸ (PORRERO, RAMOS, GRASES, &VELAZCO, 2014, pág. 29)

4.1.2.1. Agregado grueso.

Está formado fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, piedra triturada, escoria de hornos de explosión, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior, se considera como el material retenido a partir del tamiz No. 4, para el correcto funcionamiento del material, se recomienda que estas partículas no sean demasiado porosas.

La función del agregado grueso en el concreto es formar un esqueleto unido por la pasta, proporcionando una masa de partículas capaz de resistir fuerzas a

¹⁷ PORRERO, Joaquín; RAMOS, Carlos; GRASES, José; VELAZCO, Gilberto. Manual del Concreto Estructural. Caracas, 2014. 28 p.

¹⁸ PORRERO, Joaquín; RAMOS, Carlos; GRASES, José; VELAZCO, Gilberto. Manual del Concreto Estructural. Caracas, 2014. 29p.

compresión, desgaste e intemperismo. Los agregados gruesos le proporcionan a la mezcla volumen, economizando su costo; adicionalmente estos agregados están en la facultad de mantener el volumen de la mezcla después del proceso de endurecimiento.

Un buen agregado grueso debe poseer las siguientes características:

- Buena gradación con tamaños intermedios, la falta de dos o más tamaños sucesivos puede producir problemas de segregación.
- Tamaño máximo nominal adecuado a las condiciones de la estructura.
- Debe evitarse el uso de agregados planos o alargados, ya que además de producir bajas masas unitarias y baja resistencia mecánica, tienen tendencia a colocarse horizontalmente formándose bajo su superficie bolsas de agua; esta agua almacenada bajo las partículas deja un espacio vacío cuando después del fraguado el agua evapora, por lo cual trae como consecuencia una notable reducción de la resistencia y la durabilidad del concreto.
- Una adecuada densidad aparente está entre 2.3 y 2.9 gr/cm³. Cuanto mayor es su densidad mejor es su calidad y mejor su absorción, que oscila entre 1 y 5%.
- Las partículas con formas angulosas producen mezclas ásperas y difíciles de manejar.
- Una superficie rugosa, limpia y sin capas de material fino.
- No debe contener terrones de arcilla, ni partículas deleznable; generalmente se limita al contenido de finos entre 1 y 3%, para que permita una adecuada adherencia de las partículas y el cemento en las mezclas.
- El agregado grueso debe tener una resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles que garantice su dureza. Los límites recomendados son: Si el agregado va a ser usado en lozas de concreto o en pavimentos rígidos el

desgaste debe ser menor del 35%, si va a ser usado en otras estructuras el desgaste debe ser menor del 40%.¹⁹ (Aquise, 2014, pág. 38)

4.1.2.2. Agregado Fino.

Se determina como el material que pasa el tamiz No. 4 y queda retenido en el No.200 y se clasifica en arena natural, de canto rodado o de río, manufacturada o combinación de ambas.

El agrado fino es usado como material crudo en la manufactura del concreto, con el fin de lubricar y mantener entrelazado la pasta con el agregado grueso. En estado fresco este material aporta gran manejabilidad a la mezcla de concreto.

Un buen agregado fino debe poseer las siguientes características:

- Un buen agregado fino al igual que el agregado grueso debe ser bien gradado para que puedan llenar todos los espacios y producir mezclas más compactas.
- La cantidad de agregado fino que pasa los tamices 50 y 100 afecta la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial y la exudación del concreto.
- Las especificaciones permiten que el porcentaje que pasa por el tamiz No 50 este entre 10% y 30%; se recomienda el límite inferior cuando la colocación es fácil o cuando los acabados se hacen mecánicamente, como en los pavimentos, sin embargo, en los pisos de concreto acabado a mano, o cuando se desea una textura superficial tersa, deberá usarse un agregado fino que pase cuando menos el 15% el tamiz 50 y 3% el tamiz 100.

¹⁹ AQUISE, Beatriz; NERVI, Manuel. Tecnología del concreto. Juliaca, 2014. 38 p

- El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, deberá estar entre 2,3 y 3,1 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas ásperas.
- La presencia de materia orgánica en la arena que va a utilizarse en la mezcla de concreto llega a interrumpir parcial o totalmente el proceso de fraguado del cemento.²⁰ (Aquise, 2014, pág. 39)

4.1.2.3. Cemento.

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

Existen varios tipos de cemento, que se clasifican de acuerdo a su composición química y a sus características.²¹ (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2014, pág. 39)

²⁰ AQUISE, Beatriz; NERVI, Manuel. Tecnología del concreto. Juliaca, 2014. 39 p

²¹ Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. Componentes y Propiedades del Cemento. Madrid, 2010.

Tabla 1. Tipos de cemento

Tipo de cemento		Componente (%)						Características generales	
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ A	CaSO ₄	CaO		MgO
I	Normal o regular	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	Todo uso
II	Modificado	46	29	6	12	2.8	0.6	3.0	Liberación de menos cantidad de calor. Moderada resistencia a sulfatos.
III	Alta resistencia o temprana edad	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Consigue la resistencia en pocos días
IV	Bajo calor de hidratación	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Presas de concreto. Se consigue por encargo especial
V	Resistencia a sulfatos	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	Alcantarillados y estructuras expuestas a altos contenidos de sulfatos.

Fuente: Muñoz. 2001.

4.1.2.4. Agua.

La función del agua en las mezclas de concreto es múltiple. Primero cuando se realiza la mezcla de concreto esta permite formar la pasta al mezclarse con el cemento, aportando fluidez y manejabilidad al estar en contacto con los áridos. En las primeras horas el agua comienza a hidratar el cemento, el cual genera una reacción que libera calor en cantidades considerables (calor de hidratación), causando un endurecimiento en la mezcla. Sin embargo para que el concreto pueda llegar a la resistencia esperada, es necesario que todas las partículas de cemento logren esta hidratación que, según los estudios realizados al material, se logra alcanzar a los 28 días de curado.

Se recomienda hacer uso de agua con pH neutro, incolora y que no esté bajo la presencia de agentes químicos, ya que esto puede alterar las propiedades mecánicas del concreto.

4.1.2.5. Aditivos.

Son muchas las necesidades en el ámbito de la construcción que han obligado a la búsqueda de nuevos materiales para complementar y mejorar los procesos constructivos. “Los aditivos son unos de ellos, desde el siglo XVIII se viene trabajando esta tecnología”.²² (Melo, 2013, pág. 11). Los aditivos ya existentes tienen diferentes finalidades que en común, buscan optimizar el uso del concreto según las necesidades del constructor.

En muchos casos, las circunstancias, tiempo y espacio, no permiten tener los componentes adecuados para garantizar un buen concreto, es en este punto donde el uso de los aditivos garantiza un buen desempeño de la mezcla en la construcción.

En Colombia los aditivos a saber, se rigen por la Norma Técnica Colombiana NTC 1299 - Concretos. Aditivos Químicos para el Concreto. Esta norma hace la siguiente clasificación de los tipos de aditivos.

Tipo A: Plastificante. Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada consistencia del concreto.

Tipo B: Retardantes. Demora el tiempo de fraguado del concreto.

Tipo C: Acelerantes. Acelera tanto el fraguado como la ganancia de resistencia a edad temprana del concreto.

²² MELO, Ernesto. Los Aditivos. República Dominicana, 2013. 11 p.

Tipo D: Plastificantes retardantes. Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla con determinada consistencia y retardar su fraguado.

Tipo E: Plastificantes acelerantes. Permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla con determinada consistencia y acelerar tanto el fraguado como la resistencia a edad temprana.

Tipo F: Superplastificantes. Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto.

Tipo G: Superplastificante retardante. Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto y además retardar su fraguado.

Tipo H: Superplastificante acelerante. Permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto y acelerar tanto el fraguado como la resistencia a edad temprana.²³ (Icontec, 2008)

Plastificante

El fin de este aditivo consiste en disminuir la cantidad de agua y tener una consistencia esperada. Su principal característica está en hacer un concreto más manejable. Este aditivo se usa en concretos con bajo asentamiento y baja relación agua-cemento. Además, ayuda a la reducción de exudación y disminuye la segregación.

²³ ICONTEC. Normas técnicas colombianas, NTC 1299. Bogotá: Legis editores S.A., 2008

Retardantes

Como su nombre lo expresa, el uso de este aditivo se centra en retrasar el tiempo del fraguado del concreto. Este tipo de aditivos se emplea en la colocación del concreto cuando la temperatura ambiente es muy alta, pues este hace un contraste con los efectos causados por la temperatura, extendiendo su trabajabilidad.

Acelerante

En contraste al con el aditivo Tipo B, este tipo de aditivo es utilizado con el fin de aumentar la tasa de hidratación y hacer que el concreto llegue a la resistencia última esperada en un menos tiempo. Este tipo de aditivos generalmente se usa para acabados más rápidos de placas, colocación del concreto en clima frío, reducción de tiempos de desencofrado, prefabricados, sellado, impermeabilización y obturación de grietas y ventanas de agua, entre otros.

Plastificante retardante

Este tipo de aditivo busca fusionar las propiedades del aditivo plastificante con las del aditivo retardante, haciendo que sea más prolongado el tiempo de manejabilidad del concreto. Este aditivo es utilizado en plantas de mezcla porque permite alcanzar y sobrepasar la resistencia de diseño, así como satisfacer los requerimientos de manejabilidad.

Plastificante acelerante

Al igual que el aditivo Tipo D, este cumple una doble función: plastifican la mezcla aumentando su manejabilidad, permitiendo una colocación y compactación más fácil y aceleran la ganancia de resistencia a edad temprana.

Superplastificante

Este aditivo posee características mucho más robustas que las del Tipo A. La aplicación práctica de estos aditivos se encuentra en la elaboración de mezclas con altas resistencias, con un porcentaje de cemento balanceado, sin problemas de contracción y fisuramiento de aquellas que contienen cemento en exceso. Otras aplicaciones inmediatas de las mezclas fluidas se dan en el bombeo del concreto, la colocación de concreto tipo tremie y en elementos esbeltos y/o densamente armados, entre otros, pues el desempeño es muy alto compensando de esta manera los costos.

Superplastificante retardante

Este grupo de aditivos hace una reducción de agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto y además retardar su fraguado. Estos aditivos resultan ideales para concreto premezclado que necesita largos tiempos de transporte. En su desempeño se asemejan a los estabilizadores, pero con un poder reductor de agua que nunca será alcanzado por un estabilizador.

Superplastificante acelerante

Este aditivo es capaz de generar lo opuesto al Tipo H; permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener determinada consistencia en el concreto, y acelerar tanto el fraguado como la resistencia a edad temprana. Estos aditivos han sido diseñados para lograr la máxima dispersión posible; sin embargo, su efecto es de corta duración. “Son ideales para aplicaciones como elementos prefabricados (dovelas, vigas, pilotes etc.), concreto lanzado, entre otros. Incluso algunos de estos compuestos llevan también acelerantes que permiten alcanzar hidrataciones

rápidas y resistencias mecánicas muy elevadas.”²⁴ (Portland Cement Association, 2002, pág. 78, 79)

²⁴ PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Design and control of concrete mixtures. 15 edición., USA. 2002. 78-79 pg.

4.2. Metodologías de dosificación

En diseño de mezclas de concreto, es una de las herramientas más importantes con las que debe contar toda obra de ingeniería, ya que el empleo de dicho material, compromete el funcionamiento, resistencia, estabilidad, durabilidad y calidad en general de todas las construcciones que involucren concreto a nivel estructural. Los métodos de dosificación, tienen como objetivo solventar algunas de las propiedades mencionadas anteriormente por medio de la caracterización de cada uno de sus componentes, con el fin de llegar a determinar “las cantidades relativas para producir, tan económicamente como sea posible, un concreto o un mortero con un mínimo de propiedades.”²⁵ (Montejo, 2013, pág. 28)

Es evidente que postular una dosificación perfecta que genere una resistencia específica totalmente constante, es una utopía para la ingeniería en general, ya que existe una infinidad de parámetros que intervienen en su resistencia final que no se pueden llegar a controlar en su proceso de fabricación; sin embargo, es confiable recurrir a este tipo de metodologías de dosificación, dado que a lo largo de la historia han brindado resultados satisfactorios y congruentes con sus procedimientos de diseño; cabe resaltar que el reglamento colombiano **NSR - 10**²⁶ cubre diferentes tipos de desviaciones que, en cuanto a resistencia, brindan un factor de seguridad que oscila entre 7 MPa y 10 MPa.

²⁵ MONTEJO, op. cit, p.28.

²⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10, Segunda actualización, Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, 2010.

4.2.1. Método Walker

Enrique Rivva²⁷, manifiesta que el método de dosificación Walker, es el resultado de la investigación del profesor inglés Stanton Walker, el cual desarrollo una metodología para calcular las cantidades de cada uno de los componentes del hormigón mediante la aplicación de una serie tabulaciones que representan correlaciones entre una y otra propiedad del material; el profesor norteamericano S. Walker consiguió su reproducción mediante un sistema de prueba y error que logro aproximar un procedimiento valido para el diseño de mezclas de concreto.

Walker, patenta el método en vista de la preocupación que le generaban los procedimientos de diseño llevados a cabo por el comité 211 del ACI, “en relación con el hecho de que, sea cual fuera la resistencia de diseño del concreto y por tanto su relación agua/cemento, contenido de cemento y características del agregado fino, la cantidad de agregado grueso era la misma”²⁸.

El profesor Walker²⁹, planteo que la relación fino-grueso debería variar en función del contenido de la pasta en la mezcla, así como del perfil y del TMN del agregado grueso, y que otro factor que debería ser considerado era la mayor o menor fineza del agregado fino, a su vez, el contemplo que debía existir una calificación del agregado en función de su tamaño, clasificándolos como finos, medianos y gruesos; así mismo, considero la geometría de los agregados gruesos, y dependiendo el caso, se consideran cuatro alternativas de factor cemento. Todo ello permite encontrar un porcentaje de agregado fino que se considera como el más conveniente en relación al volumen absoluto total de agregado.

²⁷ RIVVA, op. cit. p. 47.

²⁸ *Ibíd.*, p. 47.

²⁹ *Ibíd.*, p. 50.

Secuencia de diseño

Ítem – *Depende de.*

1. Resistencia de diseño – *Proyecto, especificaciones del diseño estructural.*
2. Selección de asentamiento – *trabajabilidad necesaria en el proyecto.*
3. Características de los materiales a emplear – *condiciones de ubicación o disponibilidad en obra.*
4. Selección del tamaño máximo nominal (TMN) – *ítem 3.*
5. Contenido de agua – *tamaño máximo nominal y asentamiento.*
6. Selección de la relación agua/material cementante (a/mc) – *Resistencia de diseño y contenido de aire.*
7. Calculo del contenido de cemento – *Relación a/mc.*
8. Calculo de volumen absoluto de agregados (fino + grueso) – *Determinación de la sumatoria de los volúmenes de aire, cemento y agua.*
9. Calculo del porcentaje de agregado fino – *TMN, módulo de fineza y factor cemento.*
10. Calculo de pesos secos de los agregados – *peso específico de los agregados y % de agregado fino.*
11. Presentación del diseño en estado seco – *cantidad de cemento.*
12. Ajustes de diseño por humedad de los agregados – *Contenido de humedad.*
13. Presentación final del diseño.³⁰

4.2.2. Método del ACI

El Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés), planteo un procedimiento de dosificación que reúne el conjunto de estudios desarrollados por varios métodos, incluido el método Walker. Esta metodología “ha sido concebida de tal manera que las dosificaciones de los agregados satisface unos requisitos

³⁰ DIMEZCO 2000, Manual de diseño de mezclas. Vol. 1.

granulométricos determinados”³¹; no obstante, cuando no se cumple con este requisito, se puede emplear como soporte el procedimiento alterno propuesto por el Road Note Laboratory (RNL)³², el cual consiste en realizar una optimización granulométrica adecuada de los agregados, combinando varias fuentes para producir la mezcla requerida.

De la misma manera que muchos métodos de dosificación, el ACI recomienda a los constructores realizar mezclas de prueba con el fin de comprobar si las características proporcionadas en el diseño, se acercan a la realidad del concreto tanto en estado fresco como endurecido. En caso de satisfacer parcialmente los requerimientos del proyecto en cuanto a condiciones de transporte, colocación y resistencia, “se deberá realizar una mínima variación en la dosificación inicial mediante un sistema de ajuste y reajuste, que logre solventar al máximo las características mínimas del concreto para su colocación en obra”³³.

³¹ ASOCRETO. Tecnología del Concreto: materiales, propiedades y diseño de mezclas. 3ra edición. Bogotá, 2010. 228.

³² MONTEJO, op. cit, p.165.

³³ MONTEJO, op. cit, p.165.

Secuencia de diseño

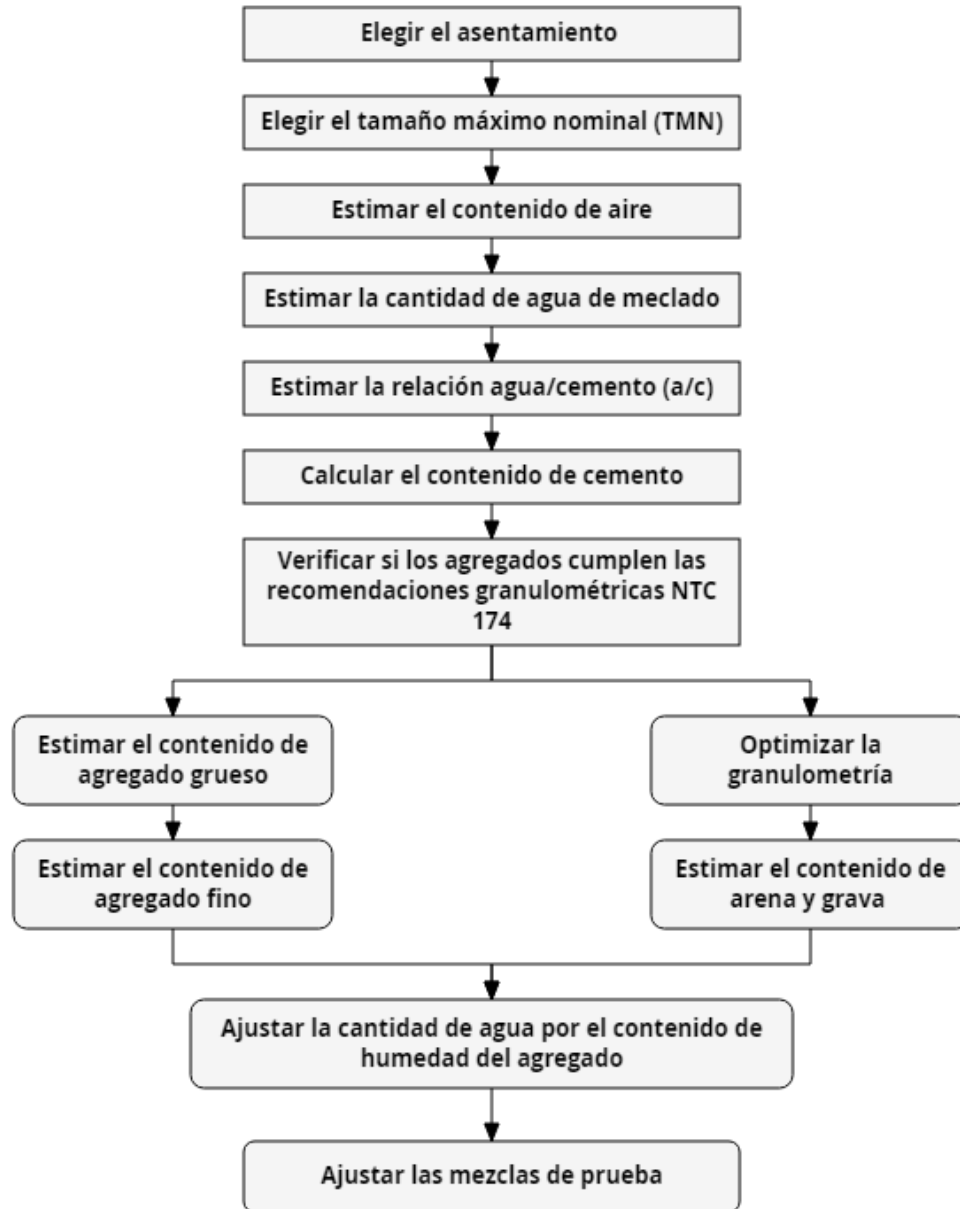


Ilustración 4. Secuencia de Diseño - Método ACI.

Fuente: ASOCRETO. Tecnología del concreto. C11: Diseño de mezclas.

De igual modo, el método cuenta con una serie de tabulaciones y ábacos que relacionan algunas de las características de instalación y resistencia de la mezcla respecto a la cantidad relativa de cada uno de los componentes del concreto.

Cabe resaltar que este tipo de metodología es el más utilizado por parte de las concretaras a nivel mundial, puesto que el grado de influencia e investigación, generado por dicha asociación, ha llevado a la mayoría de los países latinoamericanos a comprar los derechos de sus documentos técnicos con el propósito de reproducir sus normas de construcción sismo resistente fundamentados en los resultados del ACI.³⁴ (Asocreto, 1985.)

4.2.3. Otros métodos de dosificación

Método Sandino

El procedimiento de diseño de mezclas por este método de dosificación, tiene en cuenta la ocurrencia de dos posibles escenarios, y para cada uno de los mismos, se presentan procedimientos diferentes. El primer escenario es aplicable cuando los agregados grueso y fino cumplen los requisitos granulométricos, mientras que el segundo escenario reúne las implicaciones producto de un agregado mal gradado.

En el primer caso, se determinan las cantidades, en volumen, del agregado grueso, agua y cemento por metro cubico de concreto, por medio de un conjunto de ábacos que relacionan los siguientes componentes:

- Asentamiento – Agua.
- Resistencia a la compresión – Cantidad de cemento (en función del tamaño máximo del agregado grueso).

³⁴ ASOCRETO, op. cit, p.195.

Alejandro Sandino, propone a su vez que la relación entre el asentamiento y el agua, tiene una influencia directa con la geometría de los agregados, ya sea agregado liso o agregado angular, ya que, según la presentación de los ábacos, entre más angular sea el agregado, y más pequeño sea este, se demandara mayor cantidad de agua por metro cubico para la elaboración de la mezcla.

En el segundo escenario, cuando la granulometría de los agregados no logra acomodarse a los requerimientos mínimos especificados por la NTC 174, se debe buscar combinar los agregados con otras fuentes, para que esta nueva distribución de tamaños, consiga aproximarse a la curva sugerida por Fuller (conjunto de curvas granulométricas ideales en función del tamaño máximo del agregado); posteriormente, se realiza un procedimiento similar al desarrollado en el primer escenario.

Evidentemente, y como todos los métodos, para los dos escenarios presentados se presenta una relación directamente proporcional entre la resistencia a compresión esperada los 28 días del concreto, y la cantidad de cemento suministrada al mismo³⁵.

