

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

ESTUDIO DE LA PROPIEDAD DE PERMEABILIDAD EN
HORMIGONES FRAGUADOS CON LA INCLUSIÓN DE
PLASTIFICANTE. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Daniel Arturo Vargas Guzmán

César Andrés Velasco Sornoza

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios y a la Virgen por su bendición durante todo este trayecto de mi carrera, a mis padres Arturo Vargas y Marisol Guzmán, por su amor incondicional y por darme las luces necesarias para seguir adelante, a mis hermanos Andrés y David Vargas por su apoyo constante, a mis abuelos por su consejo y bendición, y a mi madrina Rosa Villamar (†) que siempre confió en mí y me cuida desde el cielo.

Daniel Arturo Vargas Guzmán

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Dios en primer lugar, porque me brindó la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa universidad, a mis tíos que siempre fomentaron el estudio en la familia, a mis abuelos que siempre tuvieron un consejo para mí, a mi papá que siempre me apoyó en todo lo que necesitaba y de manera especial a mi mamá Yanira Sornoza porque fue todo para mí.

César Andrés Velasco Sornoza

AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica del Litoral por brindarnos la educación. Un agradecimiento especial a la ingeniera Natividad García por su ayuda en cada etapa del proyecto. Al Dr. Hugo Egüez, a los ingenieros Cristian Velasco, Daniel Petroche, Jacob Mosquera, Fernando Salvatierra, Jhon Macas, Henry Zambrano y María Lara en conjunto con los técnicos Bernardo Grijalva, Felix Yagual y Ariana Alejandro del Centro Innovación del Holcim por su ayuda en la realización de este proyecto. Al Ing. Efrén Avilés de Sika Ecuatoriana S.A., por su confianza en el presente proyecto.

Daniel Arturo Vargas Guzmán
César Andrés Velasco Sornoza

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Daniel Arturo Vargas Guzmán y César Andrés Velasco Sornoza damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Daniel Arturo Vargas
Guzmán

César Andrés Velasco
Sornoza

EVALUADORES

PhD. Miguel Ángel Chávez

PROFESOR DE LA MATERIA

Ing. Guillermo Muñoz

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El aditivo nanosílice ofrece diferentes propiedades al hormigón como aumento de impermeabilidad, trabajabilidad y resistencia; pero no existen normas claras o estudios que hagan referencia a sus límites de dosificación y de sus niveles de acción en las construcciones. Por tal motivo se generó este estudio con ensayos de hormigón en estado fresco (revenimiento, contenido de aire, densidad) y en estado endurecido (permeabilidad, resistencia, retracción y ultrasonido); haciendo dosificaciones de 35 MPa a 28 días con 15 cm de revenimiento, usando diferentes cantidades de nanosílice, plastificante y cemento HE. Se obtuvo como resultados un aumento de la impermeabilidad con adiciones de 2,5%, aumento de la resistencia en un 14% con respecto al hormigón patrón y mejoras en la densificación; pero no siendo de igual manera en la adición de 5% ya que, aunque exista mayor cantidad de nanosílice no se obtuvo un aumento proporcional en las propiedades mecánicas con respecto a la cantidad de nanosílice usado. Se generó una correlación entre 3 variables usando como dependiente a la permeabilidad y se estableció una ecuación; mostrando que el aditivo aumenta notablemente la densidad del hormigón mejorando su impermeabilidad y resistencia.

Palabras Clave: Permeabilidad, Nanosílice, Plastificante, Resistencia, Correlación.

ABSTRACT

The nanosilicate additive offers different properties to the concrete such as increased impermeability, workability and strength; but there are no clear norms or studies that refer to their dosage limits and their action levels in buildings. For this reason, this study was generated with tests of concrete in fresh state (slump, air content, density) and hardened state (permeability, strength, retraction and ultrasound); doing dosages from 35 MPa to 28 days with 15 cm of slump, using different amounts of nanosilica and HE cement. An increase in impermeability was obtained with additions of 2.5%, also with an increase in resistance by 14% with respect to the standard concrete and improvements in densification; but not being in the same way in the addition of 5% since even though there is a greater amount of nanosilica there was not a proportional increase in the mechanical properties with respect to the amount of nanosilicate used. A correlation between 3 variables was generated using permeability as dependent and an equation was established; showing that the additive remarkably increases the density of the concrete improving its impermeability and resistance.

Keywords: Permeability, Nanosilica, Resistance, Correlation.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIV
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Hormigón de Alta Resistencia	5
1.4.2 Componentes del Hormigón.....	6
CAPÍTULO 2.....	14
2. Metodología	14
2.1 Programa Experimental	14
2.2 Método de Dosificación ACI 211.1.....	15
2.1.1 Dosificación de trabajo.....	15

2.3	Análisis de agregados.....	19
2.3.1	Agregado Grueso.....	19
2.3.2	Agregado Fino.....	19
2.3.3	Mezcla de Agregados.....	20
2.3.4	Humedades.....	21
2.4	Ensayos en estado fresco.....	22
2.4.1	Contenido de aire.....	22
2.4.2	Revenimiento.....	23
2.5	Ensayos en estado endurecido.....	25
2.5.1	Resistencia a Compresión.....	25
2.5.2	Retracción.....	27
2.5.3	Permeabilidad. Ensayo de Torrent.....	29
2.5.4	Ultrasonido.....	33
2.6	Mortero equivalente.....	36
2.6.1	HOLCIM CONE.....	37
2.6.2	HOLCIM HEAT.....	39
2.7	Correlaciones entre variables múltiples.....	40
CAPÍTULO 3.....		42
3.	Resultados y Análisis.....	42
3.1	Análisis de resultados de morteros equivalentes.....	42
3.2	Humedades Obtenidas y Especificaciones de Agregados.....	45
3.3	Análisis de resultados de resistencias a compresión.....	46

3.4	Análisis de resultados de revenimiento	49
3.5	Análisis de resultados del Ensayo de Torrent.....	50
3.6	Análisis de resultados de Ultrasonido	53
3.7	Correlaciones de Múltiples Variables.....	55
3.7.1	Regresión Lineal Simple entre Permeabilidad & Ultrasonido	56
3.7.2	Correlación: Ultrasonido; Permeabilidad	58
3.7.3	Regresión Lineal Simple entre Permeabilidad & Resistencia.....	59
3.7.4	Regresión Lineal Simple entre Permeabilidad & Resistencia & Ultrasonido	61
3.8	Consideraciones ambientales	65
3.8.1	Ahorro en cemento.....	65
3.8.2	Ahorro en Agua	66
3.9	Análisis de Presupuesto	68
3.9.1	Precio de materiales.....	68
3.9.2	Precios de las dosificaciones	68
CAPÍTULO 4.....		70
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	70
4.1	Conclusiones	70
4.2	Recomendaciones	72
Bibliografía.....		73
ANEXOS		77
ANEXO A.....		78
ANEXO B.....		79

ANEXO C.....	81
ANEXO D.....	82
ANEXO E.....	83
ANEXO E.....	85
ANEXO F.....	91
ANEXO G.....	103
ANEXO H.....	106
ANEXO I.....	111

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
ACI	American Concrete Institute
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
HE	Cemento de alta resistencia inicial
NTE	Normativa Técnica Ecuatoriana
MFAG	Módulo de finura de agregado global

SIMBOLOGÍA

MPa	Mega Pascales
°C	Grados centígrados
KN	Kilonewton
Kg	Kilogramos
Lt	Litros
m ³	Metros cúbicos
g	Gramos
kT	Coefficiente de permeabilidad
cm	Centímetros
mm	Milímetros
m	Metros
m ²	Metros cuadrados
Kg/cm ²	Kilogramos por centímetros cuadrados
mBar	Milibares
PR	Peso de recipiente
Ah	Arena húmeda
As	Arena seca
m/s	Metros sobre segundos
s	Segundos
µs	Microsegundo
F'c	Resistencia
ρ	Resistividad eléctrica
V _c	Capacidad de la cámara central
ε	Porosidad vacía del hormigón
t	tiempo
Pa	Presión atmosférica
P	Presión en la cámara central
μ	Viscosidad dinámica del aire
N/m ²	Newton sobre metro cuadrado

N.sg/m²

Newton segundo sobre metro cuadrado

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1: Moldes y especímenes usados	16
Ilustración 2.2: Dosificación patrón	17
Ilustración 2.3: Análisis de consistencia del hormigón	18
Ilustración 2.4: Límites de agregado fino (ASTM C33, 2002)	20
Ilustración 2.5: Peso de muestra de agregado grueso.....	22
Ilustración 2.6: Olla de presión para contenido de aire	23
Ilustración 2.7: Lectura de asentamiento del hormigón.....	23
Ilustración 2.8: Cono de Abrams.....	24
Ilustración 2.9: Llenado de capas del cono de Abrams.....	25
Ilustración 2.10: Rotura de cilindro a compresión	26
Ilustración 2.11: Cilindros después de fallar a la compresión	27
Ilustración 2.12: Instrumento de medición de retracción.....	28
Ilustración 2.13: Lectura de viga expuesta al aire (izquierda) Lectura de viga curada en Agua (derecha)	29
Ilustración 2.14: Instrumento de ensayo de Torrent.....	30
Ilustración 2.15: Descripción del ensayo de Torrent	31
Ilustración 2.16: Instalación del equipo de Torrent.....	31
Ilustración 2.17: Obtención de datos del ensayo de Torrent.....	32
Ilustración 2.18: Nomograma de resistividad eléctrica.....	33
Ilustración 2.19: Ensayo de ultrasonido	34
Ilustración 2.20: Calibración del equipo de Ultrasonido	35
Ilustración 2.21: Datos obtenidos del equipo de Ultrasonido	36
Ilustración 2.22: Equipo y materiales del Holcim Cone	37
Ilustración 2.23: Fase de llenado del Holcim Cone	38
Ilustración 2.24: Medición del diámetro esparcido	38
Ilustración 2.25: Equipo de medición de Holcim Heat.....	39
Ilustración 2.26: Las diferentes etapas de la muestra de pasta de cemento	40
Ilustración 3.1: Temperatura vs Tiempo de Conos P1, P2 y P3	43
Ilustración 3.2: Lectura de Cono P3, 1%N, 2.5%N y 5%N.....	44
Ilustración 3.3: Resistencia patrón vs días.....	47

Ilustración 3.4: Resistencias vs Tiempo	48
Ilustración 3.5: Deformación vs Tiempo	49
Ilustración 3.6: Coeficiente de Permeabilidad & Presión de Vacío	53
Ilustración 3.7: Velocidad de Onda & Tiempo	55
Ilustración 3.8: Resumen Estadístico Minitabs.....	57
Ilustración 3.9: Línea de Tendencia Ultrasonido& Permeabilidad.....	58
Ilustración 3.10: Resumen Estadístico Minitabs.....	60
Ilustración 3.11: Línea de Tendencia Resistencia & Permeabilidad	61
Ilustración 3.12: Contorno de Regresión Múltiple Minitabs	63
Ilustración 3.13: Dispersión 3D Permeabilidad & Ultrasonido & Resistencia Minitabs	64
Ilustración 3.14: Superficie de Regresión Múltiple Minitabs (Vargas & Velasco, 2018)	64
Ilustración 3.15: Comparación de Emisiones de CO2.....	66
Ilustración 3.16: Extracción de agua al año en Ecuador	67
Ilustración 3.17: Niveles de Agua Empleada	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Equivalencia de los Tipos de Cemento y su Descripción.....	8
Tabla 1.2: Tipos de aditivos químicos.....	12
Tabla 1.3: Resumen de las propiedades físicas de los materiales en estudio.....	13
Tabla 2.1: Dosificación patrón.....	16
Tabla 2.2 Dosificación con 2,5% Nanosílice.....	17
Tabla 2.3: Dosificación con 5% Nanosílice.....	18
Tabla 2.4: N° 67 Límites de agregados gruesos.....	19
Tabla 2.5: Límites de agregados finos.....	19
Tabla 2.6: Mezcla de agregados.....	20
Tabla 2.7: Clasificación según la velocidad de pulso.....	35
Tabla 2.8 Mortero equivalente.....	36
Tabla 3.1: Resumen ensayo Holcim Heat (mm).....	42
Tabla 3.2: Humedades de Agregados.....	45
Tabla 3.3: Resumen de Resistencias (MPa).....	47
Tabla 3.4: Calidad del Concreto.....	50
Tabla 3.5: Ensayo de permeabilidad Torrent cubo patrón.....	51
Tabla 3.6: Ensayo de permeabilidad Torrent cubo 2,5%N1.....	51
Tabla 3.7: Ensayo de permeabilidad Torrent cubo 2,5%N2.....	52
Tabla 3.8: Ensayo de permeabilidad Torrent cubo 5%N.....	52
Tabla 3.9: Clasificación de Velocidad de Pulso.....	53
Tabla 3.10: Ensayo de ultrasonido cubo P.....	54
Tabla 3.11: Ensayo de ultrasonido cubo 2.5%N1.....	54
Tabla 3.12: Ensayo de ultrasonido cubo 2.5%N2.....	54
Tabla 3.13: Ensayo de ultrasonido cubo 5%N.....	54
Tabla 3.14: Datos de correlaciones entre variables múltiples.....	55
Tabla 3.15: Estadística Permeabilidad & Ultrasonido Minitabs.....	56
Tabla 3.16: Estadística Permeabilidad & Resistencia Minitabs.....	59
Tabla 3.17: Estadística Permeabilidad & Resistencia & Ultrasonido Minitabs.....	62
Tabla 3.18: Correlación Pearson Permeabilidad & Resistencia & Ultrasonido Minitabs.....	63

Tabla 3.19: Dosificación Óptima con 2,5% Nanosílice.....	65
Tabla 3.20: Cantidades de Agua Usada al Año	67
Tabla 5.1: Lista de precios de materiales	68
Tabla 5.2: Precios Unitarios de las dosificaciones realizadas.....	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 2.1 Ecuación para obtener humedades	21
Ec. 2.2 Ecuación de coeficiente de permeabilidad según Torrent.	29
Ec. 2.3 Modelo de Regresión Múltiple	41

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo el hormigón ha dejado de lado su papel como un simple elemento estructural para ser unos de los de mayor importancia, pudiendo hacer casi todo tipo de elementos gracias a las diferentes formas de encofrado y debido a su importante maleabilidad.

En la actualidad las diferentes necesidades en la industria de la construcción al requerir hormigón según sus especificaciones, ya sea para infraestructuras de grandes dimensiones, losas grandes o sistemas inteligentes, reservorios de agua y túneles, priorizan propiedades de hormigón endurecido como la resistencia y las deformaciones por carga; dejando de lado por momentos las propiedades de la permeabilidad y porosidad, las cuales son de gran importancia con relación a la durabilidad.

La durabilidad la identificamos en la Norma ecuatoriana como "Capacidad de soportar condiciones nocivas, que le permita cumplir con el tiempo de vida útil requerido en el proyecto. Para tal efecto, al diseñárselo, debe tomarse en consideración el uso y función que va a cumplir la estructura, el ataque de los agentes agresivos a los que puede estar expuesto, los efectos de fisuraciones producidos por variaciones exageradas de volumen y la resistencia a los efectos del intemperismo. No debe confundirse durabilidad con resistencia mecánica del hormigón" (INEN, 2001). Recalca que no la debemos confundir con la resistencia mecánica. Mientras que la permeabilidad en el hormigón se refiere a la capacidad para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna, en presencia de un gradiente.

