

Modificación de las propiedades de un concreto convencional mediante la dosificación de un aditivo superplastificante para determinar la influencia en la resistencia a compresión, absorción y manejabilidad

Daniel Enrique Torres Castellanos, Sneyder Ricaurte González Silva, Andrés Felipe Ramírez Jaramillo

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director

German Hernando Acevedo Calderón

Máster Ingeniería Estructural en la Arquitectura

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Ingeniería Civil

2023

Contenido

Introducción	13
1. Modificación de las propiedades de un concreto convencional mediante la dosificación de un aditivo superplastificante para determinar la influencia en la resistencia a compresión, absorción y manejabilidad. Formulación del problema.	14
1.1 Formulación del problema	14
1.2 Justificación.....	15
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
2.1 Marco teórico	17
2.1.1 Características del Concreto	17
2.1.1.1 Propiedades del concreto en estado fresco.....	17
2.1.1.1.1 Trabajabilidad del concreto.....	17
2.1.1.1.2 Asentamiento del concreto.....	17
2.1.1.2 Propiedades del concreto en estado endurecido.....	18
2.1.1.2.1 Relación agua-cemento.....	18
2.1.1.2.2 Resistencia a la compresión.....	18
2.1.1.2.3 Porosidad del concreto.....	18
2.1.1.2.4 Absorción del concreto.....	19
2.1.1.3 Tipos de falla en el concreto.....	19
2.1.1.3.1 Fisuración en el estado fresco.....	19
2.1.1.3.2 Fisuración en estado endurecido.....	20

2.1.1.4 Componentes del concreto.....	21
2.1.1.4.1 Cemento Portland.....	22
2.1.1.4.2 Agregados.....	22
2.1.1.4.3 Agua.....	22
2.1.1.4.4 Aditivos.....	23
2.1.1.5 Aditivo empleado (Sika ViscoCrete®-2020).....	24
2.1.1.5.1 Sika ViscoCrete®-2020.....	24
2.1.2 Método ACI para el diseño de mezcla de concreto.....	25
2.1.2.1 Selección del asentamiento.....	26
2.1.2.2 Determinación del contenido de aire del agregado grueso.....	26
2.1.2.3 Determinación del volumen unitario de agua.....	27
2.1.2.4 Determinación de la resistencia de diseño.....	28
2.1.2.5 Determinación de relación agua-cemento inicial.....	28
2.1.2.6 Determinación del contenido de cemento.....	29
2.1.2.7 Determinación de contenido de agregado grueso.....	29
2.1.3 Potencial aplicación del concreto aditivado con Sika ViscoCrete®-2020.....	30
2.1.3.1 Túnel de Crespo.....	30
2.2 Marco legal.....	31
3. Metodología.....	32
3.1 Pruebas Preliminares.....	32
3.1.1 Verificación Granulométrica de los agregados.....	32

3.2 Diseño de mezcla usando el método ACI	35
3.2.1 Datos de los materiales	35
3.2.1.1 Cemento.....	36
3.2.1.2 Agregado Fino.....	36
3.2.1.3 Agregado Grueso.....	36
3.2.2 Selección de asentamiento.....	36
3.2.3 Determinación de la resistencia de diseño.....	37
3.2.4 Determinación de contenido de aire del agregado grueso	37
3.2.5 Determinación del volumen unitario de agua.....	37
3.2.6 Determinación relación agua-cemento	38
3.2.7 Contenido de cemento	38
3.2.8 Contenido de agregado grueso	38
3.2.9 Calculo de volúmenes absolutos.....	38
3.2.10 Corrección por humedad del agregado.....	39
3.2.11 Cálculo del aporte de humedad de cada agregado.....	40
3.2.12 Valores de diseño corregidos y proporción de la mezcla	40
3.2.13 Cantidad de material por probeta.....	41
3.2.14 Cantidad de material para probetas cilíndricas.....	41
3.2.15 Cantidad de material para recipientes cúbicos	41
3.2.16 Cantidad de aditivo.....	42
3.2.17 Cantidad de aditivo para probetas cilíndricas.....	42
3.2.18 Cantidad de aditivo para recipientes cúbicos	42
3.2.19 Reducción de agua por aditivo	43

3.3 Ensayos de laboratorio	43
3.3.1 Ensayos de concreto en estado fresco.....	43
3.3.1.1 Asentamiento del concreto.....	43
3.3.1.1.1 Equipos y herramientas.....	43
3.3.1.1.2 Procedimiento del ensayo.	44
3.3.2 Ensayos de concreto en estado fresco.....	45
3.3.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión.....	45
3.3.2.1.1 Equipos y herramientas.....	45
3.3.2.1.2 Procedimiento del ensayo.	45
3.3.2.2 Ensayo de absorción y porosidad del concreto.	46
3.3.2.2.1 Equipos y herramientas.....	46
3.3.2.2.2 Procedimiento del ensayo.	47
4. Resultados.....	47
4.1 Ensayo de asentamiento del concreto.....	48
4.2 Ensayo de resistencia a la compresión	49
4.3 Ensayo de absorción y porosidad del concreto	53
5. Análisis de Resultados	54
5.1 Resistencia a la compresión	54
5.2 Absorción y Porosidad del concreto.....	59
5.3 Asentamiento.....	65
5.4 Comparación de resultados Túnel de Crespo.....	65
5.5 Resumen análisis de resultados	66

6. Conclusiones 67

Referencias..... 69

Apéndices..... 75

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Calidad de porcentaje de porosidad.</i>	19
Tabla 2. <i>Valores de asentamiento recomendados según el tipo de uso</i>	26
Tabla 3. <i>Valores recomendados para el contenido de aire según el grado de exposición</i>	27
Tabla 4. <i>Requisitos recomendados de agua y contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y TMN de agregado grueso</i>	27
Tabla 5. <i>Valores de resistencia promedio requerida en función de $F'c$</i>	28
Tabla 6. <i>Relación entre la relación agua-cemento y resistencia a la compresión del concreto</i> .	28
Tabla 7. <i>Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.</i>	29
Tabla 8. <i>Normativa para determinar propiedades de los agregados.</i>	31
Tabla 9. <i>Granulometría del agregado grueso.</i>	33
Tabla 10. <i>Granulometría de agregado fino.</i>	34
Tabla 11. <i>Propiedades físicas de los agregados.</i>	35
Tabla 12. <i>Asentamiento del concreto utilizando diferentes porcentajes de aditivo.</i>	48
Tabla 13. <i>Resultados de resistencia para un concreto sin aditivo.</i>	50
Tabla 14. <i>Resultados de resistencia para un concreto con adición del 0.3%</i>	51
Tabla 15. <i>Resultados de resistencia para un concreto con adición del 0.7%.</i>	52
Tabla 16. <i>Porcentaje de absorción del concreto.</i>	53
Tabla 17. <i>Densidad seca del concreto.</i>	53
Tabla 18. <i>Porcentaje de vacío de poros del concreto</i>	54
Tabla 19. <i>Rendimientos según cada uno de los porcentajes.</i>	54
Tabla 20. <i>Datos iniciales muestrales análisis ANOVA – Resistencia a la compresión.</i>	57
Tabla 21. <i>Datos de evaluación muestral análisis ANOVA– Resistencia a la compresión</i>	58

Tabla 22. <i>Datos de evaluación método de Turkey– Resistencia a la compresión</i>	58
Tabla 23. <i>Evaluación diferencias significativas según datos muestrales– Resistencia a la compresión</i>	58
Tabla 24. <i>Datos iniciales muestrales análisis ANOVA– Absorción de poros</i>	60
Tabla 25. <i>Datos de evaluación muestral análisis ANOVA– Absorción de poros</i>	61
Tabla 26. <i>Datos de evaluación método de Turkey– Absorción de poros</i>	61
Tabla 27. <i>Evaluación diferencias significativas según datos muestrales– Absorción de poros.</i>	61
Tabla 28. <i>Datos iniciales muestrales análisis ANOVA– Densidad seca del concreto</i>	62
Tabla 29. <i>Datos de evaluación muestral análisis ANOVA– Densidad seca del concreto</i>	62
Tabla 30. <i>Datos de evaluación método de Turkey– Densidad seca del concreto</i>	62
Tabla 31. <i>Evaluación diferencias significativas según datos muestrales– Densidad seca del concreto</i>	63
Tabla 32. <i>Datos iniciales muestrales análisis ANOVA– Porcentaje de poros.</i>	63
Tabla 33. <i>Datos de evaluación muestral análisis ANOVA– Porcentaje de poros.</i>	64
Tabla 34. <i>Datos de evaluación método de Turkey– Porcentaje de poros</i>	64
Tabla 35. <i>Evaluación diferencias significativas según datos muestrales– Porcentaje de poros.</i>	64
Tabla 36. <i>Resultados de comparación entre túnel de crespo y ensayos propios.</i>	65
Tabla 37. <i>Resumen de análisis de resultados según los ensayos.</i>	66

Lista de figuras

Figura 1. <i>Esquema de los modelos de fractura típicos</i>	21
Figura 2. <i>Túnel del Crespo</i>	31
Figura 3. <i>Curva granulométrica del agregado grueso</i>	33
Figura 4. <i>Curva granulométrica de agregado fino</i>	34
Figura 5. <i>Compactación de muestra de concreto en cono de Abrams.</i>	44
Figura 6. <i>Equipo de ensayo de resistencia a la compresión</i>	46
Figura 7. <i>Asentamiento del concreto.</i>	48
Figura 8. <i>Grafica de rendimiento por ensayo a compresión.</i>	55
Figura 9. <i>Grafica de promedios obtenidos por ensayo de compresión</i>	55
Figura 10. <i>Tipos de fallas en las probetas de concreto Tipo 3.</i>	56
Figura 11. <i>Tipos de fallas en las probetas de concreto Tipo 2.</i>	56
Figura 12. <i>Tipos de fallas en las probetas de concreto Tipo 5.</i>	57
Figura 13. <i>Grafica de porcentaje de absorción.</i>	59
Figura 14. <i>Grafica de Vacío de poros.</i>	59

Lista de apéndices (opcional)

Apéndice A. *Resultados de ensayos de laboratorio* 75

Apéndice B. *Panel fotográfico*..... 82

Resumen

La tesis tiene como objetivo **determinar la influencia del aditivo Sika ViscoCrete®-2020 en las propiedades mecánicas de un concreto tradicional de 21 MPa**, con el fin de proponer alternativas para mejorar la durabilidad de las estructuras. Se plantearon objetivos específicos para **realizar un análisis comparativo de la resistencia a la compresión, la absorción de agua y la manejabilidad del concreto con y sin el aditivo**. La investigación surge como una respuesta a los problemas frecuentes en los miembros de construcción fabricados en concreto reforzado en entornos adversos para **reducir el deterioro prematuro del concreto en entornos adversos como la exposición a cloruros y la reacción álcali-sílice** y de esta forma propones este aditivo para mejorar la durabilidad de las estructuras.

Palabras clave: concreto tradicional, aditivo Sika ViscoCrete®-2020, propiedades mecánicas, resistencia a compresión, durabilidad de estructuras, *impermeabilidad*.

Abstract

This thesis aims to *determine the influence of the Sika ViscoCrete®-2020 additive on the mechanical properties of a traditional concrete with a strength of 21 MPa*, to propose alternatives to improve the durability of structures. Specific objectives *were proposed to carry out a comparative analysis of the compression strength, water absorption and workability of the concrete with and without the additive*. The research arises as a response to the frequent problems in construction members made of reinforced concrete in adverse environments, to *reduce premature deterioration due to exposure to chlorides and alkali-silica reaction*. Therefore, this additive is proposed to improve the durability of structures.

Keywords: Traditional concrete, Sika ViscoCrete®-2020 additive, mechanical properties, compression strength, durability of structures, impermeability.

Introducción

Un problema muy frecuente en los miembros de construcción fabricados en concreto reforzado en entornos adversos es el ataque de cloruros lo cual produce un corto periodo de servicio, consiguiendo traspasar el concreto permitiendo la corrosión del acero de refuerzo, como consecuencia, alterando y debilitando el miembro, afectando tanto en la durabilidad como en el óptimo funcionamiento de la construcción.

Estos problemas son identificados a gran escala en lugares donde se presentan construcciones bajo volúmenes de tierra o en lugares costeros, ya que allí suelen estar estas estructuras de concreto sometidas en todo momento al que se enlace con el agua y sales, en la situación de las zonas costeras, son afectadas por los sulfatos presentes en las aguas marinas los cuales son clasificados como elementos perjudiciales para el concreto, teniendo como consecuencias de ámbito exógeno (Desde el exterior al interior) la desintegración, expansión, erosión y corrosión. Así mismo se dan consecuencias de ámbito endógeno (Desde el interior al exterior) como lo son los ataques químicos de la reacción álcali-sílice, la cual permite una expansión y desintegración interna del concreto; y de ámbito exógeno (Desde el exterior al interior) como ataques biológicos directos con aguas residuales y/o ambientes contenedores de microorganismos.

Por los problemas mencionados con los ataques exógenos es que se ha determinado realizar este trabajo de investigación, mediante adiciones de un superplastificante, reducir el deterioro prematuro del material, con el fin de proponer alternativas para mejorar la durabilidad de las estructuras, permitiendo a las partes involucradas en la investigación, poseer criterios para concretar relaciones de los materiales indispensables en un proyecto de ingeniería.

1. Modificación de las propiedades de un concreto convencional mediante la dosificación de un aditivo superplastificante para determinar la influencia en la resistencia a compresión, absorción y manejabilidad. Formulación del problema.

1.1 Formulación del problema

La aplicación de un aditivo superplastificante en un concreto convencional en el revestimiento de las estructuras, es actualmente poco probable en todas las construcciones por lo que en ellas se han venido presentando fallas de agrietamiento en las paredes de estos mismos a causa de distintos factores tales como, la desestabilización del terreno, sismos, colapsos en la superficie del terreno, sobrecostos por reparaciones, los malos diseños en drenajes y sobre todo por la filtración de aguas provenientes de la humedad que conllevan las masas de tierra. Estos aspectos tienden a presentarse por deficiencias tanto de planeación como de ejecución de obras y factores como los anteriormente mencionados, definen el ciclo de vida de la obra ya que a partir de ellos se realizan estudios tales como el tipo de suelo que presenta el terreno, el diseño de la estructura, tipos de asentamientos, entre otros. Tomando como ejemplo la construcción de túneles, la causa por la cual ocurren fallos en estos, se deben al desprendimiento del revestimiento ya sea o por un mal análisis de cargas o por no tener presente la humedad del suelo en la que se halla elaborado dicha construcción y esto se convierte en los dos tipos de fisuras más frecuentes, las fisuras en sentido longitudinal y las fisuras en los bordes.

Es así como se toma la decisión de realizar una demostración del efecto que genera el aditivo (Sika ViscoCrete®-2020) superplastificante en el revestimiento de concreto para la prevención de filtraciones, manteniendo las propiedades características necesarias de resistencia y manejabilidad de la mezcla base, en concretos destinados a tener un bajo índice de permeabilidad

y tomando como ejemplo una construcción existente la cual se puede ver beneficiada con esta investigación siendo el túnel de Crespo, la cual se considera como una posible aplicación del concreto aditivado teniendo en cuenta una comparación con la actualidad del túnel, situado en la ciudad de Cartagena.