Método Faury

El departamento de Ingeniería y gestión de la construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile³⁶, manifiesta que este método se basa en las experiencias realizadas por su propio autor, las que constituyen una continuación

³⁵ SANDINO A. Tecnología del Hormigón. Asociación de ingenieros civiles de la Universidad Nacional. 1984, 276 p.

³⁶ VIDELA, C. Dosificación de hormigones. {En línea}. Fecha. {25 de febrero de 2018}. Disponible en: (<https://ingjeltoncalero.files.wordpress.com/2014/02/dosificaciones-de-hormigon.pdf>).

de las que ya anteriormente habían ejecutado sobre principios similares otros investigadores tales como Fuller, Bolomey y principalmente Caquot, quien le proporcionó el fundamento teórico a los conceptos de mayor importancia contenidos en el método.

Esencialmente, esta metodología mantiene la secuencia de los anteriores sistemas de dosificación, con la diferencia de incluir en sus cálculos la relación entre la sección de concreto involucrada en los elementos estructurales, y área disponible entre las barras de acero de refuerzo dispuestas para el mismo. Por otro lado, este método también se enfatiza en la dosis suministrada a los áridos por medio de un modelo denominado **Índices Ponderables**, el cual permite ajustar la granulometría del agregado en función de la curva ideal propuesta por Fuller.

Método del ICPA

El instituto del cemento portland argentino (ICPA)³⁷, postula una metodología de dosificación que supone útil para el diseño de mezclas consideradas convencionales y no puede emplearse para el diseño de hormigones livianos... análogamente a otros métodos racionales, se deben conocer las propiedades o características de los materiales componentes, así como las condiciones particulares de la obra y el equipamiento disponible. La aplicación de este modelo tiene la característica de contemplar los posibles cambios en las características debido al empleo de aditivos reductores de agua o inclusores de aire; las etapas del método son muy similares a las empleadas por el ACI. (Diseño Racional de Mezclas de Hormigón, 2018)

³⁷ DISEÑO RACIONAL DE MEZCLAS DE HORMIGÓN – MÉTODO ICPA. {En línea}. Fecha. {27 de febrero de 2018}. Disponible en: (<http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/dosifica.pdf>).

4.3. Fundamentos para el diseño de mezclas

En la actualidad, el diseño de las mezclas de concreto para cualquier proyecto de ingeniería, no forma parte integral de las actividades que conforman el desarrollo de las obras de infraestructura a nivel nacional, sin embargo, en los últimos años esta importante labor se ha subestimado y dejado a cargo de terceros que, por medio de subcontratación, se dedican exclusivamente al diseño y elaboración de cemento y mezclas de concreto.

Por otra parte, en obras relativamente pequeñas, donde el concreto se fabrica in situ, el “diseño” de la mezcla se limita exclusivamente a una preparación basada en la experiencia adquirida por parte del maestro de obra; generalmente esta preparación se lleva a cabo por medio de paladas o sacos, los cuales se ajustan a las siguientes correlaciones:

Cemento: Arena: Triturado

Tabla 2. Relaciones C:A:T - Mezclas en obra.

RELACION	RESISTENCIA (PSI)
1:2:2	3500
2:2:3	3000
1:2:4	2500

Fuente: ConstruyaFacil.org – Dosificaciones por Volumen

Evidentemente, esta metodología rudimentaria pasa por alto muchas de las variables que se deben considerar para la cuantificación de cada uno de los componentes del hormigón, objetivo principal del diseño de mezclas de concreto. Estas relaciones, no tienen en cuenta la gran diversidad de material pétreo que se puede emplear para la elaboración del concreto, omitiendo las características y

propiedades que le pueden brindar a la mezcla final, por otro lado, dichas relaciones no contemplan la cantidad de agua que se inyectara en las mezclas, alterando uno de los parámetros más importantes en el material, la relación agua/cemento.

No obstante, la aceptación de este tipo de dosificaciones y de los malos procedimientos de mezclado y colocación del hormigón, obedecen a lo que denominaría el Ingeniero Eccelino Farías García como, “uno de los atributos más importantes del concreto, la nobleza”³⁸ (Farías, 2017); y es esta nobleza la que hace posible que sin importar el diseño, manejo, colado y curado de los elementos estructurales hechos en concreto, logren un comportamiento sobresaliente en las obras que se atreven a menospreciar la reglamentación vigente para la construcción sismo resistente en Colombia.

En este orden de ideas, a continuación se enseñaran los requisitos y la reglamentación básica que se debe tener en cuenta para el diseño de una mezcla de concreto con base en la normativa NSR – 10, atendiendo a cada uno de los aspectos más importantes a considerar para lograr dicha finalidad.

4.3.1. Reglamentación NSR-10

El documento que reglamenta la construcción sismo resistente en Colombia, destina en su título C (Concreto estructural) dos capítulos dedicados específicamente al control de calidad del material mediante la regulación de tres pilares fundamentales, que, en conclusión, se encuentran directamente relacionados con el objetivo del presente documento:

- Durabilidad

³⁸ FARIAS, Eccelino; Curso: Concreto Presforzado, Universidad Santo Tomás de Colombia. Bogotá.

- Dosificación
- Control estadístico y de calidad

4.3.2. C.4 – Durabilidad

Este capítulo se encuentra enmarcado por la importancia de considerar los requisitos de durabilidad antes de seleccionar una resistencia de diseño $f'c$, es decir que, dependiendo del destino, tipo de obra y disposición final del concreto, se deberá considerar la introducción de categorías y clases de exposición que guiaran las bases del diseño en función de la resistencia a la compresión.

En vista de que la resistencia a la compresión $f'c$, es el parámetro más significativo para valorar el concreto, la normativa **NSR-10**, exige que la escogencia del mismo obedezca al mayor de los siguientes valores:

- 17 MPa.
- Para durabilidad del capítulo C.4.
- Para los requisitos de resistencia estructural.
- Para estructuras tipo (DMO) o (DES), $f'c > 21$ MPa y $a/mc \leq 0,6$ ³⁹.

Teniendo en cuenta que resulta primordial evaluar los requisitos de durabilidad para la escogencia de los valores de resistencia a la compresión ($f'c$) y la información base para el diseño de la mezcla de concreto, se exponen a continuación los parámetros que se deben considerar para durabilidad en función de las condiciones propias de la obra.⁴⁰ (NSR-10, 2010)

³⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10, Segunda actualización, Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, 2010

⁴⁰ *Ibíd.*, p. C59.

Tabla 3. Requisitos según la clase de exposición.

DESCRIPCIÓN DE LA EXPOSICIÓN	Clase de Exposición	Rela. a/mc máx.	f _c min. Mpa	Requisitos mínimos adicionales
Concreto exterior expuesto a la humedad y a ciclos de congelamiento y deshielo	F0	N/A	17	N/A
	F1	0.45	31	Deben tener aire incorporado
	F2	0.45	31	
	F3	0.45	31	
Concreto en contacto con el suelo o agua que contenga iones sulfatos solubles en agua	S0	N/A	17	N/A
	S1	0.5	28	Debe fabricarse con cementos resistentes a sulfatos.
	S2	0.45	31	
	S3	0.45	31	
Concreto en contacto con agua (baja permeabilidad)	P0	N/A	17	N/A
	P1	0.5	28	
Concreto que requiere protección adicional del refuerzo contra la corrosión	C0	N/A	17	Considerese la aplicación de epoxicos, mayores recubrimientos y la presencia de iones cloruros
	C1	0.5	17	
	C2	0.4	35	

Fuente: Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Título C, C.4.3.1

4.3.3. C.5 - Calidad del concreto, mezclado y colocación

La normativa NSR-10, proclama “Los requisitos de dosificación del concreto se basan en la filosofía de que el concreto debe tener una adecuada durabilidad y resistencia”⁴¹ (NSR-10, 2010), es decir, antes de comenzar el diseño de una mezcla de concreto, se deben revisar todos los parámetros mencionados en el ítem anterior, con el propósito de encaminar el diseño desde la base de la durabilidad, que a su vez, recomendará una resistencia mínima **f’c**.

4.3.4. Dosificación según NSR-10

En el capítulo **C.5.2** de la NSR-10, se especifican algunas recomendaciones y exigencias que se refieren específicamente a la dosificación del concreto, donde se recomienda revisar el documento dispuesto por el ACI 211.1, el cual plasma en

⁴¹ *Ibíd.*, p. C67.

detalle los métodos para seleccionar y ajustar la dosificación de un concreto de peso normal; sin embargo, la normativa Colombiana, concede al diseñador la libre elección del método de dosificación siempre y cuando se logren satisfacer las condiciones propuestas por el mencionado título.

Condiciones y recomendaciones C.5.2

A continuación, se reiterarán los apartados más importantes del reglamento colombiano NSR-10 con base en el objetivo del presente documento:

C.5.2.1 – La dosificación de los materiales para el concreto debe establecerse para lograr:

- a) Trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto dentro del encofrado y alrededor del refuerzo bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse, sin segregación ni exudación excesiva.
- b) Resistencia a exposiciones especiales según lo requerido en el Capítulo C.4.
- c) Conformidad con los requisitos del ensayo de resistencia de C.5.6⁴².

Inicialmente, y con el objetivo de cumplir lo previamente establecido, “El concreto debe dosificarse para que proporcione una resistencia promedio a la compresión, f'_{cr} ”⁴³, dicha resistencia promedio, cobijara las incertidumbres que acarrea el diseño, mezclado, colocación y mantenimiento del concreto con el objetivo de minimizar los riesgos consecuentes de la ocurrencia de un error accidental; el reglamento NSR-10 pretende primordialmente proteger la seguridad pública.

⁴² *Ibíd.*, p. C68.

⁴³ *Ibíd.*, p. C67.

La elección del valor de f'_{cr} dependerá de la disponibilidad de datos para establecer una desviación estándar de la muestra, por otra parte, El título C del reglamento hace hincapié en el empleo de la experiencia en obra o de mezclas de prueba de laboratorio como el método preferido para seleccionar la dosificación del concreto⁴⁴. (NSR-10, 2016)

Control estadístico y de calidad

Posteriormente, se realizan las muestras de prueba atendiendo a los resultados del método de dosificación empleado y se justificara la veracidad de la mezcla por medio de ensayos de laboratorio que revelaran, estadísticamente, la evaluación y aceptación del material.

El reglamento contiene en uno de sus apartados el criterio de evaluación de una clase de concreto, declarando la siguiente condición:

C.5.6.3.3 – El nivel de resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactorio si cumple con los dos requisitos siguientes:

- a) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos (**Nota 1**), es igual o superior a f'_{c} .
- b) Ningún resultado del ensayo de resistencia (**Nota 1**) es menor que f'_{c} por más de 3.5 MPa cuando f'_{c} es 35 MPa o menor; o por más de $0.10f'_{c}$ cuando f'_{c} es mayor de 35 MPa.

Nota 1: *Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 150 por 300 mm..., preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad establecida para la determinación de f'_{c}* ⁴⁵.

⁴⁴ *Ibíd.*, p. C74.

⁴⁵ *Ibíd.*, p. C77.

5. METODOLOGÍA

5.1. Diseño de mezcla

Teniendo en cuenta que el objetivo del presente documento es realizar un análisis netamente académico de una mezcla de concreto que no involucra directamente los requisitos de durabilidad, referidos en el #4.3.2 del presente documento asociado a la normativa vigente de la NSR – 10, estas bases previamente mencionadas serán omitidas para el diseño de la mezcla, sin embargo, la omisión de este parámetro será nuestro punto de partida para el desarrollo del proyecto.

Adicionalmente, la investigación no cuenta con la información y la experiencia necesaria para establecer la desviación estándar requerida para la elección del valor de la resistencia promedio a la compresión f'_{cr} , por tal motivo, el reglamento brinda una alternativa de selección de acuerdo a la siguiente tabulación.

RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA

Tabla 4. Resistencia promedio cuando no hay datos disponibles.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: Reglamento Colombiano de construcción sísmo resistente NSR-10, Título C,

C.5.3.2.2

5.1.1. Ensayos y equipos de laboratorio.

Para poder llegar a la dosificación de la mezcla de concreto optima, desarrollamos el método Walter, realizando cada uno de los respectivos ensayos en laboratorio.

5.1.1.1. Ensayo a los Agregados.

Los agregados que se usaron para el desarrollo de este trabajo son:

- Agregados finos, arena de rio.
- Agregados gruesos, gravilla de ½”.
- Cemento de uso comercial, Argos.

Granulometría

Este ensayo se realizó bajo los parámetros de la norma NTC 77 titulada “Ensayo de Análisis por Tamizado de los Agregados Finos y Gruesos”. Donde se solicitó hacer uso de los siguientes equipos:

- Horno
- Tamices
- Balanza

Para realizar el ensayo se debe secar la muestra previamente, tanto los agregados finos como los agregados gruesos a una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$. Para este fin se toman mínimo 300 g de agregado fino, y 2kg de agregado grueso según la norma. Se continúa con el ensayo seleccionando el grupo de tamices a emplear que permitan obtener la información requerida. En nuestro caso se emplearon los tamices de 1”, ¾”, ½”, 3/8”, N° 4, N° 8, N°10, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200. Se acomodaron los tamices en orden decreciente y se procedió a colocar la muestra sobre el tamiz superior, se agitaron los tamices para garantizar que los agregados queden correctamente retenidos según su tamaño. Posteriormente se tomó la masa

retenida en cada tamiz, y se procede a verificar que la masa total sea congruente con la masa empleada en el inicio del ensayo.

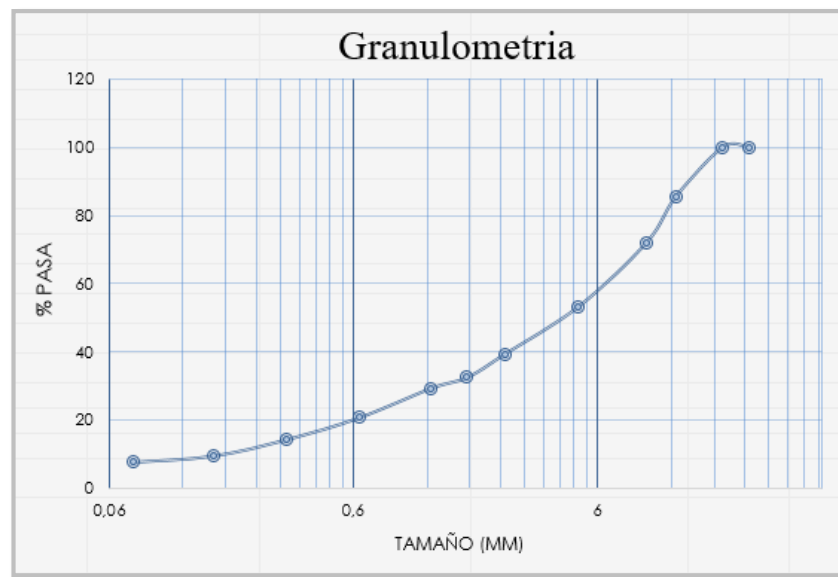
Los resultados obtenidos en el ensayo se muestran a continuación:

Tabla 5. Resultados obtenidos de granulometría.

GRANULOMETRÍA LABORATORIO						
Peso Muestra Total			2800		Kg	
Abertura Tamiz		Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
UNE mm	ASTM N°	Arena + Grava + Gravilla	Arena	Grava + Gravilla		
25	1"	0		0	0,00	100,00
19,5	3/4" (19,05 mm)	0		0	0,00	100,00
12,5	1/2" (12,7 mm)	403,5	0	403,5	14,41	85,59
9,5	3/8" (9,525 mm)	376,1	0	376,1	13,43	72,16
5	N° 4 (4,75 mm)	526,4	38,60	487,8	18,80	53,36
2,5	N° 8 (2,36 mm)	389,3	67,40	321,9	13,90	39,45
1,75	N° 10	193	114,70	78,3	6,89	32,56
1,25	N° 16 (1,19 mm)	281,1	87,90	193,2	10,04	29,41
0,63	N° 30 (0,59 mm)	243,2	145,70	97,5	8,69	20,73
0,32	N° 50 (0,297 mm)	178,1	136,40	41,7	6,36	14,37
0,16	N° 100 (0,15 mm)	134,6	134,60		4,81	9,56
0,075	N° 200 (0,075 mm)	51,1	51,10		1,83	7,74
	Fondo	23,6	23,60		0,84	6,89
		386,1	800	2000	100,00	0,00
Tamaño Máximo Nominal (TMN)			1/2"			

Fuente: Autores.

Gráfico 1. Granulometría de los agregados del proyecto.



Fuente: Autores.

Módulo de finura

Teniendo los datos de granulometría de la muestra se puede obtener el módulo de finura o el modulo granulométrico del material. Para ello lo que se hizo fue sumar los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de 1", ¾", ½", 3/8", N° 4, N° 8, N°10, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200, y se divide en 100.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 6. Resultados obtenidos del módulo de finura de agregados finos y gruesos.

MÓDULO DE FINURA									
Abertura Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido	% Pasa	(100-y)	Peso Retenido	% Peso Retenido	% Pasa	(100-y)
UNE mm	ASTM N°	Ar+Gr + Gra	Ar+Gr + Gra	Ar+Gr + Gra	Ar+Gr + Gra	Arena	Arena	Arena	Arena
25	1"	0	0,00	100,00	0,00			100	0
19,5	¾ "	0	0,00	100,00	0,00			100	0,00
12,5	½ "	403,5	14,41	85,59	14,41	0	0,00	100,00	0,00
9,5	3/8 "	376,1	13,43	72,16	27,84	0	0,00	100,00	0,00
5	N° 4	526,4	18,80	53,36	46,64	38,6	5,83	94,17	5,83
2,5	N° 8	389,3	13,90	39,45	60,55	67,4	10,19	83,98	16,02
1,25	N° 16	474,1	16,93	61,98	38,03	87,9	13,28	70,70	29,30
0,63	N° 30	243,2	8,69	20,73	79,27	145,7	22,02	48,68	51,32
0,32	N° 50	178,1	6,36	14,37	85,63	136,4	20,61	28,06	71,94
0,16	N° 100	134,6	4,81	9,56	90,44	134,6	20,34	7,72	92,28
0,075	N° 200	51,1	1,83	7,74	-	51,1	7,72	0,00	-
Fondo		23,6	0,84	6,89	93,11	23,6			-
TOTAL		2776,4	99,16		535,92	661,7	100,00		266,69
Módulo de Finura o Módulo Granulométrico (Muestra Total)									5,36
Módulo de Finura o Módulo Granulométrico (Muestra Arena)									2,67

Fuente: Autores.

Densidad de agregados finos y gruesos y grado de absorción

AGREGADOS FINOS

Este ensayo se realizó bajo los parámetros de la norma NTC 237 titulada “Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado”. Donde se solicitó hacer uso del siguiente equipo:

- Horno
- Matraz
- Picnómetro
- Molde cónico y pisón
- Balanza

Para el desarrollo de este laboratorio fue necesario secar la muestra en el horno, posteriormente sumergirlo en agua durante 24 horas. Se retira el agua y se extiende la muestra sobre una superficie plana con el fin de que las partículas se sequen hasta llegar al estado SSS (Saturado Superficialmente Seco). Para garantizar que la muestra se encontraba realmente en el estado SSS, se realizó un tanteo con el molde cónico, tomando el molde con el diámetro mayor apoyado sobre la superficie y llenándolo con el material, posteriormente se apisonó el agregado, empleando el pisón descrito en la norma y aplicando 25 golpes. Al levantar el molde la muestra mantuvo su forma cónica con derrumbes parciales, lo que afirmo que se encuentra en el estado SSS. Según lo especificado en la norma.

Para llegar a los resultados se utilizó el siguiente procedimiento, con las siguientes formulas:

$$Gsb\ sp = \frac{\text{masa muestra seca}}{\text{masa picnometro agua} + \text{masa muestra} - \text{masa picnometro muestra agua}}$$

$$Gsb\ sp = \frac{\text{masa muestra}}{\text{masa picnometro con agua} + \text{masa muestra} - \text{masa picnometro muestra agua}}$$

$$Gsa\ sp = \frac{\text{masa muestra seca}}{\text{masa picnometro agua} + \text{masa muestra sec} - \text{masa picnometro muestra agua}}$$

$$\% \text{absorción} = \frac{\text{masa muestra} - \text{masa muestra seca}}{\text{masa muestra seca}} * 100$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7. Resultados obtenidos de gravedad específica y absorción de agregados finos.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS		
Masa de la muestra (S)	500	g
Masa del picnómetro+agua (B)	495,06	g
Masa picnometro+muestra+agua (C)	818,32	g
Masa muestra seca (A)	487,81	g
Gravedad especifica bulk](Gsb)	2,76	
Gravedad específica bulk saturada y	2,83	
Gravedad específica aparente (Gsa)	2,96	
Absorción	2,50	%

Fuente: Autores.

AGREGADOS GRUESOS

Este ensayo se realizó bajo los parámetros de la norma NTC 176 titulada “Ensayo para Determinar la Densidad y da Absorción del Agregado Grueso”. Donde se solicitó hacer uso del siguiente equipo:

- Horno
- Tamices
- Picnómetro
- Canasta metálica
- Dispositivo de suspensión
- Balanza

Para el desarrollo del ensayo se realizó el cuarteo de los agregados de acuerdo con lo establecido en la norma NTC 3674, después se lavó y tamizo la muestra para realizar el ensayo con el material retenido en el tamiz No. 4. Posteriormente se secó la muestra en el horno a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$. Cuando regreso a temperatura ambiente, se sumergió en agua durante 24 ± 4 horas. Se extrajo el agua y se tomó el material secando levemente el agua superficial con un paño, logrando así la condición saturada y superficialmente seca (SSS). Una vez en este estado se determina su masa ($W_{sss}(\text{aire})$). Seguidamente se sumergió la muestra en agua empleando para ello la canastilla metálica y se determina su masa en agua a una temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($W_{sss}(\text{agua})$). Finalmente se secó la muestra en el horno a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$, se dejó enfriar y se determinó su masa ($W_{sss}(\text{seco})$). Con los valores obtenidos se calcula la densidad y la absorción del material de acuerdo a los cálculos descritos en la norma haciendo uso de las siguientes formulas:

$$Gsb = \frac{W_{sss}(\text{seco})}{W_{sss}(\text{aire}) - W_{sss}(\text{agua})}$$

$$Gsb_{sss} = \frac{W_{sss}(\text{aire})}{W_{sss}(\text{aire}) - W_{sss}(\text{agua})}$$

$$Gsa = \frac{W_{sss}(seco)}{W_{sss}(seco) - W_{sss}(agua)}$$

$$\%absorción = \frac{W_{sss}(seco)}{W_{sss}(aire) - W_{sss}(agua)} * 100$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8. Resultados obtenidos de gravedad específica y absorción de agregados finos.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS		
$W_{inicial}$	2500	g
$W_{sss}(aire)(B)$	2426,9	g
$W_{sss}(agua)(C)$	1356,5	g
$W_{sss}(seco)(A)$	2420	g
Gravedad específica bulk (Gsb)	2,26	
Gravedad específica bulk sss (Gsb_{sss})	2,27	
Gravedad específica aparente (Gsa)	2,28	
% Absorción	0,29	%

Fuente: Autores.