Existen muchos problemas de durabilidad con respecto a las estructuras de hormigón, que son asociados a la abrasión, corrosión de armaduras y despasivación; debido a la relación directa con la capacidad de ingresar agentes agresivos en el interior del hormigón. Se intenta corregir estos problemas

mediante la inclusión de aditivos y mejoras en el proceso de elaboración del hormigón.

Constantemente se hacen investigaciones de aditivos para mejorar las propiedades del hormigón y aumentar su durabilidad.

La nanotecnología ha demostrado ser de gran utilidad en varios campos como la medicina, la tecnología e incluyendo el campo de la construcción en donde se aplica las nanopartículas de sílice. Estas partículas nos brindan mejoras en las diferentes propiedades del hormigón priorizando la impermeabilidad y la resistencia. (Romero, 2012)

1.1 Descripción del problema

Ante la búsqueda de mejorar las propiedades de impermeabilidad y resistencia del hormigón con la ayuda de aditivos; se analiza el uso de la nanosílice dentro de la dosificación del hormigón; que es un producto mejorado a base de sílica coloidal en conjunto con la nanotecnología.

Debido a la escasa información del desempeño de este aditivo en el hormigón, se necesita realizar estudios enfocados a la impermeabilidad, resistencia y trabajabilidad de este a diferentes proporciones incluidas en la dosificación del hormigón para poder evidenciar si su utilización beneficia a obras donde se requieran en mayor escala las propiedades antes mencionadas.

1.2 Justificación del problema

A pesar de existir varios dispositivos a nivel mundial para hacer los ensayos, encontrar la permeabilidad del hormigón es aún una tarea de complejidad especial. Encontrar estos equipos en los laboratorios de hormigón es algo poco común debido a la escasa información normada por los entes reguladores. La Norma Ecuatoriana de la Construcción menciona en su capítulo de “Hormigón Armado” (NEC, 2014), ciertos requisitos para un hormigón, en contacto con el agua y con baja permeabilidad clasificado como P1, nos dicen que tenga una relación a/c máxima de 0,5 y una resistencia mínima de 28 MPa; dejando de lado requisitos directos de permeabilidad.

Este ejemplo es la designación “ASTM C 94/C 94M – 03^a”, en la cual se enlistan los requerimientos para la fabricación de hormigón premezclado y varios ensayos en los cuales no aparece ni detalla algún ensayo directo para encontrar la permeabilidad. (ASTM C94, 2003)

Otro ejemplo claro se puede citar en la norma “ACI 318S-14” en donde se explica el reglamento necesario para el uso del hormigón en un concreto estructural, no se aprecia la aparición de la permeabilidad como requisito. (ACI 318, 2014)

La normativa “ACI 350” nos habla sobre las estructuras sanitarias de concreto en el cual se mencionan la necesidad de la impermeabilidad para retener líquidos en los reservorios; siendo las recomendaciones hormigones de excelente calidad buena resistencia y compactación, así como una correcta colocación, ausentando alguna normativa para la permeabilidad. Incluso, en el capítulo 4.7 “PRUEBA DE FUGAS”, se determina la impermeabilidad por medio de volumen de agua expuesto al ambiente y la aparición de fugas con el tiempo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Analizar la permeabilidad de un hormigón con adición plastificante y nanosílice para la evaluación de sus beneficios y efectos en el hormigón fresco y endurecido.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las diferentes propiedades del hormigón con nanosílice en estado fresco y después del fraguado para la obtención de datos estadísticos.
- Generar morteros equivalentes de las diferentes dosificaciones para la observación de un comportamiento previo del fraguado y asentamiento.
- Crear un hormigón patrón sin nanosílice para la respectiva comparación con las demás dosificaciones.
- Hacer una correlación de propiedades con las variables obtenidas para observar un comportamiento en conjunto
- Elaborar una dosificación óptima de nanosílice para el uso en la construcción.

1.4 Marco teórico

El concreto se obtiene de la mezcla proveniente de cemento Portland o cualquier otro tipo de cemento hidráulico, agregado fino (arena), agregado grueso (grava) y agua, con o sin aditivos (ACI 318, 2014).

El cemento Portland ordinario (OPC), aporta excelentes propiedades mecánicas en la producción de concreto cuando este se encuentra en estado endurecido; por esto se considera como uno de los materiales para la construcción más empleados en el concreto.

El desempeño del concreto dependerá del tipo, cantidad y calidad de los materiales que la componen. La vida útil del hormigón se ve comprometida al momento de elaborarlo con cierta condición atmosférica o bajo algún tipo de

exposición. Es importante el requisito de baja permeabilidad del concreto cuando: se construyen estructuras en áreas costeras o que su función sea almacenar líquidos, si las cimentaciones se encuentran por debajo del nivel del agua, la evaporación y la capilaridad producen en el concreto saturación y cristalización provocando un ataque sobre el concreto como el aumento de corrosión del acero estructural.

1.4.1 Hormigón de Alta Resistencia

Según American Concrete Institute (ACI), los hormigones de alta resistencia cumplen con requisitos de uniformidad y combinación de un desempeño especial que no puede ser obtenida usando solamente los componentes de uso tradicional y las prácticas normales de mezcla, colocación y curado. Estos hormigones poseen una resistencia de compresión simple f'_c mayor o igual a 6000psi (42MPa) (ACI 211, 1997).

Bajo controles estrictos de calidad de los materiales del concreto se puede determinar si adecuadamente cumple los requerimientos para ser de alta resistencia, tales como: trabajabilidad, asentamiento, desarrollo de la curva de resistencia a la compresión simple y durabilidad.

Las consideraciones para la resistencia de los hormigones se deben a distintos factores tales como el tipo de materiales y su dosificación. Los agregados (la granulometría, forma, resistencia y rigidez de las partículas), el conocer el tipo cemento y sus características, la relación agua/cemento, aditivos a emplear, el curado del hormigón y los factores ambientales.

1.4.2 Componentes del Hormigón

1.4.2.1 Cemento

Se define como cemento hidráulico al cemento que fragua y endurece por reacción química con agua y es capaz de hacerlo aún bajo el agua. En cambio, al cemento portland se lo establece como un cemento hidráulico y es considerado el elemento más importante del hormigón compuesto por la pulverización del clínker, el cual consiste en silicato de calcio, y que este contiene uno o más de los siguientes elementos: sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso que se introduce para ayudar en la fabricación o manejo del cemento (NTE INEN 151, 2010).

Se considera como un material calcáreo, proveniente de la calcinación de la piedra cal y la arcilla, con agregados especiales como el yeso que luego de pasar por un proceso industrializado (tritadoras, mezcladores de pasta, hornos, molinos y empacadoras) es vendido en sacos de 50 kilos o al granel depositados en silos. El cemento es un material que al entrar en contacto con el agua reacciona químicamente adquiriendo propiedades de adherencia y cohesión; formando una pasta plástica que fragua y endurece hasta tener una consistencia semejante a la roca. Las características y requisitos que deben cumplir los cementos portland se establecen en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 152.

1.4.2.1.1 Composición Química del Cemento

Está compuesto de 50% de silicato tricálcico (SC3), 25% de silicato dicálcico (SC2), 10% de Aluminato tricálcico (AC3), 10% de ferroaluminato (AFC4) y 5% de otros óxidos. Se presenta un resumen de sus respectivas funciones.

1. **SC2: (Silicato dicálcico)** Responsable de resistencias a largos plazos.
2. **SC3: (Silicato Tricálcico)** Provee resistencias a corto plazo o edades tempranas.

3. AC3: (Aluminato Tricálcico) Acelera el endurecimiento en las primeras horas y actúa como fundente en menor proporción en la elaboración del Clinker.

4. AFC4: (Ferroaluminato Tetracálcico) Es el responsable del color gris en el cemento y actúa como fundente en la elaboración del Clinker (Terreros, 2013).

1.4.2.1.2 Clasificación del Cemento

Para establecer los requisitos de los cementos, la norma NTE INEN 152 – equivalente a la ASTM C150 – muestra los Cementos Portland Tipos I, II, III, IV y V. Sin embargo, la producción de estos cementos genera más CO₂ en comparación de los cementos con adiciones de puzolana establecidos en la norma NTE INEN 490, equivalente a la ASTM C595, en la cual se implementan conceptos de durabilidad.

Finalmente encontramos la norma actual NTE INEN 2380 - ASTM C1157 que a diferencia de las anteriores la condición prioritaria es el desempeño del cemento hidráulico en el hormigón. A continuación, se muestra una tabla resumen con una breve descripción de los diferentes tipos de cemento y la equivalencia entre los cementos portland y los cementos hidráulicos por su desempeño.

Tabla 1.1: Equivalencia de los Tipos de Cemento y su Descripción

Cementos Hidráulicos por Desempeño	Descripción del tipo de Cemento	Cementos Portland
GU	Uso General	Tipo I
HE	Alta Resistencia Inicial	Tipo III
HS	Alta Resistencia a los Sulfatos	Tipo V
MS	Moderada Resistencia a los Sulfatos	Tipo II
MH	Moderado Calor de Hidratación	Tipo IV
LH	Bajo Calor de Hidratación	Tipo II

Fuente: NTE INEN 2380, 2011

Para la obtención de elevadas resistencias varias empresas de la ciudad de Guayaquil elaboran sus concretos con cemento tipo HE, debido a sus propiedades y los requerimientos en las obras civiles. En base a la norma NTE INEN 2380, este tipo de cemento colabora con el medio ambiente debido a que su producción genera menor cantidad de CO₂, evitando así la generación de gases de efecto invernadero, con un enfoque destinado a los modernos conceptos de durabilidad.

1.4.2.2 Áridos

Según ACI 318 (2014) a los áridos los define como material granular, tal como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero. Los áridos constituyen el 60 – 80 % del volumen normal del hormigón y son responsables de gran parte de su resistencia.

Las propiedades físicas y químicas de los áridos tienen impacto en las propiedades del hormigón, según la NEC SE HM, (2005) el árido fino y grueso para hormigón debe ser limpio, duro, sano y durable, con una distribución

granulométrica que se mantenga razonablemente uniforme durante toda la producción.

Las reacciones entre la pasta de cemento y el agregado pueden mejorar o dañar el vínculo entre los dos y, en consecuencia, la calidad del hormigón. En la norma NTE INEN 872 - ASTM C33 se establecen los ensayos y requisitos que debe cumplir el árido para su aceptación.

1.4.2.2.1 Agregado Fino

Es un agregado que cumple con los requisitos de la ASTM C330M y que tiene una densidad cuando está suelto y seco de 1120 kg/m³ o menos, determinado según la ASTM C29 (ACI 318, 2014).

Los agregados finos deben consistir en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas. Según su granulometría, se define como el agregado pasante por el tamiz 9.51mm (3/8pulg.) y que pasa en un 90-95 % por el tamiz 4.76mm (N.4) y que es retenido en un 2-10% en el tamiz N.100 cumpliendo con la norma ASTM C33, (2002).

La forma y aspectos físicos afectan al momento de realizar la mezcla, debido a su capacidad de absorción de agua o su contenido de humedad que determinarán la trabajabilidad del hormigón siendo estos maleables o muy secos.

Al realizar la dosificación del hormigón, el agregado fino debe estar libre de impurezas orgánicas en cantidades perjudiciales y su módulo de finura no debe variar en más del 0.20 del valor asumido a menos que se haga ajustes en las proporciones del hormigón para compensar la diferencia. El ACI recomienda que el modelo de finura este dentro del rango de 2.50 hasta 3.10

para evitar el uso de una mayor cantidad de agua y que este afecte a la resistencia del hormigón.

1.4.2.2.2 Agregado Grueso

El agregado grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de altos hornos enfriada al aire u hormigón de cemento hidráulico triturado, o una combinación de estos según la norma NTE INEN 872.

La norma ASTM C125 (2003) define al agregado grueso como el agregado retenido en el tamiz N.4 (4.75mm) se compondrán de partículas o fragmentos resistentes y duros, bien graduados según la norma ASTM C136 (1996), libres de material vegetativo y de partículas alargadas, así como de material mineral cubierto de arcilla u otro material que quite la homogeneidad de este.

Al ocupar casi las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total del hormigón, su selección conlleva a ser de especial cuidado ya que desempeña un papel importante en la dosificación, resistencia y propiedades físicas del hormigón. Según el ACI 211 4R-98, el agregado grueso de menor tamaño es más duro, resistente y recomendado para hormigones de alta resistencia, estos podrían ser de $\frac{1}{2}$ o $\frac{3}{8}$ de pulgada, que bien podría ser la piedra caliza.

1.4.2.3 Agua

El agua juega un papel de vital importancia, sus dos funciones son la hidratación del hormigón y su trabajabilidad, de acuerdo con ACI 318 (2014). Su uso excesivo y la calidad en la que se encuentre harán que el desempeño en fraguado, endurecimiento y resistencia del hormigón se vean afectados; es por esta razón que el agua se encuentre limpia y libre de material orgánico, alcaloides, ácido y aceite.

El agua potable y casi cualquier agua natural que se pueda beber y que no tenga sabor u olor marcado, se pueden utilizar en la elaboración del hormigón si este cumple con las disposiciones de la norma ASTM C 1602. Según la NEC SE HM, (2005) no serán utilizadas en la preparación de un hormigón, aguas servidas, aguas de desechos industriales, aguas blandas o de deshielo de montañas, aguas con elevadas concentraciones de sólidos disueltos o en suspensión. No se debe utilizar agua salada o de mar.

La disminución de la relación agua/materiales cementantes son muy importante para obtener la mayor resistencia mecánica posible; así también el curado que se realice al hormigón durante o después del fraguado debe cumplir con lo antes mencionado.

1.4.2.4 Aditivos Químicos

Según Harmsen, (2002), los aditivos del hormigón son líquidos o polvos que se añaden al hormigón en pequeñas cantidades, con el objetivo de mejorar las propiedades de manera química o física en los hormigones.

Los aditivos para el hormigón son el claro ejemplo de un trabajo en equipo, entre la química y la ingeniería de materiales en busca de un mismo objetivo, ya que, como se mencionó, para establecer su identidad se necesita aplicar como base el conocimiento científico de la química, que se encarga de puntualizar la mezcla exacta de ingredientes para fabricar el aditivo, sin dejar de lado la compatibilidad con los componentes que reaccionarán con la pasta de cemento, generando propiedades especiales en la mezcla de hormigón (Cadena, 2017).

Las normas donde se puede encontrar las especificaciones de estos productos químicos son ASTM C494, ASTM C1017, entre las más conocidas. De acuerdo con la norma ASTM C494, (2004) los aditivos químicos están clasificados de la siguiente manera:

Tabla 1.2: Tipos de aditivos químicos

Tipo	Descripción
A	Reductor de agua
B	Retardador de fraguado
C	Acelerante
D	Reductor de agua y retardador de fraguado
E	Reductor de agua y acelerante
F	Reductor de agua de alto rango
G	Reductor de agua de alto rango y retardador
S	Comportamiento específico

Fuente: ASTM C494, 2004

Los aditivos químicos principales utilizados son los siguientes:

Los aditivos plastificantes

Son conocidos como fluidificantes o reductores de agua y sirven para lograr hormigones más trabajables y plásticos. Permiten reducir la cantidad de agua en la mezcla.