1.2 Justificación

En la práctica de construcción, es esencial tomar precauciones necesarias para garantizar la seguridad y prevenir riesgos innecesarios, especialmente en la fabricación de estructuras de concreto y otros elementos que están expuestos a ambientes agresivos. El contacto directo con sustancias naturales como el agua y otras sustancias del suelo puede provocar un deterioro en la estructura. Es así como las filtraciones en las estructuras de concreto son tal vez el problema más común en los elementos que están expuestos a una presión hidrostática o elementos que están en contacto continuo con humedad, y esto se debe a la permeabilidad del agua y a la absorción capilar.

Por ello, en la actualidad se presentan varios deterioros de forma veloz y de alta gravedad en el concreto, por el ataque de sustancias exógenas a la estructura como lo es la concentración de cloruros la cual contiene más de 20,000 ppm. Esta se evidencia en el agua del océano, la cual ayuda al favorecimiento al deterioro del acero de refuerzo, lo que nos obliga a buscar posibles soluciones, simples y eficaces que disminuyan el temprano deterioramiento de las estructuras. A raíz de esta problemática surge la necesidad de especificar concretos bajo la condición de baja permeabilidad. La Norma Técnica Colombiana (NTC) 4483 (Método de Ensayo para Determinar la Permeabilidad del Concreto al Agua), una de las más aplicadas en Colombia; establece los criterios concretos de clasificación para los considerados de poca permeabilidad según el cálculo del coeficiente de permeabilidad de Darcy (K). Es así como esta investigación se realiza en base las normas de

construcción anteriormente mencionadas para con sus debidas pautas se haga un concreto identificando los factores que aumentan el deterioramiento de la capa superficial de los paneles de concreto, específicamente el de filtración y resistencia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la influencia del aditivo (Sika ViscoCrete®-2020) en las propiedades mecánicas de un concreto tradicional de 21 MPa, empleando tanto la dosificación recomendada por el fabricante como una significativamente mayor, considerando parámetros de control, como resistencia a compresión, manejabilidad y absorción, acorde con los lineamientos establecidos por NTC 673, 396, 176.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis comparativo de la resistencia a la compresión de acuerdo con las normas NTC 550 y 673 de un concreto convencional de 21 MPa y del concreto con adición del 0.3% y 0.7% del superplastificante (Sika ViscoCrete®-2020).
- Realizar un análisis comparativo de la absorción de agua de un concreto convencional de 21 MPa y del concreto con adición del 0.3% y 0.7% del superplastificante (Sika ViscoCrete®-2020) con el fin de conocer su porosidad de acuerdo con las normas NTC 674, 4483 y 121.

- Realizar un análisis comparativo de la manejabilidad de un concreto convencional de 21 MPa y del concreto con adición del 0.3% y 0.7% del superplastificante (Sika ViscoCrete®-2020) considerando la dosificación agua/cemento según la norma NTC 396 y 3459

2.1 Marco teórico

2.1.1 Características del Concreto

Se comprende según lo dicho por Gutiérrez de López [1] como el conjunto de agua, cemento, grava, arena y aditivos, actuando químicamente el cemento y agua con el fin de combinar las partículas de los agregados y conformar el concreto, este material es el más utilizado en la construcción debido a sus propiedades mecánicas y trabajabilidad que permite soportar las cargas y obtenerlas dimensiones deseadas respectivamente.

2.1.1.1 Propiedades del concreto en estado fresco.

2.1.1.1.1 Trabajabilidad del concreto. Según lo dicho por Navarro Rascón [2] esta propiedad es equivalente como la utilización de la cantidad de mezcla de concreto fresco, está establecido específicamente por la consistencia y cohesividad del concreto; los parámetros de trabajabilidad deseados se obtienen mediante el diseño de mezcla, dándose casos de segregación en mezclas húmedas.

2.1.1.1.2 Asentamiento del concreto. Se comprende como [3] la resistencia que ejerce el concreto a deformaciones del material en estado fresco, este atributo se mide mediante el ensayo del cono de Abrahams, exponiendo la consistencia de la mezcla, permitiendo una comprobación de la calidad del concreto.

2.1.1.2 Propiedades del concreto en estado endurecido

2.1.1.2.1 Relación agua-cemento. Se conoce [4] como la medida de agua por unidad de cemento, esta relación nos permite controlar la hidratación del cemento y la creación de poros en la pasta cementante, lo cual influye negativamente en la resistencia, es un parámetro muy importante ya que influye tanto a la resistencia, durabilidad, retracción y fluencia del concreto.

2.1.1.2.2 Resistencia a la compresión. Se podría denominar con respecto [5] al esfuerzo del concreto en resistir el efecto de aplastamiento el cual se puede evidenciar su comportamiento mediante el ensayo a compresión con cilindros de concreto, mediante el método de carga ascendente.

2.1.1.2.3 Porosidad del concreto. La capacidad del concreto para absorber líquidos y gases, conocida como porosidad, es un factor fundamental que afecta su resistencia y durabilidad. Cuando la porosidad es alta, la resistencia mecánica del concreto disminuye, lo que lo hace más vulnerable a los efectos del medio ambiente. Además, tanto la absorción como la porosidad juegan un papel importante en la determinación de características clave del concreto, como su resistencia a la abrasión, su densidad y su estabilidad química. Durante la mezcla del concreto, se adiciona aire a la mezcla la cual interactúa con el agua presente en la mezcla, siendo este un factor fundamental para el proceso de fraguado. La evaporación del agua crea poros en diversas direcciones, lo que se conoce como porosidad. La porosidad se refiere al volumen total de espacio vacío en el concreto y se expresa en porcentaje. Si la porosidad es alta y los poros están conectados, se facilita el transporte de líquidos a través del concreto, lo que aumenta su permeabilidad. Por otro lado, si los

poros son irregulares o no efectivos para el transporte de líquidos, la permeabilidad del concreto será baja. Cabe destacar que la existencia de poros de diferentes tipos afecta la permeabilidad del concreto de manera diferente. Los tipos de poros que se encuentran en la pasta del cemento son [6]:

- Poros Gel
- Poros capilares
- Poros por aire incorporado
- Poros por aire atrapado

Tabla 1. *Calidad de porcentaje de porosidad.*

%Porosidad	Tipo de concreto
<10	Buena calidad y compacidad
10-15	Moderada calidad
>15	Durabilidad inadecuada

Nota: Según el porcentaje de porosidad se da la calidad en que se encuentra este; Fuente: (Salazar Jaramillo, Aponte & Trochez, 2004).

2.1.1.2.4 Absorción del concreto. La absorción del concreto es un indicador de su porosidad. Esta medida se define [6] como la capacidad del concreto para permitir que un fluido penetre en él y llene los poros permeables. El porcentaje de vacíos, por otro lado, es una medida de la cantidad de espacio vacío que se encuentra entre las partículas de concreto, lo que puede afectar su densidad y resistencia.

2.1.1.3 Tipos de falla en el concreto. Los tipos de fallas en el concreto dependen si se efectuaron antes o después del endurecimiento del concreto, entre los cuales tenemos la siguiente tipología:

2.1.1.3.1 Fisuración en el estado fresco.

- *Fisuración por movimiento de la formaleta.*

Esto se produce mayormente debido a un error constructivo ya que es indispensable la aplicación de un desmoldante para la formaleta, al no llevarse a cabo este proceso, el contenido de concreto queda adherido a la formaleta, generando fisuras en el túnel [7].

- *Fisuración por retracción plástica.*

Esta situación se produce cuando la humedad se pierde de manera acelerada debido a motivos tales como la temperatura del aire y del concreto, la humedad relativa, entre otros. Esta combinación conduce a una alta tasa de evaporación superficial, tanto en entornos cálidos como fríos. Dicha falla se caracteriza por aparecer en superficies horizontales poco profundas, adquiriendo una forma poligonal. [8].

- *Fisuración por asentamiento.*

Esto se produce luego de la colocación, vibrado y acabado del concreto el cual se consolida, sin embargo, se ve restringido por la armadura lo que conlleva a la creación de vacíos y fisuras en diferentes zonas del elemento, esto se da a causa de altas temperaturas, relación agua-cemento incrementada, mal diseño de la mezcla [9].

2.1.1.3.2 Fisuración en estado endurecido.

- *Fisuración por temperatura.*

Estas se producen ocasionalmente por contracción térmica presentada en el medio de fraguado, asimismo también puede pasar por cambios estacionales bruscos en el medio en el cual se encuentre el concreto [10].

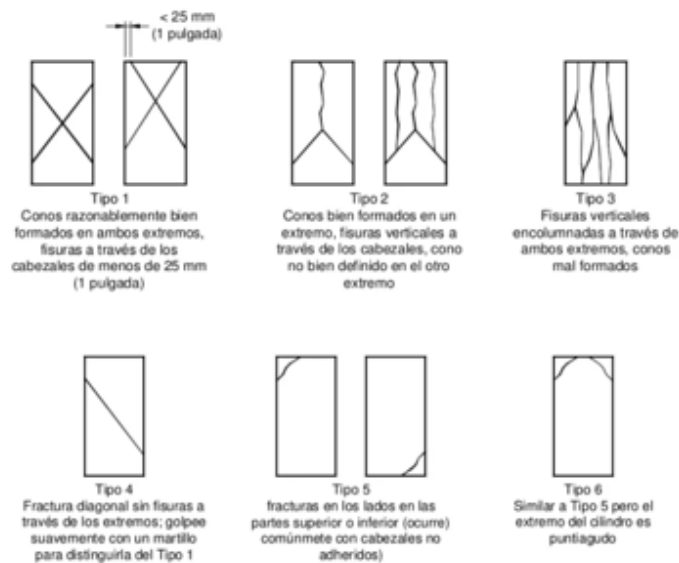
- *Fisuración por corrosión de acero.*

Esto ocurre cuando se da una pérdida de la capa protectora en las armaduras, por la entrada de cloruros y carbonatación del recubrimiento del concreto, factores como la relación agua-cemento, mala colocación del concreto o armadura, curado deficiente, entre otros, inciden en la presencia de este tipo de fisuras [10].

- *Fisuración por reacción álcali-agregado.*

Este proceso se deriva de la acción de los agregados a los álcalis del cemento, efectuando una expansión en el volumen del concreto generando fisuras que implica el deterioro de la estructura y su vida útil [11].

Figura 1. Esquema de los modelos de fractura típicos



Autor. (s.f.). NTC 673: Compresión de concretos. Pg. 8. Recuperado de [42]

2.1.1.4 Componentes del concreto.

2.1.1.4.1 Cemento Portland. Este material se puede describir como un material que poseen unas características de adhesión y cohesión, con la cualidad de formar una pasta compacta, la cual se compone principalmente de silicatos y aluminatos de cal, con la propiedad de fraguar el concreto con el agua, sufriendo una reacción química con el agua [12].

2.1.1.4.2 Agregados. Existen varios componentes que crean una matriz de concreto proyectado, los agregados que son partículas en forma de piedra son regularmente son el 75% del volumen entre la grava y la arena. Esta formación geológica del agregado repercute de sobremanera en la manejabilidad y otras propiedades del concreto simple.

Los agregados tienen varias funciones como son la alta fluencia en durabilidad, su fortaleza en la factibilidad de toda la mezcla, formada por gránulos de forma gruesa y fina, también nos da las bases necesarias para determinar el requerimiento de agua que requiere y la homogeneidad en toda la mezcla del concreto [13].

2.1.1.4.3 Agua. La añadidura del agua introducida en el cualquier tipo de concreto, esta se añade durante su producción y es inherente en el agregado. La plasticidad que presenta la mezcla depende de la regulación del agua y los aditivos que se le puedan adicionar. El agua tiene unas recomendaciones como no contener algún tipo de retardante o acelerante como son las sales, cloruros, azúcares y grasas. Debe ser de manera natural que llega ya sea de un lago, agua de lluvia o de río, estas son las que normalmente se deben utilizar. El agua marina no es una opción debido a su alta cantidad de cloruros, por eso el agua potable es la mejor elección para producir el concreto simple [13].

2.1.1.4.4 Aditivos. De acuerdo con la información proporcionada por ASOCONCRETE [14], los aditivos son sustancias que se agregan en pequeñas cantidades al concreto en el proceso de mezclado, generalmente en proporciones que oscilan entre el 0,1% y el 5% del peso del cemento utilizado. El objetivo de los aditivos es modificar algunos de las cualidades originales del concreto, así como controlar su comportamiento en estado fresco y durante su uso. Cabe destacar que esta definición excluye a elementos como fibras metálicas o puzolanas. Actualmente, los aditivos son considerados como un ingrediente clave en la utilidad del concretos con propiedades diferentes a las convencionales, y son utilizados en conjunto con el cemento, el agua y los agregados. Tanto el Comité 116R del ACI como la Norma ASTM C 125 estos definen los aditivos como materiales distintos al agua, los agregados y el cemento hidráulico que se utilizan como componentes del concreto o mortero. La cantidad de aditivo utilizada suele ser un limitado porcentaje del peso del cemento, aunque en algunos casos puede dosificarse en proporción al agua de acumulado [14].

- *Clasificación de los aditivos según ASTM C-494*
 - TIPO A: Reductor de agua
 - TIPO B: Retardador de fraguado
 - TIPO C: Acelerador de fraguado
 - TIPO D: Reductor de agua y retardador
 - TIPO E: Reductor de agua y acelerador
 - TIPO F: Reductor de agua de alto efecto
 - TIPO G: Reductor de agua de alto efecto y retardador

Inclusores de aire (ASTM C260, NTP 334.089): Son un tipo de aditivo que se incorpora a la mezcla de concreto y aumentan su contenido de aire, lo que a su vez mejora su trabajabilidad y resistencia al congelamiento, y reduce el sangrado y la segregación.[14]

Fluidificantes: (ASTM C1017): Estos aditivos tienen un fortalecimiento en la naturalidad de la mezcla, permitiendo disminuir el agua precisada para obtener una mezcla con una estabilidad definida, el cual incrementa la trabajabilidad y mantiene el mismo revestimiento. Algo importante de este aditivo es que pueden ocasionar incrementos en la resistencia tanto al congelamiento, en los sulfatos mejorando la adherencia.[14]

Retardantes del fraguado (ASTM C-494, NTP 334.088): Los retardantes de fraguado son aditivos que retrasan el tiempo de fraguado inicial en las mezclas. Estos pueden bajar la resistencia inicial de la mezcla y su recomendación es utilizarlos en climas cálidos, volúmenes grandes o tiempos largos de acarreo. [14]

Acelerantes de la resistencia (ASTM D-98): Este tipo de aditivo produce un adelanto en el tiempo de fraguado inicial al acelerar la resistencia en edades tempranas. Es recomendable su uso en condiciones de bajas temperaturas para permitir la remoción de los encofrados de manera más temprana.[14]

2.1.1.5 Aditivo empleado (Sika ViscoCrete®-2020)

2.1.1.5.1 Sika ViscoCrete®-2020. Según lo dicho por la ficha técnica aportada por Sika Colombia [15] Se trata de un aditivo líquido de ultra alto rango y superplastificante que puede ser utilizado en concretos premezclados y en la prefabricación. Al añadir este aditivo, se consigue una excelente plasticidad y se puede dosificar en pequeñas cantidades para reducir el volumen de agua en un 10% a un 15%. Incluso para dosis más altas, se pueden lograr reducciones de agua superiores al 45%. Además, este aditivo proporciona una alta fluidez y asentamiento, lo que permite obtener

concretos con una excelente manejabilidad que se pueden colocar con un mínimo de vibración.