5.1.2. Método de dosificación Walker.

Haciendo uso de los datos obtenidos se puede dar inicio a la interacción del Método Walker para llegar a la cantidad óptima de cada material obteniendo una mezcla de concreto esperada. El método se empleó para llegar a una dosificación esperada de 21 MPa.

Desarrollo del método (cálculos).

Datos Iniciales

El método exige introducir unos datos iniciales en los que respecta a las densidades de los materiales, la resistencia de los cilindros a compresión y al asentamiento de la mezcla de concreto.

Tabla 9. Datos iniciales para el desarrollo del método a una resistencia de 21 MPa.

DATOS INICIALES		
CEMENTO		
PORTLAND TIPO I		
P CEMENTO	3,00	gr/cm ³
P CEMENTO	3000,00	Kg/m ³
P AGUA	1000,00	kg/m ³
P ARIDO FINO	2,96	gr/cm ³
P ARIDO GRUESO	2,28	gr/cm ³
RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO f'c	210,00	Kg/cm ²
ASENTAMIENTO SLUMP	3,00	in
AGREGADO	Triturado	
CEMENTO SIN AIRE INCORPORADO		

Fuente: Autores.

Resistencia promedio requerida

El método solicita una especificación de la resistencia promedio requerida para llegar a los resultados de resistencia esperada, plasmada en la siguiente tabla.

Tabla 10. Resistencia promedio requerida.

f'c	f'cr
>210 kg/cm ²	f'c + 70
210-350 kg/cm ²	f'c + 84
<350 kg/cm ²	f'c + 98

Fuente: Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Título C, C.5.3.2.2.

Con base en esto, la resistencia promedio requerida para 21 MPa es de 29,4 MPa.

Contenido de agua para la mezcla

Se usa la siguiente tabulación para determinar el volumen unitario de agua (lts/m³), teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal y el asentamiento de la mezcla de concreto.

Tabla 11. Contenido de agua de la mezcla.

Tamaño Máximo Nominal (in)	Volumen Unitario de Agua (lts/m ³)					
	Asentamiento 1" - 2"		Asentamiento 3" - 4"		Asentamiento 6" - 7"	
	Redondeado	Triturado	Redondeado	Triturado	Redondeado	Triturado
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1,5"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: Cartilla Dosificación de Mezclas de Concreto: Agregados del Punto de Acopio Rodeb.

Teniendo en cuenta de que el tamaño máximo nominal es 1/2", el asentamiento es de 3" y se maneja material triturado, la cantidad de agua es de 216 lts/m³.

Contenido de aire para la mezcla

Se usa la siguiente tabla para determinar el contenido de aire atrapado en la mezcla (%), teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal.

Tabla 12. Contenido de aire atrapado en la mezcla.

Tamaño Máximo Nominal de Agregado (in)	Aire Atrapado	
3/8"	3,00	%
1/2"	2,50	%
3/4"	2,00	%
1"	1,50	%
1 1/2"	1,00	%
2"	0,50	%
3"	0,30	%
4"	0,20	%

Fuente: Cartilla Dosificación de Mezclas de Concreto: Agregados del Punto de Acopio Rodeb.

Como el tamaño máximo nominal es de ½”, el porcentaje de aire atrapado es de 2.50%.

Relación agua/cemento

A partir del valor de la resistencia promedio requerida, y de acuerdo con los valores establecidos en la siguiente tabla, es posible establecer el concreto sin aire incorporado, tal como se muestra a continuación.

Tabla 13. Relación agua/cemento de la mezcla.

RELACIÓN AGUA/CEMENTO con la f'cr				
f'c Kg/cm ²			Relación Agua / Cemento en Peso	
			Concreto Sin Aire Incorporado	
150			0,8	
200			0,7	
250			0,62	
300			0,55	
350			0,48	
400			0,43	
450			0,38	
a/c	250	0,62	a/c	0,56
	294	x		
	300	0,55		

Fuente: Autores.

Al realizar interpolación para el concreto sin aire incorporado con una resistencia de 21 MPa se obtuvo una relación de 0,56.

Contenido de cemento para la mezcla

Teniendo la formula agua/cemento, se procede a despejar la cantidad de cemento, ya conociendo contenido de agua y el valor del concreto sin aire incorporado.

$$\text{contenido de cemento} = \frac{\text{contenido de agua}}{\text{Relacion agua/cemento}}$$

$$\text{contenido de cemento} = \frac{216}{0.558}$$

$$\text{contenido de cemento} = 386,8 \text{ kg/m}^3$$

Realizando el debido despeje, la fórmula arroja que el contenido de cemento por cada metro cúbico es de 386.8 kg/m³.

Factor de uso del cemento por m³

Para encontrar este factor es necesario hacer uso de la fórmula de F_{cem}, factor de uso de cemento. Teniendo en cuenta que cada saco de cemento equivale a 50kg de cemento.

$$F_{cem} = \frac{\text{contenido de cemento}}{\text{kilogramos por saco}}$$

$$F_{cem} = \frac{368,8 \text{ kg/m}^3}{50 \text{ kg/saco}}$$

$$F_{cem} = 7.74 \text{ sacos/m}^3$$

Haciendo uso de la anterior operación, se entiende que es necesario el uso de 7.74 sacos por cada metro cúbico de concreto.

Volumen de los componentes de la pasta de cemento por m³

Se determina el volumen de los componentes de la pasta de cemento de acuerdo con las ecuaciones que se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 14. Volumen de cemento agua y aire por m³.

VOLÚMEN DE LOS COMPONENTES DE LA PASTA DE CEMENTO POR m³		
$V_{\text{cemento}} = m_{\text{cemento}} / p_{\text{cemento}}$	0,131	m ³
$V_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} / p_{\text{agua}}$	0,216	m ³
V_{aire}	0,025	m ³
$V_{\text{CEMENTO + AGUA + AIRE}}$	0,372	m ³

Fuente: Autores.

Volúmenes de agregado fino y grueso

A partir del porcentaje de agregados y le porcentaje de agregados finos obtenidos anteriormente, es posible establecer los volúmenes de agregados finos y gruesos requeridos para elaborar un metro cúbico de muestra.

Tabla 15. Volumen de agregados finos y gruesos en m³.

VOLÚMENES AGREGADOS FINOS Y GRUESOS m³		
$V_{\text{AGREGADO FINO}} = \% \text{ AGREGADO FINO} * V_{\text{AGREGADO}}$	0,337	m ³
$V_{\text{AGREGADO GRUESO}} = V_{\text{AGREGADO}} - V_{\text{AGREGADO FINO}}$	0,293	m ³

Fuente: Autores.

Humedad de los áridos

Para determinar la humedad de las arenas y de las gravas, se toma una muestra de los agregados, se determina su masa y posteriormente se introduce en el horno a una temperatura de 110°C. Después de aproximadamente 24 horas se determina el peso de los agregados secos y a partir de los datos registrados se emplea la siguiente formula de w%, porcentaje de humedad.

$$w\% = \frac{\text{peso masa humeda} - \text{peso masa seca}}{\text{peso masa seca} - \text{peso recipiente}} * 100$$

Tabla 16. Datos de laboratorio para determinar la humedad de las arenas y las gravas.

HUMEDAD ARIDOS LABORATORIO		
PESO MASA HUMEDA ARENAS	300,5	gr
PESO MASA SECA ARENAS	297,3	gr
PESO MASA HUMEDA GRAVAS	300,2	gr
PESO MASA SECA GRAVAS	299,69	gr

Fuente: Autores.

Empleando la anterior formula se llegaron a los siguientes resultados:

W_{ARENAS} = 1,08%

W_{GRAVAS} = 0,17%

Dosificación de la mezcla

De acuerdo con los resultados obtenidos, las proporciones que se deben emplear de cada material para obtener un metro cúbico de concreto con resistencia de 21 MPa son:

CEMENTO: 386,8 kg

AGREGADO FINO: 1010,55 kg

AGREGADO GRUESO: 667.42 kg

AGUA: 386.8 L

Teniendo la siguiente relación:

1: 2,26: 1.73: 0,60

5.1.3. Diseño de mezcla – Software.

En la actualidad, la automatización de los procesos industriales se ha convertido en una herramienta indispensable para el desarrollo de cualquier área del conocimiento; la ingeniería civil, no es ajena a este desarrollo industrial que ha logrado complementar los procedimientos de diseño, construcción y mantenimiento de los proyectos de ingeniería que demandan una mayor calidad y control de acuerdo a las necesidades del desarrollo social.

Acatando la reciente sistematización de los procesos en ingeniería, se introduce DIMEZCO 2000, una nueva herramienta que pretende estructurar el diseño de mezclas de materiales derivados del cemento, así como acelerar y organizar los mecanismos de cálculo y evaluación estadística de mezclas de concreto diseñadas a partir de determinadas características.

DIMEZCO 2000, “es un sistema para diseñar mezclas de agregados, concretos, morteros y realizar evaluaciones estadísticas de los resultados de ensayos de resistencia en compresión del concreto de una manera profesional y automatizada”⁴⁶.

Sus características principales son:

- El sistema está diseñado como una herramienta de fácil uso, debido a que se maneja a través de ventanas.
- El sistema es abierto, lo que permite registrar, modificar y eliminar información durante su utilización sin salir de la aplicación.
- El sistema está elaborado en un lenguaje de programación visual de última generación, que permite aprovechar las bondades que ofrece Windows⁴⁷.

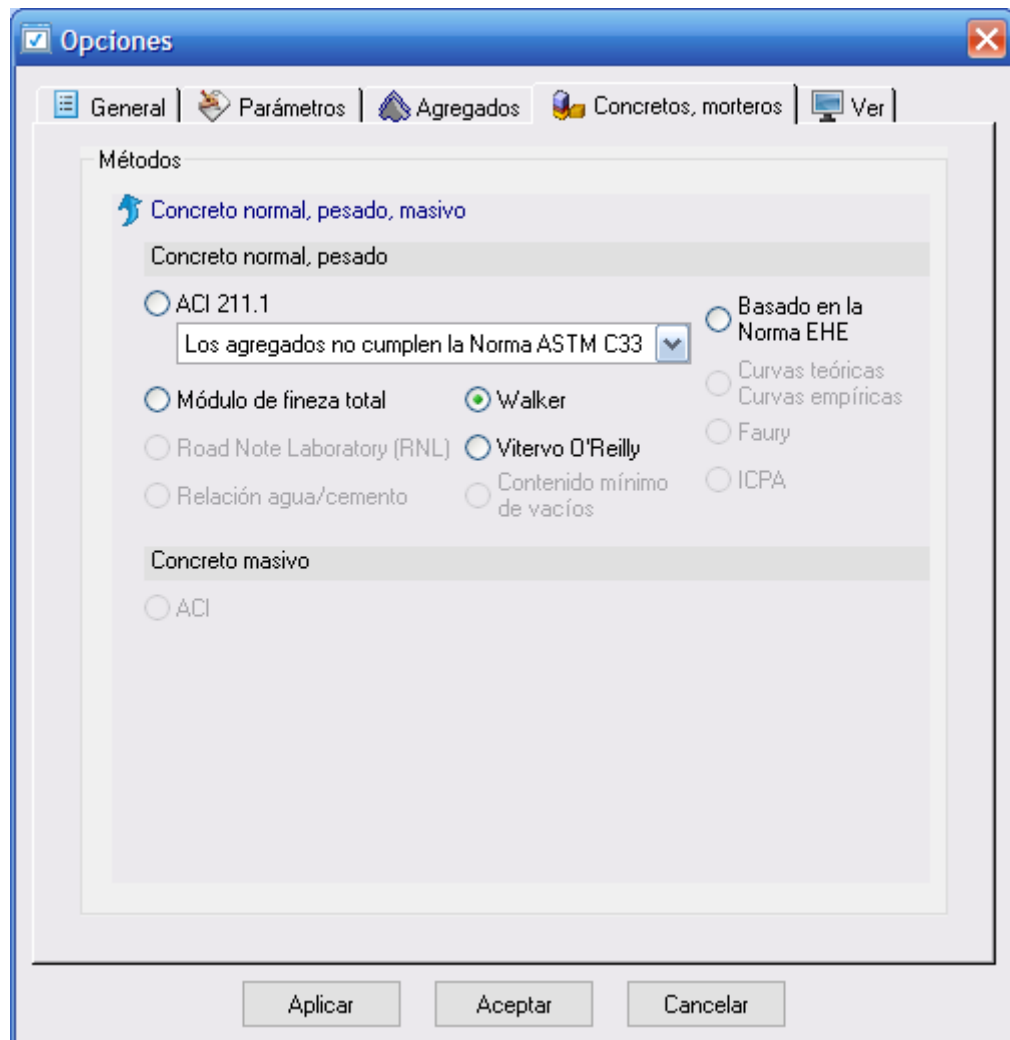
⁴⁶ DIMEZCO 2000, Copyright (c) 2000-2016 Dimezco 2000 Software.

⁴⁷ *Ibíd.*, Información del software.

Con el fin de realizar una comparación cuantitativa de los resultados obtenidos manualmente y los arrojados por el software, se ejecutará el diseño de la mezcla con la ayuda de DIMEZCO 2000, asimismo, se aplicará el método ACI 211.1 en el software con el propósito de realizar una comparación superficial de las cantidades suministradas por cada método.

DIMEZCO 2000 – Método Walker

1. Seleccionar el método en el programa.



2. Suministrar los datos de la obra.

The screenshot shows a software window titled "Título" with a menu bar containing "Proyecto" and "Ayuda". Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and help. The main content area is titled "Información del proyecto" and contains two sections: "Datos de la obra" and "Datos complementarios".

Datos de la obra

- Código: 1
- Proyecto: Investigación, USTA
- N°: 1
- Ubicación: Cra. 9 #51-11, Bogotá

Datos complementarios

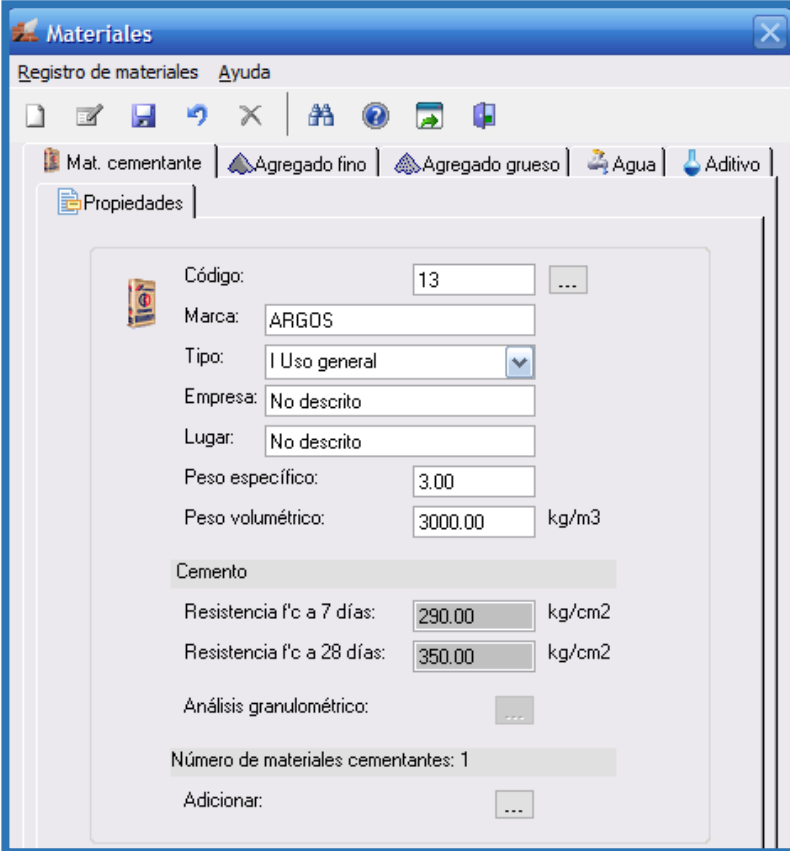
- Solicitante: Ing. residente
- Fecha: 20/03/2018
- Hora: 5 :22:30 p. m.

At the bottom of the window, there is a status bar with the text "Ingrese la hora" on the left and a user profile icon labeled "Residente" on the right.

3. Introducir las características de los materiales.

Cemento

En cuanto al cemento, uno de los parámetros más importantes que se deben evaluar es el peso específico, principalmente porque de esta propiedad dependerá la cantidad de volumen ocupado por dicho material, afectando las cantidades de diseño de los materiales adyacentes; a su vez, dicha propiedad se encuentra directamente relacionada con la finura del material, característica que generalmente proporciona altas resistencias iniciales en algunos concretos. Para el propósito de la presente investigación, se hará uso de cemento de uso general, con el fin de realizar un acercamiento inicial con el tipo de cemento usado generalmente en obra.

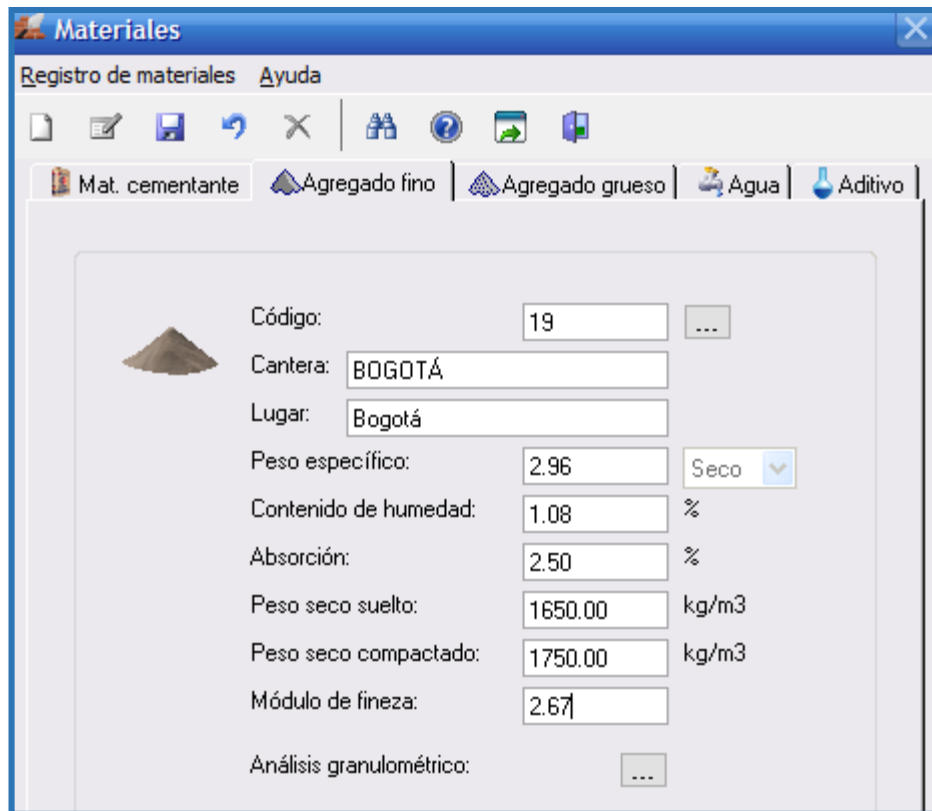


The screenshot shows a software window titled "Materiales" with a menu bar containing "Registro de materiales" and "Ayuda". Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and material selection. The main area is divided into tabs: "Mat. cementante", "Agregado fino", "Agregado grueso", "Agua", and "Aditivo". The "Propiedades" tab is active, displaying the following fields:

Código:	13	...
Marca:	ARGOS	
Tipo:	I Uso general	▼
Empresa:	No descrito	
Lugar:	No descrito	
Peso específico:	3.00	
Peso volumétrico:	3000.00	kg/m3
Cemento		
Resistencia f'c a 7 días:	290.00	kg/cm2
Resistencia f'c a 28 días:	350.00	kg/cm2
Análisis granulométrico:	...	
Número de materiales cementantes:	1	
Adicionar:	...	

Agregado fino

La arena, material llenante en el concreto, determina en cierta manera la distribución y acomodación de las partículas dentro de la matriz del hormigón; dicha distribución, representada en el módulo de finura, servirá como base para la determinación de la cantidad de material fino presente en el hormigón por unidad de volumen.



Propiedad	Valor	Unidad
Código	19	
Cantera	BOGOTÁ	
Lugar	Bogotá	
Peso específico	2.96	Seco
Contenido de humedad	1.08	%
Absorción	2.50	%
Peso seco suelto	1650.00	kg/m3
Peso seco compactado	1750.00	kg/m3
Módulo de fineza	2.67	
Análisis granulométrico		

Agregado grueso

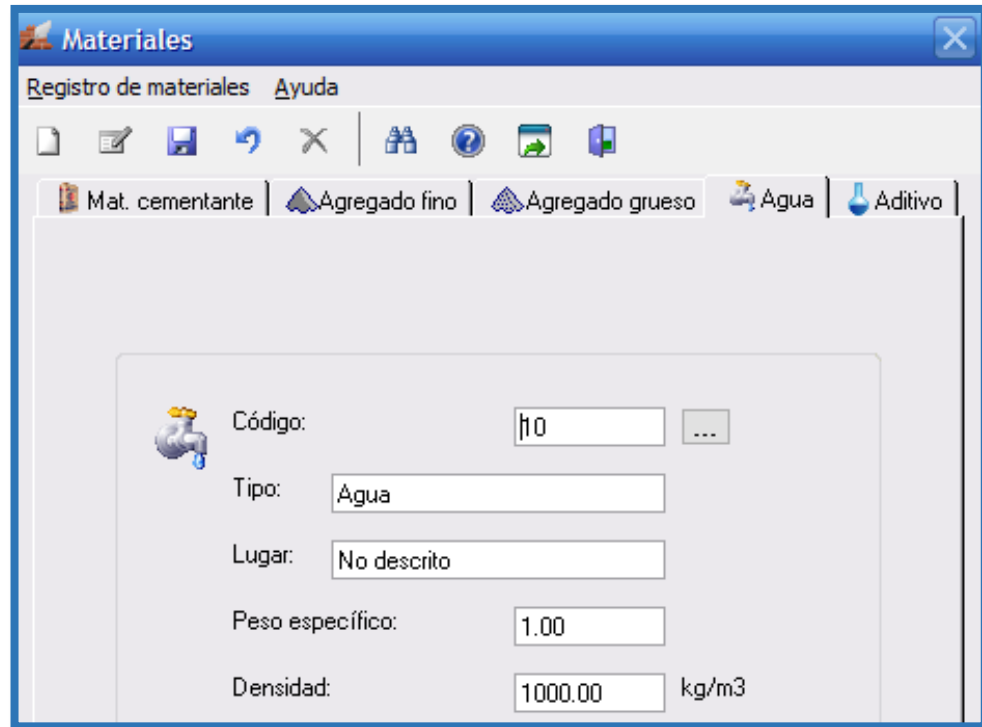
El triturado en el diseño de la mezcla, se representa principalmente por su TMN, en donde la cantidad de volumen ocupado, contenido de humedad y absorción de las

partículas de este material, guiaran las bases del diseño, fundamentadas en el tamaño máximo nominal y en las propiedades netamente físicas del agregado.