Los aditivos retardantes

Como su nombre lo indica, desaceleran la velocidad de fraguado, por lo tanto, son ideales para el uso en obras grandes donde es necesario mantener el hormigón trabajable.

1.4.2.5 Nanosílice

Son nanopartículas de SiO₂ insolubles en el agua que acelera la velocidad de hidratación en las propiedades del hormigón debido a su reactividad superficial y su carácter puzolánico. Para poder facilitar su transporte y trabajabilidad se comercializa en forma líquida mezclada con otros compuestos. La tabla 1.3 se muestra las propiedades de la nanosílice.

Tabla 1.3: Resumen de las propiedades físicas de los materiales en estudio

Características entre cemento y nanosílice				
Material	Densidad (Kg/m³)	Tamaño de las partículas (nm)	Superficie Específica (m²/g)	Apariencia
CEMENTO	1500	50.000	-	Polvo seco
NANOSÍLICE	1215	3-150	20-1000	Líquido

Fuente: Pérez Bahamonde, 2008

El uso de la nanosílice conlleva a que exista un incremento de agua en la mezcla por la disminución de su trabajabilidad al existir mayor fricción que se genera entre las partículas.

Este aditivo atribuye la reducción de la porosidad favoreciendo a la impermeabilidad del hormigón, a un incremento de la resistencia a la compresión volviendo las texturas de las muestras más densas y compactas debido a que las nanopartículas rellenan los poros. Se debe tener cuidado al incrementar el porcentaje de adición de la nanosílice ya que este incrementa el calor de hidratación de la mezcla como consecuencia del grado de finura de las nanopartículas (J. Tobón, 2006).

Byung-Wan Jo (2006) concluyó que al aumentar la adición de nanosílice se incrementa también la demanda de agua y superplastificante, esto es confirmado por quienes señalan que cuando el contenido de nanopartículas es grande (3%) la trabajabilidad del concreto es mala y el número de microfisuras se incrementa, lo cual se traduce en un descenso de la resistencia del concreto (Li & Xiao, 2004).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Programa Experimental

Para el siguiente trabajo de investigación se usó una dosificación típica para hormigones impermeables en estructuras en donde exista un gradiente (reservorios de agua), variando las cantidades de plastificante, nanosílice y la cantidad de agua. Manteniendo en todas las variaciones la relación agua/cemento, la cantidad de agregados y estableciendo una mezcla patrón como guía.

En base a la dosificación se generó un mortero equivalente para una medición previa del fraguado y el asentamiento. Haciendo una muestra representativa de la dosificación por m³, se pudo hacer los ensayos de hormigón en estado fresco como porcentaje de aire incluido, asentamiento y densidad. Luego se pudo hacer los ensayos de hormigón endurecido como resistencia, revenimiento, permeabilidad al aire y ultrasonido.

Estos ensayos fueron realizados en las instalaciones del Centro de Innovación HOLCIM, con la ayuda de los doctores e ingenieros presentes para asegurar el correcto procedimiento del trabajo.

1. Obtención de aditivos plastificante y nanosílice.
2. Análisis de humedades de agregados.
3. Dosificación de hormigón y mortero equivalente.
4. Elaboración de mortero equivalente y ensayos.
5. Elaboración de muestra hormigón y ensayos en estado fresco.
6. Ensayos de hormigón en estado endurecido.
7. Correlación múltiple de variables.

2.2 Método de Dosificación ACI 211.1

Esta norma describe los métodos para aproximación de dosificaciones que son verificadas en el laboratorio. Estas proporciones conllevan un equilibrio entre economía y requisitos de propiedades mecánicas. Para trabajar con esta norma es necesario conocer ciertos valores iniciales que condicionan las estructuras, los materiales o mezclas parecidas. Comprobando que los agregados, agua, cemento y aditivos cumplan con las respectivas normas. (ACI 211, 1997)

Un valor inicial por conocer es el revenimiento o trabajabilidad de la mezcla, teniendo en cuenta el tipo de compactación, la consistencia, fluidez y el tipo de estructura en donde se va a usar. Otro valor inicial muy importante es la resistencia requerida a los 28 días, para la estructura y el número de ensayos a practicar. El tamaño máximo del agregado a usar en las dosificaciones según las condiciones de la estructura a usar y el contenido de aire.

Siguiendo con la cantidad de agua que tendrá la mezcla para alcanzar el equilibrio justo entre excelente resistencia y economía. Esto nos ayudará a encontrar la relación a/c (agua/cemento), que a su vez nos enseñará la cantidad de cemento necesario. Finalmente, la cantidad de agregados finos y gruesos y se procede a generar una corrección con respecto al volumen que se desea.

2.1.1 Dosificación de trabajo.

Se decidió trabajar con una dosificación de 350 kg/cm² de resistencia a 28 días usando cemento Holcim HE, con un revenimiento de 15 cm, con adición de 0,9% de plastificante con respecto a la cantidad de cemento y adición de 0,8% de retardante con respecto a la cantidad de cemento.



Ilustración 2.1: Moldes y especímenes usados

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Obteniendo una dosificación patrón como nos enseña la tabla 2.1. De esta mezcla se preparan 35 lt para poder obtener 10 cilindros de 10x20 cm para medir la resistencia a compresión, 2 vigas para medir la retracción del hormigón al aire y al agua, 1 cubo de 15x15 cm para poder hacer los ensayos de permeabilidad y ultrasonido del hormigón. (Anexo E)

Tabla 2.1: Dosificación patrón

Materiales		Kg
Cemento	HE Holcim	415
Piedra 1	19mm	559
Piedra 2	12,5mm	314
Arena1	ar río	570
Arena2	ar triturada	301
Agua		180
Aditivos	%	Kg
Retardante	0,80%	3,32
Plastificante	0,90%	3,74
Nanoslice	0	0

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

La dosificación mostrada en la tabla 2.1 enseña la cantidad en kilogramos para obtener un m³ de hormigón. La relación a/c deseada es de 0,44 para alcanzar la resistencia requerida. El agregado máximo por usar es de 19 mm mezclado con un agregado de 12,5 mm. El agregado fino seleccionado es la unión entre arena de río y arena triturada para en conjunto trabajar con un módulo de finura adecuado.

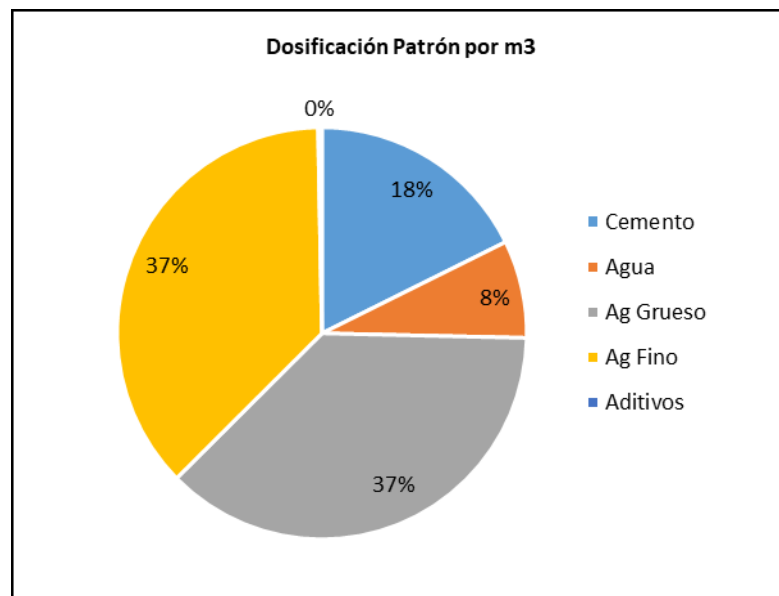


Ilustración 2.2: Dosificación patrón

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

En la mezcla se logra una proporción de 75% del hormigón entre agregado fino y grueso siendo 37% para cada tipo de agregado. Se obtiene una relación de 8% de agua y 18% de cemento. Quedando un pequeño porcentaje para los aditivos.

Tabla 2.2 Dosificación con 2,5% Nanosílice

Materiales		Kg
Cemento	HE Holcim	415
Piedra 1	19mm	559
Piedra 2	12,5mm	314
Arena1	ar río	571
Arena2	ar triturada	302
Agua		170

Aditivos	%	Kg
Retardante	0,80%	3,32
Plastificante	1,10%	4,57
Nanosílice	2.5%	10,38

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

En la tabla 2.2 se muestra la dosificación similar al patrón con la diferencia de la adición de nanosílice y repitiendo la mezcla con 0,2% más de plastificante para lograr alcanzar el revenimiento deseado.

Tabla 2.3: Dosificación con 5% Nanosílice

Materiales		Kg
Cemento	HE Holcim	415
Piedra 1	19mm	559
Piedra 2	12,5mm	314
Arena1	ar río	566
Arena2	ar triturada	299
Agua		165
Aditivos	%	Kg
Retardante	0,80%	3,32
Plastificante	0,90%	3,74
Nanosílice	5,00%	20,75

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

En la tabla 2.3 se observa la dosificación con adición de 5% de nanosílice manteniendo 0,9% de plastificante corregidos en el ensayo anterior.



Ilustración 2.3: Análisis de consistencia del hormigón

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

2.3 Análisis de agregados.

2.3.1 Agregado Grueso

Tabla 2.4: N° 67 Límites de agregados gruesos

Número de Tamaño	Tamaño nominal (mallas con aberturas)	Cantidades menores que pasan cada malla de laboratorio (aberturas cuadradas) , por ciento en peso												
		100 mm (4pulg)	90 mm (3.5pulg)	75mm (3pulg)	63mm (2.5pulg)	50mm (2pulg)	37.5mm (1.5pulg)	25mm (1pulg)	19mm (3/4pulg)	12.5mm (1/2pulg)	9.5mm (3/8pulg)	4.75mm (No.4)	2.36mm (No.8)	1.18mm (No.16)
1	90 a 37.5	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	63 a 37.5			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	50 a 25				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	50 a 4.75				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	37.5 a 19					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
46	37.5 a 4.75					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	25 a 12.5						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	25 a 9.5						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	25 a 4.75						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	19 a 9.5							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	19 a 4.75							100	90 a 100		25 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	12.5 a 4.75								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	9.5 a 2.36									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: ASTM C33, 2002

En la tabla 2.4 podemos ver los límites establecidos para el trabajo de los agregados gruesos según la diferente numeración.

2.3.2 Agregado Fino

Tabla 2.5: Límites de agregados finos

Tamaño de Malla	Porcentaje Pasante
9,52mm(3/8")	100
4,75mm(No.4)	95 a 100
2,36mm(No8)	80 a 100
1,18mm(No.16)	50 a 85
0,6mm(No.30)	25 a 60
0,3mm(No.50)	10 a 30
0,15mm(No.100)	2 a 10

Fuente: ASTM C33, 2002

Los límites encontrados en la tabla nos permiten identificar los agregados finos correctos para trabajar en el hormigón. Límites aparentemente amplios que nos sugieren a la par trabajar con módulo de finura que no sea inferior a 2,3 y superior a 3,1.

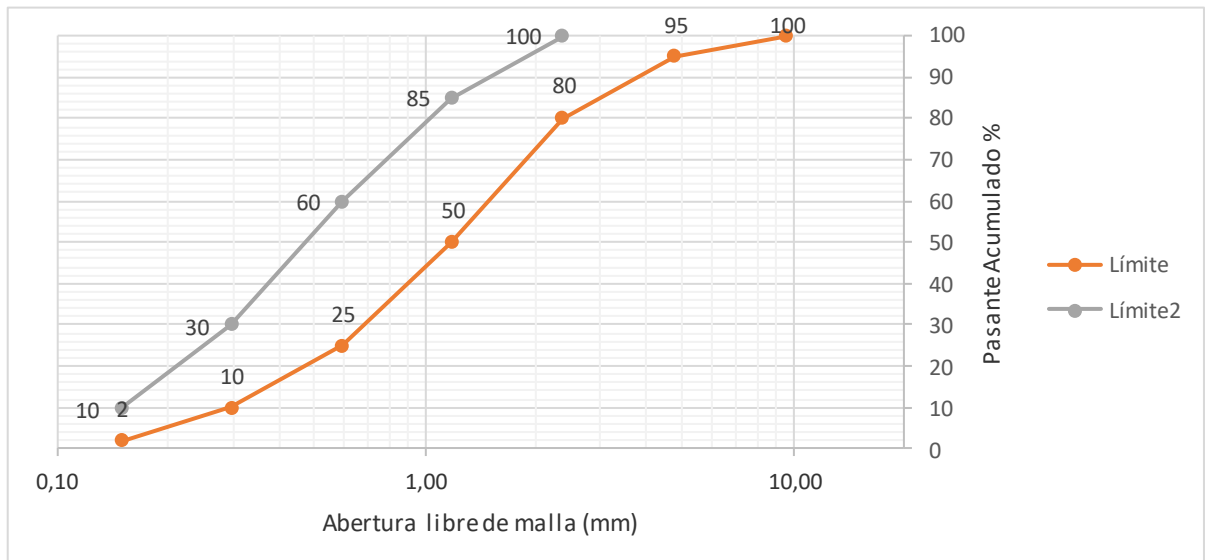


Ilustración 2.4: Límites de agregado fino (ASTM C33, 2002)

Fuente: ASTM C33, 2002

2.3.3 Mezcla de Agregados

La tabla 2.6 nos muestra la mezcla de agregados para conseguir un módulo de finura de agregado global óptimo y evitar discontinuidades en el hormigón. Esto evita la segregación de agregados y una correcta trabajabilidad.

Tabla 2.6: Mezcla de agregados

Tamices	Mat Nº 1 32,0%	Mat Nº 2 18,0%	Mat Nº 3 33,0%	Mat Nº 4 17,0%	Total
3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2 1/2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1 1/2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3/4	94,0	100,0	100,0	100,0	98,1
1/2	60,0	92,0	100,0	100,0	85,8
3/8	23,0	62,0	100,0	100,0	68,5

#4	1,0	0,3	2,0	0,4	95,0	31,4	98,0	16,7	48,7
#8	1,0	0,3	0,0	0,0	78,0	25,7	88,0	15,0	41,0
#16	0,0	0,0	0,0	0,0	54,0	17,8	76,0	12,9	30,7
#30	0,0	0,0	0,0	0,0	27,0	8,9	56,0	9,5	18,4
#50	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	4,0	24,0	4,1	8,0
#100	0,0	0,0	3,0	0,5	4,0	1,3	8,0	1,4	3,2
#200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mod finura	6,8	2,2	6,3	1,1	3,3	1,1	2,5	0,4	4,8

Fuente: HOLCIM, 2016

El Anexo C nos muestra la gráfica global de agregados.