Entre los beneficios adicionales que ofrece se encuentran:

- Altas resistencias en su momento final, admitiendo diseños estructurales flexibles y económicas.
- Limitación en la relación a/c, fabricando concretos más densos que perduran al disminuir la permeabilidad con un porcentaje de vacíos menor.
- El efecto que genera el plastificante disminuye las imperfecciones en el área en los elementos de concreto y mejora su apariencia.

2.1.2 Método ACI para el diseño de mezcla de concreto

Se define como [16] uno de varios métodos de dosificación para diseño de mezclas de concreto, el cual se fundamenta en la medición de materiales como arena, grava, agua y cemento con respecto al peso y volumen de estos, y comprende tanto mezclas en estado fresco como endurecido, guiándose de la normativa ACI 211.1-ASTMC33, teniendo previamente datos del tipo de material usado como el uso de esta mezcla.

Así mismo, según López Gutiérrez [16], el principal objetivo del método ACI es “Cuantificar y determinar la combinación más práctica de los ingredientes para satisfacer requerimientos técnicos específicos identificando proporciones de agregados finos, gruesos y la relación agua-cemento”

Según Riquett [17], describe el método ACI como “Un método el cual es el resultado de extensas investigaciones, en el campo del hormigón, de varias organizaciones norteamericanas, entre ellas: el ACI, PCA, USBR. Es un método empírico cuyos resultados han sido confirmados por una amplia información experimental”

2.1.2.1 Selección del asentamiento. Según el tipo de estructura empleada sus y condiciones de colocación, como la trabajabilidad del concreto y consistencia deseada, se proponen valores de asentamiento donde el método de compactación es el vibrado.

Tabla 2. Valores de asentamiento recomendados según el tipo de uso

ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA (TIPO DE CONCRETO)	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
0-2 CM	MUY SECA	MUY PEQUEÑO	Pilotes o vigas de alta resistencia con vibraciones de formaletas
2-3,5 CM	SECA	PEQUEÑO	Maquina mecánica para pavimentos vibrados con Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto convencional. Pavimentos con vibradores normales
3,5-5 CM	SEMI-SECA	PEQUEÑO	Pavimentos y Losas medianamente reforzadas, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros con vibración Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil.
5-10 CM	MEDIA	MEDIO	Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración
10-15 CM	HUMEDA	ALTO	

Nota: Utilizando otros métodos de vibración se debe sumar 2.5 cm a los valores Fuente: ACI 211.1-91- Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto – IMCYC

2.1.2.2 Determinación del contenido de aire del agregado grueso. Se selecciona el contenido de aire del agregado grueso el cual favorece la trabajabilidad y cohesión de la mezcla, esto basado en la norma ACI 318-08.

Tabla 3. Valores recomendados para el contenido de aire según el grado de exposición

AGREGADO GRUESO	PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA LOS SIGUIENTES GRADOS DE EXPOSICIÓN		
		SUAVE	MEDIANO	SEVERO
3/8 In 9,53 mm	3	4,5	6	7,5
1/2 In 12,70 mm	2,5	4	5,5	7
3/4 In 19,05 mm	2	3,5	5	6
1 In 25,40 mm	1,5	3	4,5	6
1 1/2 In 38,10 mm	1	2,5	4,5	5,5
2 In 50,80 mm	0,5	2	4	5
3 In 76,20 mm	0,3	1,5	3,5	4,5
6 In 152,40 mm	0,2	1	3	4

Nota: Fuente: Fuente: ACI 211.1-91- Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto – IMCYC

2.1.2.3 Determinación del volumen unitario de agua. Se determina la solicitud de agua en la mezcla, esta depende de la trabajabilidad, hidratación y adherencia que se requiera.

Tabla 4. Requisitos recomendados de agua y contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y TMN de agregado grueso

Asentamiento (cm)	Tamaño máximo de agregado grueso							
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	38 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Concreto sin aire incluido								
2,5 → 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7,5 → 10	228	216	205	193	181	169	145	124
12,5 → 15	243	228	216	202	190	178	160	---
Aire atrapado aprox. (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido								
2,5 → 5	181	175	168	160	150	142	122	107
7,5 → 10	202	193	184	175	165	157	133	119
12,5 → 15	216	205	197	174	174	166	154	---

Nota: Las cantidades de agua de mezcla proporcionadas para el concreto con aire incluido se basan en los requisitos típicos de contenido de aire total como se muestra para la "exposición moderada" en la tabla anterior. Estas cantidades de agua de mezclado se usan para calcular el contenido de cemento para lotes de prueba a 68 a 77 F, Fuente: ACI 211.1-91- Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto – IMCYC

2.1.2.4 Determinación de la resistencia de diseño. Para determinar la relación agua cemento inicial, se debe precisar la resistencia de diseño, la cual, si no se cuenta con registro de resistencia de probetas correspondientes a obras anteriores, se debe establecer la resistencia con la siguiente tabla:

Tabla 5. *Valores de resistencia promedio requerida en función de $F'c$*

$F'c$ (Kg/cm ²)	$F'cr$ Kg/cm ²)
Menos de 210	$F'c+70$
210-350	$F'c+84$
>350	$F'c+98$

Nota: Fuente: ACI 211.1-91- Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto – IMCYC

2.1.2.5 Determinación de relación agua-cemento inicial. Se establece este parámetro el cual influye en la resistencia, permeabilidad y durabilidad del concreto, según la ACI 211.1 debido a que la combinación de diferentes cementos, agregados y materiales cementosos generan diferentes resistencias con la misma a/c y falta de datos para concreto que contiene cemento portland tipo 1 se puede precisar el a/c con la siguiente tabla:

Tabla 6. *Relación entre la relación agua-cemento y resistencia a la compresión del concreto*

Resistencia a la compresión en 28 días	Relación agua-cemento a partir del peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
6000 psi	0,41	---
5000 psi	0,48	0,4
4000 psi	0,57	0,48
3000 psi	0,68	0,59
2000 psi	0,82	0,74

Nota: Los valores que se encuentran en la tabla son las resistencias promedio, consideradas para el concreto que contenga no más del 2 por ciento de aire para concreto sin aire incorporado y 6 por ciento de contenido total de aire para hormigón con aire incorporado. Para una constante a/c, la resistencia del hormigón se reduce a medida que aumenta el contenido de aire. Los valores de resistencia a los 28 días pueden ser conservadores y pueden cambiar cuando se utilizan varios

materiales cementosos. La velocidad a la que se desarrolla la potencia de 28 días también puede cambiar, Fuente: ACI 211.1-91- Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto – IMCYC

2.1.2.6 Determinación del contenido de cemento. Se determina el volumen absoluto de cemento el cual según la ACI 211.1 “El cemento requerido es igual al agua de mezcla estimada dividido por la relación agua-cemento, sin embargo, si la especificación incluye un mínimo separada límite de cemento además de los requisitos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en cualquier criterio conduce a la mayor cantidad de cemento” (p.12)

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

Ecuación 1

2.1.2.7 Determinación de contenido de agregado grueso. Se determina el volumen absoluto del agregado grueso, el cual la ACI 211.1 propone unos valores apropiados para el volumen de este agregado, el cual, con un volumen respectivo, agregado primordialmente del mismo tamaño nominal y clasificación generaran concreto de trabajabilidad apropiada.

Tabla 7. *Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.*

Tamaño máximo del agregado grueso	Módulo de finura del agregado fino			
	2,4	2,6	2,8	3
3/8 In	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2 In	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4 In	0,66	0,64	0,62	0,6
1 In	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2 In	0,75	0,73	0,71	0,69
2 In	0,78	0,76	0,74	0,72
3 In	0,82	0,8	0,78	0,76

6	In	0,87	0,85	0,83	0,81
---	----	------	------	------	------

Nota: Los volúmenes se basan en agregados en condiciones de varillas secas en horno como se describe en ASTM C 29, Fuente: ACI 211.1-91- Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto.

2.1.3 Potencial aplicación del concreto aditivado con Sika ViscoCrete®-2020

2.1.3.1 Túnel de Crespo. Es una obra de doble calzada entre Barranquilla-Cartagena por la Vía al Mar. Este túnel está conformado por una cubierta de 600 metros para un total de 1 kilómetro de longitud con sus determinados accesos los cuales permiten la correcta articulación con el tráfico peatonal sin ningún tipo de riesgo ni interrupciones vehiculares. Este sistema constructivo contará con iluminación diurna y nocturna, red contra incendios y sistema de ventilación en todo el túnel para brindarle una mejor seguridad a los transeúntes.

El elemento de mayor impacto de este túnel es el recolector de aguas lluvias que se encuentran vertidas dentro del túnel, cumpliendo toda la normativa ambiental de descarga de aguas, la cual permite la prevención de inundaciones en sus sótanos y en las vías internas del túnel. Su ubicación es estratégica ya que se sitúa en la parte costera por lo que estará sometido al contacto de sales provenientes del mar. Esta estructura cuenta con unas pantallas laterales en concreto de 40 cm de espesor.

Este fue inaugurado en el año 2016 pero desde el año 2010, la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos de Bolívar, viene en continuas reparaciones, primeramente, a los diseños de la obra y posteriormente a la construcción de esta. Este túnel cuenta con una especie de mangueras que se encargan de drenar el exceso del agua a la parte exterior del túnel por medio de un equipo Well Point dejando filtraciones. Otra problemática que fue drástica para el mal funcionamiento y futuro deterioramiento fue la construcción de unos canales de drenaje los cuales simulaban reemplazar la impermeabilidad de las paredes del túnel, provocando inundaciones las cuales causaban daños en

vehículos que circulaban por estas vías. Datos del informe de diseño registran que para esta estructura la resistencia mínima a la compresión a 28 días de edad es de 35 Mpa.

Figura 2. *Túnel del Crespo*



Tomada de Procuraduría pondrá lupa a obras del Túnel de Crespo (Universal,2021). Recuperado de [38].

2.2 Marco legal

Tabla 8. *Normativa para determinar propiedades de los agregados.*

ITEM	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
ANALISIS GRANULOMETRICO	ASTM C136	ASTM C136
	INV E213	INV E213
MODULO DE FINURA	ASTM C136	ASTM C136
	INV E213	INV E213
CONTENIDO DE HUMEDAD	ASTM C566	ASTM C566
	INV E122	INV E122
DENSIDAD ESPECIFICA RELATIVA	ASTM C128	ASTM C127
	INV E223	INV E222
DENSIDAD BULK	ASTM C29	ASTM C29
	INV E217	INV E217
ABSORCIÓN	ASTM C128	ASTM C127
	INV E223	INV E222

3. Metodología

3.1 Pruebas Preliminares

3.1.1 Verificación Granulométrica de los agregados

Los agregados que fueron utilizados para la mezcla de concreto base y las mezclas aditivadas provienen de “Pescadero” en la cual se extrajo el triturado y del Rio de Oro en Girón, Santander se extrajo la arena. Estos mismo se sometieron a diferentes ensayos con el fin de establecer sus propiedades, asumiendo un criterio de calidad para la producción de las mezclas de concreto.

Para la identificación de los agregados se procedió a realizar el análisis granulométrico de los agregados grueso y fino-INV E 214- ASTM C136, con el fin de determinar el repartimiento de tamaños de partículas de cada agregado por medio del método de tamices, así como otros ensayos para determinar sus propiedades físicas como se muestra en la **Tabla 9**. Además, se llevó a cabo la elección del tamaño máximo y tamaño máximo nominal de cada agregado de acuerdo con las siguientes definiciones:

- *Tamaño máximo (TM)*= Es el menor tamiz por el que atraviesa toda la muestra seleccionada.
- *Tamaño máximo nominal (TMN)*= Es el menor tamiz en donde la mayor parte de la muestra de agregado grueso puede traspasar. El tamiz del tamaño máximo nominal puede detener entre el 5% al 15% de la masa.

Tabla 9. Granulometría del agregado grueso.

AGREGADO GRUESO		TM	25,00 mm	TMN	19,00 mm	
# TAMIZ	TAMAÑO PARTICULA	Tamiz No	Wret	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
18	37,50 mm	1 1/2	0,00 gr	0,00%	0,0%	100%
17	25,00 mm	1	0,00 gr	0,00%	0,0%	100%
16	19,00 mm	3/4	979,00 gr	17,69%	17,7%	82%
15	12,50 mm	1/2	4354,00 gr	78,68%	96,4%	4%
14	9,50 mm	3/8	172,00 gr	3,11%	99,5%	1%
13	4,75 mm	4	27,00 gr	0,49%	99,96%	0,04%
	FONDO		2,00 gr	0,04%	100%	0%
WLST200			5534,00 gr	Wmuestra	5536,00 gr	

Nota: En esta tabla se muestra el peso retenido en cada tamiz correspondiente, así como el material pasante de cada tamiz.