The screenshot shows a software window titled "Materiales" with a sub-tab "Registro de materiales" and a menu option "Ayuda". The window contains a toolbar with various icons and a navigation bar with tabs: "Mat. cementante", "Agregado fino", "Agregado grueso", "Agua", and "Aditivo". The main area displays a form for material registration, featuring a small image of aggregate material on the left. The form fields are as follows:

Código:	20	...
Cantera:	No descrito	
Lugar:	BOGOTA	
Perfil:	Angular	▼
Peso específico:	2.28	Seco ▼
Contenido de humedad:	0.17	%
Absorción:	0.29	%
Peso seco suelto:	1650.00	kg/m ³
Peso seco compactado:	1750.00	kg/m ³
Módulo de fineza:	5.36	
Tamaño máximo nominal:	12.5 mm	▼ ...
Análisis granulométrico:		...

Agua

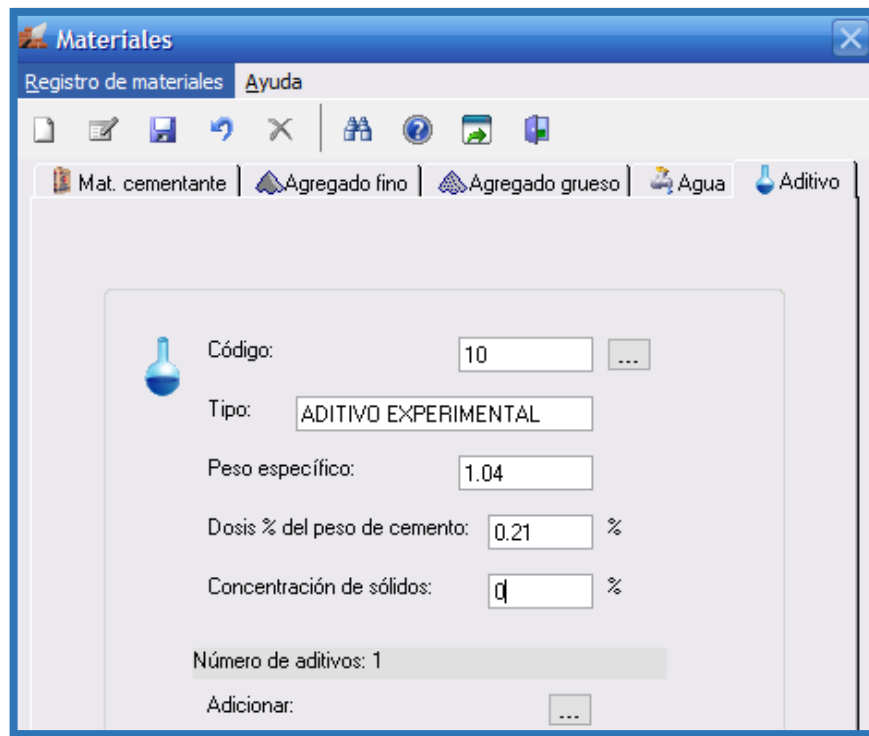


The screenshot shows a software window titled 'Materiales' with a menu bar containing 'Registro de materiales' and 'Ayuda'. Below the menu bar is a toolbar with various icons. A tabbed interface is visible with tabs for 'Mat. cementante', 'Agregado fino', 'Agregado grueso', 'Agua', and 'Aditivo'. The 'Agua' tab is active, displaying a form with the following fields:

Código:	<input type="text" value="10"/>	...
Tipo:	<input type="text" value="Agua"/>	
Lugar:	<input type="text" value="No descrito"/>	
Peso específico:	<input type="text" value="1.00"/>	
Densidad:	<input type="text" value="1000.00"/>	kg/m ³

Aditivo

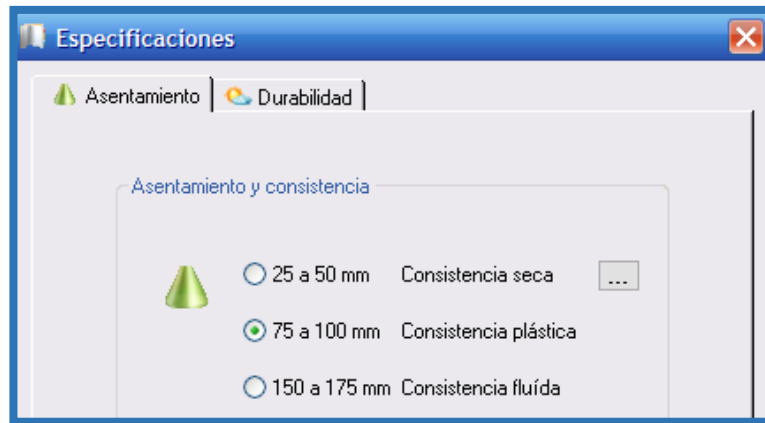
Se ingresaron las características del aditivo experimental entregadas por el proveedor, así como la dosis recomendada para su aplicación en concretos; cabe resaltar que en el diseño realizado manualmente no se tuvo en cuenta la presencia del aditivo, sin embargo se introdujo dicha información en el software, con el fin de establecer los cambios que podría acarrear la introducción del mismo en la cuantificación de los materiales.



4. Ingresar las especificaciones correspondientes al asentamiento y durabilidad.

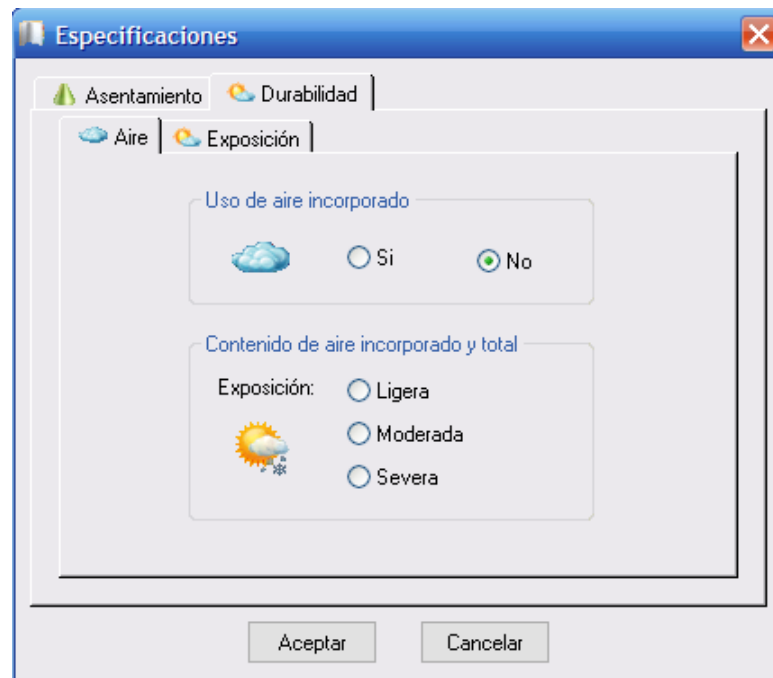
Asentamiento

Tal como se desarrolló en la aplicación del método Walker, se asignó el mismo rango de asentamiento para el concreto basados en el criterio descrito en el ítem ejecutado anteriormente, *Desarrollo del método*, con el objetivo de otorgarle una consistencia plástica al concreto en estado fresco.



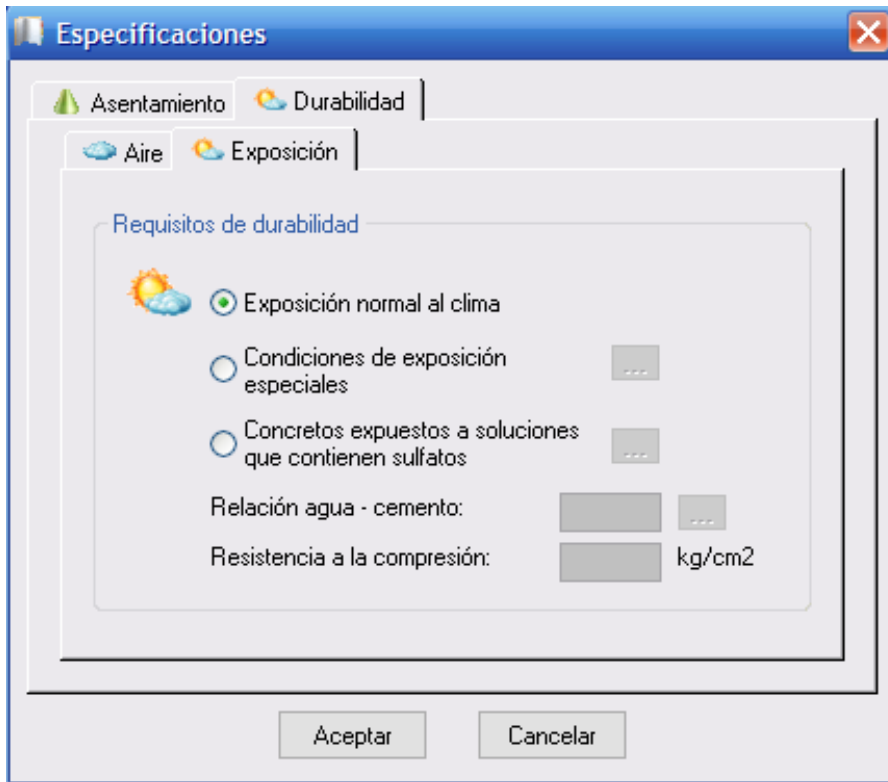
Durabilidad

El concreto diseñado y fabricado para la presente investigación no cuenta con aire incorporado, puesto que el material elaborado no ha sido concebido para fundirse en obra y mucho menos para soportar ciclos de congelamiento y deshielo, por tal motivo, en los cálculos de diseño no se ha contemplado la presencia de aire intencionalmente incorporado.



Exposición

Tal como se había mencionado con anterioridad, la investigación posee un enfoque meramente académico, por lo tanto, se considera que los especímenes de concreto a ensayar, se encuentran a un nivel normal de exposición al clima.



5. Ingresar la resistencia a la compresión deseada.

El reglamento para la construcción sismo resistente en Colombia, especifica una resistencia promedio requerida a la compresión tal como se describe en el capítulo C.5.3.2.2 de la NSR 10, dicha resistencia f'_{cr} , se encuentra formulada al interior del programa según los criterios del A.C.I.; teniendo en cuenta que la normativa NSR-10, en su mayoría, es una transcripción de los códigos planteados por el A.C.I, el programa se logra ajustar puntualmente a los lineamientos especificados por la

normativa, acatando finalmente el mismo valor de resistencia de diseño tanto para el modelo manual y el programado en el software.

Resistencia especificada f'_c : 210.00 kg/cm²

Por Resistencia: 210.00 kg/cm²

Por Durabilidad: 0.00 kg/cm²

Variables estadísticas

ACI | CEC | % $f_c < f'_c$ | EHE | Fórmulas | Probabilidad

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

Registro de ensayos igual o mayor a 30 ensayos

Registro de ensayos entre 15 y 29 ensayos

Registro de ensayos menor a 15 ensayos

Número de ensayos: n = 0 Ensayos

f'_{cr} = 294.00 kg/cm² ✓

Desviación estándar: s = 0.00 kg/cm² ...

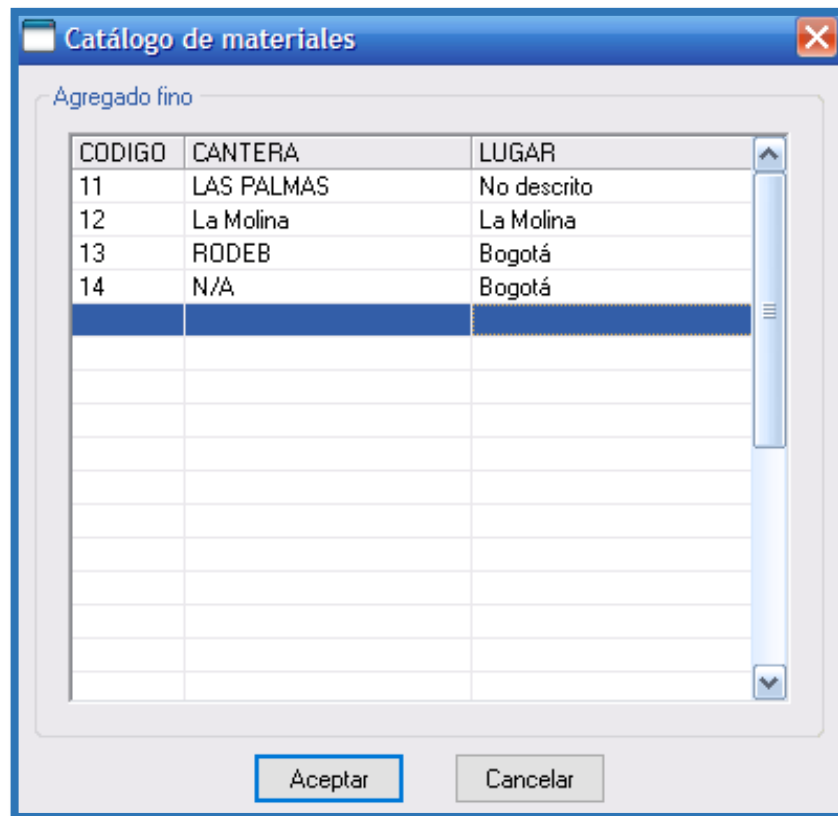
Resistencia promedio f'_{cr} : 294.00 kg/cm²

Aceptar Cancelar

Resistencia promedio requerida a la compresión = 294 kg/cm – 29.4 MPa.

6. Verificación de los datos ingresados.

Antes de visualizar los resultados de dosificación para la mezcla, es prudente realizar una verificación previa de la información registrada para el diseño de la misma mediante un informe general suministrado por el programa DIMEZCO 2000 en la opción **Ver Datos**. Es normal encontrar valores erróneos en el informe general de datos presentado por el programa ya que cuando se detiene el diseño y se desea continuar en otro momento, algunos materiales se cambian por los valores predeterminados del programa, para solucionar este inconveniente, basta simplemente con seleccionar el código correspondiente al material deseado en la barra , y seleccionar de la lista de materiales ingresados en la vida del software, el que se ha propuesto para el diseño.



INFORME GENERAL DE DATOS

CONCRETO

f'c:	210.00 kg/cm ²
Desviación Estándar:	0.00 kg/cm ²

MATERIALES

MATERIAL CEMENTANTE

Denominación	Peso específico
Cemento	3.00

AGREGADO FINO

Cantera:	BOGOTÁ	Bogotá
Peso específico de masa:		2.96
Contenido de humedad:		1.08 %
Absorción:		2.50 %
Peso seco suelto:	1650.00	kg/cm ²
Peso seco compactado:	1750.00	kg/cm ²
Modulo de fineza:		2.67

AGREGADO GRUESO

Cantera:	No descrito	BOGOTA
Perfil:	Angular	
Peso específico de masa:		2.28
Contenido de humedad:		0.17 %
Absorción:		0.29 %
Peso seco suelto:	1650.00	kg/cm ²
Peso seco compactado:	1750.00	kg/cm ²
Modulo de fineza:		5.36
Tamaño máximo nominal:	12.5 mm	

AGUA

Tipo:	Agua	No descrito
Peso específico:		1.00

ADITIVO

Denominación	Peso específico
ADITIVO EXPERIMENTAL	1.04

VALORES DE DISEÑO

Volumen unitario de agua:	216.00	kg/m ³
Asentamiento:	75 a 100 mm	Con:
Contenido de aire atrapado:		2.50 %
Contenido de aire total:		2.50 %
Relación agua/cemento:	0.56	Por resistencia
Porcentaje de agregado fino:	53.58	%
Contenido de cemento:	7.71	bol/m ³
PU estimado concreto fresco:	2310.00	kg/m ³

7. Resultados de diseño.

Finalmente, el programa proporciona las cantidades de cada uno de los materiales componentes del concreto, ajustándose a la producción de un metro cubico (1 m³) de hormigón de peso normal. A continuación se presentan los resultados otorgados por el programa para el diseño de una mezcla bajo las condiciones y características de los materiales empleados para la presente investigación.

The screenshot displays the 'Diseño de mezclas de concreto' software interface. The main window title is 'Diseño de mezclas de concreto'. Below the title bar, there is a header section with the text 'Cantidades y proporciones corregido por humedad del agregado' and a small icon of stacked blocks. Underneath, a section titled 'Cantidades' contains a table with two columns: 'Material' and 'Cantidad'. The table lists five materials with their respective quantities in kg/m³. Below the table, there are two sub-sections: 'Relación agua/cemento' with two rows ('Diseño' and 'Efectiva') and their values (0.56 and 0.60), and 'Transfiere Valores' with three radio button options ('Mezcla patrón', 'Mezcla A', 'Mezcla C') and a 'Transferir valores' button. A 'Propiedades' button is also visible at the bottom left of the lower section.

Material	Cantidad
Material cementante	385.71 kg/m ³
Agregado fino	1009.40 kg/m ³
Agregado grueso	667.54 kg/m ³
Agua	230.17 kg/m ³
Aditivo	0.81 kg/m ³

Relación agua/cemento

Diseño	0.56
Efectiva	0.60

Transfiere Valores

Mezcla patrón Mezcla A
 Mezcla B Mezcla C

Transferir valores

Propiedades

8. Visualización formal del diseño de la muestra de concreto.

A manera de informe, se puede extraer un documento formal de los resultados presentados por el programa; el siguiente anexo enseña la presentación de los resultados para imprimir y adjuntar en los documentos de diseño de un proyecto de ingeniería que involucre estructuras en concreto.

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

PROYECTO: Investigación, USTA - 1
UBICACIÓN: Cra. 9#51-11, Bogotá
SOLICITANTE: Ing. residente
FECHA Y HORA: 20/03/2018 - 5:22:30 p. m.

CONCRETO

Resistencia especificada: 210.00 kg/cm²
 Desviación estándar: 0.00 kg/cm²
 Resistencia promedio: 294.00 kg/cm²
 Asentamiento: 75 a 100 mm Consistencia plástica
 Relación agua/cemento: 0.56 Por resistencia

MATERIALES

CEMENTO

Tipo: I Uso general
 Peso específico: 3.00

CANTIDAD DE MATERIALES Y PROPORCIONES

MATERIALES	CORREGIDO POR HUMEDAD DEL AGREGADO		
	CANTIDADES	EN PESO	EN VOLUMEN
Cemento	385.71 kg/m ³	1.00	1.00
Agregado fino	1009.40 kg/m ³	2.62	4.71
Agregado grueso	667.54 kg/m ³	1.73	3.14
Agua	230.17 kg/m ³	29.84 kg/bol	89.51 kg/bol
Aditivo	0.81 kg/m ³	0.11 kg/bol	0.32 kg/bol
Peso del concreto	2293.63 kg/m ³		

Relación agua/cemento efectiva: 0.60

Comparación de dosificaciones por diferentes métodos

Cada una de las metodologías de dosificación propuestas por diferentes autores, proporcionan distintas cuantificaciones en función de sus estudios propios al concreto y los caminos de diseño tomados por cada uno de ellos, algunas metodologías le otorgan mayor valor a algunos componentes que consideran los

métodos como factores significativos en el diseño de mezclas de concreto. A continuación se presenta un cuadro comparativo que muestra los cambios de dosificación de acuerdo con el método escogido para el diseño de una mezcla de concreto bajo las mismas condiciones y características para los tres escenarios planteados; los resultados de las dosificaciones, expresan sus valores en kilogramos (kg) para producir un metro cubico (1m³) de concreto.

Tabla 17. Comparación de dosificaciones.

Materiales	Walker	DIMEZCO 2000	
		ACI	Walker
Cemento (kg)	386.82	386.8	385.71
Agregado Fino (kg)	1010.55	687.06	1009.4
Agregado Grueso (kg)	667.42	1016.20	667.54
Agua (L)	231.14	207.92	230.17
R. a/c	0.53	0.54	0.56

Fuente: Autores.

Se puede observar que los resultados de cemento y agua para los métodos del ACI y Walker desarrollado en el programa DIMEZCO 2000, son similares a los resultados de la metodología de dosificación desarrollada en la presente investigación; sin embargo, el valor proporcionado por el A.C.I para el agua de mezclado varía 24 ml respecto a las metodologías adyacentes, esto no representa un mayor cambio en la dosificación final puesto que las relaciones agua/cemento son casi iguales para los tres procedimientos, otorgando un valor confiable y acorde a lo especificado por la normativa colombiana NSR-10, la cual planteaba un valor

máximo de $R. a/c < 0,6$ para estructuras tipo DMO y DES que pretendan garantizar condiciones mínimas de durabilidad.

Por otra parte, los resultados proporcionados por el método Walker aplicado en el programa DIMEZCO 2000, y los suministrados por el desarrollo del método en la presente investigación, presentan una estructura totalmente igual, donde el agregado fino prevalece sobre los otros materiales como componente importante en el relleno y consolidación de la mezcla. La mayor cantidad de agregado fino le proporciona a la mezcla un concreto más compacto y manejable, principalmente por el hecho de que el agregado fino funciona como material llenante y además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos.

Los valores presentados por la metodología del ACI, a diferencia de los otros métodos, son más generosos con la cantidad de agregado grueso suministrado a la mezcla, otorgando aproximadamente 330 kg más de material grueso con respecto al agregado fino del conjunto del concreto; al parecer, es el único método que confiere mayor valor al triturado dentro del material, lo que representa un menor gasto de cemento y agua para el hormigón debido a la ganancia de volumen entregada por el triturado, además, la dureza de las partículas gruesas, le confieren un porcentaje significativo de resistencia, lo cual se traduce en un concreto económico y eficiente.

5.1.4. Estructura de dosificación

5.1.4.1. Aditivo Experimental.

El aditivo experimental usado para el desarrollo del este proyecto es suministrado por la empresa Gon-quimicos LTDA., empresa dedicada a la producción de componentes químicos para la construcción. Define este producto con el nombre de "POLITOL-CEM", definido como un compuesto polimérico de tipo NO iónico de alto peso molecular, soluble en agua, con gran estabilidad a los cambios de pH y

temperatura. Su objetivo inicial es reducir la fricción interna y externa asegurando así, flujo y compactación. Es un buen retenedor de agua hidromodificando la mezcla de agua y sólidos inorgánicos, obteniéndose un todo homogéneo de mayor plasticidad que además posee una gran estabilidad y adherencia.

Este producto fue producido por primera vez en octubre de 2000. Pero por problemas internos de la empresa nunca se desarrolló un proceso claro del uso del aditivo experimental, ni consta ensayos que corroboren las modificaciones mecánicas que este es capaz de desarrollar en las mezclas de concreto, tampoco está con exactitud la cantidad óptima de aditivo que se debe aplicar para un metro cúbico de concreto.

Descripción y recomendaciones del proveedor - Aditivo.