Mediante estas ecuaciones vemos el porcentaje de uso de cada agregado.

(x_1, x_2) MF Arena + (y_1, y_2) MF Piedra = #

$$x_1 + x_2 + y_1 + y_2 = 1\% \quad (a)$$

(ASTM C596, 2018)

2.3.4 Humedades

Este ensayo nos permite medir la cantidad de agua que tiene una muestra de agregado fino, con respecto al peso seco. Se lo hace antes de generar la mezcla de hormigón, para poder tener las cantidades de agua reales y no varíe la relación a/c de la mezcla. (ASTM C566, 2004)

$$W = \frac{(PR+Ah)-(PR+As)}{(PR+As)-PR} * 100$$

Ec. 2.1 Ecuación para obtener humedades

PR: Peso de recipiente

Ah: Arena húmeda

As: Arena seca

Se selecciona, previo a la mezcla de hormigón, una muestra representativa de arena. Esta muestra se pesa y se la pone en el horno para proceder con el secado. Al sacar la muestra, se pesa nuevamente para obtener el peso seco y luego desechar la muestra y pesar el recipiente.



Ilustración 2.5: Peso de muestra de agregado grueso

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

2.4 Ensayos en estado fresco.

2.4.1 Contenido de aire.

Es un método para medir el cambio de volumen de un hormigón recién mezclado, bajo diferencias de presión. Este ensayo no se aplica a hormigones con densidades menores a 2000 kg/m³ o con agregados de alta porosidad. Se aplica a hormigones que tengan 37 mm como tamaño máximo de partícula.

En el caso de tener un asentamiento entre 15 mm y 25 mm se necesita vibrar la mezcla, caso contrario se varilla. El equipo cuenta con un recipiente cilíndrico hermético de 6 lt, con una tapa que contiene un manómetro y válvulas para la cámara de aire. La varilla compactadora debe medir entre 400 a 600 mm con punta redondeada de 16 mm. (ASTM C231, 2014)



Ilustración 2.6: Olla de presión para contenido de aire

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

2.4.2 Revenimiento.

Este ensayo es válido para medir el revenimiento, del hormigón en estado fresco, en obra y en laboratorio. Este ensayo sirve como referencia de la consistencia de la mezcla y su plasticidad por medio del equipo cono de Abrams normado por la "ASTM C143". (ASTM C143, 2012)



Ilustración 2.7: Lectura de asentamiento del hormigón

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Este ensayo sirve para revenimientos mínimo de 1,5 cm y un revenimiento máximo de 23 cm. Se lo usa para hormigones que contengan 37 mm máximo como tamaño de partícula o en el caso de existir una mayor, se procede a realizar un tamizado húmedo.



Ilustración 2.8: Cono de Abrams

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Los moldes del equipo deben ser metálicos o plásticos con 300 mm de altura, 200 mm de base inferior, 100 de base superior y la varilla lisa con longitud de 400 a 600 mm debe tener la punta semiesférica. Y recordar que los resultados no deben variar más de 15 mm en ensayos individuales.

El cono debe ser llenado en 3 partes iguales variando la altura debido al cono truncado, y se apisona 25 veces con la varilla inclinada ligeramente. La tercera capa se la llena con un excedente. Se enrasa la superficie con la varilla de apisonamiento, apoyada sobre el borde del cono.



Ilustración 2.9: Llenado de capas del cono de Abrams

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Una vez concluido el procedimiento anterior se procede a levantar el cono y se mide entre la parte superior del cono y el centro original desplazado.

2.5 Ensayos en estado endurecido.

2.5.1 Resistencia a Compresión.

Este ensayo se usa para determinar la resistencia a compresión del hormigón diseñado, por medio de la elaboración de cilindros moldeados de concretos y curados. Se aplicará una carga axial, que hará compresión en el cilindro hasta antes de que la falla ocurra. Para obtener el esfuerzo se divide la carga aplicada, para el área de la sección transversal del cilindro. Para lograr una compresión uniforme se utilizan almohadillas de neopreno que distribuirán la carga de mejor manera.

Los cilindros usados pueden tener medidas de 100x200 mm o de 150x300 mm según sea necesario. El diámetro del cilindro a usar debe medir al menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado.



Ilustración 2.10: Rotura de cilindro a compresión

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

La razón de carga debe mantenerse en el rango de entre 0.15 MPa/s y 0.35 MPa/s. Los resultados se usan para el control de calidad de la mezcla elaborada y la colocación. Controlando también la acción de los aditivos usados. Para que sea un resultado válido, este debe ser el promedio de al menos dos cilindros curados de manera convencional y a la misma edad.

Los ensayos deben ser realizados dentro del tiempo de tolerancia establecido:

24 horas= ± 0.5 horas

3 días = ± 2 horas

7 días= ± 6 horas

28 días = ± 20 horas

90 días = ± 2 días (ASTM C39, 2018)



Ilustración 2.11: Cilindros después de fallar a la compresión

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

2.5.2 Retracción.

Este equipo se utiliza para encontrar la reducción de distancia en el hormigón hidráulico, cuando este se pone a secar. Esta disminución en la distancia se produce por cualquier agente distinto de las fuerzas aplicadas externamente. Estos agentes pueden ser temperatura, humedad relativa y evaporación. (ASTM C596, 2018)

Para elaborar las viguetas, se coloca el hormigón en dos capas iguales varillando y compactándola en la mesa vibradora luego de la primera capa. Una vez puestas las dos, se alisa la cara superior con una llana y se finaliza con pequeños golpes.



Ilustración 2.12: Instrumento de medición de retracción

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Se elaboran dos viguetas con topes en sus extremos, las cuales tendrán un ambiente diferente de fraguado. Una será expuesta al ambiente y otra será curada por un lapso en la piscina de curado.

En este ensayo se calcula el cambio de longitud por cada vigueta secada al aire y se resta la lectura del comparador de la vigueta secada en el agua. Al desmoldar las viguetas, estas se deben marcar y se miden con el comparador. Estos valores se anotan en milímetros.

Los resultados de retracciones no deben ser mayores a más menos 0,1% de la lectura inicial.



Ilustración 2.13: Lectura de viga expuesta al aire (izquierda) Lectura de viga curada en Agua (derecha)

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

2.5.3 Permeabilidad. Ensayo de Torrent.

Uno de los factores más importantes a la hora de medir la durabilidad de las diferentes estructuras de hormigón es la permeabilidad superficial de este. Lo cual es posible medir en laboratorio o también in situ gracias al ensayo de Torrent. Este equipo se desarrolló en base a investigaciones que coinciden con pruebas como permeabilidad de oxígeno succión capilar y penetración de cloruros. (TORRENT, 1997)

$$kT = \left(\frac{V_c}{A}\right)^2 \cdot \frac{\mu}{2\varepsilon P_2} \cdot \left[\frac{\ln\left(\frac{P_a + P \cdot P_a + P_0}{P_a - P \cdot P_a - P_0}\right)}{\sqrt{t} - \sqrt{t_0}} \right]^2$$

Ec. 2.2 Ecuación de coeficiente de permeabilidad según Torrent.

kT= coeficiente de permeabilidad al aire(m²)

μ=viscosidad dinámica del aire (N-sg/m²)

V_c= capacidad de la cámara central

ε=porosidad vacía del hormigón (m³/m³)

A_c=sección del cilindro por el que el aire fluye dentro de cámara central

t=tiempo(sg)

P_a=presión atmosférica (N/m²)

P=presión en la cámara central (N/m²)



Ilustración 2.14: Instrumento de ensayo de Torrent

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Este ensayo tiene una célula con dos anillos de sellado que contienen dos cámaras en las cuales se genera vacío, por medio de una bomba de vacío comercial conectada a un tablero en donde se encuentra un regulador de presión, además de dos válvulas que se deben manipular en el ensayo. El regulador y la célula aseguran que el aire fluya de manera perpendicular a la superficie eliminando el flujo exterior para una correcta medición.



Ilustración 2.15: Descripción del ensayo de Torrent

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Los resultados se exportan automáticamente en una pantalla que nos indica el tiempo de ensayo en segundos, la presión de la cámara interior, dado en mbar, el resultado “kT” expresado en m² y la profundidad “L” de vacío en mm.



Ilustración 2.16: Instalación del equipo de Torrent

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Para iniciar con el procedimiento se pone a secar el cubo generado en la mezcla, a los 28 días de curado en la piscina y se debe limpiar todas las caras del cubo para evitar residuos de material suelto.

Se instala el equipo conectando la manguera de la placa a la bomba de vacío y se abren las dos válvulas de la placa; se enciende el microprocesador y se lo conecta con la placa reguladora por medio del cable. Una vez instalado todo el equipo se procede a colocar la célula en una de las caras del cubo previamente seleccionada, luego se sigue la secuencia establecida en la pantalla del microprocesador.

Este procedimiento de las válvulas dura un tiempo de 60 sg luego del cuál el equipo trabajará automáticamente hasta alcanzar los 20 mbar o hasta llegar a los 720 sg de proceso. Terminando, el equipo emitirá un pequeño sonido mostrando los resultados obtenidos y se repite en las caras que se desean medir la permeabilidad al aire.

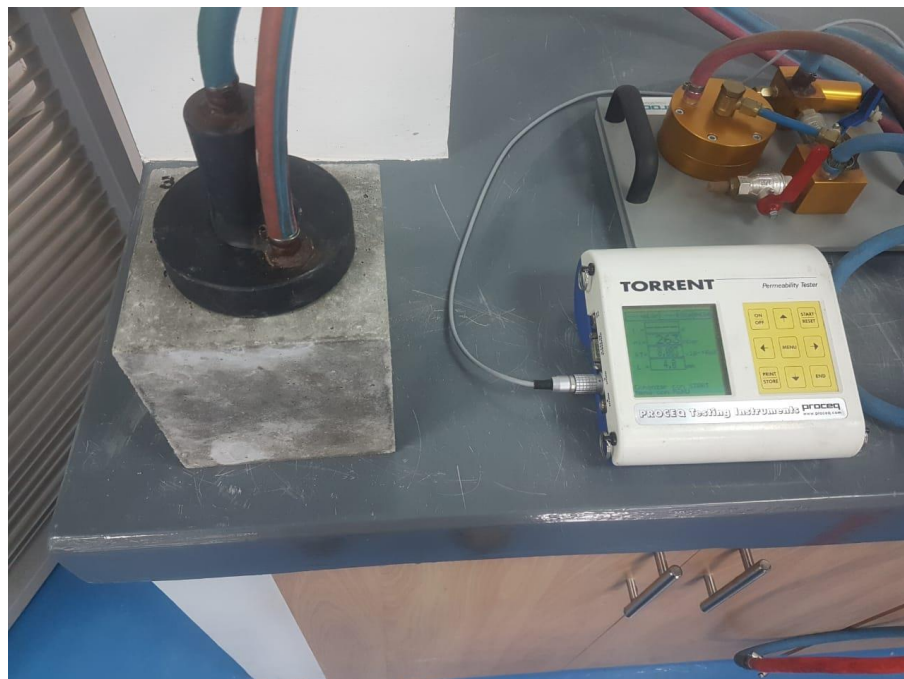


Ilustración 2.17: Obtención de datos del ensayo de Torrent

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Si el hormigón está en condiciones húmedas se puede usar el nomograma de la Ilustración 2.18, ingresando mediante la resistividad eléctrica. Esto corregirá el hecho de que la lectura en el procesador salga como muy buena o diferente a lo regular.

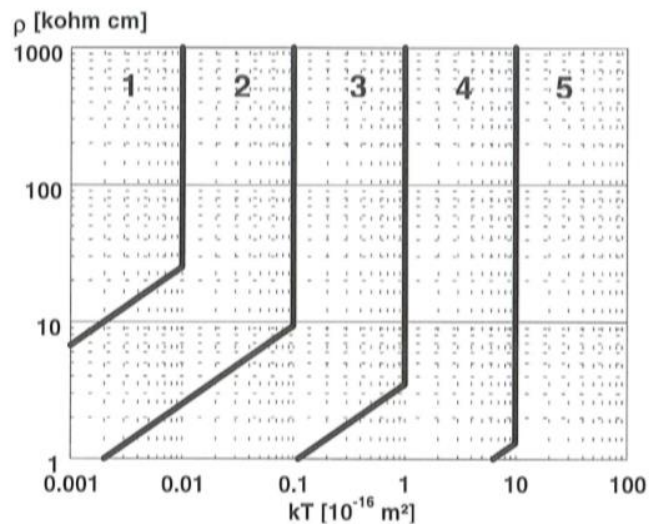


Ilustración 2.18: Nomograma de resistividad eléctrica

Fuente: Torrent, 1997

2.5.4 Ultrasonido.

Este ensayo se usa para medir las velocidades de pulso de las ondas. Las constantes elásticas ultrasónicas son calculadas por la velocidad de onda y la densidad aparente. Puede usarse en diferentes disposiciones.

Las longitudes mínimas de recorrido en un hormigón con tamaño máximo de agregado de 20 mm, será de 100mm; para un tamaño de agregado máximo de 20 a 40 mm, será de 150 mm.

Para la medición directa se colocan los transductores atravesando el espécimen; esta medición garantiza la máxima la máxima transmisión de señales entre transductores, por lo que se recomienda usarla. La disposición semidirecta es menos sensible que la directa.

En esta medición la longitud de recorrido se mide desde el centro de cada transductor. La disposición indirecta o superficial se utiliza para encontrar la profundidad de las grietas o cuando solo se tiene una superficie para la medición.



Ilustración 2.19: Ensayo de ultrasonido

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Este equipo se debe encender continuamente, usando la varilla de calibración. Se debe ajustar la frecuencia del transductor (54kHz), la duración del pulso (25.1 μ s), y el factor de corrección (1.0) para iniciar a tomar lecturas. La distancia de recorrido debe ser medida con la mayor exactitud posible. Hay que recordar que las barras afectan la medición.



Ilustración 2.20: Calibración del equipo de Ultrasonido

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Se debe aplicar el colocador, posicionar los transductores en la disposición escogida y se procede a ejecutar la medición. En el caso de ser una medición simple, repetir la lectura para evitar errores. La medición básica será en función de la distancia conocida para encontrar la velocidad de recorrido. (ASTM C597, 2016)

Tabla 2.7: Clasificación según la velocidad de pulso

Velocidad de Pulso (m/s)	Condición
Mayor a 4570	Excelente
3660-4570	Buena
3050-3660	Regular
2130-3050	Pobre
Menor a 2130	Muy Pobre

Fuente: Leslie & Cheesman, 1967



Ilustración 2.21: Datos obtenidos del equipo de Ultrasonido

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

2.6 Mortero equivalente

Para estos ensayos se necesita elaborar una representación en pequeñas proporciones del hormigón a realizar, es por eso que se denomina mortero equivalente. Se hace una mezcla representativa con los aditivos y sin agregados gruesos. Partiendo de un hormigón se puede tamizar los agregados mayores de 4 mm; esto es un modo de optimizar los recursos para las pruebas.

La dosificación patrón se muestra en la tabla 2.8 y en el Anexo D encontramos todas las dosificaciones usadas en el ensayo.