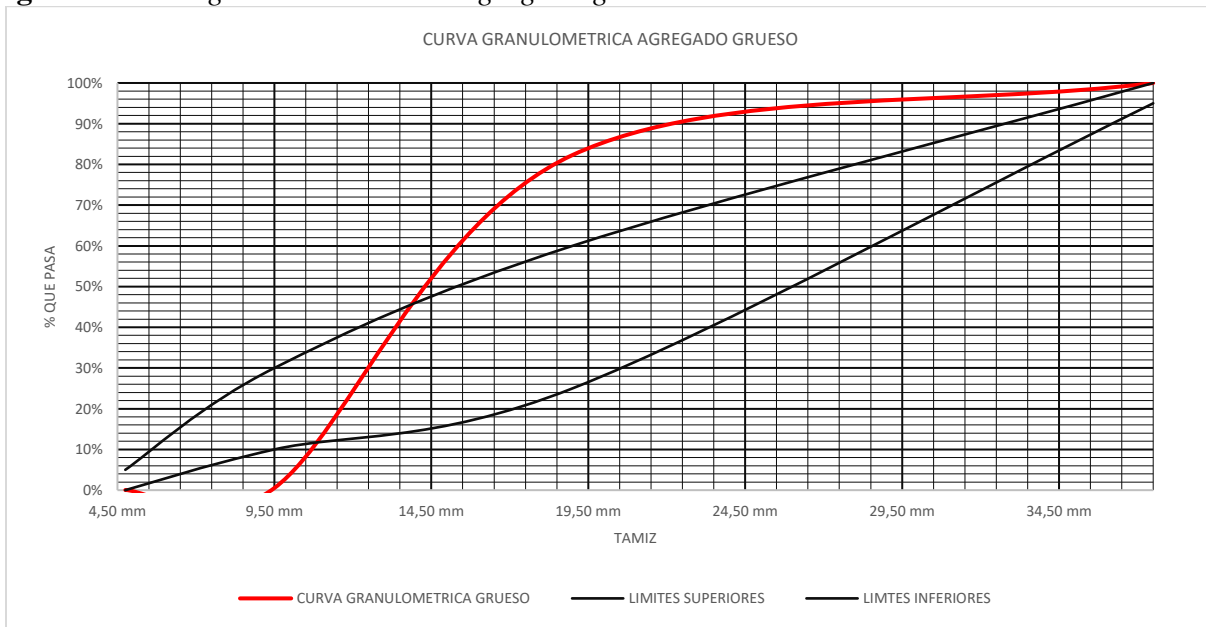
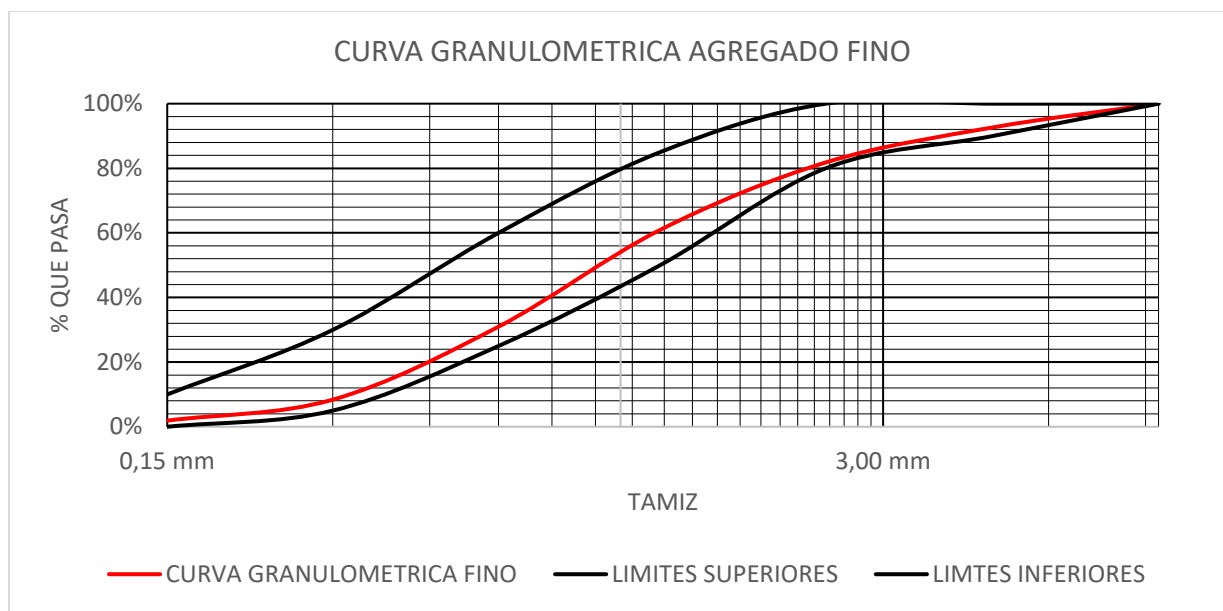
Figura 3. Curva granulométrica del agregado grueso

Tabla 10. Granulometría de agregado fino.

AGREGADO FINO			TM	9,50 mm	TMN	0,85 mm
# TAMIZ	TAMAÑO PARTICULA	Tamiz No	Wret	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
14	9,50 mm	3/8	0,00 gr	0,00%	0,00%	100,00%
13	4,75 mm	4	26,78 gr	7,35%	7,4%	92,65%
12	2,36 mm	8	39,48 gr	10,84%	18,2%	81,81%
11	2,00 mm	10	12,87 gr	3,53%	21,7%	78,28%
10	1,18 mm	16	63,19 gr	17,35%	39,1%	60,93%
9	0,850 mm	20	53,22 gr	14,61%	53,7%	46,32%
8	0,600 mm	30	55,91 gr	15,35%	69,0%	30,97%
7	0,425 mm	40	52,05 gr	14,29%	83,3%	16,68%
6	0,300 mm	50	30,19 gr	8,29%	91,6%	8,39%
5	0,250 mm	60	11,02 gr	3,03%	94,6%	5,37%
4	0,180 mm	80	9,66 gr	2,65%	97,3%	2,72%
3	0,150 mm	100	2,99 gr	0,82%	98,1%	1,90%
2	0,106 mm	140	3,74 gr	1,03%	99,1%	0,87%
1	0,075 mm	200	1,84 gr	0,51%	99,6%	0,37%
	FONDO		1,33 gr	0,37%	100,0%	0,00%
			364,27			
	WLST200		gr	TOTAL		323,35
			365,30			
	Wmuestra		gr	Módulo de finura		3,23

Nota: En esta tabla se muestra el peso retenido en cada tamiz correspondiente, así como el material pasante de cada tamiz.

Figura 4. Curva granulométrica de agregado fino



Así mismo, se determinó algunas propiedades físicas del material para la ejecución del diseño de mezcla, siguiendo la normativa estipulada en la Tabla 9 con más detalle cómo se determina en la siguiente tabla:

Tabla 11. *Propiedades físicas de los agregados.*

PROPIEDAD FISICA	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
CONTENIDO DE HUMEDAD	7,90%	1,4%
DENSIDAD ESP. SSS	2460,00 kg/m ³	2530,00 kg/m ³
DENSIDAD ESP. RELATIVO	2430,00 kg/m ³	2550,00 kg/m ³
DENSIDAD BULK SSS	1574,65 kg/m ³	1527,65 kg/m ³
DENSIDAD BULK	1574,50 kg/m ³	1527,50 kg/m ³
ABSORCION	1,27%	0,47%

Nota: En esta tabla se evidencia las propiedades de cada agregado, usadas para el método de dosificación respectivo.

3.2 Diseño de mezcla usando el método ACI

3.2.1 Datos de los materiales

3.2.1.1 Cemento.

- Cemento de uso general, clasificado como Tipo 1 según la ASTM C150
- Peso específico: $3,15 \text{ gr/cm}^3$ este valor se tomó según Cañas “El peso específico relativo del cemento Portland tipo I, oscila entre 3.1 y 3.2. Cuando el tipo de obra no justifica la determinación exacta del peso específico relativo del cemento, se puede usar el valor de 3.15 “

3.2.1.2 Agregado Fino.

- Peso específico: $2,43 \text{ gr/cm}^3$
- Absorción: 1,3 %
- Contenido de humedad: 0,51 %
- Módulo de finura: 3,23

3.2.1.3 Agregado Grueso.

- TMN: $\frac{3}{4} \text{ In}$
- Peso específico: $2,55 \text{ gr/cm}^3$
- Peso seco compactado: $1527,5 \text{ Kg/m}^3$
- Absorción: 0,47%
- Contenido de humedad: 0,22%

3.2.2 Selección de asentamiento

Para este apartado se tuvo en cuenta la Tabla 1, la cual permite seleccionar el asentamiento requerido para el tipo de obra y sus especificaciones, en el caso, para revestimiento de túneles se recomienda un asentamiento entre 10-15 cm con una consistencia muy plástica o húmeda, sin embargo, debido a que se utilizó un método de compactación diferente a la vibración se les suma a estos valores 2,5 cm, obteniendo un rango de 12,5-17,5 cm.

3.2.3 Determinación de la resistencia de diseño

Este parámetro se obtuvo de acuerdo con la Tabla 4, la cual teniendo en cuenta que esta investigación se evalúa con un concreto de 210 Kg/cm³(21 Mpa), debido a que no se cuenta con registro de resistencia de probetas, la resistencia de diseño corresponde con el siguiente calculo:

$$F_{cr} = f'c + 84 = 295 \frac{Kg}{cm^3}$$

Ecuación 2

3.2.4 Determinación de contenido de aire del agregado grueso

Según la Tabla 2, el porcentaje promedio de contenido de aire para el agregado grueso es de 2% debido a que el TMN del agregado es de 3/8 “

3.2.5 Determinación del volumen unitario de agua

De acuerdo con la Tabla 3, el volumen unitario de agua es de 216 Lt/m³, teniendo en cuenta un asentamiento de 12,5-17,5 cm y un TMN de agregado grueso de 3/4” (19mm).

3.2.6 Determinación relación agua-cemento

Para el cálculo de la relación a/c se tiene en cuenta la Tabla 5, en la cual se utilizan estos valores, donde para un concreto de 295 Kg/cm³ sin aire incluido, se debe interpolar entre los valores dando así una relación a/c inicial de 0,55.

3.2.7 Contenido de cemento

La cantidad de cemento por metro cúbico de concreto se puede calcular utilizando la relación a/c inicial y el volumen unitario de agua. Este cálculo es necesario para determinar la cantidad adecuada de cemento que se debe agregar a la mezcla para obtener el concreto deseado con las propiedades requeridas. La ecuación utilizada para este cálculo la Ecuación 1.

$$C = \frac{216 \frac{Kg}{m^3}}{0,55} = 392,73 \frac{Kg}{m^3}$$

3.2.8 Contenido de agregado grueso

Partiendo de los valores de la Tabla 6, debido a que el módulo de finura se sale del rango se debe interpolar el valor del contenido con el valor anterior, teniendo en cuenta el TMN del agregado, el contenido de agregado grueso es de 0,58; con este valor se procede a hallar el peso del agregado grueso seco:

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0,58 * 1527,5 \frac{Kg}{m^3} = 885,95 \frac{Kg}{m^3}$$

3.2.9 Calculo de volúmenes absolutos

Se determina la cantidad de material de cada agregado y material cementante, el cual se obtienen dividiendo la masa unitaria y la densidad aparente del agregado o material cementante.

$$\text{Cemento} = \frac{392,75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{3,15 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 1000} = 0,125 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{216 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3}}{1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 1000} = 0,216 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{885,95 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3}}{2,55 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} * 1000} = 0,347 \text{ m}^3$$

$$\sum \text{volumenes} = 0,125 \text{ m}^3 + 0,216 \text{ m}^3 + 0,347 \text{ m}^3 = 0,688 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que el volumen unitario total es la sumatoria de los volúmenes individuales, se calcula el volumen absoluto faltante de agregado fino y con este dato el contenido de agregado fino.

$$\text{Volumen absoluto AF} = 1 - \sum \text{volumenes} = 0,312 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 2,43 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3} * 1000 * 0,312 \text{ m}^3 = 758,16 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

3.2.10 Corrección por humedad del agregado

Se determina el ajuste de agua debido al contenido de humedad y absorción de los agregados.

$$\text{Humedad AF} = 0,51\% * 758,16 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 3,87 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Cantidad de agua AF} = 758,16 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} + 3,87 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 762,03 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Humedad AG} = 0,22\% * 885,95 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 1,95 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Cantidad de agua AG} = 885,95 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} + 1,95 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 887,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Humedad superficial AF} = 0,51\% - 1,3\% = -0,79\%$$

$$\text{Humedad superficial AG} = 0,22\% - 0,47\% = -0,25\%$$

3.2.11 Cálculo del aporte de humedad de cada agregado

Debido a la absorción de agua de cada agregado no está relacionada con el agua de la mezcla, se debe ajustar el agua adicional, con el fin de obtener el agua efectiva de la mezcla.

$$\text{Aporte Humedad AF} = -0,79\% * 762,03 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = -6,02 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Aporte Humedad AG} = -0,25\% * 887,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = -2,22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Sigma \text{Aportes Humedad} = 8,24 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Agua Efectiva} = 216 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3} + 8,24 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3} = 224,24 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3}$$

3.2.12 Valores de diseño corregidos y proporción de la mezcla

De acuerdo con los pasos anteriores se obtuvieron los valores de diseño de mezcla para el cálculo de la proporción de la mezcla y la nueva relación agua-cemento.

$$\text{Cemento} = \frac{392,75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{392,75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 1$$

$$\text{Agregado Fino} = \frac{762,03 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{392,75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 1,94$$

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{887,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{392,75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 2,26$$

$$\text{Relacion a/c} = \frac{224,24 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3}}{392,75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0,57$$

Con respecto a lo anterior, se obtiene que la proporción de la mezcla es de 1:1,94:2,26, y la relación agua-cemento es de 0,57.

3.2.13 Cantidad de material por probeta

Para la operación de la cantidad de material para la mezcla se debe tener en cuenta los pesos de los agregados y el volumen de la probeta de ensayo, en el caso del ensayo de compresión, la probeta es de 10x30 cm de forma cilíndrica y para el ensayo de absorción y porosidad se utilizaron cubos de 512 cm³ en madera.

3.2.14 Cantidad de material para probetas cilíndricas

$$\text{Cemento} = 392,75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,0053 \text{ m}^3 * 1,1 * 12 = 29,77 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua} = 224,24 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3} * 0,0053 \text{ m}^3 * 1,1 * 12 = 17,03 \text{ Lt}$$

$$\text{Agregado Fino} = 762,03 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,0053 \text{ m}^3 * 1,1 * 12 = 57,72 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso} = 887,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,0053 \text{ m}^3 * 1,1 * 12 = 67,34 \text{ Kg}$$

Nota: Las cantidades son multiplicadas por un factor de 1,1 debido a que se apreció un porcentaje de 10% de desperdicio.

3.2.15 Cantidad de material para recipientes cúbicos

$$\text{Cemento} = 392,75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,000512 \text{ m}^3 * 1,1 * 3 = 0,663 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua} = 224,24 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^3} * 0,000512 \text{ m}^3 * 1,1 * 3 = 0,378 \text{ Lt}$$

$$\text{Agregado Fino} = 762,03 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,000512 \text{ m}^3 * 1,1 * 3 = 1,29 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Grueso} = 887,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,000512 \text{ m}^3 * 1,1 * 3 = 1,5 \text{ Kg}$$

Nota: Las cantidades son multiplicadas por un factor de 1,1 debido a que se apreció un porcentaje de 10% de desperdicio.

3.2.16 Cantidad de aditivo

Para el cálculo de utilización de aditivo por porcentaje se tuvo en cuenta la hoja de datos del producto la cual se dosifica teniendo en cuenta el peso del cementante y la densidad del aditivo.

3.2.17 Cantidad de aditivo para probetas cilíndricas

$$0,3\% * 29,77 \text{ Kg} = 0,089 \text{ Kg}$$

$$1,09 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}} = \frac{0,089 \text{ Kg}}{V}$$

$$V = 0,082 \text{ Lt} = 81,65 \text{ ml}$$

$$0,7\% * 29,77 \text{ Kg} = 0,208 \text{ Kg}$$

$$1,09 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}} = \frac{0,208 \text{ Kg}}{V}$$

$$V_{0,3\%} = 0,192 \text{ Lt} = 190,82 \text{ ml}$$

3.2.18 Cantidad de aditivo para recipientes cúbicos

$$0,3\% * 0,663 \text{ Kg} = 1,989 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$1,09 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}} = \frac{1,989 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{V}$$

$$V = 1,824 \times 10^{-3} \text{ Lt} = 1,824 \text{ ml}$$

$$0,7\% * 0,663 \text{ Kg} = 4,641 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$1,09 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}} = \frac{4,641 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{V}$$

$$V_{0,7\%} = 4,257 \times 10^{-3} \text{ Lt} = 4,257 \text{ ml}$$

3.2.19 Reducción de agua por aditivo

Debido a que el aditivo utilizado aporta reducción de agua entre el 10%-15%, se calculó el rango de cantidad de agua que podría reducir cada mezcla:

- Para probetas cilíndricas con porcentaje aditivo 3% y 7% = 15,33 Lt – 14,475 Lt
- Para recipientes cúbicos con porcentaje aditivo 3% y 7% = 0,3402 Lt – 0,3213 Lt

Para la mezcla utilizando el 0,3% del aditivo se cumplió con un porcentaje de 15% de reducción de agua, sin embargo, en la mezcla utilizando el 0,7% del aditivo se logró una reducción de 30% de reducción de agua, debido a que se consiguió llegar a la consistencia deseada con este porcentaje.