En los que la empresa Gon-quimicos LTDA., alcanzó a desarrollar una serie de recomendaciones para el buen uso del material en el cual se encuentran los siguientes parámetros:

Características generales

- Estado líquido.
- Color verde o transparente.
- pH 7.0-7.5.
- Olor característico.
- Densidad de 1.04 +/- 0.02 g/cm³

Utilización

- Por cada bulto de cemento (50 kilogramos) utilizar una dosis de 100 centímetros cúbicos, en la primera agua de amasado.
- Utilizar un 15% a 20% más de arena.
- Utilizar un 15% menos de cemento.

Recomendaciones

- No causa deterioro en los sistemas donde se aplica.
- Causa irritación en los ojos.

- Es compatible con diversos materiales.
- Si el material es usado adecuadamente aumentara su resistencia final a los 28 días.

5.1.4.2. Planteamiento para su introducción.

Partiendo de las recomendaciones dadas por la empresa productora sobre la utilización del material. Decidimos partir a trabajar de la siguiente manera, realizando dos producciones de cilindros, una de 15 y otra de 17 cilindros.

- Para la primera tanda de cilindros se realizó una variación porcentual de la cantidad de cemento y arena. La ficha técnica notifica que la arena puede aumentar en un 15% o 20% y disminuir la cantidad de cemento en un 15%. Inicialmente se decidió realizar cinco variaciones porcentuales partiendo de la cantidad inicial de cemento (0%, 10%, 14%, 18%, 22%) las cuales rodeen los puntos recomendados, con el fin de obtener un porcentaje óptimo para seguir experimentando con el material.
- Se decidió hacer uso constante del aditivo a 2% de la cantidad de cemento que lleve la mezcla.

Para la ejecución de la segunda tanda de cilindros, se hicieron diversas modificaciones; cantidad de cilindros, relaciones porcentuales vs diferentes cantidades de aditivo.

5.1.4.3. Relación cemento-arena-aditivo.

Partiendo de la dosificación dada por el Método Walker según las características fisicoquímicas de los agregados se decidió generar diferentes variaciones en la cantidad de cemento y cantidad de arena, manteniendo constante la cantidad de aditivo. Esto con el fin de encontrar la cantidad de cemento que se puede reducir y

ser remplazada por arena. Según lo anterior la cantidad en kilogramos de cemento que se disminuya será proporcional a la cantidad de arena que se le añada a la mezcla.

Teniendo en cuenta que se usaran cofres metálicos de 0.015m de diámetro, con una altura de 0.30m para confinar la mezcla y generar los cilindros de concreto, se calcula el volumen y se multiplica por 15, que son los cilindros a fallar, con dosificaciones diferentes.

Se diseñó el siguiente cuadro donde se observa las variaciones porcentuales de la relación cemento-arena-aditivo. Para cada relación porcentual se realizaron 3 cilindros de concreto.

Tabla 18. Dosificaciones para la primera producción de cilindros.

Número de mezcla	RELACIÓN PORCENTUAL	CEMENTO (Kg)	AGREGADO FINO (Kg)	AGREGADO GRUESO (Kg)	AGUA (L)	ADITIVO (L)
1	0%	7,07	18,48	12,2	4,22	0,14
2	10%	6,363	19,187	12,2	4,22	0,14
3	14%	6,0802	19,4698	12,2	4,22	0,14
4	18%	5,7974	19,7526	12,2	4,22	0,14
5	22%	5,5146	20,0354	12,2	4,22	0,14

Fuente: Autores.

Lo que se realizó en el cálculo anterior va definido por la dosificación inicial, la cual es la base para comenzar a disminuir la cantidad de cemento y aumentar la cantidad de arena. Para la relación porcentual al 0% se mantiene la dosificación inicial. Para

10% se reduce la cantidad inicial de cemento, 0,71 kg y se aumenta esa misma cantidad de arena. Para 14% se reduce la cantidad inicial de cemento 1,60 kg y se aumenta esa misma cantidad de arena. Para 18% se reduce la cantidad inicial de cemento 2,58 kg y se aumenta esa misma cantidad de arena. Para 22%% se reduce la cantidad inicial de cemento 3,57 kg y se aumenta esa misma cantidad de arena. La cantidad de aditivo se mantiene contante en todas las relaciones porcentuales, dicha cantidad es dada por relación directa con el cemento (2% de la cantidad de cemento).

Después de realizar el ensayo a los cilindros de concreto y de tener el valor óptimo de la relación porcentual se procedió a realizar más cilindros de concreto con variación en la cantidad de aditivo, manteniendo la dosificación en la relación porcentual óptima; asimismo se fabricaron otros cilindros con la misma cantidad de aditivo, pero con la dosificación inicial sin variación porcentual.

En la siguiente tabla se muestra la dosificación se 17 cilindros que se diseñaron con sus respectivas cantidades de material.

Tabla 19. Dosificaciones para la segunda producción de cilindros.

Número	RELACIÓN PORCENTUAL	CEMENTO (Kg)	AGREGADO FINO (Kg)	AGREGADO GRUESO (Kg)	AGUA (L)	ADITIVO	
						%	CANTIDAD (L)
1	0%	2,36	6,16	4,07	1,41	0%	0,000
2	0%	2,36	6,16	4,07	1,41		0,000
3	18%	1,93	6,58	4,07	1,41		0,000
4	0%	2,36	6,16	4,07	1,41	0,20%	0,005
5	18%	1,93	6,58	4,07	1,41		0,004
6	0%	2,36	6,16	4,07	1,41	2,00%	0,047
7	18%	1,93	6,58	4,07	1,41		0,039
8	18%	1,93	6,58	4,07	1,41		0,039
9	0%	2,36	6,16	4,07	1,41	2,60%	0,061
10	18%	1,93	6,58	4,07	1,41		0,050
11	18%	1,93	6,58	4,07	1,41		0,050
12	0%	2,36	6,16	4,07	1,41	3,20%	0,075
13	18%	1,93	6,58	4,07	1,41		0,062
14	18%	1,93	6,58	4,07	1,41		0,062
15	0%	2,36	6,16	4,07	1,41	3,80%	0,090
16	18%	1,93	6,58	4,07	1,41		0,073
17	18%	1,93	6,58	4,07	1,41		0,073

Fuente: Autores.

El diseño y la asignación de las cantidades de aditivo se realizaron de la anterior forma, ya que, así se busca encontrar la relación exacta de aditivo con la que mejor interactúa en la mezcla de concreto. Así mismo se elaboraron cilindros con la misma variación porcentual de aditivo pero cambiando la dosificación a la inicial, con el fin de seguir corroborando de que la relación porcentual encontrada mediante los ensayos anteriores es la correcta para hacer uso óptimo del aditivo experimental.

5.2. Especificaciones para el concreto

En Colombia, existen instituciones dedicadas a la licitación, mantenimiento, rehabilitación y normalización de los procedimientos dedicados al desarrollo, en cuanto a infraestructura se refiere, de las necesidades del país, tal es el caso del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) a nivel capital (Bogotá), y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) a nivel nacional, los cuales, al momento de celebrar un contrato, le exigen al contratista o consorcio encargado de la obra el cumplimiento de las especificaciones propias de cada entidad, para los procedimientos y materiales a emplear en la ejecución del objeto contratado.

Así mismo, cuando se trata de contratos privados o cualquier tipo de construcción ordinaria de financiamiento privado, el estado obliga el cumplimiento del reglamento colombiano NSR-10, el cual a su vez, exige la verificación de los materiales y procedimientos constructivos mediante la aplicación de las normas técnicas colombianas (NTC) promulgadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), organización de carácter privado a nivel nacional que rige el control de calidad para distintas actividades profesionales.

Para concreto, estas instituciones cuentan con una serie de especificaciones que contemplan cada uno de los componentes del hormigón, estableciendo valores límite para la aceptación de los materiales a emplear en la fabricación de concreto, se supone entonces, que las magnitudes presentadas corresponden a escenarios donde se cumplen minuciosamente estándares de calidad. Todas las especificaciones, se encuentran en función de ensayos estandarizados para cada componente, los cuales evaluarán la calidad de los materiales en el marco de las siguientes características:

- ❖ Dureza

- ❖ Durabilidad
- ❖ Limpieza
- ❖ Geometría
- ❖ Características químicas

5.2.1. Cemento

Debido a que el cemento es un material adquirido comercialmente, no resulta fundamental realizar ensayos que prueben la veracidad del cumplimiento de las especificaciones químicas, físicas y mecánicas del material, esta labor le corresponde al proveedor del material que garantiza y certifica la buena calidad de su producto; sin embargo, no sobra recalcar las indicaciones presentadas por las diferentes instituciones en cuanto al cemento se refiere.

Tabla 20. Especificaciones para cemento.

ESPECIFICACIONES AL CEMENTO		
IDU	INVIAS	ICONTEC
El cemento utilizado será tipo portland..., el constructor deberá seleccionar y utilizar un mismo tipo de cemento, tanto en calidad como en marca. Deberá cumplir lo especificado en las	El cemento utilizado será hidráulico, de marca aprobada oficialmente, el cual deberá cumplir la normativa ASTM C150 o C595, además se deberán tener en cuenta los aspectos mencionados en el artículo 501 de las especificaciones generales de construcción	El ICONTEC plasma detalladamente los requisitos químicos y físicos que debe satisfacer el concreto en sus documentos NTC 121 y NTC 321, además, suministra las herramientas para la aceptación y rechazo del material en caso de no

normas NTC 121 y NTC 321.	de carreteras presentadas por el INVIAS.	cumplir dichas especificaciones.
---------------------------	--	----------------------------------

Fuentes: - *ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: PAVIMENTO DE LOSAS DE CONCRETO HIDRÁULICO*, Instituto de Desarrollo Urbano IDU, SECCIÓN 600-11 V. 2.0

- *NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS*, Capítulo 6. Artículo 630 – 13: *Concreto Estructural*, Bogotá D.C, 2013.
- *ICONTEC. Normas técnicas colombianas para el sector de la construcción (NTC 121)*. Bogotá: Legis editores S.A., 1989.

A continuación se presentan las especificaciones mínimas que debe cumplir el cemento hidráulico, respecto a ensayos básicos que se realizan al material.

Tabla 21. Especificaciones para cemento hidráulico.

Requisitos minimos para cemento hidraulico		
Propiedad	ICONTEC	INVIAS
Finura m ² /kg	N.A	220
Tiempo de fraguado inicial (min) minimo	45	45
Tiempo de fraguado final (min) maximo	420	375
Resistencia minima a la compresión a los 28 dias (Mpa)	24	28

Fuente: NTC 121 y articulo 501 07 INVIAS.

5.2.2. Agregados

Los agregados dispuestos para la presente investigación, no cuentan con todos los ensayos necesarios para la evaluación de un concreto estructural, o un concreto para losas de pavimento rígido, sin embargo se realizara una comparación de las propiedades de los agregados suministrado al diseño de la mezcla con las especificaciones dadas por las tres entidades nacionales; evidentemente, el contraste realizado se verá limitado por la cantidad de ensayos especialmente realizados para lograr la aplicación del método Walker, no obstante, el análisis realizado se limitara a los valores de los que dispone la investigación.

En seguida se expone un resumen de las especificaciones de los agregados finos y gruesos para concreto según las entidades anteriormente mencionadas.

Tabla 23. Especificaciones agregado grueso.

ENSAYO		ESPECIFICACIONES AGREGADO GRUESO			
		INVIAS		IDU T0-T1	ICONTEC
		Concreto Estructural	Pavimento Rígido		
Dureza					
Desgaste los angeles	En seco, 500 revoluciones, % max	40	40	35	50
	En seco, 100 revoluciones, % max	8	8	-	-
Micro Deval, % max		-	30	30	-
10% de finos	Valor en seco, kN mínimo	-	90	60	-
	Relación húmedo/seco, % mínimo	-	75	75	-
Durabilidad					
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % max	Sulfato de magnesio	18	15	18	18
	Sulfato de Sodio	12	10	-	-
Limpieza					
Terrones de arcilla y partículas deleznable, % max		0.25	3.0	0.25	5.0
Partículas livianas, % max		1.0	0.5	1.0	1.0
Geometría de las partículas					
Partículas fracturadas mecánicamente, % min	1 cara	-	60	60	-
	2 caras	-	-	35	-
Índice de aplanamiento, % max		25	10	25	-
Índice de alargamiento, % max		25	10	25	-
Características químicas					
Contenido de sulfatos expresado como SO ₄ =, % max		1.0	1.0	1.0	-

Tabla 22. Especificaciones para agregado fino.

ENSAYO		ESPECIFICACIONES AGREGADO FINO			
		INVIAS		IDU T0-T1	ICONTEC
		Concreto Estructural	Pavimento Rígido		
Durabilidad					
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % max	Sulfato de magnesio	15	15	15	-
	Sulfato de Sodio	10	10	-	-
Limpieza					
Índice de plasticidad (%)		No Plástico	No Plástico	No Plástico	-
Equivalente de arena, mínimo (%)		60	60	50	-
Valor de azul de metileno, máximo		5	-	5	-
Terrones de arcilla y partículas deleznable, % max		1	3	1	3
Material que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200), máximo		5	3	5	3
Partículas livianas, % max		0.5	0.5	0.5	-
Contenido de materia orgánica					
Color más oscuro permisible		Igual a Muestra patrón	Igual a Muestra praton	Igual a Muestra	-
Características químicas					
Contenido de sulfatos expresado como SO ₄ =, % max		1.2	1.2	1.2	-
Absorción					
Absorción de agua, máximo (%)		4	4	4	-

De acuerdo con las especificaciones enseñadas en la tabla 22, el material cuenta con un porcentaje de absorción adecuado para cualquier tipo de obra según los valores establecidos por el IDU e INVIAS, sin embargo, el agregado cuenta con un moderado porcentaje de material perjudicial que pasa el tamiz No. 200, este valor, no logra cubrir el porcentaje máximo exigido por las especificaciones presentadas con anterioridad.

Tabla 24. Granulometrías requeridas para agregados.

Aertura (mm)	Designacion ASTM	Granulometria Agregados de la Investigacion, % Pasa	IDU	Aertura (mm)	INVIAS	ICONTEC
25,4	1"	100,00	100	25,4	-	-
19	3/4 " (19,05 mm)	100,00	95-100	19	100	100
12,7	1/2 " (12,7 mm)	95,13	20-55	12,7	90-100	90-100
9,5	3/8 " (9,525 mm)	78,77	0-5	9,5	40-70	40-70
4,76	N° 4 (4,75 mm)	34,71	85-100	4,76	0-15	0-15
2,38	N° 8 (2,36 mm)	19,44	60-80	2,38	0-5	0-5
1,75	N° 10	16,26	-	9,5	100	100
1,19	N° 16 (1,19 mm)	11,26	45-65	4,76	95-100	95-100
0,595	N° 30 (0,59 mm)	6,53	30-55	2,38	80-100	80-100
0,297	N° 50 (0,297 mm)	3,25	15-35	1,75	-	-
0,149	N° 100 (0,15 mm)	1,00	2-20	1,19	50-85	50-85
0,074	N° 200 (0,075 mm)	0,22	0-5	0,595	25-60	25-60
				0,297	10-30	10-30
				0,149	2-10	2-10
				0,074	0	0

Fuentes:

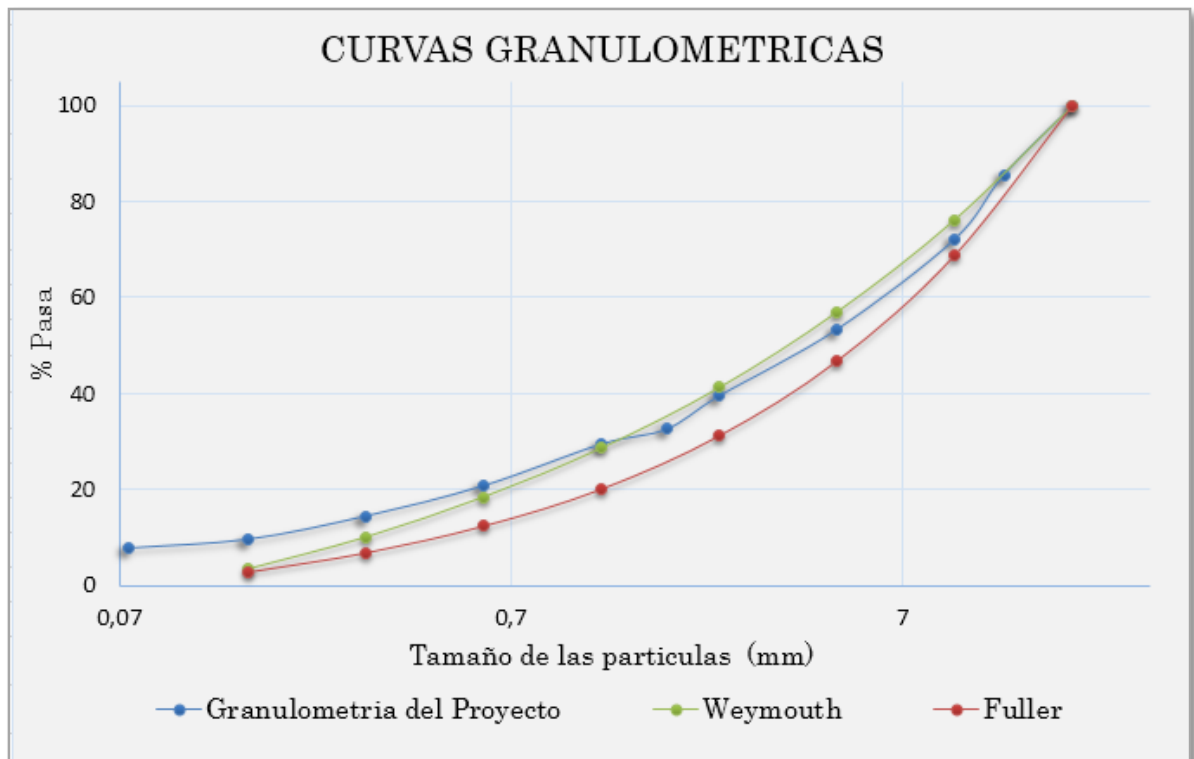
- Instituto de Desarrollo Urbano IDU, SECCION 600-11 V. 2.0
- NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS, Capitulo 6. Artículo 630 – 13: Concreto Estructural, Bogotá D.C, 2013.
- ICONTEC. Normas técnicas colombianas para el sector de la construcción (NTC 121).

5.2.3. Granulometrías

Asimismo, las instituciones que regulan el control de los materiales empleados en las obras civiles del país, contienen dentro de sus lineamientos, requisitos de granulometrías que contienen una franja de gradaciones tanto para agregado fino como para agregado grueso, en los gráficos 3 a 7, se presenta un compendio de granulometrías establecidas por las diferentes entidades de control gubernamental contrastadas con la gradación planteada para el proyecto, **Ver Tabla 10**.

La representación de dichas franjas y su respectiva comparación con las especificaciones establecidas por estas instituciones, se presenta más claramente en las curvas granulométricas presentadas en los siguientes gráficos.

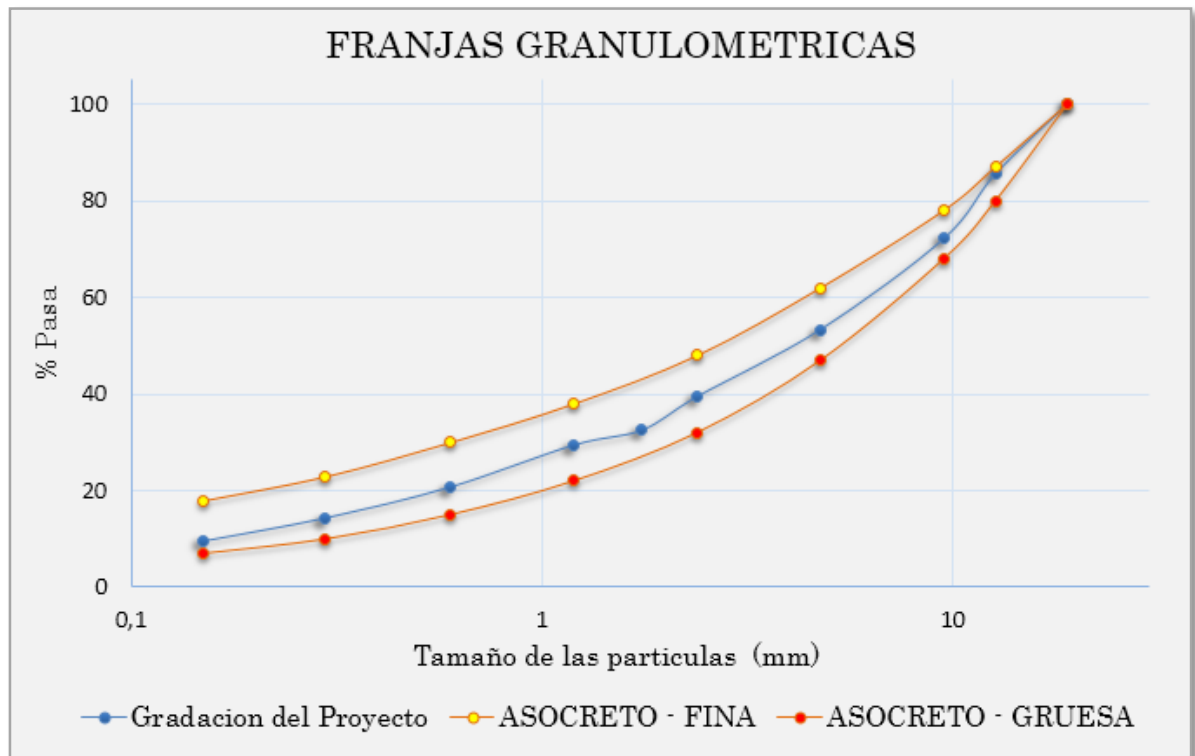
Gráfico 2. Granulometrías ideales Fuller – Weymouth.



Fuente: MONTEJO, *Patología y tecnología del concreto, Granulometría de los agregados.*

Investigaciones realizadas por varios autores, coinciden en la importancia que tiene la gradación de los agregados en el diseño de la mezcla de concreto, tal es el caso del norteamericano W. Fuller, el cual “demostró que las granulometrías continuas proporcionaban hormigones más trabajables y resistentes”⁴⁸, es apenas obvio pensar que una matriz de agregado bien gradada proporcione un mejor comportamiento del material, por el hecho de suministrar un arreglo particular más compacto que aportara mayor rigidez e impermeabilidad. En los gráficos 2 y 3, se presentan las granulometrías recomendadas por ASOCRETO y algunos autores para granulometrías con TMN de ½”

Gráfico 3. Franjas Granulometrías - ASOCRETO



Fuente: ASOCRETO. *Tecnología del concreto, Autores.*

⁴⁸ ESTUDIO GRANULOMETRICO DEL LOS ARIDOS. {En línea}. Fecha. {22 de Marzo de 2018}. Disponible en: (<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/LECCION3.MaterialesPetreosNATURALES.5-ARIDOS.HORMIGONES.Granulometria.pdf>).