Tabla 2.8 Mortero equivalente

	PATRÓN (g)
ARENA H	2780,6
CEMENTO	1286,45
AGUA	459,15
2001 R	10,29
5012 SP	11,58
SIKATELL300	0
ARENA S	2700

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

2.6.1 HOLCIM CONE

Este ensayo es una ayuda para observar el comportamiento del cemento y su debido rendimiento. Se puede determinar características del mortero como el aumento o disminución de agua y manejar una correcta dosificación de aditivos en la mezcla. La fluidez, el aumento o disminución de la trabajabilidad con el paso del tiempo o con la reacción de algún aditivo en conjunto con el cemento y el agua.



Ilustración 2.22: Equipo y materiales del Holcim Cone

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Para generar el mortero se utiliza una mezcladora Hobart que funciona para tamaño máximo de agregado fino de 2 mm durante. Añadimos el cemento y damos mezcla a velocidad 1 con un 90% del agua durante 1 o 2 minutos dependiendo del mortero o el 100% si es que no se usa aditivos. Detenemos la mezcladora y con la espátula plástica limpiamos las paredes. Con el 10% restante se añaden los aditivos y encendemos 3 minutos; los primeros 30 segundos añadimos los agregados finos de forma lenta.



Ilustración 2.23: Fase de llenado del Holcim Cone

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Una vez acabada la mezcla limpiamos los residuos de las paredes; colocamos el cono en el centro del medidor de diámetro haciendo presión hacia abajo. Llenamos en 2 capas el cono e introducimos el apisonador 10 veces para compactar el mortero y luego levantamos el cono en un tiempo de 2 sg. Procedemos de medir el diámetro esparcido en mm.



Ilustración 2.24: Medición del diámetro esparcido

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

2.6.2 HOLCIM HEAT

Esta herramienta es una caja en donde se colocan pequeños cilindros de morteros con 1300 g de muestra en sus respectivos moldes, para poder medir el calor generado por la mezcla con respecto al tiempo. Es decir, se trata de un calorímetro. (HOLCIM, 2016)



Ilustración 2.25: Equipo de medición de Holcim Heat

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Se puede estimar el comportamiento del fraguado de un hormigón por medio de un mortero, con las diferentes dosificaciones de aditivos, además de determinar la incompatibilidad del cemento con algún aditivo.

Las lecturas de temperatura del mortero son tomadas cada 2 minutos y son comparadas con el mortero central fraguado, generando una gráfica de diferencia de temperaturas con respecto al tiempo.

Se genera una curva que muestra el inicio y final del fraguado, la diferencia de temperatura máxima y la hora. El inicio del fraguado se da al 20% de la curva y el final del fraguado se da aproximadamente al 45% de la curva de crecimiento. Estos valores son sacados en correlaciones con la ASTM de “Tiempo de Fraguado del Concreto”. (ASTM C403, 2016)

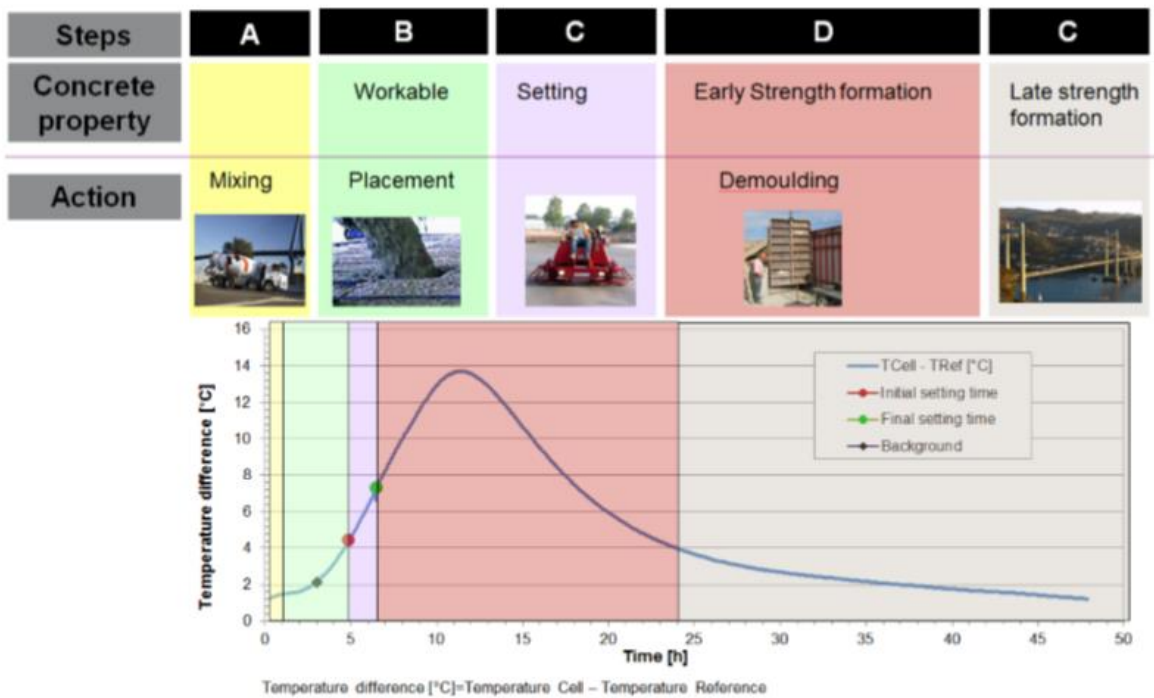


Ilustración 2.26: Las diferentes etapas de la muestra de pasta de cemento

Fuente: HOLCIM, 2016

2.7 Correlaciones entre variables múltiples.

Existen muchos casos donde se necesita analizar más de una variable independiente a la vez; se requiere una regresión lineal múltiple. (Walpole, 2012)

Por medio de variables se genera una ecuación típica que explique el modelo lineal de las variables actuando en conjunto. Esta ecuación consta de tantos

coeficientes como variables independientes tenga la regresión lineal. “Los estadísticos normalmente se refieren a un modelo lineal como aquel en el que los parámetros ocurren en forma lineal, independientemente de cómo las variables independientes entran en el modelo” (Walpole, 2012).

Para encontrar las constantes se puede resolver con un sistema matricial:

$$y = X\beta + \varepsilon$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{k1} \\ 1 & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{kn} \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix}, \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

De esta manera se obtiene un sistema de ecuaciones k+1 con número de incógnitas k+1.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

Ec. 2.3 Modelo de Regresión Múltiple

El valor ε_i se refiere al valor aleatorio.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, mostraremos los resultados obtenidos de la investigación realizada.

3.1 Análisis de resultados de morteros equivalentes

Tabla 3.1: Resumen ensayo Holcim Heat (mm)

CONO P1	386	383,5
	381	
CONO P1 45min	376	376
	376	
CONO P2	274	268,5
	263	
CONO P2 45min	239	241
	243	
CONO P3	348	349
	350	
CONO P3 45min	347	341
	335	
CONO 1%N	255	256
	257	
CONO 1%N 45min	228	230
	232	
CONO 2,5%N	265	260
	255	
CONO 2,5%N 45min	221	219
	217	
CONO 5%N	233	234,5
	236	
CONO 5%N 45min	223	223
	223	

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Los resultados mostrados en la tabla 3.1, obtenidos en el ensayo HOLCIM CONE, enseñan menor asentamiento con la incorporación de nanosílice, disminuyendo el diámetro a medida que incrementa la dosificación de nanosílice. Los resultados de “P1” y “P3” mostrados en la tabla varían en gran manera, incluso teniendo la misma dosificación; la diferencia existe en la velocidad de mezclado del mortero. Mientras que a la dosificación “P1” se le dio 30 segundos de máxima velocidad en el mezclador, a la “P3” se la mantuvo con velocidad continua; es por eso que se marca una diferencia a la hora de medir. Pero se muestra una disminución notoria del diámetro en los casos que contenían aditivo nanosílice. Se ve mayor cohesión en la mezcla al aumentar este aditivo.

La lectura tomada luego de 45 minutos de haber agregado agua disminuyó en todos los casos, siendo mayor en los que contienen nanosílice. Esto ocasiona una disminución de la trabajabilidad en la mezcla con respecto a la mezcla patrón.

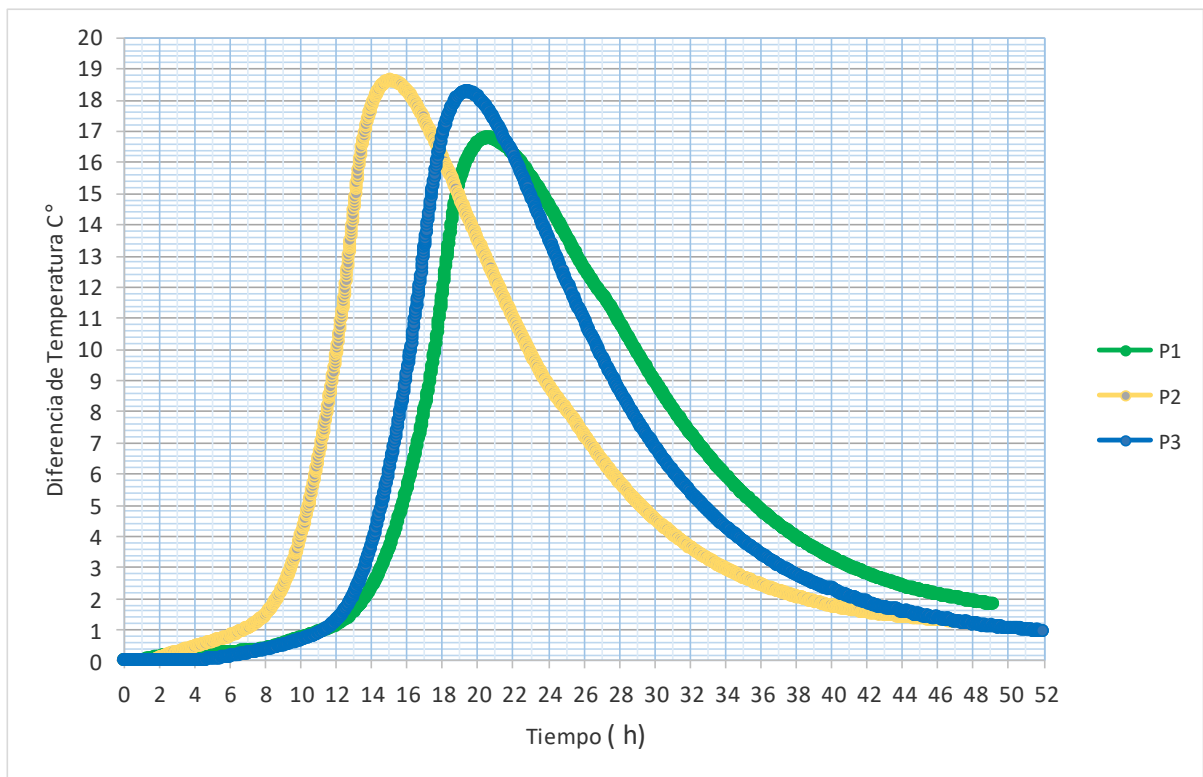


Ilustración 3.1: Temperatura vs Tiempo de Conos P1, P2 y P3

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Las lecturas tomadas cada dos minutos por el equipo de Holcim Heat nos

muestra las curvas de inicio de fraguado de las muestras del mortero patrón. En la muestra "P2" se retuvo 79,4 g de agua debido al comportamiento inicial fluido de la muestra "P1", es por eso que se aceleró el fraguado inicial y al existir una mayor cantidad de cemento en la mezcla se reflejó la mayor diferencia de temperatura.

La temperatura máxima alcanzó 41,29 C°, mientras que en las muestras "P1" y "P3" alcanzaron 40,5 C° y 44,8 C° respectivamente. La muestra "P3" inició su fraguado antes que la muestra "P1" las cuales tienen las mismas dosificaciones, con la única diferencia, ya recalca de la máxima velocidad de mezclado, aplicada en la muestra "P1". (Vargas & Velasco, 2019)

Las muestras con adición de nanosílice se comparan en la ilustración 3.2, con la muestra "P3" la cuál mostró un mejor comportamiento a la hora de fraguar y en los ensayos de Holcim Cone.

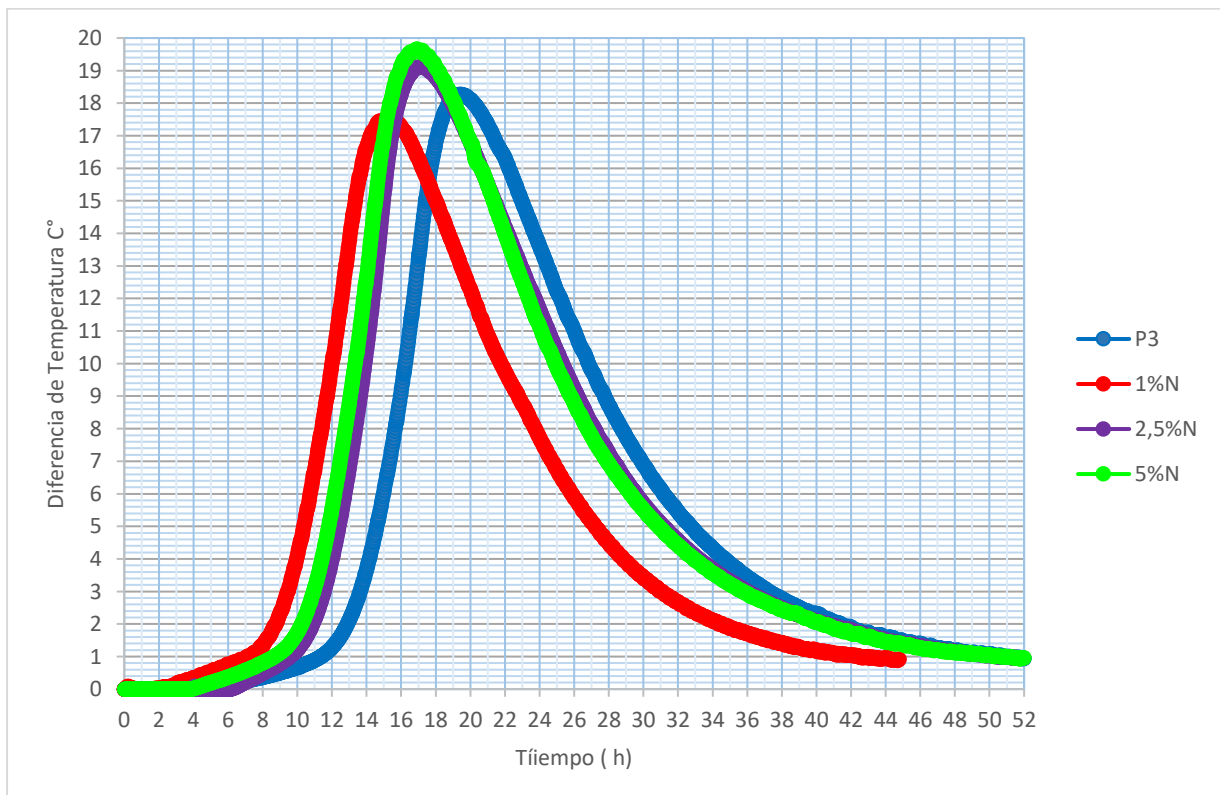


Ilustración 3.2: Lectura de Cono P3, 1%N, 2,5%N y 5%N

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

La nanosílice tiene un efecto acelerante en los morteros equivalentes, aumentando su velocidad de hidratación conforme sea mayor la adición y aumentando en igual manera el calor de hidratación, es decir aumentando la temperatura del hormigón. Como vemos en la gráfica 3.2, aumentó en orden del incremento de nanosílice siendo 41,13 °C en el caso de “1%N”, 43,56 °C en el caso de “2,5%N” y 45,03 °C en la mezcla de “5%N”.