3.3 Ensayos de laboratorio

3.3.1 Ensayos de concreto en estado fresco

3.3.1.1 Asentamiento del concreto. En este ensayo se tiene como objetivo determinar la trabajabilidad del concreto en estado fresco, tomando medidas de asentamiento dentro de un molde evitando la segregación, se recomiendan como mínimo 3 ensayos tal como lo indica la norma NTC 396.

3.3.1.1.1 Equipos y herramientas.

- Varilla compactadora de acero de 16 mm de diámetro
- Muestra de concreto en estado fresco

- Cono de Abrams
- Plancha metálica
- Palustre
- Metro

3.3.1.1.2 Procedimiento del ensayo.

1. Se procede a humedecer el cono de abrams y se coloca sobre la plancha metálica.
2. Se sostiene firmemente el cono de abrams con los pies sobre la superficie
3. Se llena el cono con concreto en 3 capas de $1/3$ de la altura del cono aproximadamente, así mismo, se da 25 golpes por capa compactando la muestra para ayudar a distribuir de forma más homogénea el contenido de concreto.
4. Al terminar con la última capa se enrasa la superficie de concreto con la varilla compactadora.
5. Se procede a levantar el cono verticalmente sin intervenir en el proceso de asentamiento del concreto
6. Se mide el asentamiento, colocando el cono de abrams al lado de la muestra ya asentada, midiendo la diferencia entre la altura del cono y la altura de la muestra.

Figura 5. *Compactación de muestra de concreto en cono de Abrams.*



3.3.2 Ensayos de concreto en estado fresco

3.3.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión. En este ensayo se tiene como objetivo someter a cargas incrementadas los especímenes de ensayo expuestos a 3,7,14 y 28 días de curado hasta que estos fallen por compresión, tal cual como se especifica en la norma ASTM C39/39M.

3.3.2.1.1 Equipos y herramientas.

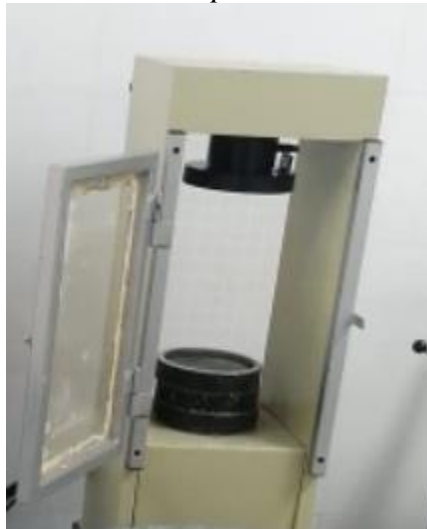
- Prensa para ensayo de resistencia a la compresión
- Muestras de concreto en forma de cilindro 10x30 cm

3.3.2.1.2 Procedimiento del ensayo.

1. Se retiran del curado las muestras de concreto que se vayan a ensayar
2. Se secan superficialmente con un paño para retirar el exceso de agua
3. Se procede a medir el diámetro y la altura de cada espécimen para su posterior digitación en la prensa de ensayo a compresión

4. Se coloca el espécimen en el bloque de apoyo inferior, alineando el eje central del espécimen con el centro de empuje del bloque.
5. Se procede a iniciar con el uso de la carga continua, hasta que falle el espécimen y su carga aplicada decrezca constantemente.
6. Repetir el proceso con las demás muestras de concreto.

Figura 6. *Equipo de ensayo de resistencia a la compresión*



3.3.2.2 Ensayo de absorción y porosidad del concreto. En este ensayo se tiene como objetivo de establecer la densidad, absorción de agua y los poros en el concreto en estado endurecido, teniendo en cuenta que el volumen de las muestras no debe ser menor que 350 cm³, tal cual como se propone en la norma ASTM C642.

3.3.2.2.1 Equipos y herramientas.

- Horno
- Balanza
- Bandeja metálica de acero inoxidable

- Apoyos para muestras
- Recipiente en madera

3.3.2.2 Procedimiento del ensayo.

1. Primeramente, el espécimen de concreto con su correcta dimensión, el cual somete a un secado aproximadamente de 24 horas, donde se debe a obtener la masa al estar totalmente seco.
2. El siguiente paso es determinar la masa del espécimen sumergido en agua a unos 21°C en un tiempo menor a 48 horas.
3. Luego se seca la superficie y se consigue la masa en intervalos de 24 h, de manera que no existan diferencias importantes en las masas.
4. Después la muestra se pone en un recipiente lleno con agua caliente que este en punto de ebullición. Enfriando por unas horas a temperatura ambiente para determinar nuevamente la masa que se denomina la masa
5. Se suspende la muestra y se sumerge la muestra en un balde enmallado sumergido en agua, consiguiendo así la masa aparente del espécimen en agua.
6. Con los datos se calcula la absorción, la densidad masiva, aparente y el volumen de poros.

4. Resultados

En esta parte se mostrarán los resultados de laboratorio hechos para evidenciar las propiedades del concreto de acuerdo con su estado.

4.1 Ensayo de asentamiento del concreto

En este ensayo se determinará la trabajabilidad del concreto en estado fresco, para esto se hicieron pruebas con el cono de abrams en cada mezcla de concreto con las diferentes proporciones de adición de aditivo, así mismo, siguiendo un control y gestión del asentamiento teniendo en cuenta la elección de asentamiento en el diseño de mezcla de 12,5-17,5 cm.

Tabla 12. *Asentamiento del concreto utilizando diferentes porcentajes de aditivo.*

% de adición de Sika Visconcrete2020	Asentamiento
0%	12,5 cm
0.3%	12,5 cm
0.7%	17,5 cm

Nota: En esta tabla se evidencia los tres tipos de asentamientos; Fuente: Propia

Figura 7. *Asentamiento del concreto.*



4.2 Ensayo de resistencia a la compresión

Así mismo una de estas propiedades que influyen activamente en el diseño del concreto es la resistencia a la compresión, teniendo en cuenta este factor se han utilizado diferentes métodos para aumentar esta propiedad, uno de estos es el uso aditivo, de modo que se pueda incluso reducir el uso de un agregado como lo es el agua, lo cual compete en la explotación de recursos naturales.

En este ensayo se tiene como objetivo someter a cargas incrementadas los especímenes de ensayo expuestos a 28 días de curado hasta que estos fallen por compresión, tal cual como se especifica en la norma ASTM C39/39M. El número de especímenes de concreto a usar son 12 especímenes por cada % de superplastificante. Durante las edades de 3, 7, 14 y 28 días se dieron los resultados del ensayo a compresión, los cuales fueron ensayados por probetas de dimensiones 15cm x 30 cm, siendo un total de 36 probetas utilizadas donde se implementaron 3 evidencias por cada día mencionado, para cada uno de los tipos (sin aditivo – con adición del 0.3% - con adición del 0.7%) que se llevaron a cabo, con su respectiva carga, dimensión, peso, y tipo de falla que se le determino al ser expuesto a compresión. Teniendo las siguientes tablas como resultado:

Tabla 13. Resultados de resistencia para un concreto sin aditivo.

RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CONCRETO SIN ADITIVO (a/c 0.57)												
Cilindro	Fecha	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso Max (Kg)	Carga Max. (kN)	F'c (Mpa)	F'c promedio (Mpa)	Varianza	Desviación estándar	Coef. Variación	Tipo de falla
C1A			15.1	30.4	12.8	131.9	7.36					Tipo 2
C1B	4/11/2021	3	15.13	30.23	12.9	160.4	8.92	8.2	0.62	0.79	0.10	Tipo 5
C1C			15.2	30.43	13.1	150.7	8.31					Tipo 2
C1D			15.02	30.1	13	246.4	13.9					Tipo 5
C1E	8/11/2021	7	15	30	13.1	275.3	15.58	14.1	1.80	1.34	0.09	Tipo 2
C1F			15.1	30.1	13.1	231.6	12.93					Tipo 3
C1G			15.1	30.63	13.1	325.7	18.19					Tipo 2
C1H	15/11/2021	14	15.2	30.53	13	342.8	18.89	18.7	0.16	0.40	0.02	Tipo 2
C1I			15.16	30.46	12.9	340.8	18.88					Tipo 5
C1J			15.2	30.5	12.68	362.6	19.98					Tipo 5
C1K	29/11/2021	28	15.13	30.4	13.1	416.7	23.18	21.7	2.59	1.61	0.07	Tipo 5
C1L			15.2	30.36	13.1	396.7	21.86					Tipo 3

Nota: En esta tabla se encuentran los valores de F'c, su carga y que promedio tienen cada una de las variables en cada día, sin ninguna adición de superplastificante

Tabla 14. Resultados de resistencia para un concreto con adición del 0.3%

RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CONCRETO CON ADICION DEL 0.3% (a/c=0.48)												
Cilindro	Fecha	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso Max (Kg)	Carga Max. (kN)	F'c (Mpa)	F'c promedio (Mpa)	Varianza	desviación estándar	Coef. Variación	Tipo de falla
AA03			15.2	30.46	13.1	294.9	16.25					Tipo 5
AB03	29/11/2021	3	15.1	30.36	12.7	292.7	16.34	16.3	0.01	0.07	0.004	Tipo 3
AC03			15.3	30.53	13	297.9	16.2					Tipo 5
AD03			15.16	30.4	13	348.9	19.33					Tipo 3
AE03	3/12/2021	7	15.16	30.5	13.1	335.9	18.61	19.4	0.70	0.84	0.04	Tipo 5
AF03			15.1	30.5	13.2	363.3	20.28					Tipo 5
AG03			15.2	30.33	13	440.9	24.3					Tipo 3
AH03	10/12/2021	14	15.13	30.4	12.7	369.1	20.34	22.2	3.99	2.00	0.09	Tipo 5
AI03			15.2	30.4	13	396.6	21.86					Tipo 3
AJ03			15.3	30.5	13.2	538	29.26					Tipo 2
AK03	17/12/2021	28	15.2	30.45	13	449.7	28.78	24.8	52.39	7.24	0.29	Tipo 3
AL03			15.2	30.2	12.9	399.2	16.49					Tipo 3

Nota: En esta tabla se encuentran los valores de F'c, su carga y que promedio tienen cada una de las variables en cada día, con una adición de 0.7% superplastificante;

Tabla 15. Resultados de resistencia para un concreto con adición del 0.7%.

RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CONCRETO CON ADICION DEL 0.7% (a/c=0.399)												
Cilindro	Fecha	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso Max (Kg)	Carga Max. (kN)	F'c (Mpa)	F'c promedio (Mpa)	Varianza	Desviación estándar	Coef. Variación	Tipo de falla
AA07			15.36	30.43	13.3	472.8	25.51					Tipo 5
AB07	29/11/2021	3	15.36	30.6	13.3	477.6	25.77	24.7	2.46	1.57	0.06	Tipo 3
AC07			15.2	30.66	13.5	417.7	22.93					Tipo 3
AD07			15.2	30.43	13.1	571.8	31.51					Tipo 5
AE07	3/12/2021	7	15.23	30.66	13.5	580.5	31.86	31.7	0.03	0.18	0.01	Tipo 3
AF07			15.24	30.55	13.3	576.7	31.65					Tipo 5
AG07			15.36	30.5	13.2	707.7	38.19					Tipo 5
AH07	10/12/2021	14	15.23	30.56	13.4	711.6	39.06	37.4	4.47	2.12	0.06	Tipo 5
AI07			15.4	30.53	13.2	649.3	35.04					Tipo 3
AJ07			15.1	30.4	12.9	730.2	40.78					Tipo 2
AK07	17/12/2021	28	15.33	30.7	13.4	789.7	42.79	43.1	6.52	2.55	0.06	Tipo 2
AL07			15.26	30.6	13.5	831.9	45.85					Tipo 3

Nota: En esta tabla se encuentran los valores de F'c, su carga y que promedio tienen cada una de las variables en cada día, con una adición de 0.7% de superplastificante; Fuente: Propia.

4.3 Ensayo de absorción y porosidad del concreto

En siguientes tablas se muestran los resultados del laboratorio de absorción, densidad seca y porcentaje de vacío de poros, a 28 días de edad del concreto se revisó los tres tipos de variables propuestas cada una con tres muestras para tener unos mejores resultados de la misma manera que los ensayos de resistencia, (concreto sin aditivo superplastificante – S#, concreto con aditivo con una adición del 0,3% – A0,3 y concreto con aditivo con una adición del 0,7% – A0,7). Se emplearon cubos de 512 cm³ de concreto, los datos obtenidos se encuentran en las siguientes tablas, dando un promedio para cada variable mencionada.

Tabla 16. *Porcentaje de absorción del concreto.*

MUESTRA	PORCENTAJE		
S1	4.63%	PROMEDIO SIN ADITIVO	5.07%
S2	4.66%		
S3	5.90%		
A0.3	4.23%	PROMEDIO CON 0.3	4.18%
B0.3	3.95%		
C0.3	4.36%		
A0.7	3.44%	PROMEDIO CON 0.7	3.83%
B0.7	4.25%		
C0.7	3.80%		

Nota: En esta tabla se encuentran los porcentajes de absorción de los tres tipos variables; Fuente: Propia

Tabla 17. *Densidad seca del concreto.*

MUESTRA	KG/CM3		
S1	1.99	PROMEDIO SIN ADITIVO	1.96
S2	1.96		
S3	1.93		
A0.3	1.96	PROMEDIO CON 0.3	1.97
B0.3	1.98		
C0.3	1.96		
A0.7	2.04	PROMEDIO CON 0.7	2.06
B0.7	2.07		
C0.7	2.07		

Nota: En esta tabla se encuentran la densidad seca de los tres tipos variables; Fuente: Propia

Tabla 18. *Porcentaje de vacío de poros del concreto*

MUESTRA	PORCENTAJE		
S1	5.63%	PROMEDIO SIN ADITIVO	6.97%
S2	6.80%		
S3	8.49%		
A0.3	6.10%	PROMEDIO CON 0.3	5.63%
B0.3	5.10%		
C0.3	5.69%		
A0.7	5.51%	PROMEDIO CON 0.7	5.62%
B0.7	5.17%		
C0.7	6.17%		

Nota: En esta tabla se encuentran los porcentajes de vacío de poros de los tres tipos variables;
Fuente: Propia

5. Análisis de Resultados

5.1 Resistencia a la compresión

Con estos resultados obtenidos se realizó la tabla de rendimiento para uno de los porcentajes implementados, según el promedio y su comparación con un concreto de 21 Mpa. La incorporación del aditivo utilizado resultó en una mejora en la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto que habían fallado a edades de 3, 7, 14 y 28 días. Esta mejora en la resistencia fue significativa y se observó un aumento de hasta el 102% en la resistencia para la dosificación del 0,7 de aditivo, mientras que se observó un aumento del 15% para la dosificación del 0,3 en la edad de 28 días.

Tabla 19. *Rendimientos según cada uno de los porcentajes.*

Edad de falla	Rendimiento 0% de visconcrete 2020	Rendimiento 0.3% de visconcrete 2020	Rendimiento 0.7% de visconcrete 2020
3	39%	77%	118%
7	67%	92%	151%
14	89%	106%	178%
28	103%	118%	205%

Nota: En esta tabla se evidencias los Mpa de rendimiento que se dieron al implementar el superplastificante; Fuente: Propia.