Gráfico 4. Franja granulométrica - Agregado Grueso, IDU

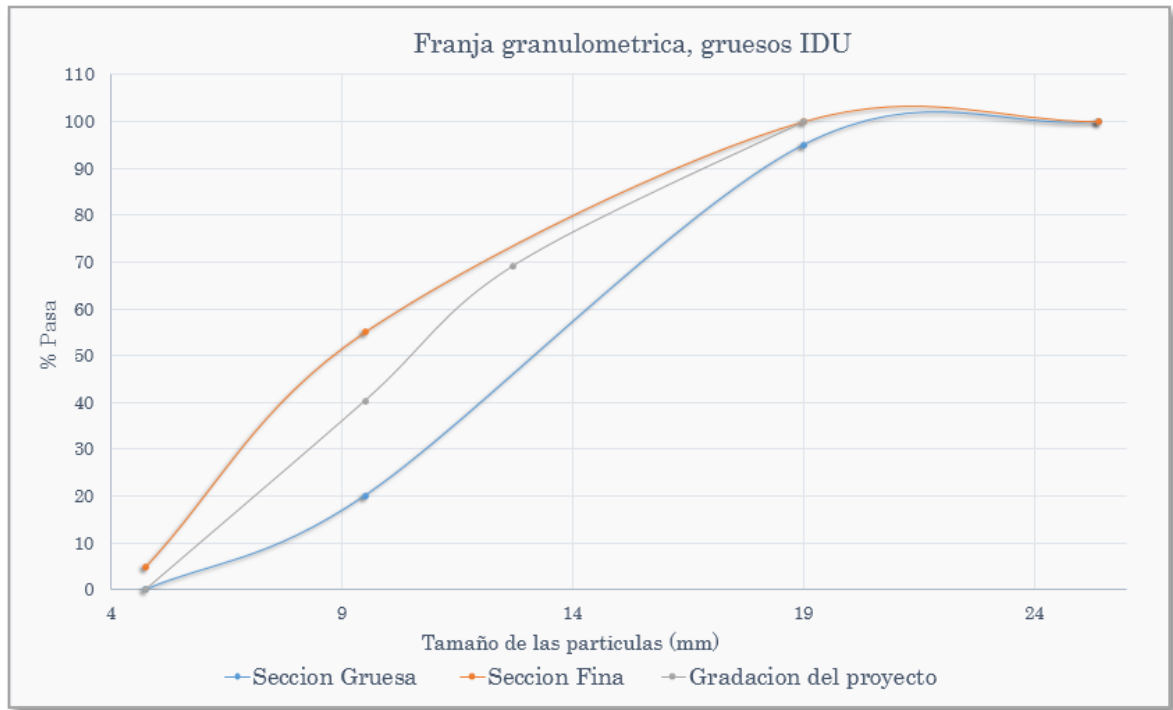


Gráfico 5. Franja granulométrica - Agregado Fino, IDU

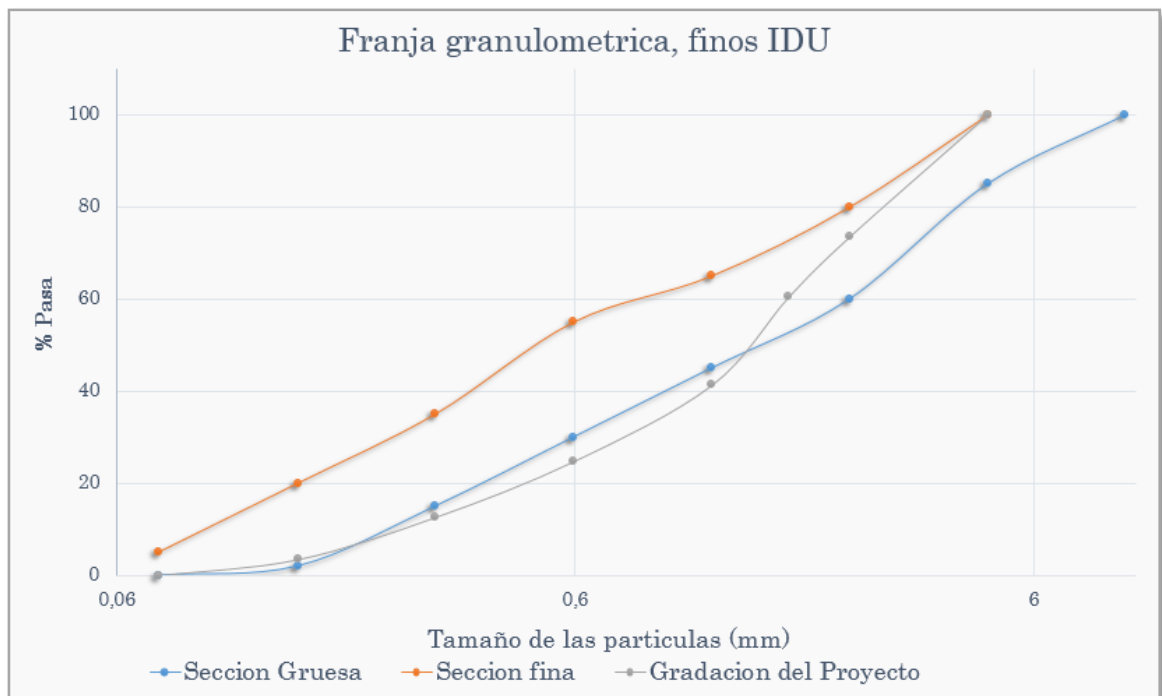


Gráfico 6. Franja granulométrica - Agregado Grueso, ICONTEC e IVIAS

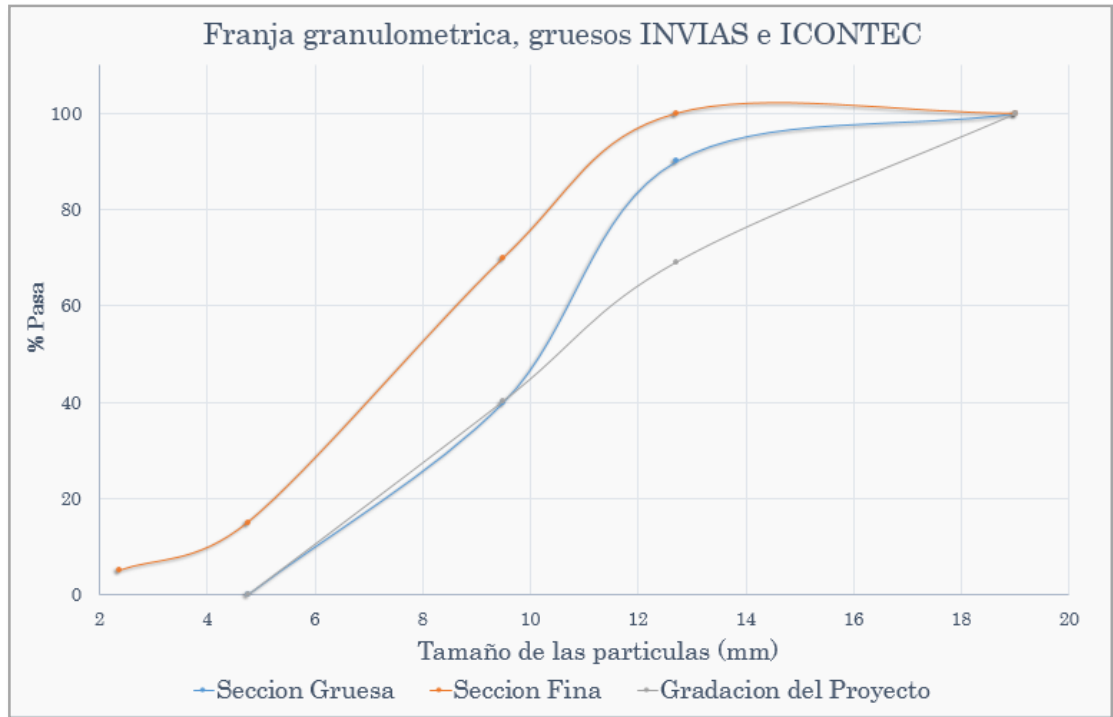
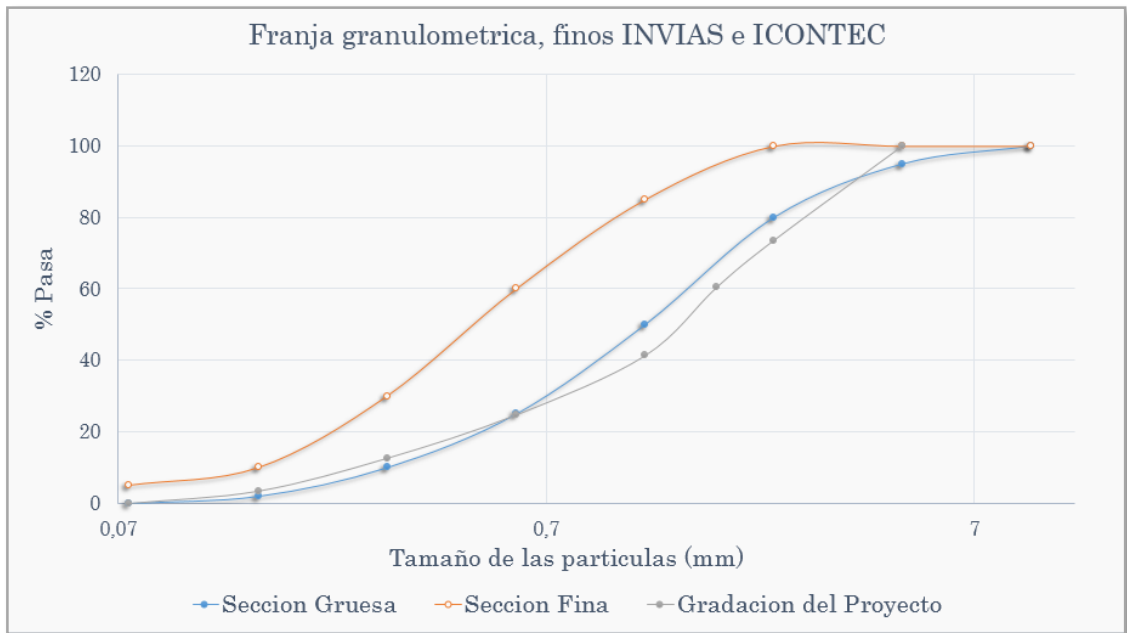


Gráfico 7. Franja granulométrica - Agregado Fino, ICONTEC e INVIAS



Fuentes:

- *Instituto de Desarrollo Urbano IDU, SECCION 600-11 V. 2.0*
- *NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS, Capitulo 6. Artículo 630 – 13: Concreto Estructural, Bogotá D.C, 2013.*
- *ICONTEC. Normas técnicas colombianas para el sector de la construcción (NTC 121).*

Inicialmente, la granulometría presentada por el material pétreo, comparada con las curvas ideales propuestas por Fuller y Weymouth, presenta una tendencia similar a las franjas recomendadas por dichos autores; esta distribución de tamaños, notablemente bien gradada, dispuesta para el proyecto, logra satisfacer una distribución adecuada para lograr una matriz compacta y consolidada de agregados al interior de la masa de concreto. Por otra parte, la curva presentada para el diseño de la mezcla, posee un alto porcentaje de material fino (pasa tamiz #200), que se encuentra por tres puntos por encima de lo recomendado por la mayoría de las especificaciones para alguno de sus concretos, este porcentaje, puede llegar a representar un fenómeno perjudicial para la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados dispuestos para la mezcla.

Para las franjas presentadas por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), la curva determinada para el proyecto logra encontrarse dentro de los límites especificados para agregado grueso indicados por el IDU, la única condición que cumple medianamente las franjas indicadas por esta institución, es la correspondiente a la gradación presentada por el agregado fino, es evidente que, según las franjas granulométricas, las partículas de agregado fino presentan una tendencia más gruesa de lo especificado.

Por otra parte, las especificaciones manifestadas por el INVIAS y el ICONTEC no logran cobijar la curva granulométrica dispuesta para el proyecto, lo cual puede indicar una marcada diferencia entre lo que se solicita para concreto estructural y

concreto para la construcción de pavimento rígido en cuanto gradación se refiere; esto no quiere decir que el material deba ser rechazado inmediatamente, sino que, como primera opción, se deberá considerar mezclar dos tipos de agregado con diferentes granulometrías, con el propósito de satisfacer medianamente las especificaciones indicadas por dichas entidades; cabe resaltar que el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, declara el siguiente comunicado cuando el material no satisface las especificaciones dictadas para el proyecto.

Los resultados de los ensayos de agregados gruesos que excedan los límites especificados en las tabulaciones, se deben considerar que cumplen los requisitos de esta sección, si el proveedor puede demostrar al comprador que el concreto fabricado con agregado similar de la misma fuente ha brindado un servicio satisfactorio cuando ha estado expuesto a condiciones similares a las que se van a encontrar; o si no se posee un registro de servicio demostrable, si el agregado produce concreto con las propiedades relevantes satisfactorias⁴⁹.

Según la curva expuesta para la presente investigación, y en base a la comparación realizada de la misma con las franjas granulométricas recomendadas por las distintas entidades de regulación nacional, se puede inferir que los elementos fabricados en concreto, bajo la granulometría presentada por los agregados dispuestos para esta investigación, brindaría características como impermeabilidad, consolidación y distribución de esfuerzos (grano a grano) apropiados, que finalmente beneficiarían al material en cuanto a su durabilidad.

Indudablemente las entidades que solicitan un cumplimiento más detallado de algunas propiedades de los materiales, son las instituciones IDU e INVIAS, que por el hecho de encontrarse directamente relacionadas con el sector de la infraestructura Colombiana, deben ser más rigurosos en sus procedimientos de selección y aceptación de los materiales usados para la construcción a nivel

⁴⁹ ICONTEC. *Normas técnicas colombianas para el sector de la construcción (NTC 174)*. Bogotá: Legis editores S.A., 1989.

nacional; el ICONTEC, presenta un marco más laxo que favorece a otro tipo de condiciones que, se supone, satisficieran unas condiciones mínimas de calidad.

5.2.4. Requisitos del agua de mezclado

La normativa colombiana NTC 3459⁵⁰ expresa que el agua para elaborar mezclas de concreto, puede ser cualquiera que cumpla con los requisitos básicos de potabilidad, es decir, sin características como olor, sabor y color. En general, para elaborar mezclas de concreto, se podría considerar determinar si el estado del agua, antes del mezclado, se encuentra limpia y con niveles bajos de turbiedad como parámetro inicial para calificar la viabilidad del uso de una fuente u otra.

Igualmente, esta normativa establece unos requisitos químicos para aceptación del agua de mezclado basados en las posibles patologías que se puedan presentar con el paso del tiempo en el hormigón. Sin embargo, es evidente que intentar satisfacer dichas especificaciones en zonas alejadas de cualquier fuente de agua potable, resulta complicado para proyectos indispensables de ingeniería civil. Por tal motivo, la normativa permite la elaboración de elementos en concreto, partiendo de los siguientes mínimos requisitos físicos que deben cumplirse en caso de desconocer las propiedades químicas de la fuente de abastecimiento.

- El promedio de la resistencia a la compresión de cubos de mortero elaborados con agua de ensayo, evaluada a siete (7) días, debe ser mayor o igual al 90% de la resistencia promedio de los cubos de mortero hechos con el agua testigo evaluada a la misma edad. Si la resistencia es menor que el 90% pero superior al 80% de la resistencia de los cubos de mortero elaborado con el agua testigo, se debe contemplar la modificación de las proporciones de la mezcla. Si la resistencia es menor que el 80% de la resistencia de los cubos de mortero elaborado con el agua testigo, se debe conseguir una fuente alternativa.

⁵⁰ *Ibíd.*, NTC. 3459.

- Los tiempos de fraguado inicial del cemento, determinados a partir de muestras elaboradas con agua de ensayo y agua testigo no deben diferir entre sí en más de 30 minutos⁵¹.

El agua potable suele considerarse apta para la elaboración de elementos de concreto, ya que las redes del sistema de abastecimiento de agua, por parte del acueducto local, suministran dicho recurso en condiciones favorables que cumplen superficialmente las especificaciones mínimas presentadas por la norma, sin necesidad de realizar ensayos de calificación. Igualmente, para el curado del concreto con agua, se recomienda realizar un procedimiento que se ajuste a las limitaciones descritas previamente, siendo aplicable la distinción del uso libre de agua potable para este tipo de procedimientos.

A continuación se presentan los parámetros mínimos que se deben conocer cuando se realizan ensayos químicos al agua de mezclado.

Tabla 25. Límites químicos para el agua de mezclado.

CONTAMINANTE	NORMA DE ENSAYO	LÍMITE MÁXIMO (ppm)
Ión Cloro (Cl ⁻)	ASTM C 114	1000
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	ASTM C 114	3000
Álcalis como (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O)	ASTM C 114	600
Sólidos totales por masa	ASTM C 1603	5000

Fuente: Art. 630-13 Concreto estructural, normas y especificaciones INVIAS.

⁵¹ *Ibíd.*, NTC. 3459.

5.2.5. Requisitos básicos para concreto

El Instituto de desarrollo urbano, encargado en una de sus ramas de las obras viales en Bogotá, señala en sus especificaciones 600-11 v.2., que para losas de pavimento rígido se deberán seguir los criterios de diseño con base en las siguientes características del concreto hidráulico.

Los criterios de diseño de la mezcla, se enfocan en la resistencia a la tracción y flexión del concreto puesto que dicho parámetro, es la principal herramienta de diseño de las losas de pavimento rígido, cabe mencionar, que adicionalmente las especificaciones dadas por el IDU, enfatizan en el cumplimiento de los requisitos establecidos por el capítulo C.4 del reglamento colombiano de construcción sismo resistente para el diseño de la mezcla de concreto de cualquier proyecto de infraestructura vial.

Tabla 26. Criterios de diseño de mezclas de concreto hidráulico, IDU

Característica	Requisitos por Clase de Tránsito		
	T0-T1	T2-T3	T4-T5
Contenido mínimo de cemento, kg/m ³	300		
Relación ponderal agua/cemento, máximo	0.49		
Resistencia a la flexión (Módulo de rotura) promedio a los 28 días, Mpa	4.0-4.5	4.2-4.5	4.5-4.8
Resistencia a la tracción indirecta a los 28 días, % mínimo de la resistencia a la flexión a los 28	50	50	50
Contenido de aire incluido, %	2 a 4	2 a 4	2 a 4

Fuente: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: PAVIMENTO DE LOSAS DE CONCRETO HIDRÁULICO, Instituto de Desarrollo Urbano IDU, SECCION 600-11 V. 2.0

De igual modo, el Instituto Nacional de Vías (IVIAS), confiere en el artículo 630-13 del documento denominado ESTRUCTURAS Y DRENAJES, los valores mínimos de resistencia a la compresión $f'c$, en función del tipo de estructura a desarrollar; la

siguiente tabla indica las resistencias establecidas por el INVIAS para el concreto estructural.

Tabla 27. Resistencias mínimas en función del tipo de uso, INVIAS

TIPO DE USO	RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN, A 28 DÍAS (MPa)
Concreto pretensado y postensado	32
Concreto reforzado	21
Concreto simple (sin refuerzo)	14
Concreto ciclópeo: se compone de concreto simple y agregado ciclópeo en una proporción de 40%, como máximo, del volumen total.	14

- **Fuente:** *NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS, Capítulo 6. Artículo 630 – 13: Concreto Estructural, Bogotá D.C, 2013.*

5.3. Fabricación de los cilindros

Para la fabricación de los cilindros de concreto, la normativa colombiana NTC 1377, formula los procedimientos adecuados para la elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio, para lo cual, los autores de la presente investigación, solicitaran el servicio de los laboratorios MISAEL GUERRA para desarrollar la fabricación, curado y falla del primer lote de cilindros, más adelante, se realizara el mismo procedimiento para un lote diferente de cilindros en el laboratorio de materiales dispuesto por la división de Ingenierías de la Universidad Santo Tomás.

De acuerdo con la normativa vigente, y conforme con la disponibilidad de herramientas del laboratorio, la NTC 1377, establece distintos métodos para la correcta elaboración de las probetas requeridas para cualquier tipo de ensayo; a continuación, se presenta el procedimiento llevado a cabo por los autores de la mano con las exigencias más relevantes declaradas por la norma.

1. Lo materiales se deben mantener a una temperatura de entre 20 y 30 °C.



Ilustración 5. Material almacenado para la mezcla.

Fuente: Autores.

2. Cuando se trata de elementos pequeños en concreto, se recomienda realizar la mezcla de los materiales en un recipiente o bandeja metálica, impermeable, limpia y húmeda.

Nota: *La mezcla fue realizada en el suelo ya que el laboratorio no contaba con una batea o superficie metálica disponible para mezclar el concreto. Se vio la necesidad de humedecer el suelo para minimizar la pérdida de agua y reducir las implicaciones que acarrea mezclar en este tipo de superficies.*

3. Mezclar los materiales finos inicialmente, es decir, solamente el cemento y el agregado fino hasta lograr una mezcla completamente uniforme.



Ilustración 6. Mezcla en seco de materiales - Lab. Misael Guerra

Fuente: Autores.

4. Sin adición de agua, añadir el agregado grueso hasta que el triturado este totalmente combinado.



Ilustración 7. Mezcla de materiales en seco.

Fuente: Autores.

5. Adicionar el agua y la solución de aditivo, mezclar la masa hasta que el concreto tenga la consistencia deseada.



Ilustración 8. Cuantía de agua y aditivo.

Fuente: Autores.

6. Inmediatamente después del mezclado, se mide el asentamiento del material.



Ilustración 9. Ensayo de asentamiento del concreto.

Fuente: Autores.

7. Engrasar los moldes con agentes desencofrantes y con ayuda de una cuchara, colocar el concreto en tres capas de 100 mm de altura cada una.
8. Apisonar la primera capa con la punta redonda de una varilla de 3/8", se deberán realizar 25 golpes por cada capa, distribuidos desde el perímetro del cilindro hacia el interior del mismo. Terminados los impactos, se golpea ligeramente con un mazo de caucho de 10 a 15 veces la parte exterior del molde para cerrar los huecos dejados por el apisonado y para sacar las burbujas de aire que puedan haber quedado atrapadas.
9. Realizar el mismo procedimiento para las capas superiores, para las cuales se permite que la varilla penetre cerca de 25 mm dentro de la capa inmediatamente inferior.



Ilustración 10. Ajuste de los moldes para elaborar los cilindros.

Fuente: Autores.

10. Finalizado el llenado del molde, afinar las superficies superiores enrasándolas con la varilla de compactación cuando la consistencia del concreto lo permite, o con la ayuda de un palustre o llana de madera.

11. Luego de $24h \pm 8h$, se retiran los moldes de los especímenes y se disponen a su curado posterior.



Ilustración 11. Cilindros fundidos y desencofrados.

Fuente: Autores.



Ilustración 12. Cilindros fundidos - Lab. Misael Guerra.

Fuente: Autores.