3.2 Humedades Obtenidas y Especificaciones de Agregados

Tabla 3.2: Humedades de Agregados

1)	HUMEDAD ARENA RÍO	PR+AH	1779,5	
	5-nov 6-nov	PR+AS	1720	5,55%
		PR	647,5	
2)	HUMEDAD ARENA RÍO 1	PR+AH	1570,5	
	7-nov 8-nov	PR+AS	1499,5	8,33%
		PR	647,5	
3)	HUMEDAD ARENA RÍO 2	PR+AH	1479,5	
	7-nov 8-nov	PR+AS	1408,5	8,40%
		PR	563,5	
4)	HUMEDAD ARENA trit	PR+AH	1206,5	
	7-nov 8-nov	PR+AS	1184,5	3,25%
		PR	506,9	
5)	HUMEDAD Ag 19mm	PR+AH	4033,5	
	7-nov 8-nov	PR+AS	3999	1,1031%
		PR	871,5	
6)	HUMEDAD Ag 12mm	PR+AH	2248,5	
	7-nov 8-nov	PR+AS	2242,5	0,35%
		PR	505	
7)	HUMEDAD ARENA trit	PR+AH	1923	
	8-nov 9-nov	PR+AS	1813,5	8,37%
		PR	505	
8)	HUMEDAD Ag 19mm	PR+AH	4466,5	
	8-nov 9-nov	PR+AS	4435	0,88%
		PR	871,5	
9)	HUMEDAD ar trit	PR+AH	1984,62	
	13-nov 14-nov	PR+AS	1899,6	6,10%
		PR	505,24	
10)	HUMEDAD ar río	PR+AH	2162,24	

11)	13-nov	14-nov	PR+AS	2054,96	7,15%
			PR	554,85	
	HUMEDAD ag 19mm		PR+AH	3775,97	
12)	13-nov	14-nov	PR+AS	3519,11	0,58%
	pb2	501,85	PR	741,09	
	HUMEDAD ag ½"		PR+AH	3415,94	
			PR+AS	3377,84	1,33%
			PR	505,24	

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

En la tabla 3.2 se muestran las humedades obtenidas de los diferentes sacos de agregados, para trabajar en mezclas de morteros y hormigones. Fueron obtenidas antes y después de cada mezcla para verificar o corregir algún dato de humedad, lo que modifica en pequeñas cantidades la relación de a/c.

La arena de río usada tiene un módulo de finura de 2.5, una densidad de volumen seca de 2.591 kg/m³ y un porcentaje de absorción de agua del 2.17%. La parte de arena triturada posee un módulo de finura de 3.3, una densidad de volumen seca de 2.586 kg/m³ y un porcentaje de absorción de agua del 1.98%.

Se usaron dos tipos de agregados gruesos; número 67(19mm) y número 78(12,5mm) con módulos de finura de 6.8 y 6.4 respectivamente. El porcentaje de absorción del agregado número 67 fue de 1.41% y del número 78 de 1.79%. La densidad de volumen de agregado número 67 fue de 2.606 kg/m³ mientras que la del agregado número 78 fue de 2.554 kg/m³. En el Anexo E encontramos las tablas de análisis de agregados finos y gruesos.

3.3 Análisis de resultados de resistencias a compresión

Los ensayos fueron realizados a 1, 4, 7 y 28 días de haber elaborado la mezcla de hormigón; con una variación mínima de ruptura con respecto a la hora de mezclado del agua, de más menos 30 minutos. (Anexo H).

Tabla 3.3: Resumen de Resistencias (MPa)

Días/Resistencias	P	2,5%N1	2,5%N2	5%N
1	15,62	15,05	11,525	15,72
4	33,26	29,40	38,345	33,30
7	39,78	37,87	42,64	39,80
28	47,35	45,07	54,115	50,13

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

La dosificación patrón alcanzó una resistencia máxima de 47,35 MPa usando cemento HE como vemos en la tabla 3.3, por lo que a 1 día de añadir el agua se llegó a 15,62 MPa y a tan solo 4 días más se duplicó la resistencia llegando a 33,26 MPa.

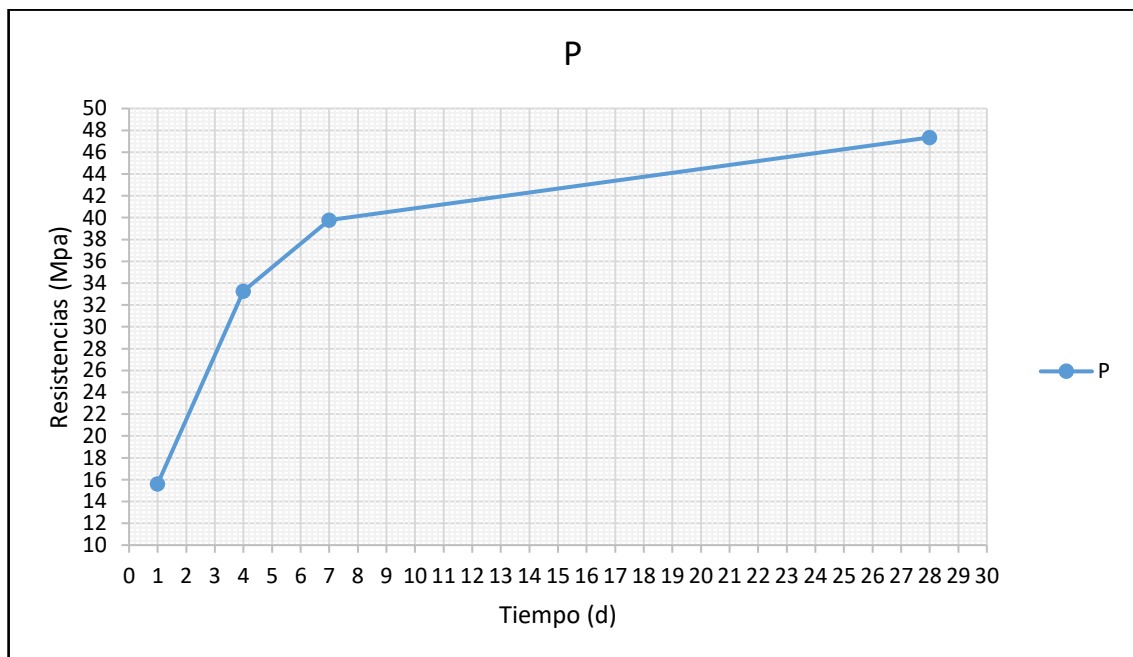


Ilustración 3.3: Resistencia patrón vs días

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

A la semana el crecimiento del esfuerzo fue moderado con relación a las primeras edades, llegando a 39,78 MPa. Finalmente, a los 28 días llegó a 47,35 MPa con tan solo la dosificación patrón añadiendo plastificante y retardante sin nanosílice.

La dosificación con adición de 2,5% de nanosílice, a la cual se le agregó más agua para alcanzar el revenimiento y para analizar el caso de adición extra en obra, tuvo un comportamiento similar al patrón, pero disminuyendo la resistencia.

La relación a/c se aumenta al incluir el agua saliendo de los parámetros de relación establecidos en la NEC para hormigones impermeables, disminuyendo 4,82% de la resistencia incluso adicionando nanosílice. Esto genera que el agua separe las partículas de cemento, ocupe espacios aumentando el volumen de poros y al momento de aplicar compresión, genere menor resistencia. En todos los casos le resistencia es menor, siendo 45,07 MPa a los 28 días.

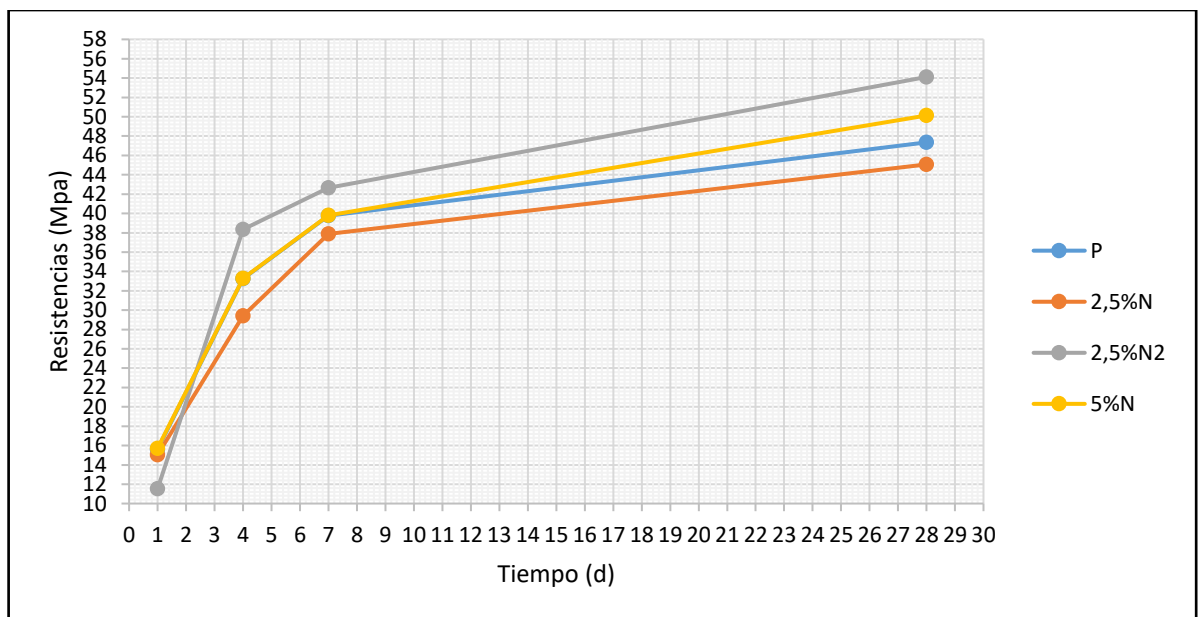


Ilustración 3.4: Resistencias vs Tiempo

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

La segunda dosificación donde se agregó 2,5% de nanosílice, 1,1 de plastificante y se mantuvo el agua para conseguir 0,44 de relación a/c, obtuvo el mejor comportamiento de resistencia siendo 38,345 MPa para los 7 días, 42,64 MPa para los 7 días y 54,115 MPa a los 28 días como vemos en la ilustración 3.4. En el primer día dio la menor resistencia de todas las

dosificaciones.

En la dosificación con 5% de nanosílice, hubo un incremento de resistencia moderado con respecto a la dosificación patrón, pero siendo menor que la dosificación de 2,5% sin adición de agua. Tiene un comportamiento muy parecido pero mayor que la dosificación patrón incrementando aún más a los 28 días. Se estima que con el incremento de tiempo tendrá mejor comportamiento debido a que el nanosílice mejora con el tiempo.

3.4 Análisis de resultados de revenimiento

La gráfica nos muestra el desarrollo de las vigas medidas en los diferentes días.

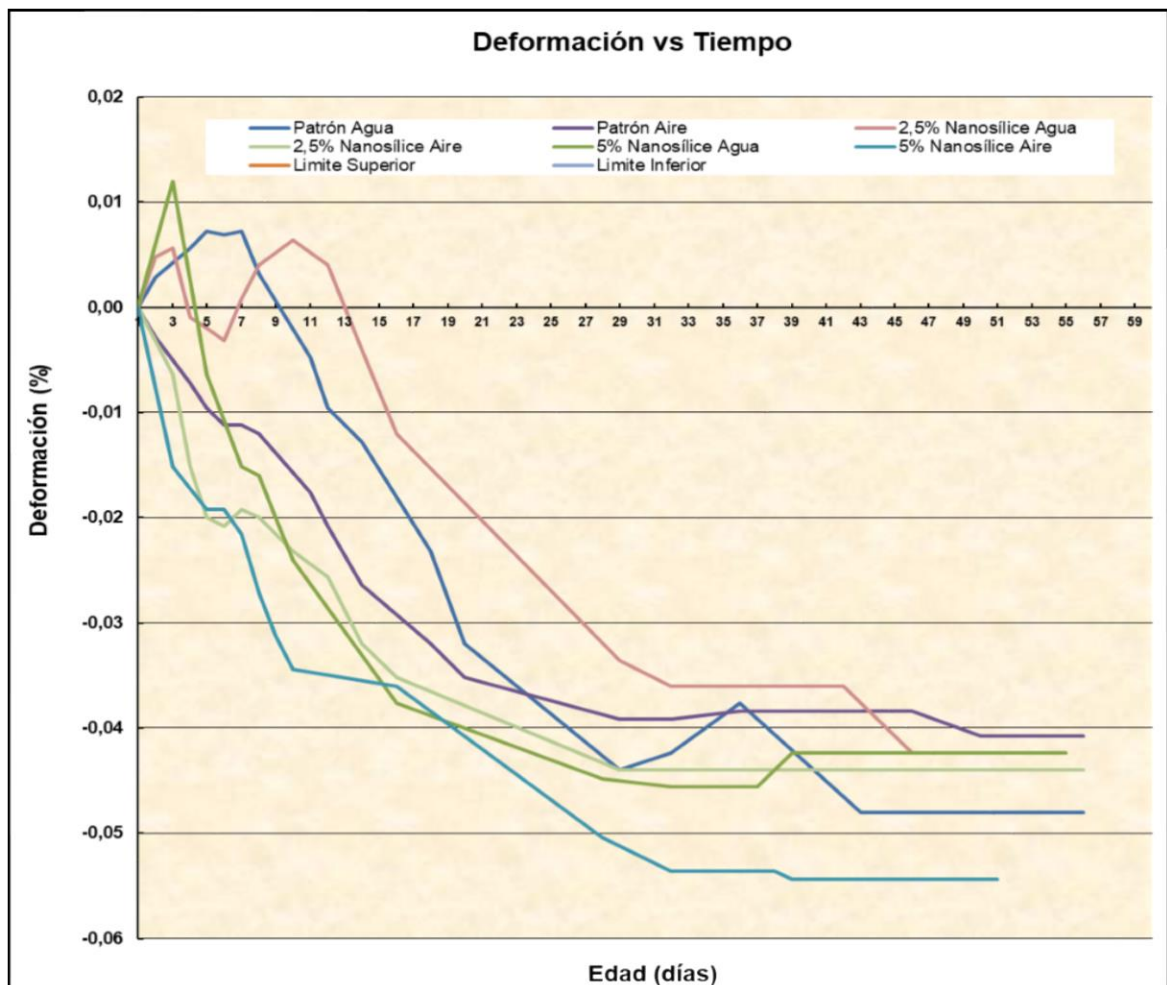


Ilustración 3.5: Deformación vs Tiempo

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

La retracción del hormigón se debe ante la evaporación del agua que se encuentra dentro del hormigón. El ensayo nos indica que las vigas de las diferentes dosificaciones realizadas, al ser expuestas a dos ambientes distintos (una viga al Aire, y otra viga sumergida en Agua durante sus 7 primeros días) no exceden el límite del % de deformación (0.1%). La viga 40 y 41 son de la mezcla patrón siendo 40 agua y 41 al aire. De la misma manera la mezcla de 2.5% son 42 y 43; la muestra de 5% es 44, 45 de agua y aire respectivamente. En el Anexo F encontramos todas las tablas y gráficas de retracción de cada dosificación realizada.