Según esta tabla de rendimientos se desarrolló una gráfica de rendimientos y promedio de resistencia a la compresión demostrando que se a medida que se cura el concreto el porcentaje aumenta dándonos mejor durabilidad.

Figura 8. Grafica de rendimiento por ensayo a compresión.

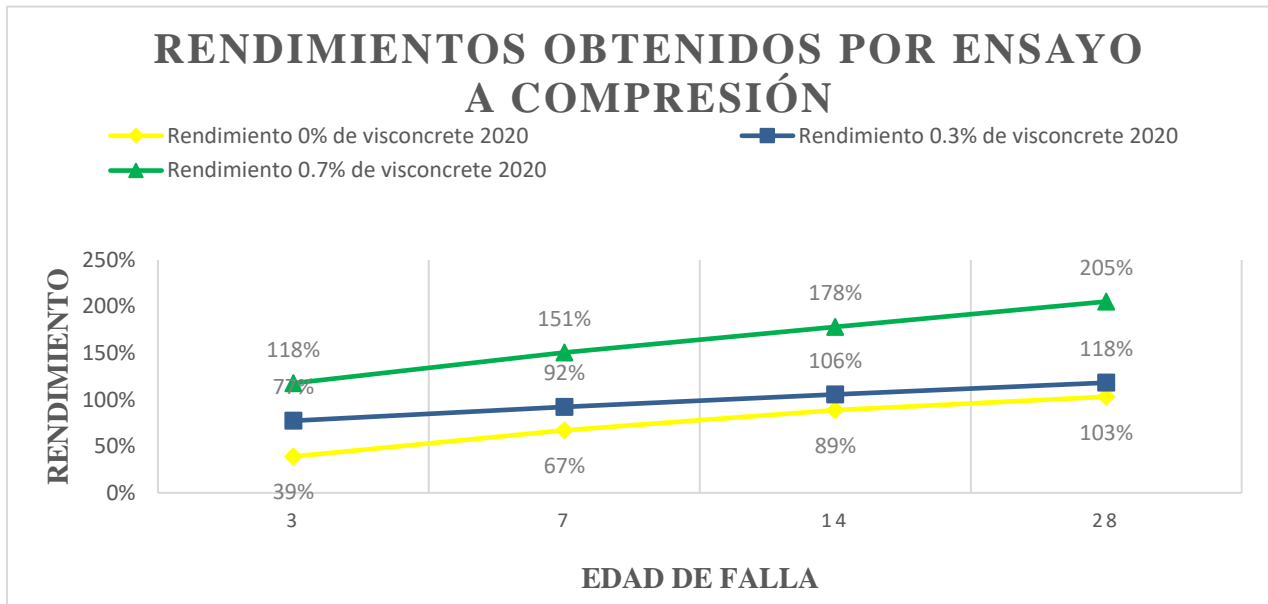


Figura 9. Grafica de promedios obtenidos por ensayo de compresión

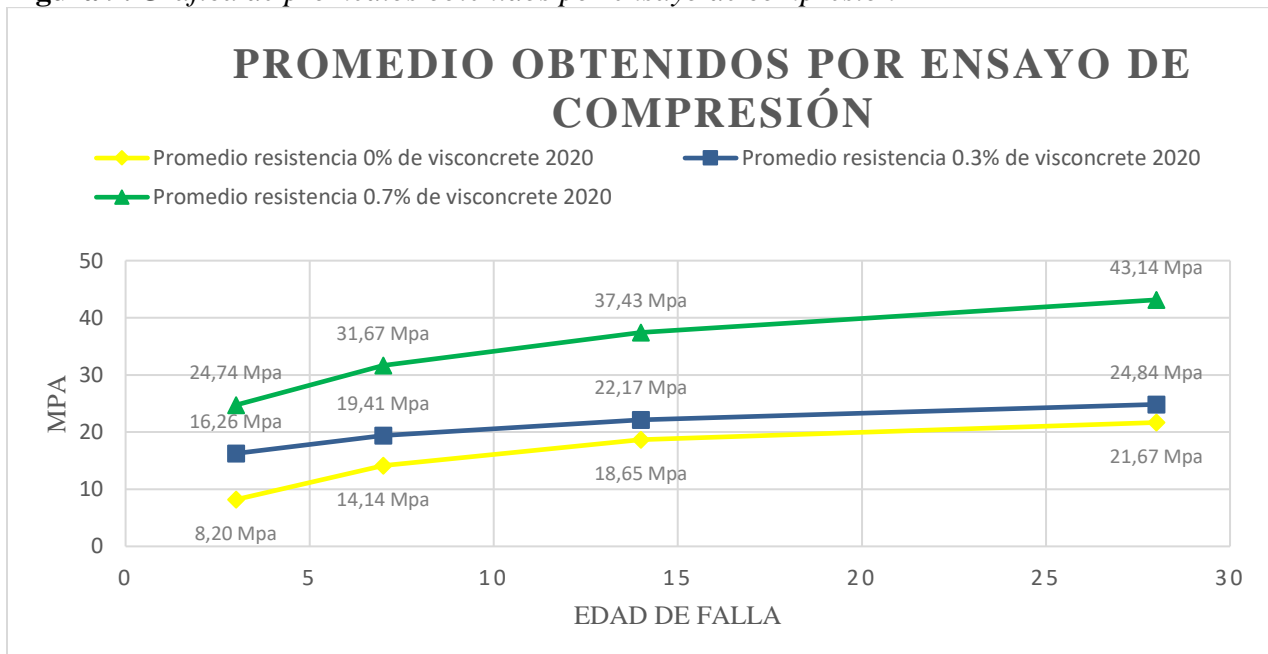


Figura 10. *Tipos de fallas en las probetas de concreto Tipo 3.*



Figura 11. *Tipos de fallas en las probetas de concreto Tipo 2.*



Figura 12. Tipos de fallas en las probetas de concreto Tipo 5.

Igualmente se realizó el respectivo análisis estadístico de las resistencias a la compresión de las diferentes concentraciones mediante el análisis ANOVA.

Tabla 20. Datos iniciales muestrales análisis ANOVA – Resistencia a la compresión.

RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CONCRETO A LOS 28 DIAS			
N°	Sin aditivo	Con aditivo 0.3%	Con aditivo 0.7%
1	19,98 Mpa	29,26 Mpa	40,78 Mpa
2	23,18 Mpa	28,78 Mpa	42,79 Mpa
3	21,86 Mpa	16,49 Mpa	45,85 Mpa
suma xi	65,02 Mpa	74,53 Mpa	129,42 Mpa
promedio	21,67 Mpa	24,84 Mpa	43,14 Mpa
suma total		268,97 Mpa	
ni	3	3	3
N	9	K	3
Sctrat		805,6346889	
Sctotal		928,6256222	
Scerror		122,9909333	

Tabla 21. Datos de evaluación muestral análisis ANOVA– Resistencia a la compresión

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	805,6346889	2	402,8173444	19,65107509
Dentro de las muestras	122,9909333	6	20,49848889	-
Total	928,6256222	8	-	-
valor critico-DATO DE ACEPTACIÓN		5,14325285		
probabilidad-valor		0,002323257		

Tabla 22. Datos de evaluación método de Turkey– Resistencia a la compresión

METODO DE TUKEY

K	3
N-K	6
CMe	20,49848889
ni	3
qa	4,34
Ta	11,34462189

Tabla 23. Evaluación diferencias significativas según datos muestrales– Resistencia a la compresión

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
		NO
$\mu_A - \mu_B$	3,17	SIGNIFICATIVA
$\mu_A - \mu_C$	21,46666667	SIGNIFICATIVA
$\mu_B - \mu_C$	18,29666667	SIGNIFICATIVA

Según la Tabla 21, el valor de aceptación mínimo de la hipótesis es de 5.14, por lo cual teniendo en cuenta el factor F el cual muestra la diferencia entre muestras, se puede concluir que, según el análisis ANOVA, se debe rechazar la hipótesis nula, por lo cual existen diferencias en las resistencias a la compresión entre las concentraciones de aditivo.

5.2 Absorción y Porosidad del concreto

Adicionalmente a la alta resistencia que el aditivo superplastificante (Sika ViscoCrete®-2020) le genera a la mezcla de concreto, también tenemos un crecimiento en la reducción del agua utilizada en la mezcla.

Figura 13. Grafica de porcentaje de absorción.

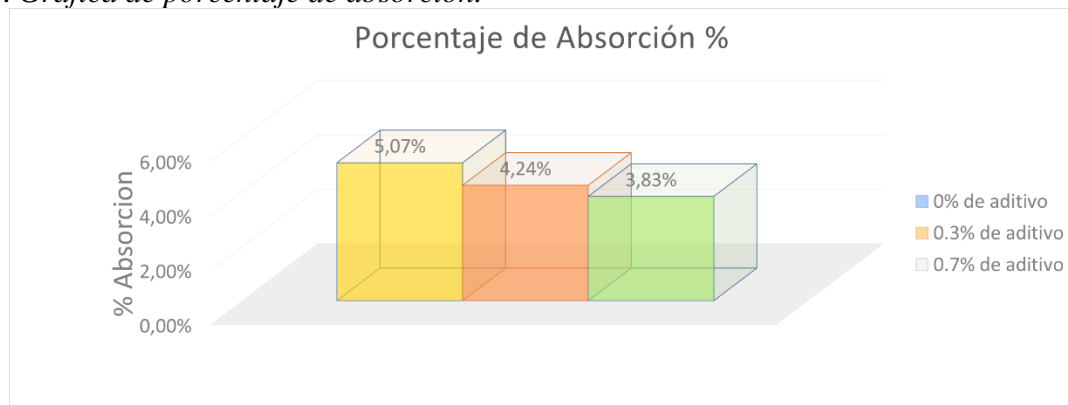
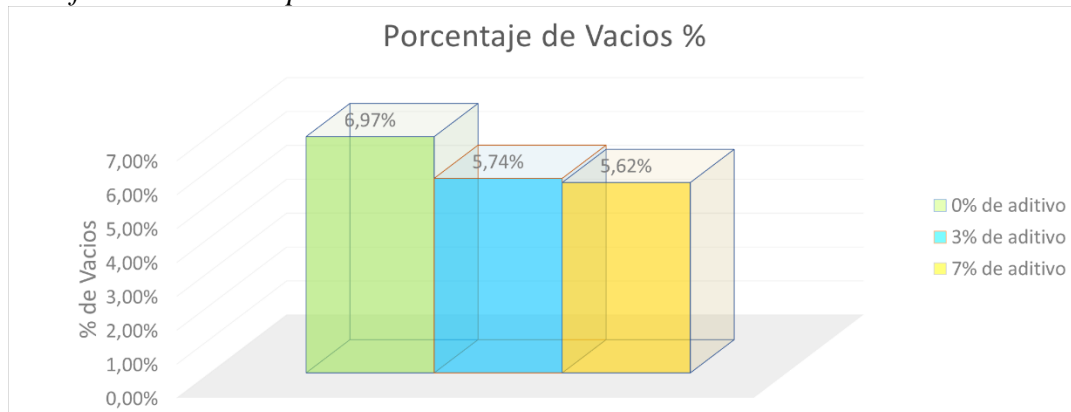


Figura 14. Grafica de Vacío de poros.



En la Figura 13 y Figura 14 se puede observar que al concreto se le adiciona un aditivo superplastificante el índice de poros disminuye al igual que la absorción, debido a sus propiedades físicas, donde el porcentaje de 0.7% (Sika ViscoCrete®-2020) muestra una baja absorción de agua teniendo en cuenta que a menor índice de poros menor será la absorción del concreto analizado.

Podemos apreciar que los valores de absorción oscilan entre 5.07% y 3.83%, (Ver Tabla 2) los cuales es una moderada calidad en cuento los tres resultados, siendo una muestra clara que el concreto sin ningún aditivo es más permeable al agua siendo un peligro para toda la estructura ya que supera el 5% de porcentaje de absorción teniendo una durabilidad inadecuada. Con respecto al porcentaje de vacíos, no hay mucha variación entre los dos porcentajes, pero con respecto al concreto simple existe una diferencia considerable para ser utilizado en construcción de revestimiento de túneles, además sus resultados oscilan entre 5.62% a 6.97% (Ver Tabla 1) siendo un porcentaje porosidad de una buena calidad y compacidad. Estos valores que se obtuvieron en los ensayos permiten que tenga una mayor durabilidad y resistencia a todo tipo de contacto con el medio ambiente o filtraciones que se presenten en contacto con el concreto a utilizar.

Igualmente se realizó el respectivo análisis estadístico de la absorción de agua de las diferentes concentraciones mediante el análisis ANOVA.

Tabla 24. *Datos iniciales muestrales análisis ANOVA– Absorción de poros*

RESULTADOS DE ABSORCION DE POROS A LOS 28 DIAS			
N°	Sin aditivo	Con aditivo 0.3%	Con aditivo 0.7%
1	4,63%	4,23%	3,44%
2	4,66%	4,04%	4,25%
3	5,90%	4,44%	3,80%
suma xi	15,20%	12,71%	11,49%
promedio	5,07%	4,24%	3,83%
suma total		0,393935783	
ni	3	3	3
N	9	K	3
Sctrat		0,000237907	
Sctotal		0,000384443	
Scerror		0,000146536	

Tabla 25. Datos de evaluación muestral análisis ANOVA– Absorción de poros

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	0,000237907	2	0,000118953	4,87060063
Dentro de las muestras	0,000146536	6	2,44227E-05	-
Total	0,000384443	8	-	-
valor crítico-DATO DE ACEPTACIÓN		5,14325285		
probabilidad-valor		0,055378366		

Tabla 26. Datos de evaluación método de Turkey– Absorción de poros

METODO DE TUKEY	
K	3
N-K	6
CMe	2,4423E-05
ni	3
qa	4,34
Ta	0,01238301

Tabla 27. Evaluación diferencias significativas según datos muestrales– Absorción de poros

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	0,008284252	SIGNIFICATIVA
$\mu_A - \mu_C$	0,012356854	SIGNIFICATIVA
$\mu_B - \mu_C$	0,004072602	SIGNIFICATIVA

Según la Tabla 25, el valor de aceptación mínimo de la hipótesis es de 5.14, por lo cual teniendo en cuenta el factor F el cual muestra la diferencia entre muestras, se puede concluir que, según el análisis ANOVA, se debe aceptar la hipótesis nula, por lo cual no existen diferencias en la absorción de poros entre las concentraciones de aditivo.

Igualmente se realizó el respectivo análisis estadístico de la densidad seca del concreto de las diferentes concentraciones mediante el análisis ANOVA.