5.4. Curado y falla

Para la primera producción de cilindros se hizo uso de un laboratorio particular, Laboratorio Misael Guerra, ya que los laboratorios de la Universidad no se encontraban disponibles. En ese laboratorio se realizó la mezcla de concreto, colocando la mezcla en cofres metálicos de 0.30m de alto por 0.015m de diámetro, en el cual estuvieron por 24 horas aproximadamente. Después de ese tiempo los cilindros fueron puestos en un espacio dispuesto por el laboratorio donde están en contacto con agua a temperatura ambiente durante 27 días. A los 28 días de haberse realizado la mezcla de concreto, los cilindros se sacan de curado y se llevan al cuarto donde se encuentra la prensa hidráulica, máquina que realiza falla a compresión arrojando el valor con el que el cilindro de concreto presenta rotura.

Para la segunda producción de los cilindros de concreto los laboratorios de la Universidad se encontraban disponibles. Exactamente usamos el laboratorio de mecánica. Allí producimos 17 cilindros con los mismos materiales que se usaron en la primera producción. Después de realizar la mezcla, el concreto se iba encofrando en cofres metálicos. Al día siguiente los cilindros fueron puestos en un tanque que se encuentra en el mismo laboratorio, quedando en contacto con agua a temperatura ambiente por 27 días. Ahí mismo en el laboratorio se encuentra la máquina para fallar los cilindros, la cual se usó bajo la supervisión del laboratorista.



Ilustración 13. Curado de los especímenes.



Ilustración 14. Disposición de espécimen en la prensa.

Fuente: Autores.



Ilustración 15. Falla de cilindro.

Fuente: Autores.

6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se encuentran divididos en dos, primero se encuentran los datos resultantes de la elaboración de los cilindros en el Laboratorio Misael Guerra, posteriormente se ven los resultados que se obtuvieron por los cilindros fallados en el laboratorio de mecánica de la Universidad Santo Tomás. Adicionalmente se realizarán análisis en lo que respecta a la viabilidad de uso del aditivo experimental, analizando variable costo-beneficio e impacto ambiental.

6.1. Tablas de resultados

Las siguientes tablas contienen su respectiva numeración de cilindros, su relación porcentual (disminución de cemento y aumento de arena), la fecha de elaboración y rotura, la carga máxima que pudo soportar cada cilindro y su conversión a psi y MPa, el tipo de falla que presentó el cilindro.

Para los resultados obtenidos por la rotura de cilindros en el Laboratorio Misael Guerra cada relación porcentual contiene tres cilindros con el fin que realizar un promedio y tener un valor de resistencia final más confiable.

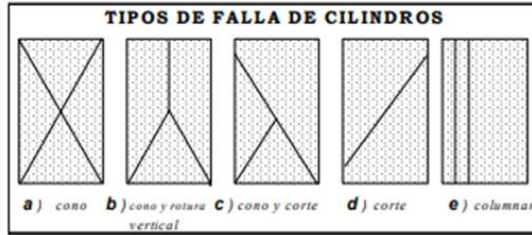
Tabla 28. Resultados, primer lote de cilindros.

Número	Relacion porcentual		Fecha		Edad Dias	f'c	Carga Max. KN	Resistencia			Falla Tipo	% Resistencia	Promedio	
	Fundida	Rotura	psi	kg/cm ²				MPa	MPa	% Res.				
1			4-ene-18	1-feb-18	28	3000	391,6	3113	218,9	21,5	d	102,4		
2	0%		4-ene-18	1-feb-18	28	3000	398,6	3169	222,8	21,9	b	104,3	21,8	103,7
3			4-ene-18	1-feb-18	28	3000	398,6	3169	222,8	21,9	d	104,3		
4			4-ene-18	1-feb-18	28	3000	328	2608	183,3	18,0	b	85,8		
5	10%		4-ene-18	1-feb-18	28	3000	332,3	2642	185,7	18,3	d	86,9	18,2	86,8
6			4-ene-18	1-feb-18	28	3000	335,4	2667	187,4	18,4	a	87,7		
7			4-ene-18	1-feb-18	28	3000	348,3	2769	194,7	19,1	e	91,1		
8	14%		4-ene-18	1-feb-18	28	3000	351,2	2792	196,3	19,3	d	91,9	19,2	91,3
9			4-ene-18	1-feb-18	28	3000	347,9	2766	194,4	19,1	c	91,0		
10			4-ene-18	1-feb-18	28	3000	401,3	3191	224,3	22,0	d	105,0		
11	18%		4-ene-18	1-feb-18	28	3000	399,6	3177	223,3	22,0	b	104,5	21,9	104,5
12			4-ene-18	1-feb-18	28	3000	397,3	3159	222,0	21,8	d	103,9		
13			4-ene-18	1-feb-18	28	3000	298,6	2374	166,9	16,4	d	78,1		
14	22%		4-ene-18	1-feb-18	28	3000	301,5	2397	168,5	16,6	e	78,9	16,6	79,0
15			4-ene-18	1-feb-18	28	3000	305,6	2430	170,8	16,8	d	79,9		

Tabla 29. Resultados, segundo lote de cilindros.

Número	Aditivo	Relacion porcentual	Fecha		Edad Dias	f' c	Carga Max. KN	Resistencia			Falla Tipo	% Resistencia	Promedio	
			Fundida	Rotura				psi	kg/cm ²	MPa			MPa	% Res.
1		0%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	390,2	3102,4	218,1	21,4	d	102,08	21,4	101,9
2	0	0%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	388,5	3088,8	217,1	21,3	d	101,63	19,1	91,2
3		18%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	348,5	2770,8	194,8	19,1	c	91,17		
4	0,20%	0%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	395,6	3145,3	221,1	21,7	c	103,49	21,7	103,5
5		18%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	355,8	2828,9	198,9	19,5	c	93,08	19,5	93,1
6		0%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	410,5	3263,8	229,4	22,6	d	107,39	22,6	107,4
7	2,00%	18%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	395,6	3145,3	221,1	21,7	d	103,49	22	104
8		18%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	396,4	3151,7	221,5	21,8	d	103,70		
9		0%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	419,6	3336,1	234,5	23,1	d	109,77	23,1	109,8
10	2,60%	18%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	411,6	3272,5	230,0	22,6	d	107,67	22,5	107,3
11		18%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	408,7	3249,5	228,4	22,5	d	106,92		
12		0%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	436,5	3470,5	244,0	24,0	d	114,19	24,0	114,2
13	3,20%	18%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	421,3	3349,6	235,5	23,1	c	110,21	23,2	110,4
14		18%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	422,6	3360,0	236,2	23,2	d	110,55		
15		0%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	438,4	3485,6	245,0	24,1	c	114,69	24,1	114,7
16	3,80%	18%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	415,6	3304,3	232,3	22,8	c	108,72	22,8	108,4
17		18%	13-feb-18	13-mar-18	28	3000	413,3	3286,0	231,0	22,7	d	108,12	22,7	108,4

Para la adaptación del tipo de falla de utilizar el siguiente gráfico para una adecuada selección.



6.2. Gráficas

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 28, se plasma a continuación la representación de los valores correspondientes al primer lote de ensayos realizados en el laboratorio Misael Guerra.

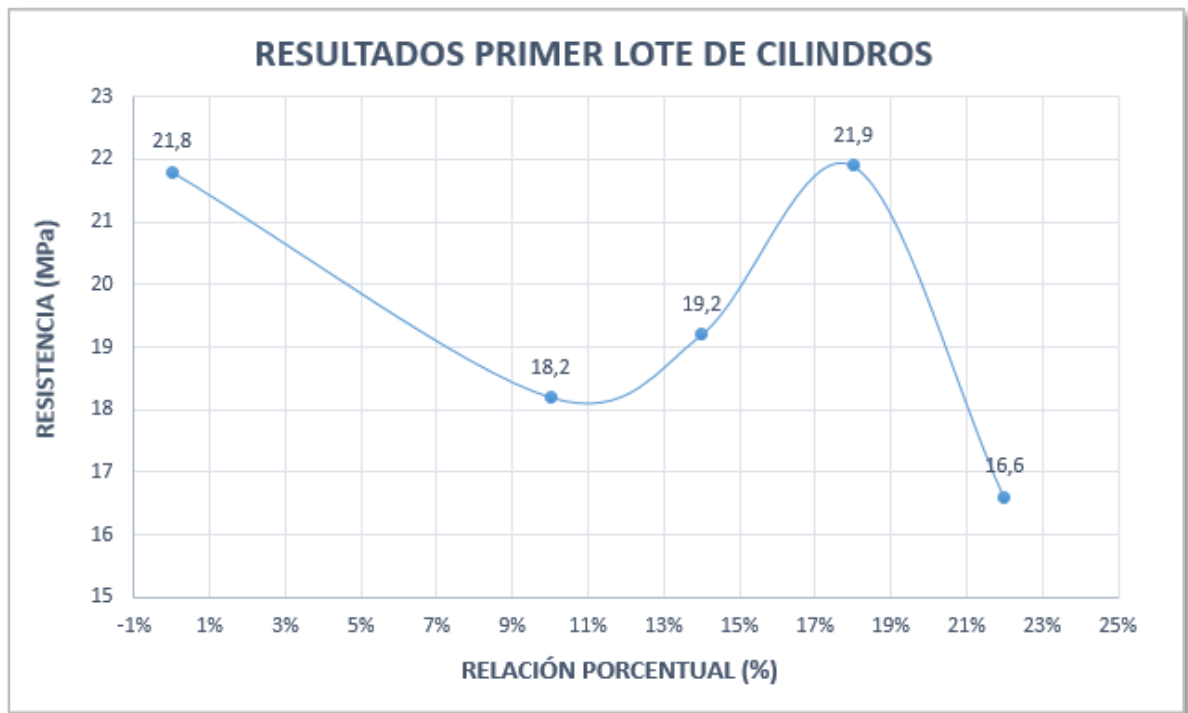


Gráfico 8. Resistencia Vs. Relación porcentual - Primer lote.

Fuente: Autores.

Asimismo, se presenta la representación de los resultados obtenidos en los ensayos correspondientes al segundo lote de cilindros realizados en el laboratorio de mecánica de la Universidad Santo Tomás.

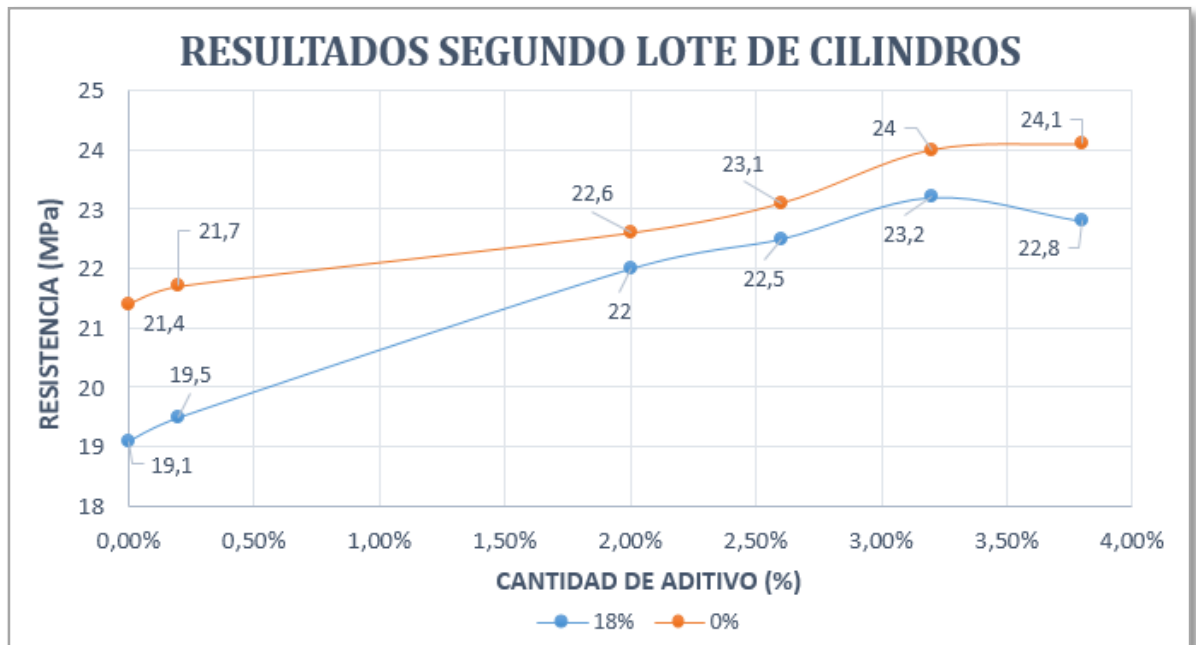


Gráfico 9. Resistencia Vs. Cantidad de Aditivo.

Fuente: Autores.

6.3. Ecuación

Teniendo en cuenta el comportamiento presentado por la gráfica que relaciona la cantidad de aditivo aplicado a diferentes especímenes de concreto para relaciones porcentuales de 0 y 18 %, se aprovechara la tendencia lineal de los gráficos para generar una expresión que cuantifique la tendencia lineal de dichas representaciones.

La expresión representara la zona inicial de cada grafico en función de la razón de cambio entre la resistencia y la cantidad de aditivo aplicado a cada grupo de cilindros.

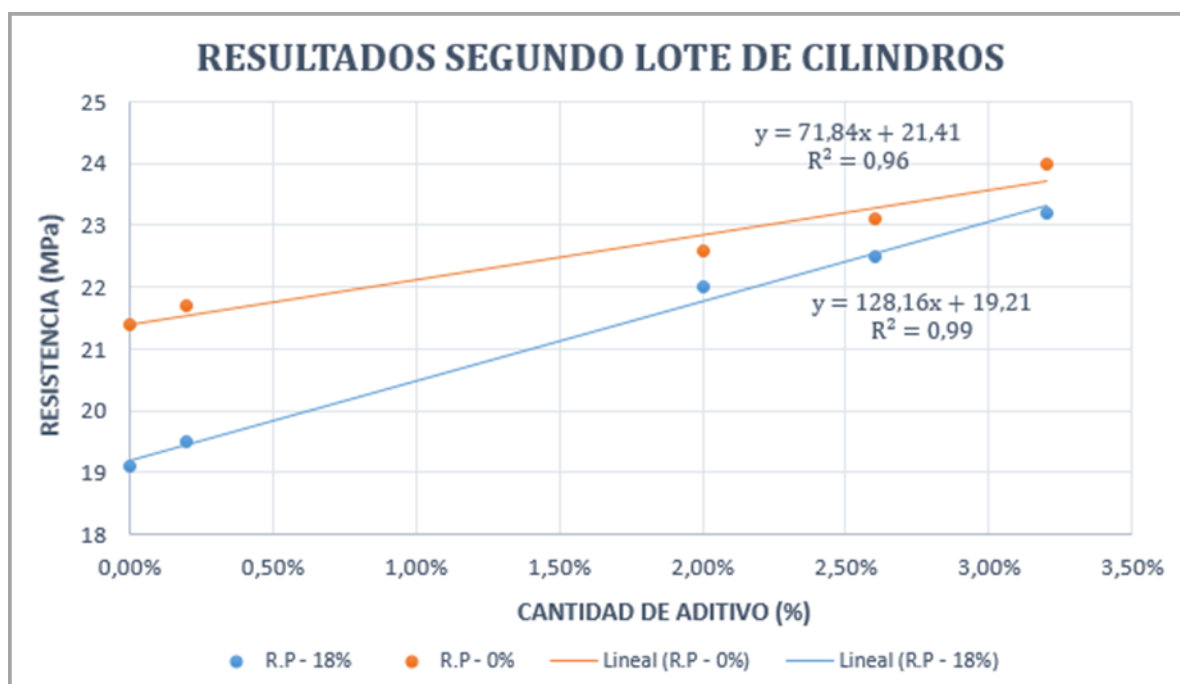


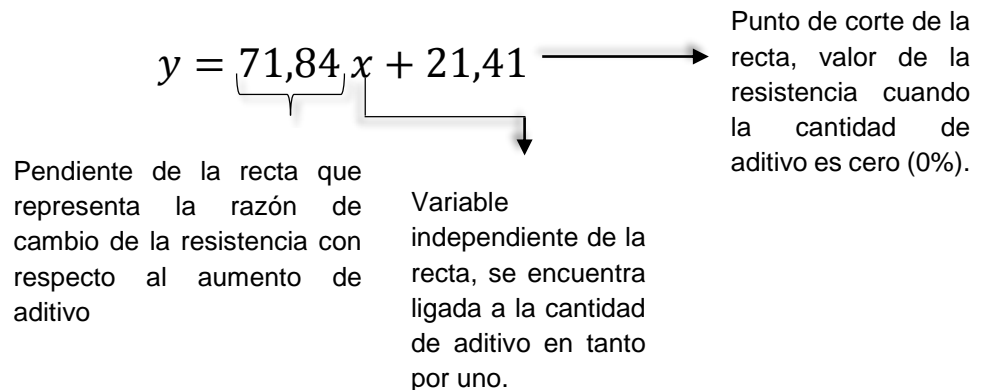
Gráfico 10. Resultados, Resistencia Vs. % de Aditivo.

Fuente: Autores.

La ecuación resultado de la regresión lineal de los datos suministrados por los ensayos, discrimina la región que sigue al 3,2% de aditivo en adelante, ya que,

según los resultados obtenidos, la resistencia aparenta mantenerse constante cada vez que incrementa el porcentaje de aditivo aplicado a las mezclas.

Las expresiones enseñadas en la gráfica 10, representan los siguientes conceptos:



Las pendientes de cada una de las rectas, suponen un cambio lineal de 71.84 KPa y 128,16 KPa por cada 0.1% de aditivo aplicado a las mezclas con relación porcentual cero (0%) y dieciocho (18%) respectivamente.

Las ecuaciones producto de la aproximación lineal de los resultados, proponen un modelo confiable y aproximado de las predicciones, en cuanto a resistencia se refiere, del diseño de una mezcla de concreto basado en las interpretaciones presentadas. El valor de R^2 presentado por la variación de los valores con respecto a su tendencia lineal, refleja la bondad de la aproximación lineal realizada, así como la calidad de las ecuaciones desarrolladas; dicha evaluación, otorga una baja probabilidad de error si se desea realizar el diseño de mezclas de concreto con base en la hipótesis lineal que se sugiere.

Teniendo en cuenta que para el desarrollo de la regresión lineal, se omitió el sector correspondiente a la zona de 3,2 % en adelante, se podría considerar la

introducción de una función a trozos para completar la aproximación del comportamiento de los resultados de la investigación.

Función a trozos para cada una de las curvas estudiadas.

Para mezclas que no tengan reducción de cemento, es decir, relación porcentual igual a 0%, la evaluación se deberá realizar con la siguiente función.

R.P = 0,0%

$$f(x) = \begin{cases} 71,84 x + 21,41 & \text{Si } 0 < x < 3,2 \\ \approx 24,0 & \text{Si } x \geq 3,2 \end{cases}$$

Para mezclas que se deseen diseñar con una reducción de cemento al 18%, la evaluación se deberá realizar con la siguiente función.

R.P = 18,0%

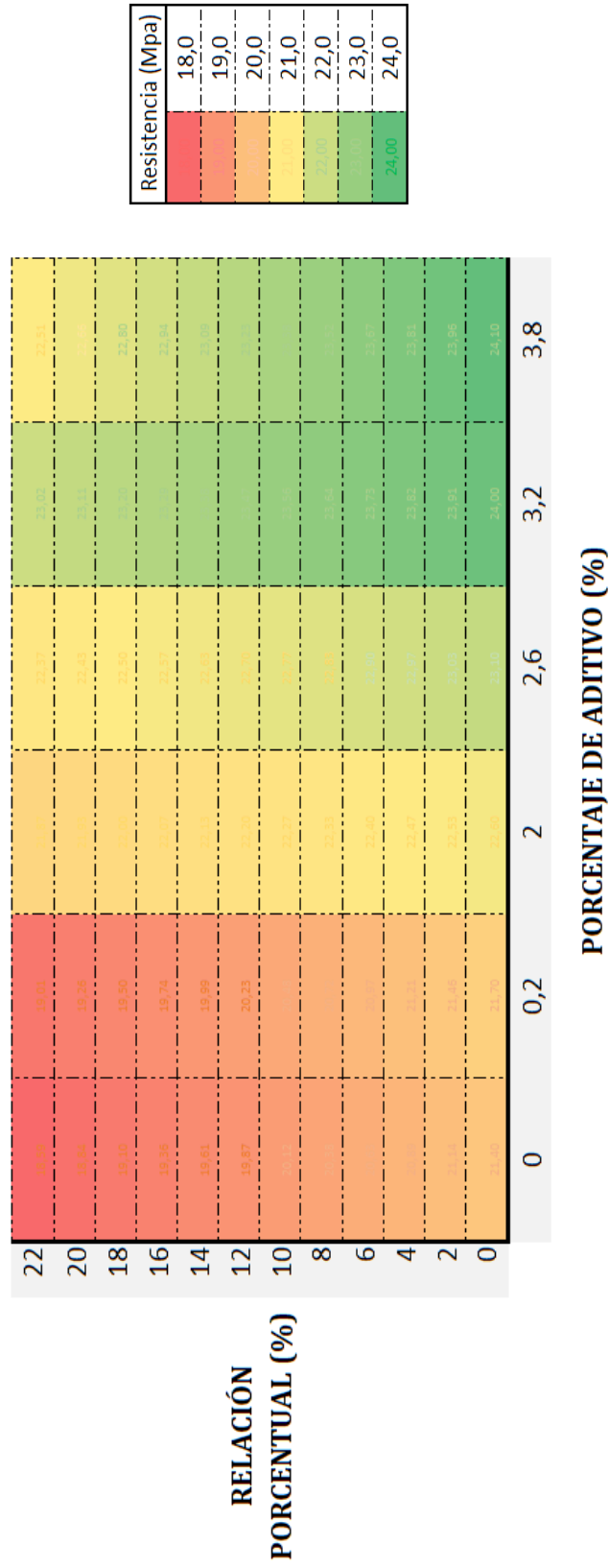
$$f(x) = \begin{cases} 128,16 x + 19,21 & \text{Si } 0 < x < 3,2 \\ \approx 23,0 & \text{Si } x \geq 3,2 \end{cases}$$

6.4. Mapa de resistencias

El siguiente mapa de calor hace referencia a unas proyecciones aproximadas de resistencia última en función de valores puntuales de cantidad de aditivo y reducción de cemento, respecto a la dosificación inicial.

Para el uso del siguiente gráfico, el diseñador podrá elegir entre la resistencia última a la compresión f'_c , porcentaje de aditivo a aplicar en la mezcla o la cantidad de cemento que desea reducir, con base en la fijación de un valor inicial, el diseñador tendrá la posibilidad de escoger cualquier parámetro de la siguiente variable y finalmente el último valor de dosificación de acuerdo al mapa de gradiente de resistencia última.

Ilustración 16. Mapa de gradiente de resistencias.