3.5 Análisis de resultados del Ensayo de Torrent

La tabla nos muestra los diferentes niveles en donde se puede ubicar el hormigón según el análisis de permeabilidad.

Tabla 3.4: Calidad del Concreto

Calidad del concreto	Grupo	$kT^*(10^{-16}m^2)$
Muy malo	5	>10
Malo	4	1.0-10
Normal	3	0,1-1,0
Bueno	2	0,01-0,1
Muy bueno	1	<0,01

Fuente: Torrent, 1997

El cubo patrón, como vemos en la tabla 3.5 nos muestra diferencias de lectura en las diferentes caras analizadas. La mayor diferencia de presión se obtuvo en la cara 2 con 22,5 mbar alcanzada a los 300 segundos de ensayo y 61,2 mm de penetración máxima. Esta nos dio como resultado $1,863*(10^{-16}) m^2$ y la ubica en el grupo 4 de hormigones malos para la impermeabilidad. El promedio de las caras nos da $1,496*(10^{-16}) m^2$, también ubicado en el mismo grupo, pero cercanos al límite para entrar en el grupo de hormigones normales a impermeabilidad.

Tabla 3.5: Ensayo de permeabilidad Torrent cubo patrón

Cubo Patrón					
Lado	pa (mbar)	Dpmax (mbar)	tmax (s)	kT*10 ⁻¹⁶ (m2)	L (mm)
4	1006,1	20,3	420	0,852	49
3	1004,6	22,1	300	1,798	60,1
2	1004,8	22,5	300	1,863	61,2
1	1003,1	21,7	330	1,47	57
Promedio	1004,65	21,65	337,5	1,49575	56,825

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

El cubo con adición de 2,5% de nanosílice 1, tuvo un mejor comportamiento con respecto al cubo patrón ubicando dos caras en el rango normal y dos caras en el rango malo de hormigón para impermeabilidad. La mayor diferencia de presión se encontró en la cara 2 a una presión de 22,5 mbar a los 300 s de empezar el ensayo y 61,1 mm de penetración máxima; alcanzando 1,856*(10⁻¹⁶) m2.

Tabla 3.6: Ensayo de permeabilidad Torrent cubo 2,5%N1

Cubo 2,5%N(1)					
Lado	pa (mbar)	Dpmax (mbar)	tmax (s)	kT*10 ⁻¹⁶ (m2)	L (mm)
4	1005,7	16,7	720	0,258	35,3
3	1005,6	20,4	540	0,584	46
2	1006	22,5	300	1,856	61,1
1	1005,3	21,4	390	1,71	52,9
Promedio	1005,65	20,25	487,5	1,102	48,825

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

El promedio de resultados da 1,102*(10⁻¹⁶) m2, al límite para ser un hormigón normal a impermeabilidad.

Los resultados obtenidos en el cubo con adición 2,5% de nanosílice 2, tiene un claro mejor comportamiento en todos sus lados y son los resultados con comportamiento óptimo en general. La mayor diferencia de presión se encontró en la cara 1 con 4,025 mbar a los 720 s de ensayo, longitud de penetración máxima de 13,1 mm y logró 0,035*(10⁻¹⁶) m2; es decir un hormigón de buena

impermeabilidad. Dos de sus caras ubican al hormigón en el grupo 1 de los hormigones muy buenos para impermeabilidad y el promedio de resultados se encuentra muy cerca de llegar al límite $0,01 \cdot (10^{-16}) \text{ m}^2$ del grupo 1. El promedio da $0,0165 \cdot (10^{-16}) \text{ m}^2$.

Tabla 3.7: Ensayo de permeabilidad Torrent cubo 2,5%N2

Cubo 2,5%N(2)					
Lado	pa (mbar)	Dpmax (mbar)	tmax (s)	kT*10 ⁻¹⁶ (m2)	L (mm)
4	1009,3	2,9	720	0,008	6,1
3	1008,7	3,1	720	0,009	6,5
2	1008,9	3,9	720	0,014	8,2
1	1006,8	6,2	720	0,035	13,1
Promedio	1008,425	4,025	720	0,0165	8,475

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Finalmente, la dosificación de 5% con nanosílice tiene resultados muy parecidos a los de la dosificación 2,5%N2, no siendo significativos para la cantidad de aditivo usado en la mezcla, pero teniendo resultados más similares entre caras. La mayor diferencia de presión fue de 5,1 mbar a los 720 s, alcanzando 10,8 mm de máxima penetración y $0,024 \cdot (10^{-16}) \text{ m}^2$.

Tabla 3.8: Ensayo de permeabilidad Torrent cubo 5%N

Cubo 5%N					
Lado	pa (mbar)	Dpmax (mbar)	tmax (s)	kT*10 ⁻¹⁶ (m2)	L (mm)
4	1005,4	2,7	720	0,007	5,7
3	1002,6	4,9	720	0,022	10,4
2	1002,4	5	720	0,023	10,6
1	1004,2	5,1	720	0,024	10,8
Promedio	1003,65	4,425	720	0,019	9,375

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

En la ilustración 3.6 podemos observar los coeficientes de permeabilidad y las presiones de vacío para cada cubo de hormigón elaborado en donde la barra 1, 2, 3, 4 significan mezcla de 5%N, 2,5%N(2), 2,5%N(1) y Patrón respectivamente. El Anexo B nos muestra las diferentes presiones por cada 60 sg de tiempo según cada ensayo.

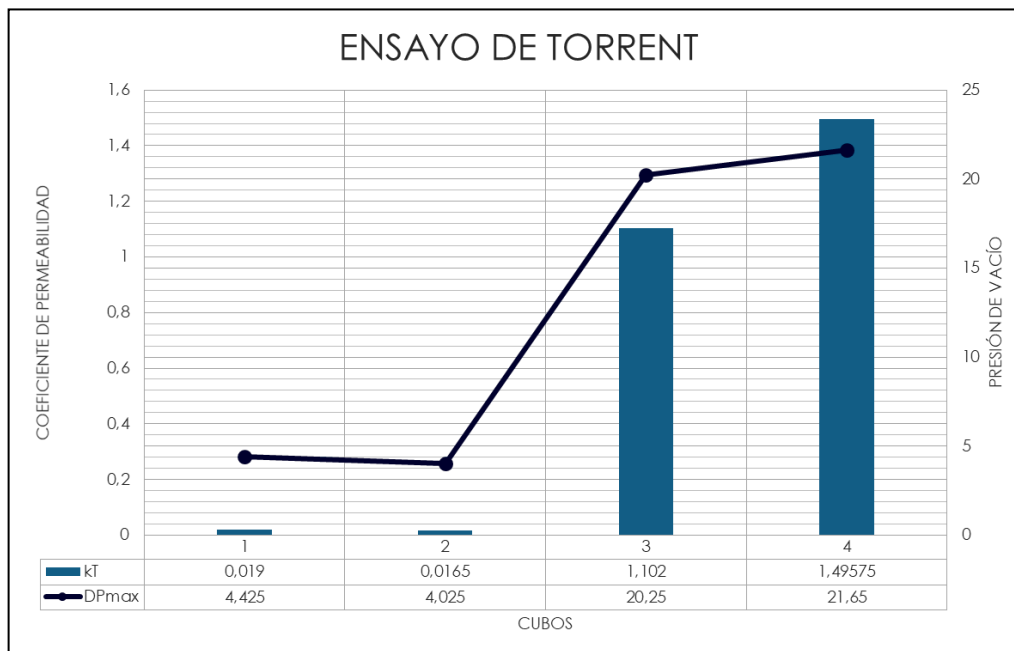


Ilustración 3.6: Coeficiente de Permeabilidad & Presión de Vacío

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

3.6 Análisis de resultados de Ultrasonido

Tabla 3.9: Clasificación de Velocidad de Pulso

Velocidad de Pulso (m/s)	Condición
Mayor a 4570	Excelente
3660-4570	Buena
3050-3660	Regular
2130-3050	Pobre
Menor a 2130	Muy Pobre

Fuente: Leslie & Cheesman, 1967

La tabla nos indica el rango en el que se encuentran los diferentes cubos de hormigón analizados. Las lecturas en todos los casos ubican a las dosificaciones en el rango de hormigón de buena calidad con respecto a la uniformidad y a la calidad relativa del hormigón.

Variando en diferentes tiempos y velocidades, el cubo patrón se encuentra en una mejor uniformidad con respecto al cubo de adición 2.5N% con agua extra.

Tabla 3.10: Ensayo de ultrasonido cubo P

Cara	Lectura 1		Lectura 2		Lectura 3		Promedio	
	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)
1-3	34.40	4418.00	34.70	4380.00	34.70	4380.00	34.60	4392.67
2-4	35.40	4293.00	35.30	4305.00	36.20	4198.00	35.63	4265.33

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Tabla 3.11: Ensayo de ultrasonido cubo 2.5%N1

Cara	Lectura 1		Lectura 2		Lectura 3		Promedio	
	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)
1-3	35.50	4309.00	35.10	4358.00	34.80	4396.00	35.13	4354.33
2-4	36.00	4222.00	35.70	4257.00	36.70	4141.00	36.13	4206.67

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

En los cubos 2.5%N2 y 5%N se observa una mayor velocidad de onda y menor tiempo, lo que nos dice que son las lecturas con mejor comportamiento. Aunque el cubo 5%N tiene mayores velocidades de onda con respecto al de 2.5%N2, no muestra una calidad relativa mayor en proporciones al doble de adición de nanosílice.

Tabla 3.12: Ensayo de ultrasonido cubo 2.5%N2

Cara	Lectura 1		Lectura 2		Lectura 3		Promedio	
	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)
1-3	34.10	4486.00	33.70	4540.00	33.70	4540.00	33.83	4522.00
2-4	33.30	4564.00	33.20	4578.00	33.50	4537.00	33.33	4559.67

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Tabla 3.13: Ensayo de ultrasonido cubo 5%N

Cara	Lectura 1		Lectura 2		Lectura 3		Promedio	
	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)	Tiempo (μs)	Velocidad (m/s)
1-3	33.30	4564.00	33.50	4537.00	33.50	4537.00	33.43	4546.00
2-4	33.00	4575.00	32.80	4603.00	32.90	4589.00	32.90	4589.00

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

En la ilustración 3.7 podemos observar las velocidades y tiempos máximas para cada cubo de hormigón elaborado en donde la barra 1, 2, 3, 4 significan mezcla de 5%N, 2.5%N(2), 2.5%N(1) y Patrón respectivamente.

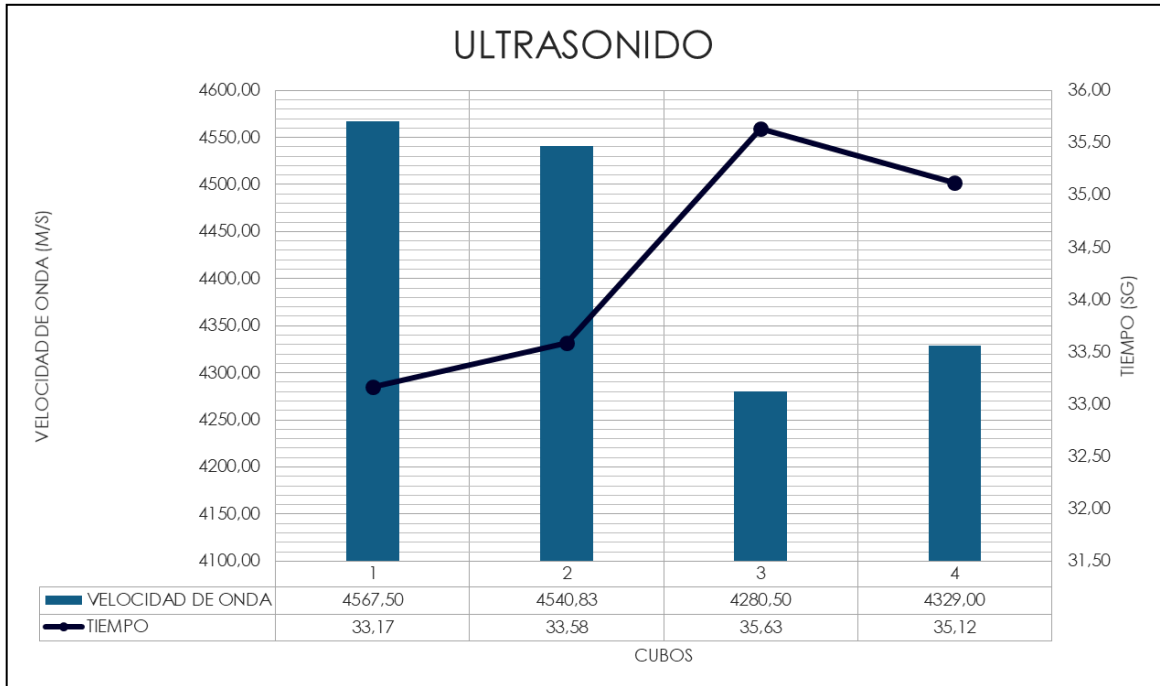


Ilustración 3.7: Velocidad de Onda & Tiempo

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

3.7 Correlaciones de Múltiples Variables

Las variables usadas para generar la correlación múltiple son las de resistencia a la compresión a 28 días en MPa, la permeabilidad al aire del ensayo de Torrent en $kT \cdot 10^{-16}$ y las de velocidad de ultrasonido en m/s.

Tabla 3.14: Datos de correlaciones entre variables múltiples

kT	m/s	MPa
Permeabilidad	Ultrasonido	Resistencia 28 días
0,009	4522	53,19
0,035	4559,666667	55,04
0,584	4354,333333	44,04
1,71	4206,666667	46,1
1,798	4392,666667	48,1
1,47	4265,333333	46,6
0,022	4546	50,2
0,024	4589	50,06

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

3.7.1 Regresión Lineal Simple entre Permeabilidad & Ultrasonido

H_0 = La interacción entre las variables no es significativa

H_1 = La interacción entre las variables es significativa

Tabla 3.15: Estadística Permeabilidad & Ultrasonido Minitabs

<u>Análisis de Varianza</u>							
Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1		3,504		3,5044	18,07	0,005
Ultrasonido	1		3,504		3,5044	18,07	0,005
Error	6		1,164		0,1939		
Total	7		4,668				

<u>Resumen del modelo</u>				
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	
0,440391	75,07%	70,92%	65,52%	

<u>Coefficientes</u>					
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	22,25	5,07	4,39	0,005	
Ultrasonido	-0,00486	0,00114	-4,25	0,005	1,00

Ecuación de regresión

Permeabilidad = 22,25 - 0,00486 Ultrasonido

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Permeabilidad	Ajuste	Resid	Resid est.	
5	1,798	0,885	0,913	2,23	R

Residuo grande R

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Valor $p < \alpha$; se rechaza hipótesis nula y se concluye que la interacción entre las variables es significativa. Además, el modelo se ajusta a los datos en un 75.07%.