Tabla 28. *Datos iniciales muestrales análisis ANOVA– Densidad seca del concreto*

RESULTADOS DE DENSIDAD SECA A LOS 28 DIAS			
N°	Sin aditivo	Con aditivo 0.3%	Con aditivo 0.7%
1	1,99 gr/cm ³	1,96 gr/cm ³	2,04 gr/cm ³
2	1,96 gr/cm ³	1,98 gr/cm ³	2,07 gr/cm ³
3	1,93 gr/cm ³	1,96 gr/cm ³	2,07 gr/cm ³
suma xi	5,87 gr/cm ³	5,90 gr/cm ³	6,18 gr/cm ³
promedio	1,96 gr/cm ³	1,97 gr/cm ³	2,06 gr/cm ³
suma total		17,96 gr/cm ³	
ni	3	3	3
N	9	K	3
Sctrat		0,019776103	
Sctotal		0,02283422	
Scerror		0,003058118	

Tabla 29. *Datos de evaluación muestral análisis ANOVA– Densidad seca del concreto*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	0,019776103	2	0,009888051	19,40026878
Dentro de las muestras	0,003058118	6	0,000509686	-
Total	0,02283422	8	-	-
valor critico			5,14325285	
p-valor			0,002402172	

Tabla 30. *Datos de evaluación método de Turkey– Densidad seca del concreto*

METODO DE TUKEY	
K	3
N-K	6
CMe	0,000509686
ni	3
qa	4,34
Ta	0,056569271

Tabla 31. Evaluación diferencias significativas según datos muestrales– Densidad seca del concreto

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu A - \mu B$	0,008944664	SIGNIFICATIVA
$\mu A - \mu C$	0,103608834	SIGNIFICATIVA
$\mu B - \mu C$	0,09466417	SIGNIFICATIVA

Según la Tabla 29, el valor de aceptación mínimo de la hipótesis es de 5.14, por lo cual teniendo en cuenta el factor F el cual muestra la diferencia entre muestras, se puede concluir que, según el análisis ANOVA, se debe denegar la hipótesis nula, por lo cual existen diferencias en las densidades secas del concreto entre las concentraciones de aditivo.

Igualmente se realizó el respectivo análisis estadístico de los porcentajes de poros del concreto de las diferentes concentraciones mediante el análisis ANOVA.

Tabla 32. Datos iniciales muestrales análisis ANOVA– Porcentaje de poros.

RESULTADOS DE PORCENTAJE DE VACIOS A LOS 28 DIAS			
N°	Sin aditivo	Con aditivo 0.3%	Con aditivo 0.7%
1	5,63%	6,10%	5,51%
2	6,80%	5,27%	5,17%
3	8,49%	5,85%	6,17%
suma xi	20,92%	17,23%	16,86%
promedio	6,97%	5,74%	5,62%
suma total		55%	
ni	3	3	3
N	9	K	3
Sctrat		0,000336498	
Sctotal		0,000837623	
Scerror		0,000501125	

Tabla 33. Datos de evaluación muestral análisis ANOVA– Porcentaje de poros.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	0,000336498	2	0,000168249	2,01445269
Dentro de las muestras	0,000501125	6	8,35208E-05	-
Total	0,000837623	8	-	-
valor critico			5,14325285	
p-valor			0,214137708	

Tabla 34. Datos de evaluación método de Turkey– Porcentaje de poros.

METODO DE TUKEY	
K	3
N-K	6
CMe	8,3521E-05
ni	3
qa	4,34
Ta	0,02289953

Tabla 35. Evaluación diferencias significativas según datos muestrales– Porcentaje de poros.

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	0,012310179	SIGNIFICATIVA
$\mu_A - \mu_C$	0,013543825	SIGNIFICATIVA
$\mu_B - \mu_C$	0,001233646	SIGNIFICATIVA

Según la Tabla 33, el valor de aceptación mínimo de la hipótesis es de 5.14, por lo cual teniendo en cuenta el factor F el cual muestra la diferencia entre muestras, se puede concluir que, según el análisis ANOVA, se debe aprobar la hipótesis nula, por lo cual no existen diferencias en los porcentajes de poros entre las concentraciones de aditivo.

5.3 Asentamiento

En el asentamiento se puede aclarar que se cumplió con la consistencia y trabajabilidad deseada de acuerdo con parámetros establecidos en la norma ACI (Ver tabla 1) en la cual se denota que para revestimiento de túneles se recomienda un asentamiento entre 10-15 cm, sin embargo, este rango es alterado cuando se utilizan otros métodos de compactación que no sea vibración en la cual a cada limite se le suma 2.5 cm, siendo así un asentamiento recomendado entre 12.5-17.5cm.

5.4 Comparación de resultados Túnel de Crespo

De acuerdo con las especificaciones de materiales propuestas en el diseño por los contratistas de la construcción túnel de Crespo se propuso una resistencia mínima a la compresión a 28 días de edad de 35 MPa. Una vez realizado los respectivos ensayos por parte de CEMEX los cuales fueron ejecutados por el laboratorio del concreto indicaron unos valores alarmantes. Un informe propuesto por el exconcejal Pastor Jaramillo indica que en ensayos de compresión realizados en el 2013 arrojaron valores de 18 Mpa aproximadamente lo cual significa un completo incumplimiento a las normativas constructivas.

Tabla 36. Resultados de comparación entre túnel de crespo y ensayos propios.

TUNEL DE CRESPO		ENSAYOS LABORATORIO	
Resistencia	35 Mpa	Resistencia (0.7% aditivo)	43 Mpa
Asentamiento	25 cm	Asentamiento	17,5 cm
Tamaño nominal máximo	25.4 mm	Tamaño nominal máximo	25.4 mm
Relación agua/cemento máximo	0.4	Relación agua/cemento máximo	0.37
Aditivo	TIPO A	Aditivo	TIPO A, F

Nota: En esta tabla se encuentran los valores correspondientes de cada una de las variables necesarias para la comparación del túnel del crespo y los ensayos de concreto con una adición de un superplastificante.

Realizando una comparación entre los resultados de resistencia mínima a la compresión de nuestro laboratorio y los resultados que arrojó la estructura del túnel de Crespo podemos sobrentender una diferencia de 8Mpa si tomamos como ejemplo la resistencia de diseño y con una diferencia de 25 Mpa con los resultados de expuestos por CEMEX. Esta falencia surge principalmente por la falta de estudios respecto a la absorción y el mal diseño del sistema de filtración que se planteó al principio del proyecto, adicional a esto, no se realizó un aislamiento completo por parte de los aditivos que se suponían ser suministrados a la mezcla de concreto con el fin de que el cloruro no lo deteriorara, lo que quiere decir que esta mezcla de concreto no era la adecuada para las condiciones que esta estructura debería soportar.

Esto ocasionó numerables falencias tales como agrietamientos en los muros, grietas en bloque, fracturas longitudinales y transversales, desprendimiento de agregados, discontinuidades, losas con presencia de fallas, fisuras longitudinales y transversales, descascaramientos, y fracturación múltiple, pese a que la obra ya estuviera en funcionamiento.

5.5 Resumen análisis de resultados

Tabla 37. *Resumen de análisis de resultados según los ensayos.*

SIKA VISCONCRETE 2020			
Ensayo de resistencia a la compresión	Max. Rendimiento (28 días)	205%	
	Max.Resistencia Prom (28 días)	43.14 Mpa	
		Rango según norma ACI para revestimiento de túneles (12.5-17.5 cm)	
Ensayo de Trabajabilidad del concreto	Asentamiento según % de adición de aditivo	0%	12.5 cm
		0.30%	12.5 cm
		0.70%	17.5 cm

Ensayo de absorción y porosidad	Max. % de absorción del concreto	5.07%
	Max. % de vacíos de poros	6.97%

Nota: En esta tabla están los valores más importantes que se obtuvieron en los ensayos realizados para determinar las variables planteadas en los objetivos.

6. Conclusiones

La incorporación del aditivo Sika ViscoCrete®-2020 a la mezcla de concreto, genera un producto con mejores prestaciones en comparación con los estándares analizados del concreto convencional con resistencia de 21MPa, la mejora se evidencia en las propiedades físicas y mecánicas del concreto en las dosificaciones del 0.3% y 0.7%, incremento la resistencia a compresión del concreto, logrando variaciones de 21 MPa a 45,8 MPa a los 28 días en condiciones controladas.

Los resultados muestran que la dosificación utilizada del 0.3% y 0.7% del concreto aditivado con Sika ViscoCrete®-2020, arrojan una permeabilidad menor a 10-12 m/s, lo que lo convierte en un concreto de baja permeabilidad ,es decir una disminución del porcentaje de vacíos en el concreto de acuerdo a la NTC 4483, con un porcentaje de vacíos de entre 5,6% y 5,7% y un porcentaje de absorción entre 3,83% y 4,2%, esto se traduce como a menor porcentaje de vacíos, menor será la absorción y menor será la permeabilidad del concreto analizado comparándolos con los resultados del concreto convencional como el porcentaje de vacío de un 0.7% y el porcentaje de absorción de 5,07% aproximadamente. Estos porcentajes se determinaron teniendo en cuenta una densidad aproximada de 2400 kg/m³ por espécimen.

En el caso del concreto convencional la relación agua/cemento es de 0.57 y la relación agua/cemento para el concreto aditivado con 0.3% y 0.7% es 0.48 y 0,39 respectivamente, esta variación permite una reducción del agua del 16% y 68%, permitiendo que al incrementar este aditivo en la mezcla de concreto su peso disminuya entre un 3% y 4% de su peso absoluto, dando

un concreto más liviano generando una mayor manejabilidad de este mismo en comparación al concreto convencional.

Como caso de estudio para una aplicación del presente proyecto se tomó como referencia el túnel de Crespo, el cual contaba con una resistencia a la compresión del concreto de 35 MPa y en el cual el tratamiento contra cloruros y condiciones adversas se manejó de la manera tradicional, sin un enfoque profundo en temas de permeabilidad debido a que esta construcción está en una zona costera. Es así como se podría aplicar un diseño de mezcla que considerara las bondades del aditivo Sika ViscoCrete®-2020 pudiendo mejorar tanto su vida útil por ataques de cloruro como también mejorando su resistencia.

La dosificación de 0,3% en el concreto aditivado fue recomendada por referencia de las especificaciones del aditivo Sika ViscoCrete®-2020, este se debe disolver en la cantidad de agua arrojada en la dosificación de la mezcla, teniendo en cuenta que tendrá una mejor homogeneidad que en vez de ser agregada directamente al momento de la mezcla de los demás elementos. Su reacción en base a estas instrucciones nos ayudara a aprovechar todas las bondades del aditivo en la mezcla de concreto, siendo como ejemplo los resultados de la dosificación de 0,7% la cual nos arrojó los resultados óptimos en los ensayos de laboratorios de acuerdo a valores de resistencia, absorción y manejabilidad tomando como referencia las normas NTC y NSR-10 y siendo comparados con un concreto convencional de 21 MPa.

Referencias

- [1] L. Gutiérrez de López, El concreto y otros materiales para la construcción, 2a ed. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [2] M. C. O. Navarro Rascón, "Colocación de concreto en clima caluroso", Trabajo de grado, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, 2001.
- [3] C. I. Huarcaya Garzón, "Comportamiento del asentamiento en el concreto usando aditivo polifuncional Sikament 290N y aditivo superplastificante de alto desempeño Sika ViscoFlow 20E", tesis de grado, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2014.
- [4] W. H. Barreda Arias, "Evaluación de la permeabilidad del concreto utilizando aditivos impermeabilizantes por cristalización aplicado a estructuras hidráulicas de concreto armado", tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2018.
- [5] O. A.-C. J. Tangarife Henao y Silva Sánchez, "Determinación de la resistencia a compresión del concreto (3000 psi) modificado con material de cambio de fase orgánico PCM-OM18P", tesis de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., 2019.
- [6] M. X. Cueva Sánchez, "Influencia del uso de residuo de concha de abanico como reemplazo de agregado en la porosidad del concreto", tesis de grado, Universidad de Piura, Piura, 2019.
- [7] M. J.-H. Betancur Villegas-Chavarro Gutiérrez, "Patologías generadas por la incidencia de factores antrópicos en el puente vehicular de la calle 92 con autopista norte, sentido nortesur en Bogotá D.C.", tesis de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., 2018.

- [8] EUCLID GROUP TOXEMENT. "Fisuras por retracción plástica". Tomado de https://www.toxement.com.co/media/3443/retraccio-n_pla-stica.pdf, consultado el 3 de diciembre de 2021.
- [9] EUCLID GROUP TOXEMENT. "Guía de especificación para el tratamiento de fisuras en el concreto". Tomado de https://www.toxement.com.co/media/3896/spec_fisuras-comprimido.pdf, consultado el 3 de diciembre de 2022.
- [10] EUCLID GROUP TOXEMENT. "Patología corrosión en el acero de refuerzo". Tomado de https://www.toxement.com.co/media/3413/patologi-a_corrosio-n.pdf, consultado el 3 de diciembre de 2022.
- [11] ASOCONCRETE Asociación Colombiana de Productores de Concreto. "¿Cómo evitar la reacción álcali agregado?" Tomado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/191como-evitar-la-reaccion-alkali-agregado#:~:text=La%20reacción%20álcali-%20agregado,%20es,pérdida%20de%20su%20vida%20útil.> (consultado el 3 de diciembre de 2022).
- [12] Giordani, C. & Leone, D. Cementos. Rosario, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, 2016.
- [13] L. E.-I. L. Terreros Rojas-Carvajal Corredor, "Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo", Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., 2016.
- [14] ASOCONCRETE Asociación Colombiana de Productores de Concreto. "Generalidades y tipos de aditivos para el concreto según la NTC 1299." Tomado de (consultado el mes y año de acceso).

- [15] Sika Colombia. "Sika® ViscoCrete®-2020 CO". Tomado de https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/a/sika_viscocrete_-2020co.pdf (consultado el 5 de noviembre de 2021).
- [16] L. F. López Gutiérrez, "Diseño de mezclas de concreto", Practica empresarial, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2015.
- [17] A. A. Riquett Ramón, "Concretos de alto desempeño: Métodos de diseño y su implementación", Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Sinaloa, Barranquilla - Mazatlán, 2018.
- [18] A. Bobet and S. W. Nam, "Stresses around Pressure Tunnels with Semi-permeable Liners," Rock Mech. Rock Eng., vol. 40, no. 3, pp. 287-315, Dec. 2006.
- [19] A. C.-S. Andrade-Páez, "Propuesta para la utilización de membranas de PVC en la impermeabilización de túneles bajo la norma UNE 104424", Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Quito – Ecuador, 2017.
- [20] J. P. Acero Pachón, "Evaluación del uso combinado de fibras metálicas y sintéticas como refuerzo del concreto, aplicado al soporte y revestimiento de túneles", Trabajo de grado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C., 2017.
- [21] C. E.-I. A. Flores Quispe Pacompia Calcina, "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO PARA PAVIMENTOS f_c 175 kg/cm² EN LA CIUDAD DE PUNO", Trabajo de grado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, 2015.
- [22] J. A. Martínez Vargas, "Análisis del concreto lanzado como revestimiento definitivo para túneles", Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia, 2011.