7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Interpretación de resultados

De la gráfica 8, la cual se obtuvo de la tabla 28, correspondiente a los resultados obtenidos en el Laboratorio Misael Guerra se puede analizar lo siguiente:

Para los cilindros que no se les realizó disminución de cemento y aumento de arena (relación porcentual 0%) se llegó a la resistencia esperada, 21 MPa, lo cual indica que el diseño de la mezcla bajo el Método Walker se realizó de acertadamente.

En la gráfica se puede observar una caída en relación porcentual al 10% y 14%, lo cual da a entender que el aditivo no ha comenzado a reaccionar químicamente con el cemento y agua para llegar a la resistencia.

Para relación porcentual al 18%, se observa un gran incremento en la resistencia, llegando incluso a alcanzar el valor obtenido por los cilindros que no presentaban variación en su dosificación, de lo cual se puede analizar que en este punto y con esa relación arena-cemento el aditivo realiza una excelente reacción química, lo cual altera positivamente la resistencia de la mezcla.

En la relación porcentual al 22%, la descompensación de cemento presentada por la mezcla, desfavorece la reacción del aditivo experimental por lo cual hace que dicha reacción química no se logre desarrollar completamente y no genere ninguna modificación mecánica, por otra parte, esta disminución en la cantidad de cemento, perjudica la relación a/mc, la cual se ve reflejada en la baja capacidad resistente a la compresión del material.

De la gráfica 9, la cual se obtuvo de la tabla 29, correspondiente a los resultados obtenidos en el Laboratorio de mecánica de la Universidad Santo Tomás analizar lo siguiente:

Al realizar una comparación entre los cilindros con dosificación inicial normal (relación porcentual al 0%), respecto a los que se les realizó una variación porcentual del 18%; teniendo en cuenta que los dos presentan la misma cantidad de aditivo en cada punto, se nota que los cilindros con mayor cantidad de cemento presentan una resistencia final mayor. Sin embargo, cabe resaltar que a medida que la cantidad de aditivo va aumentando, como se ve en la curva de relación porcentual al 18% alcanza a superar los 21 MPa, cuando se aplica más del 2,0% de aditivo respecto a la cantidad de cemento, la resistencia del concreto aumenta hasta 22 MPa.

Al analizar los puntos donde el porcentaje de aditivo es de 2.6%, 3.2% y 3,8% se puede apreciar que la curva va ascendente pero después de incluir 3.5% de aditivo a la mezcla este deja de hacer efecto y no sigue aumentando la resistencia final, si no que ya tiene a mantenerla constante.

En los puntos iniciales, donde no se aplica aditivo se puede apreciar que hay una diferencia en la resistencia por 2.3 MPa, entre la curva del 0% y 18% de relación porcentual, pero cuando se mira el punto donde se aplica 2.0% de aditivo la diferencia en la resistencia se reduce a 0.6 MPa, lo cual indica que la reacción química que comienza a realizar el aditivo con el cemento y agua es el esperado.

7.2. Impacto ambiental

El cemento, uno de los principales componentes del concreto, es a su vez uno de los componentes más contaminantes del material. Esta roca artificial denominada concreto, posee un trasfondo ambiental que poco se conoce, cada uno de sus componentes, requiere el manejo y tratamiento de recursos limitados que explotan el ecosistema y afectan el bienestar de las diferentes formas de vida involucradas en la extracción y procesamiento de los materiales para fabricar concreto.

El material aglutinante y responsable de parte de la resistencia final del hormigón, el cemento, tiene un alto grado de contaminación en virtud de una serie de factores que se tratarán enseguida.

La producción de cemento requiere la identificación de fuentes potenciales de macizos rocosos que contengan características especiales para la explotación y extracción de material, desde este punto de vista, producir cemento requiere la explotación de recursos fundamentales para la materia prima del cemento, lo cual, se traduce en la destrucción de ecosistemas que mantienen el equilibrio de algunas formas de vida.

El proceso de producción de cemento, requiere un tratamiento industrial especial que demanda una gran cantidad de energía necesaria para alimentar los equipos de clinkerización y molienda; por otra parte, durante este proceso, la planta de producción genera emisiones de dióxido de carbono en cantidades considerables. “Se cree que la industria del cemento, genera entre el 5% y 8% de toda la producción

mundial de CO₂, además la extracción de su materia prima cicatriza irreversiblemente el terreno natural”⁵².

El impacto más significativo relacionado con la industria cementera, “es la liberación de partículas sólidas de cemento a la atmosfera”⁵³, durante la calcinación de la materia prima, y durante la molienda del Clinker, un gran porcentaje de material fino logra liberarse a la atmosfera generando graves consecuencias; varias investigaciones, han logrado converger en la siguiente declaración.

A pesar de que estas partículas en forma de polvo no contienen tóxicos, si son causa de molestias para las poblaciones circundantes y pueden perjudicar la salud humana y la agricultura, al cubrir las hojas de las plantas de una finísima capa de polvo. Además, la exposición a este material fino producto mayoritariamente por la producción de Clinker, puede llegar a causar, en el peor de los casos, silicosis⁵⁴.

A pesar de que se ha intentado suscitar en la industria cementera la aplicación de filtros captadores de polvo, “solo un poco más del 50% de las plantas de cemento en el país cuentan con filtros para el control de la contaminación en todos sus hornos”⁵⁵.

⁵² BBC Mundo. Cemento: el material con el que se construyó la civilización moderna que ahora la está destruyendo. {En línea}. Fecha. {14 de marzo de 2018}. Disponible en: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-42774933>

⁵³ MONTEJO, op. cit, p.38.

⁵⁴ Ibíd. p.39.

⁵⁵ Ibíd. p.40.

Uno de los objetivos del presente documento, es el de presentar una alternativa de diseño que incluyera el ahorro en la cantidad de cemento suministrado para la fabricación de concreto, por tal motivo, y haciendo uso de los resultados obtenidos en la presente investigación, se presenta a continuación el contraste entre la producción diaria de cemento por una planta regular, y el ahorro en los aspectos más relevantes de la producción del mismo, dicho análisis se presenta dentro del marco de los resultados obtenidos con la aplicación del aditivo y la reducción del cemento en su porcentaje optimo (18%).

Tabla 30. Evaluación del impacto, Gasto Vs. Ahorro.

GASTO	AHORRO
1,23 t de materia prima /t de cemento	0,22 t de M.P
114 kWh/t Cemento	20,52 kWh
600 kg de CO₂/t Cemento	108 kg de CO ₂
500 lt de Agua/ton. Vía húmeda	90 lt

Fuente: Navas, Reyes R y Galván R, *Impactos ambientales asociados a la producción de cemento.*

Una planta pequeña de cemento, fabrica 150 toneladas de cemento al día aproximadamente, esto quiere decir, que se ahorrarían 3078 kWh de energía al día si se reduce la cantidad de cemento en la producción de concreto, algo así como ahorrar la cantidad de energía suficiente para abastecer el consumo energético de una vivienda constituida por tres personas durante 30 meses aproximadamente, igualmente, si se proyecta la cantidad de agua ahorrada para producir las mismas 150 toneladas, se lograrían ahorrar 13,5 m³ de agua al día si se aplica el aditivo en el diseño de la mezcla de concreto.

7.3. Evaluación costo – beneficio.

Para realizar el análisis del costo beneficio, vamos a tomar un valor aproximado para el cemento, agregado fino, agregado grueso y agua. El valor del aditivo si será el suministrado por la empresa Gon-quimicos.

A continuación, se presentarán los valores usados para cada material:

Tabla 31. Presupuesto por unidad de material para concreto.

Material	Cantidad	Costo
Cemento	50 Kg	\$ 20.000
Agregado fino	40 kg	\$ 7.000
Agregado grueso	40 kg	\$ 7.000
Agua	1 L	\$ 13
Aditivo	1 L	\$ 7.560

Fuente: Autores.

Con los valores anteriores se procederá a comprar el valor que tiene un metro cubico de mezcla de concreto con dosificación normal, a una resistencia última comercial (21MPa). Respecto a un metro cubico de mezcla de concreto con la misma resistencia última, bajo la acción de un porcentaje del aditivo experimental y la variación porcentual en la dosificación, según los resultados obtenidos.

Costo de 1m³ de concreto bajo la siguiente dosificación, 1: 2,26: 1.73: 0,60.

Tabla 32. Costo por m³ para la dosificación expuesta, sin aditivo.

Materia	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Valor Total
Cemento	386,6	Kg	\$ 400	\$ 154.640
Agregado fino	1010,55	kg	\$ 175	\$ 176.846
Agregado grueso	667,42	kg	\$ 175	\$ 116.799
Agua	231	L	\$ 13	\$ 3.003
TOTAL				\$ 451.288

Fuente: Autores.

Costo de 1m³ de concreto bajo la siguiente dosificación, 1: 2,26: 1.73: 0,60, bajo los siguientes parámetros:

- Aplicación de la relación porcentual 18% (reducción del cemento y aumento de arena en un 18% respecto a la cantidad de cemento dada por la dosificación)
- Inclusión del aditivo experimental al 3,2%, partiendo de la cantidad de cemento dada por la dosificación.

Tabla 33. Costo por m³ para la dosificación expuesta, con aditivo.

Materia	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Valor Total
Cemento	317,012	kg	\$ 400	\$ 126.805
Agregado fino	1080,138	kg	\$ 175	\$ 189.024
Agregado grueso	667,42	kg	\$ 175	\$ 116.799
Agua	231	L	\$ 13	\$ 3.003
Aditivo	4,0	L	\$ 7.560	\$ 29.958
TOTAL				\$ 465.588

Fuente: Autores.

7.4. Viabilidad del aditivo

La aplicación del aditivo dentro de la mezcla de concreto, aparenta ser una alternativa de diseño inicial que satisface muchas de las necesidades ambientales y de desarrollo sostenible que necesita con urgencia el sector de la construcción, desde un punto de vista ambiental, el aditivo logra ahorrar una gran cantidad de recursos si se plantea la hipótesis de la reducción óptima del 18% para una producción constante de cemento bajo dicho planteamiento, sin embargo, la relación costo/beneficio no resulta ser muy satisfactoria desde el punto de vista financiero, ya que por cada metro cúbico de concreto se requiere una gran cantidad de aditivo con respecto a la cantidad de cemento suministrada a la mezcla, aunque el costo del aditivo es relativamente bajo respecto a otros aditivos presentes en el mercado, la cantidad necesaria para llegar a optimizar una mezcla de concreto es casi tres veces más de la que solicitan otro tipo de aditivos para lograr surgir efecto.

Cabe resaltar que la aplicación de un aditivo, casi en la totalidad de las ocasiones, no representa un ahorro económico por parte del constructor, más bien, la aplicación de los mismos, se realiza con fines marcadamente específicos que tienen por objetivo mejorar las características de la mezcla por medio de una adecuada optimización del material.

La versatilidad de la aplicación y facilidad de manejo de la sustancia, hacen que la viabilidad del aditivo pueda ser considerada en el diseño de mezclas de concreto desde un enfoque a largo plazo, esto quiere decir que si se plantea el supuesto de la aplicación del aditivo en la mayoría de las estructuras de concreto en el país, se podría llegar a ahorrar una gran cantidad recursos y energía, que podría ser necesaria en otro tipo de procesos industriales.

Desde el punto de vista patológico, la reducción en la cantidad de cemento representa menor calor de hidratación, esta alta temperatura originada por la reacción del cemento y el agua, tiende a evaporar agua al interior de la mezcla produciendo vacíos que generan impermeabilidad del material, además, altas temperaturas al interior de los elementos estructurales tienden a originar fisuras por agrietamiento térmico, producto del gradiente de temperaturas presentado entre la superficie exterior del concreto y la masa interior del mismo, por tal motivo, resulta totalmente beneficioso reducir en algún porcentaje la cantidad de cemento suministrado a mezclas de hormigón que, con base en los resultados obtenidos de la investigación, poseerán una calidad similar a la de mezclas dosificadas sin reducción y sin aditivo.

El aditivo experimental, posee una gran cantidad de variables que se escapan del alcance de la presente investigación, sin embargo, cabe resaltar que se requiere una mayor profundización en cuanto al ámbito químico del aditivo experimental, es aún incierto que otras bondades pueda otorgar la aplicación del aditivo a la mezcla en función del tiempo, puede que la reacción encadenada al interior de la mezcla ayude considerablemente a combatir algunas patologías asociadas al hormigón, por otra parte, quizá la resistencia a la flexión (Modulo de rotura), mejore con la aplicación del aditivo a la mezcla, siendo apropiado para concretos de losas de pavimento rígido. Todos estos supuestos, tendrán que ser investigados con mayor profundidad con el fin de establecer el panorama de beneficios que pueda brindar el aditivo, que aunque no otorgue un ahorro económico considerable, si logre satisfacer muchas de las necesidades de la ingeniería civil en la actualidad.

8. CONCLUSIONES

- Dando respuesta al desarrollo del objetivo general del proyecto, se puede constatar que la aplicación del aditivo en el diseño de mezclas de concreto, genera un mejoramiento mecánico de la resistencia a la compresión con base en los ensayos y resultados de la investigación, no obstante, puede que la introducción del mismo produzca un mejoramiento en otras propiedades mecánicas del material, las cuales no abarcan el alcance de la presente investigación.
- Recopilando la información y las investigaciones realizadas previamente por el semillero de estructuras de la Universidad Santo Tomás, se puede concluir que el uso del Método Walker ofrece una base de diseño suficientemente confiable y efectivo, que logra adaptarse a las diferentes características y propiedades de los agregados pétreos, otorgando como resultado la resistencia de diseño esperada.
- Revisando la normativa y las especificaciones establecidas para los agregados por las distintas entidades de control nacional, se puede observar que, aunque los agregados implementados en el proyecto, no logran cumplir la totalidad de las especificaciones, la mezcla consigue alcanzar la resistencia definida en el diseño, por otra parte, cabe resaltar que no es fácil lograr encontrar agregados que consigan satisfacer la totalidad de las reglamentaciones.
- Según los resultados obtenidos para el primer lote de cilindros fallados en el laboratorio Misael Guerra, se puede afirmar que el comportamiento presentado por los especímenes diseñados para una relación porcentual al 18% , presentan un pico de resistencia favorable, que supone la máxima eficiencia del aditivo (constante) en función de la reducción de cemento, además, se puede confirmar que por encima de este porcentaje ($x > 18\%$), la descompensación de cemento presentada por la mezcla, excede los límites

de participación del aditivo, perjudicando finalmente la resistencia a la compresión.

- Después de analizar los ensayos a compresión de los cilindros de concreto en el laboratorio de la Universidad; y partiendo de que la relación porcentual optima es de 18%, se puede concluir que la cantidad de aditivo necesaria para llegar a una resistencia de 21MPa, es al 1.25% de la cantidad de cemento inicial a una relación porcentual de 18%. También se puede interpretar que la cantidad máxima de aditivo que se puede incluir a la mezcla de concreto es de 3.2% respecto a la cantidad inicial de cemento, puesto que en la medida que se aplique más, este no generara más modificaciones a la propiedad mecánica en estudio, la resistencia.
- Al realizar un análisis comparativo entre el costo para un metro cubico (1 m³) de concreto con la inclusión de la cantidad optima de aditivo (1.25%) y bajo la relación porcentual (18%) obtenida, y otro metro cubico de material estándar de la misma resistencia, se puede observar un incremento del 3,17% aproximadamente del primero con respecto al segundo, es decir, la relación costo/beneficio no se encuentra por debajo de la unidad que representa la viabilidad financiera de la fabricación del material, sin embargo, la mayoría de los aditivos no se conciben para un beneficio económico sino más bien como mejoradores de características y/o propiedades del material.
- Los resultados obtenidos del estudio realizado, demuestran que siempre será mejor no reducir la cantidad de cemento en la mezcla y a su vez, aplicar una cantidad considerable de aditivo a la misma, sin embargo, cabe resaltar el significado ambiental que acarrea reducir en algún porcentaje la cantidad de cemento suministrado a las mezclas de concreto, puesto que, disminuir la producción de material cementante, implica un notable ahorro energético y de recursos naturales, que pueden evolucionar la tecnología del concreto, desde una perspectiva de desarrollo sostenible.

- Aunque no se logró cuantificar el módulo de elasticidad, se observó una gran deformación del material antes de alcanzar su falla, esta característica podría representar un comportamiento dúctil, es decir, si se plantea la hipótesis de la respuesta del material frente a la acción de un sismo, se podría considerar una mayor disipación de energía del concreto en energía de deformación, lo que se traduce en un beneficio mecánico de las estructuras de concreto desarrolladas con la dosificación recomendada. En vista de que se trata simplemente de un análisis visual realizado por los autores, es necesario profundizar en el estudio del material con el fin de corroborar la mencionada conjetura.
- Al igual que se contempla en el mapa gradiente de resistencias, la regresión lineal presentada por los autores, demuestra que, según las pendientes de cada una de las rectas, se produce un cambio lineal de 71.84 KPa y 128,16 KPa por cada 0.1% de aditivo aplicado a las mezclas con relación porcentual cero (0%) y dieciocho (18%) respectivamente.
- Haciendo uso del mapa de resistencias, y disponiendo de un diseño de concreto a 3000 PSI, se puede deducir lo siguiente; si partimos de los datos iniciales 0% y 3.8%, en relación porcentual y porcentaje de aditivo respectivamente, se puede encontrar que el punto de corte aumenta la resistencia a 3500psi (24.1MPa), resistencia comercial en el sector de la construcción.

BIBLIOGRAFÍA.

1. CHAN, Yam; SOLIS, Carcaño. Influencia de los Agregados Pétreos en las Características del Concreto. California, 2003. 41-42 p.
2. <http://www.arqhys.com/historia-concreto.html>, visita el 25 de febrero 2018.
3. SILVA, Omar. Generalidades y Tipos de Aditivos para el Concreto Según la NTC 1299. Bogotá, 2017. 2 p.
4. SIGFRIED, Giedion. Espacio, Tiempo y Arquitectura: el crecimiento de una nueva tradición. Massachusetts: Harvard University Press, 1954.
5. MONTEJO, Alfonso; MONTEJO, Alejandro y MONTEJO, Francy. Tecnología y Patología del Concreto Armado. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2013. 540 p.
6. RIVVA, Enrique. Concreto: Diseño de Mezclas. 2 ed. Miraflores: Fondo Editorial ICG, 1992. 285 p.
7. Información extraída de:
<http://www.toxement.com.co/productos/portafolio/aditivos>
<https://col.sika.com/>. Recopilado, 25 de enero de 2018.
8. YAPHARY, Y. L., LAM, R. H. W., & LAU, D. (2017). Chemical technologies for modern concrete production. *Procedia Engineering*, 172, 1270-1277. doi://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.150.
9. ASOCRETO. Técnicas de laboratorio Modulo 3. Bogotá, 2014. 1 p.
10. PORRERO, Joaquín; RAMOS, Carlos; GRASES, José; VELAZCO, Gilberto. Manual del Concreto Estructural. Caracas, 2014. 31 p.
11. AQUISE, Beatriz; NERVI, Manuel. Tecnología del concreto. Juliaca, 2014. 11 p
12. CARRASCO, Fernanda. Generalidades Sobre el Hormigón. Buenos Aires, 2012. 1 p.
13. AQUISE, Beatriz; NERVI, Manuel. Tecnología del concreto. Juliaca, 2014. 3 p

14. ACI. Comité 309. USA, 1986. 02 p
15. Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Especificaciones Técnicas para la Construcción de Viviendas. Bogotá. 2006.
16. ACI. Comité 309. USA, 1986. 08 p
17. ACI. Comité 309. USA, 1986. 11 p
18. SILVA, Omar. Propiedades y Aplicaciones del Concreto Celular. Bogotá, 2016.
19. PORRERO, Joaquín; RAMOS, Carlos; GRASES, José; VELAZCO, Gilberto. Manual del Concreto Estructural. Caracas, 2014. 28 p.
20. PORRERO, Joaquín; RAMOS, Carlos; GRASES, José; VELAZCO, Gilberto. Manual del Concreto Estructural. Caracas, 2014. 29p.
21. AQUISE, Beatriz; NERVI, Manuel. Tecnología del concreto. Juliaca, 2014. 38 p
22. AQUISE, Beatriz; NERVI, Manuel. Tecnología del concreto. Juliaca, 2014. 39 p
23. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. Componentes y Propiedades del Cemento. Madrid, 2010.
24. MELO, Ernesto. Los Aditivos. República Dominicana, 2013. 11 p.
25. ICONTEC. Normas técnicas colombianas, NTC 1299. Bogotá: Legis editores S.A., 2008
26. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Design and control of concrete mixtures. 15 edición., USA. 2002. 78-79 pg.
27. MONTEJO, op. cit, p.28.
28. RIVVA, op. cit, p.147.
29. DIMEZCO 2000, Manual de diseño de mezclas. Vol. 1.
30. MONTEJO, op. cit, p.165.
31. ASOCRETO.
32. VIDELA, C. Dosificación de hormigones. {En línea}. Fecha. {25 de febrero de 2018}. Disponible en:

(<https://ingjeltoncalero.files.wordpress.com/2014/02/dosificaciones-de-hormigon.pdf>).

33. DISEÑO RACIONAL DE MEZCLAS DE HORMIGÓN – MÉTODO ICPA. {En línea}. Fecha. {27 de febrero de 2018}. Disponible en: (<http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/dosifica.pdf>).
34. ICONTEC. *Normas técnicas colombianas para el sector de la construcción (NTC 221)*. Bogotá: Legis editores S.A., 1989.
35. MONTEJO, op. cit, p.50.
36. ICONTEC. *Normas técnicas colombianas para el sector de la construcción (NTC 33)*. Bogotá: Legis editores S.A., 1989.
37. MONTEJO, op. cit, p.40.
38. MONTEJO, op. cit, p.252.
39. FARIAS, Eccelino; Curso: Concreto Presforzado, Universidad Santo Tomás de Colombia. Bogotá.
40. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10, Segunda actualización, Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, 2010.
41. BBC Mundo. Cemento: el material con el que se construyó la civilización moderna que ahora la está destruyendo. {En línea}. Fecha. {14 de marzo de 2018}. Disponible en: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-42774933>
42. MONTEJO, op. cit, p.38.
43. *Ibíd.*, p. C59.
44. *Ibíd.*, p. C67.
45. *Ibíd.*, p. C68
46. *Ibíd.*, p. C67.
47. *Ibíd.*, p. C67

48. *Ibíd.*, p. C74.
49. *Ibíd.*, p. C77.
50. DIMEZCO 2000, Copyright (c) 2000-2016 Dimezco 2000 Software.
51. *Ibíd.*, Información del software.
52. ICONTEC. *Normas técnicas colombianas para el sector de la construcción (NTC 174)*. Bogotá: Legis editores S.A., 1989.
53. *Ibíd.*, NTC. 3459.
54. *Ibíd.*, NTC. 3459.
55. BBC Mundo. Cemento: el material con el que se construyó la civilización moderna que ahora la está destruyendo. {En línea}. Fecha. {14 de marzo de 2018}. Disponible en: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-42774933>
56. MONTEJO, op. cit, p.38.
57. *Ibíd.* p.39.
58. *Ibíd.* p.40.