- [23] M. Suarez Duran, "Descripción del uso de concretos especiales en Colombia desde el 2000 hasta el 2010", Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Santander, Colombia, 2012.
- [24] M. Ligia Vélez, "Permeabilidad y porosidad en concreto", Tecno Lógicas, vol. 13, no. 24, pp. 169-187, 2010.
- [25] INVIAS, "Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso", I.N.V. E-223-13, Bogotá D.C., Colombia, 2013. Tomado de: <https://www.invias.gov.co/documents/24215/290029/INV+E-223-13.pdf>
- [26] ASTM International, "Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate", ASTM C29/C29M-17, West Conshohocken, PA, USA, 2017. Tomado de: https://doi.org/10.1520/C0029_C0029M-17
- [27] ASTM International, "Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing", ASTM C117-17, West Conshohocken, PA, USA, 2017. Tomado de: https://doi.org/10.1520/C0117_C0117M-17
- [28] ASTM International, "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete", ASTM C642-13, West Conshohocken, PA, USA, 2017. Tomado de: <https://doi.org/10.1520/C0642-13>
- [29] ASTM International, "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate", ASTM C127-15, West Conshohocken, PA, USA, 2017. Tomado de: https://doi.org/10.1520/C0127_C0127M-15
- [30] ASTM International, "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate", ASTM C128-15, West Conshohocken, PA, USA, 2017. Tomado de: <https://doi.org/10.1520/C0128-15>

- [31] Método de ensayo normalizado para determinar el análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos, ASTM C 136-01, Pennsylvania, 2017.
- [32] Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de humedad total evaporable de los áridos por secado, ASTM C566, Pennsylvania, 2017.
- [33] Método estándar de ensayo para densidad total (peso unitario) y vacíos en los agregados., ASTM C29, Bogotá D.C, 2017.
- [34] Concretos especificaciones de los agregados para concreto, NTC 174, Bogotá D.C, 2000.
- [35] Concretos ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, NTC 673, Bogotá D.C, 2000.
- [36] Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto, NTC 396, Bogotá D.C, 2000.
- [37] El Universal. "Consortio Vía al Mar rechaza declaraciones sobre el Túnel de Crespo". Tomado de <https://www.eluniversal.com.co/cartagena/consorcio-al-mar-rechaza-declaraciones-sobre-el-tunel-de-crespo-174486-GVEU270071> (consultado el 22 de enero de 2022).
- [38] El Universal. "Informe ratifica "deficiencia" del concreto usado en obras del Túnel de Crespo". Tomado de <https://www.eluniversal.com.co/politica/informe-ratifica-deficiencia-del-concreto-usado-en-obras-del-tunel-de-crespo-174075-jueu269536> (consultado el 2 de mayo de 2022).
- [39] El Universal. "Hallan millonario detrimento patrimonial en obras del túnel de Crespo". Tomado de <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/hallan-detrimento-patrimonial-en-obras-del-tunel-de-crespo-502387> (consultado el 1 de febrero de 2022).

- [40] CONSORCIO VÍA AL MAR, "TRIBUNAL ARBITRAL DE EDGARDO NAVARRO VIVES y CONSULTORES DEL DESARROLLO S.A., CONDESA COMO MIEMBROS DEL CONSORCIO VÍA AL MAR EN CONTRA DE CEMEX COLOMBIA S.A", Bogotá D.C, octubre de 2020.
- [41] Agencia Nacional de Infraestructura, "COMUNICADO DE PRENSA situación anillo vial de crespo", Oficina de comunicaciones ANI, Cartagena, mayo de 2016.
- [42] A. Autor, "NTC 673: Compresión de concretos", p. 8. Tomado de <https://es.slideshare.net/1120353985/ntc-673-compresion-concretos>

Apéndices

Apéndice A. Resultados de ensayos de laboratorio

Resultados prueba a compresión

PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO ASTM C39/C39M

PROYECTO TESIS: Análisis del revestimiento para la restauración de túneles con un aditivo superplastificante debido a filtraciones presentadas en el concreto.

TESISTAS: Daniel Enrique Torres Castellanos: Andrés Felipe Ramírez Jaramillo: Sneyder Ricaurte González Silva

DIRECTOR DE PROYECTO: GERMAN OVIEDO

FECHA DE MEZCLA:
29/10/2021

FECHA DE ENSAYO:
17/12/2021

CILINDRO DE CONCRETO + 0% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)			
Etiqueta	C1A	C1B	C1C
Altura	304 mm	302.3 mm	304.3 mm
diámetro	151 mm	151.3 mm	152 mm
Peso	12.8 Kg	12.9 Kg	13.1 Kg
Edad	3 días	3 días	3 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	17907.9 mm ²	17979.1 mm ²	18145.8 mm ²
Carga máxima	131.9 Kn	160.4 Kn	150.7 Kn
F'c	7.36 Mpa	8.92 Mpa	8.31 Mpa
Tipo de falla	Tipo 2	Tipo 5	Tipo 2

CILINDRO DE CONCRETO + 0% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)			
Etiqueta	C1D	C1E	C1F
Altura	301 mm	300 mm	301 mm
diámetro	150.25 mm	150 mm	151 mm
Peso	13.1 Kg	13.1 Kg	13.1 Kg
Edad	7 días	7 días	7 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	17730.4 mm ²	17671.5 mm ²	17907.9 mm ²
Carga máxima	246.4 Kn	275.3 Kn	231.6 Kn
F'c	13.90 Mpa	15.58 Mpa	12.93 Mpa
Tipo de falla	Tipo 5	Tipo 2	Tipo 3

CILINDRO DE CONCRETO + 0% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)			
Etiqueta	C1G	C1H	C1I
Altura	306.3 mm	305.3 mm	304.6 mm
diámetro	151 mm	152.0 mm	151.6 mm
Peso	13.1 Kg	13.0 Kg	12.9 Kg
Edad	14 días	14 días	14 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	17907.9 mm ²	18145.8 mm ²	18050.5 mm ²
Carga máxima	325.7 Kn	342.8 Kn	340.8 Kn
F'c	18.19 Mpa	18.89 Mpa	18.88 Mpa
Tipo de falla	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 5

CILINDRO DE CONCRETO + 0% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)			
Etiqueta	C1J	C1K	C1L
Altura	305.0 mm	304.0 mm	303.6 mm
diámetro	152 mm	151.3 mm	152.0 mm
Peso	12.68 Kg	13.1 Kg	13.1 Kg
Edad	28 días	28 días	28 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	18145.8 mm ²	17979.1 mm ²	18145.8 mm ²
Carga máxima	362.6 Kn	416.7 Kn	396.7 Kn
F'c	19.98 Mpa	23.18 Mpa	21.86 Mpa
Tipo de falla	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 3

CILINDRO DE CONCRETO + 0.3% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)

Etiqueta	AA03	AB03	AC03
Altura	304.6 mm	303.6 mm	305.3 mm
diámetro	152 mm	151.0 mm	153 mm
Peso	13.3 Kg	13.3 Kg	13.5 Kg
Edad	3 días	3 días	3 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	18145.8 mm ²	17907.9 mm ²	18385.4 mm ²
Carga máxima	294.9 Kn	292.7 Kn	297.9 Kn
F'c	16.25 Mpa	16.34 Mpa	16.20 Mpa
Tipo de falla	Tipo 5	Tipo3	Tipo 5

CILINDRO DE CONCRETO + 0.3% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)

Etiqueta	AD03	AE03	AF03
Altura	304.0 mm	305.0 mm	305.0 mm
diámetro	151.6 mm	151.6 mm	151 mm
Peso	13.1 Kg	13.5 Kg	13.3 Kg
Edad	7 días	7 días	7 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	18050.5 mm ²	18050.5 mm ²	17907.9 mm ²
Carga máxima	348.9 Kn	335.9 Kn	363.3 Kn
F'c	19.33 Mpa	18.61 Mpa	20.28 Mpa
Tipo de falla	Tipo 3	Tipo 5	Tipo 5

CILINDRO DE CONCRETO + 0.3% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)

Etiqueta	AG03	AH03	AI03
Altura	303.3 mm	304.0 mm	304.0 mm
diámetro	152.0 mm	151.3 mm	152 mm
Peso	13.2 Kg	13.4 Kg	13.2 Kg
Edad	14 días	14 días	14 días
Datos Ensayo de compresión			

Área	18145.8 mm ²	18037.2 mm ²	18473.5 mm ²
Carga máxima	440.9 Kn	369.1 Kn	396.6 Kn
F'c	24.30 Mpa	20.34 Mpa	21.86 Mpa
Tipo de falla	Tipo 3	Tipo 5	Tipo 3

CILINDRO DE CONCRETO + 0.3% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)			
Etiqueta	AJ03	AK03	AL03
Altura	305.0 mm	304.5 mm	302.0 mm
diámetro	153.0 mm	152.0 mm	152 mm
Peso	12.97 Kg	13.45 Kg	13.517 kg
Edad	28 días	28 días	28 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	18385.4 mm ²	18145.8 mm ²	18145.8 mm ²
Carga máxima	538.0 Kn	449.7 Kn	299.2 Kn
F'c	29.26 Mpa	28.78 Mpa	16.49 Mpa
Tipo de falla	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 3

CILINDRO DE CONCRETO + 0.7% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)			
Etiqueta	AA07	AB07	AC07
Altura	304.3 mm	306.0 mm	306.6 mm
Diámetro	153.6 mm	153.6 mm	152 mm
Peso	13.75 Kg	13.79 Kg	13.85 Kg
Edad	3 días	3 días	3 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	18529.9 mm ²	1829.9 mm ²	18217.5 mm ²
Carga máxima	472.8 Kn	477.6 Kn	417.7 Kn
F'c	25.51 Mpa	25.77 Mpa	22.93 Mpa
Tipo de falla	Tipo 5	Tipo 3	Tipo 3

CILINDRO DE CONCRETO + 0.7% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)			
Etiqueta	AD07	AE07	AF07
Altura	304.3 mm	306.6 mm	305.5 mm

diámetro	152 mm	152.3 mm	152.4 mm
Peso	13.0 Kg	13.1 Kg	13.2 Kg
Edad	7 días	7 días	7 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	18145.8 mm ²	18217.5 mm ²	18186.7 mm ²
Carga máxima	571.8 Kn	580.5 Kn	576.7 Kn
F'c	31.51 Mpa	31.86 Mpa	31.65 Mpa
Tipo de falla	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 5

CILINDRO DE CONCRETO + 0.7% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)			
Etiqueta	AG07	AH07	AI07
Altura	305 mm	305.6 mm	305.3 mm
diámetro	153.6 mm	152.3 mm	154 mm
Peso	13.0 Kg	12.7 Kg	13.0 Kg
Edad	14 días	14 días	14 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	18529.9 mm ²	18217.5 mm ²	18529.9 mm ²
Carga máxima	707.7 Kn	711.6 Kn	649.3 Kn
F'c	38.19 Mpa	39.06 Mpa	35.04 Mpa
Tipo de falla	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 3

CILINDRO DE CONCRETO + 0.7% VISCONCRETE 2020

RESISTENCIA DE DISEÑO (28 días)			
Etiqueta	AJ07	AK07	AL07
Altura	304 mm	307.0 mm	306.0 mm
diámetro	151 mm	153.3 mm	152.6 mm
Peso	13.2 Kg	13.0 Kg	12.9 Kg
Edad	28 días	28 días	28 días
Datos Ensayo de compresión			
Área	17907.9 mm ²	18457.6 mm ²	18145.8 mm ²
Carga máxima	730.2 Kn	789.7 Kn	831.9 Kn
F'c	40.78 Mpa	42.79 Mpa	45.85 Mpa
Tipo de falla	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 3

Resultados pruebas de absorción, porosidad y densidad seca

 DETERMINACION DE DENSIDAD, VACIO DE POROS Y ABSORCION DE AGUA EN EL CONCRETO
 ASTM C642

 PROYECTO TESIS: Análisis del revestimiento para la restauración de túneles con un aditivo superplastificante
 debido a filtraciones presentadas en el concreto.

 TESISTAS: Daniel Enrique Torres Castellanos: Andrés Felipe Ramírez Jaramillo: Sneyder Ricaurte González
 Silva

 DIRECTOR DE PROYECTO: GERMAN OVIEDO

 FECHA DE MEZCLA: 01/02/2022

 FECHA DE ENSAYO: 28/02/2022

 MASA SECA AL HORNO (A)

MUESTRA	PRIMER PESO	SEGUNDO PESO	VARACIO N DE PESOS	TERCER PESO	VARACIO N DE PESOS
	1/03/2022	2/03/2022		3/03/2022	
S1	1221	1169	4.26%	1167	0.17%
S2	1236	1184	4.21%	1179	0.42%
S3	1203	1140	5.24%	1135	0.44%
A0.3	1209	1164	3.72%	1159	0.43%
B0.3	1212	1168	3.63%	1164	0.34%
C0.3	1223	1175	3.92%	1170	0.43%
A0.7	1264	1226	3.01%	1222	0.33%
B0.7	1252	1203	3.91%	1201	0.17%
C0.7	1255	1213	3.35%	1209	0.33%

 MUESTRA DE AGUA SATURADA (B)

MUESTRA	PRIMER PESO	SEGUNDO PESO	VARACIO N DE PESOS
	4/03/2022	7/03/2022	
S1	1222	1221	0.08%
S2	1236	1234	0.16%
S3	1203	1202	0.08%
A0.3	1209	1208	0.08%
B0.3	1212	1211	0.08%
C0.3	1223	1222	0.08%
A0.7	1264	1264	0.00%
B0.7	1252	1252	0.00%
C0.7	1255	1255	0.00%

 MUESTRA SATURADA DESPUES DE EBULLICION ©

MUESTRA	PRIMER PESO
---------	-------------

 MASA SUMERGIDA APA (D)

MUESTRA	PRIMER PESO
---------	-------------

8/03/2022		9/03/2022	
S1	1200	S1	614
S2	1220	S2	617
S3	1185	S3	596
A0.3	1195	A0.3	605
B0.3	1195	B0.3	607
C0.3	1205	C0.3	607
A0.7	1255	A0.7	656
B0.7	1231	B0.7	651
C0.7	1245	C0.7	662

CALCULOS

ABSORCION

MUESTRA	PORCENTAJE		
S1	4.63%	PROMEDIO	
S2	4.66%	SIN	5.07%
S3	5.90%	ADITIVO	
A0.3	4.23%	PROMEDIO	
B0.3	4.04%	CON 0.3	4.24%
C0.3	4.44%		
A0.7	3.44%	PROMEDIO	
B0.7	4.25%	CON 0.7	3.83%
C0.7	3.80%		

DENSIDAD SECA

MUESTRA	G/CM3		
S1	1.99	PROMEDIO	
S2	1.96	SIN	1.96
S3	1.93	ADITIVO	
A0.3	1.96	PROMEDIO	
B0.3	1.98	CON 0.3	1.97
C0.3	1.96		
A0.7	2.04	PROMEDIO	
B0.7	2.07	CON 0.7	2.06
C0.7	2.07		

VACIOS

MUESTRA	PORCENTAJE		
S1	5.63%	PROMEDIO	
S2	6.80%	SIN	6.97%
S3	8.49%	ADITIVO	
A0.3	6.10%		5.74%

B0.3	5.27%	PROMEDIO	
C0.3	5.85%	CON 0.3	
A0.7	5.51%	PROMEDIO	
B0.7	5.17%	CON 0.7	5.62%
C0.7	6.17%		

Apéndice B. Panel fotográfico

1. Muestra de agregado fino y grueso.



2. Secado de la muestra.



3. Tamizado.



4. Ensayos de agregado fino para dosificación.



5. Ensayos de agregado grueso para dosificación.



6. Llenado de cubetas para mezcla.



7. Cemento, arena, agua, triturado y mezcladora.



8. Mezcla de concreto.



9. Medición de asentamiento.



10. Preparación de cilindros con mezcla realizada.





11. Fallas del concreto después de ensayo a compresión.



12. Peso de muestra para ensayo absorción.