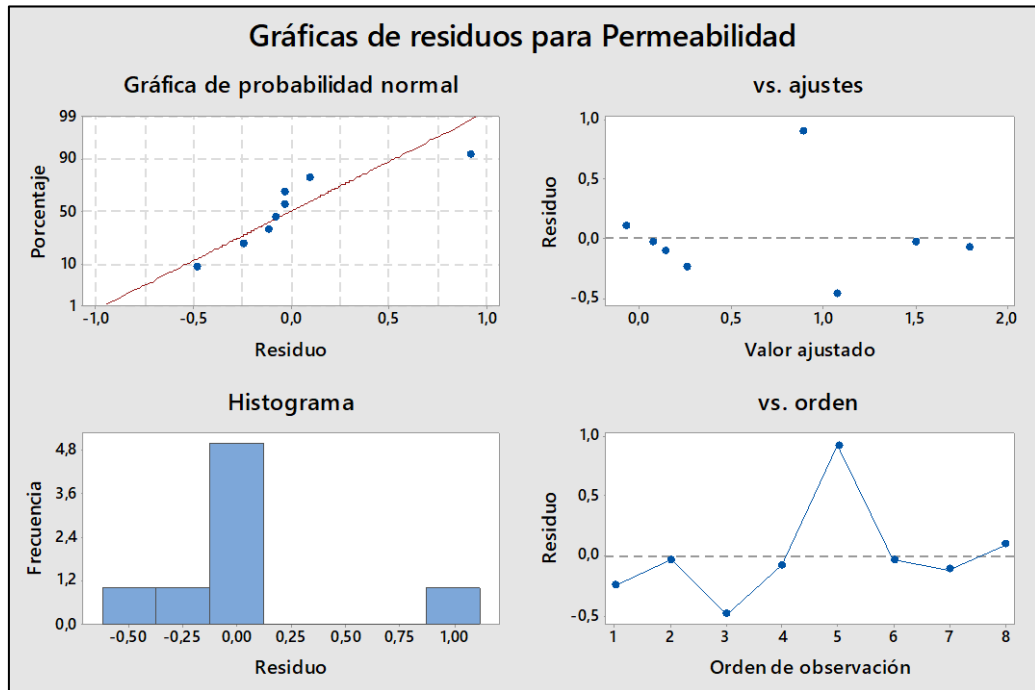


Ilustración 3.8: Resumen Estadístico Minitabs

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Con las gráficas de residuos para Permeabilidad se verifica que se cumplan los supuestos del modelo.

Supuestos:

- Los residuos están distribuidos aleatoriamente y tienen una varianza constante. En la gráfica de residuos vs ajustes se observa una dispersión regular de los datos, por lo tanto, sí cumple con el supuesto.
- Los residuos son independientes entre sí. Los residuos de la gráfica residuos vs orden están ubicados de manera aleatoria alrededor de la línea central, por lo tanto, sí cumple con el supuesto.
- Los residuos están distribuidos normalmente. En la gráfica de probabilidad normal los residuos se ajustan a la línea recta, por lo tanto se puede concluir que sí cumple con este supuesto. Se presenta un valor atípico.

3.7.2 Correlación: Ultrasonido; Permeabilidad

H_0 = La correlación entre las variables es 0

H_1 = La correlación entre las variables es diferente de 0

Correlación de Pearson de Ultrasonido y Permeabilidad = -0,866

Valor p = 0,005

Existe una fuerte correlación entre las variables Ultrasonido y Permeabilidad, siendo esta del 86.6%. La relación entre estas variables es inversa, es decir, a medida que Ultrasonido aumenta, Permeabilidad disminuye.

Analizando el valor $p=0.005$ podemos notar que es menor al nivel de significancia $\alpha=0.05$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la correlación entre las variables es diferente de 0. La correlación es estadísticamente significativa.

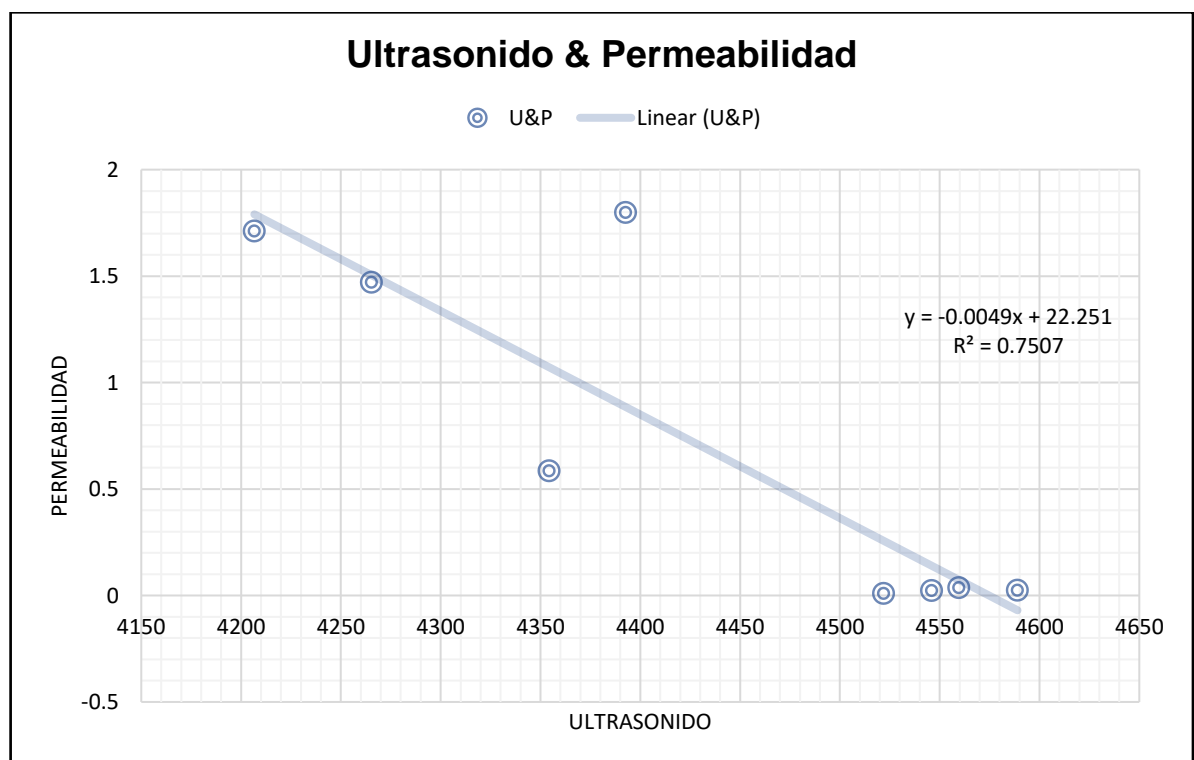


Ilustración 3.9: Línea de Tendencia Ultrasonido& Permeabilidad

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

3.7.3 Regresión Lineal Simple entre Permeabilidad & Resistencia

$H_0 =$ La interacción entre las variables no es significativa

$H_1 =$ La interacción entre las variables es significativa

Análisis de regresión: permeabilidad vs. resistencia 28 días

Tabla 3.16: Estadística Permeabilidad & Resistencia Minitabs

<u>Análisis de Varianza</u>							
Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1		1,939		1,9389	4,26	0,085
resistencia 28 días	1		1,939		1,9389	4,26	0,085
Error	6		2,729		0,4549		
Total	7		4,668				

<u>Resumen del modelo</u>				
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	
0,674432	41,54%	31,79%	0,00%	

<u>Coefficientes</u>					
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	7,70	3,39	2,27	0,064	
resistencia 28 días	-0,1421	0,0688	-2,06	0,085	1,00

<u>Ecuación de regresión</u>	
permeabilidad	= 7,70 - 0,1421 resistencia 28 días

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Valor $p > \alpha$; no se rechaza hipótesis nula y se concluye que la interacción entre las variables no es significativa. Además, el modelo no se ajusta a los datos ($R^2=41.54\%$)

Con las gráficas de residuos para Permeabilidad se verifica que se cumplan los supuestos del modelo.

Supuestos:

- Los residuos están distribuidos aleatoriamente y tienen una varianza constante. En la gráfica de residuos vs ajustes se observa una dispersión regular de los datos, por lo tanto, sí cumple con el supuesto.
- Los residuos son independientes entre sí. Los residuos de la gráfica residuos vs orden están ubicados de manera aleatoria alrededor de la línea central, por lo tanto, sí cumple con el supuesto.
- Los residuos están distribuidos normalmente. En la gráfica de probabilidad normal los residuos se ajustan a la línea recta, por lo tanto se puede concluir que sí cumple con este supuesto. Se presenta un valor atípico.

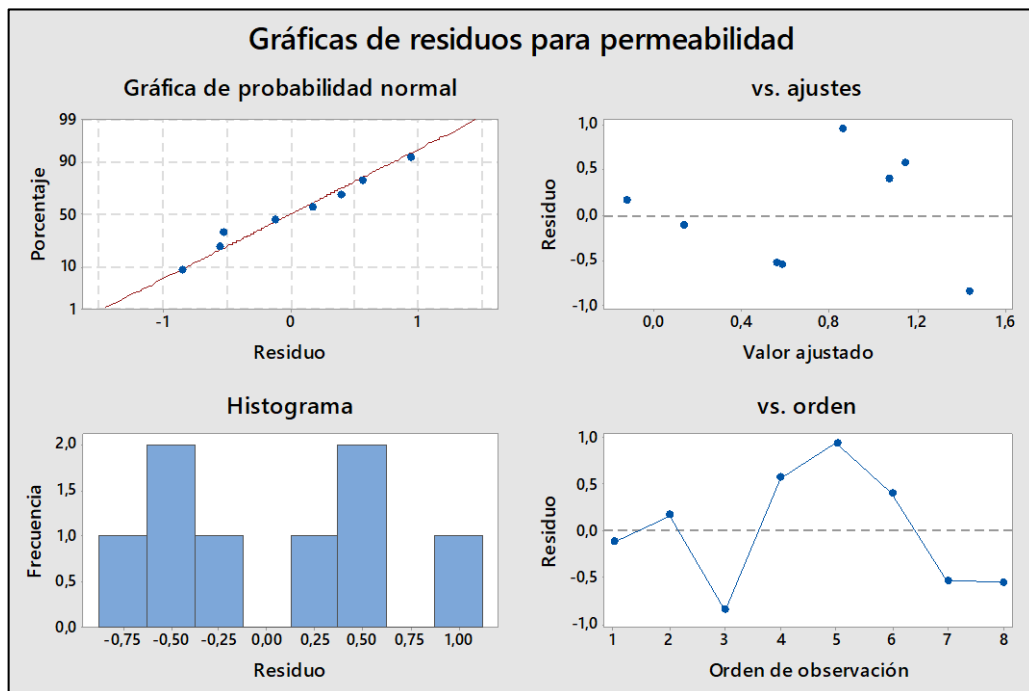


Ilustración 3.10: Resumen Estadístico Minitabs

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Correlación: permeabilidad; resistencia 28 días

$H_0 =$ La correlación entre las variables es 0

$H_1 =$ La correlación entre las variables es diferente de 0

Correlación de Pearson de permeabilidad y resistencia 28 días = -0,644

Valor $p = 0,085$

Analizando el valor $p=0.085$ podemos notar que es mayor al nivel de significancia $\alpha=0.05$, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la correlación entre las variables es 0.

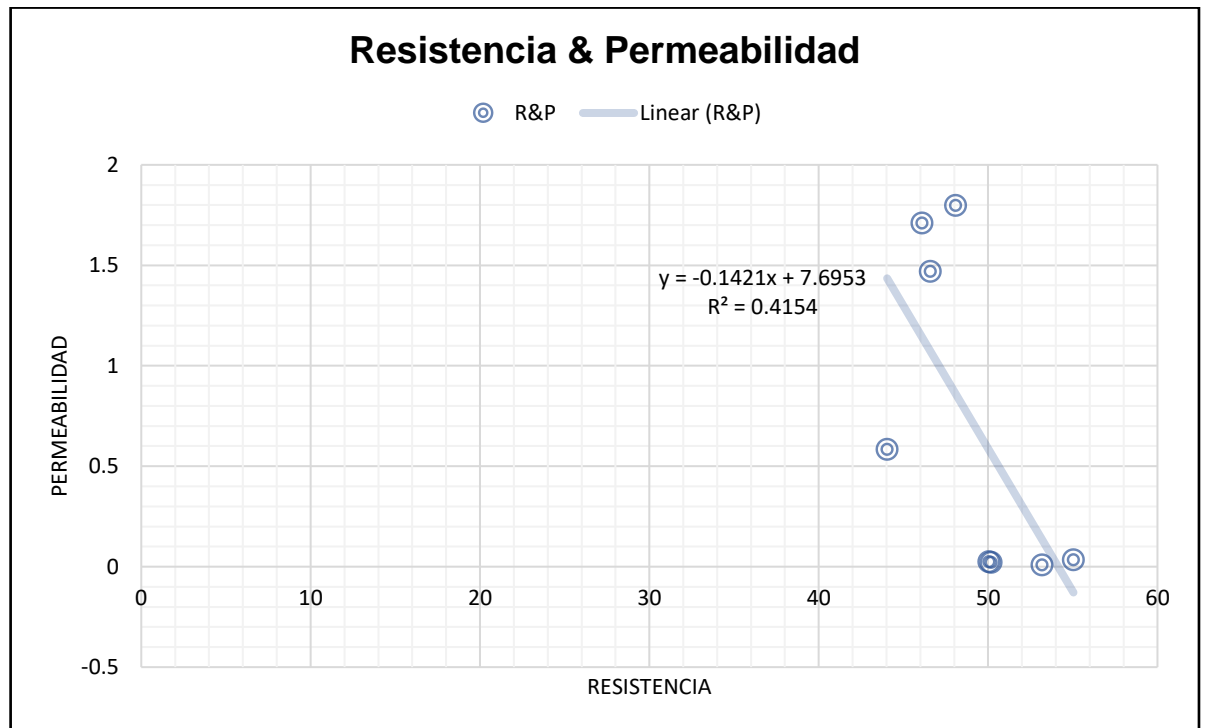


Ilustración 3.11: Línea de Tendencia Resistencia & Permeabilidad

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

3.7.4 Regresión Lineal Simple entre Permeabilidad & Resistencia & Ultrasonido

Análisis de regresión: Permeabilidad vs. Ultrasonido; Resistencia 28 días

$H_0 =$ La interacción entre las variables no es significativa

$H_1 =$ La interacción entre las variables es significativa

Tabla 3.17: Estadística Permeabilidad & Resistencia & Ultrasonido Minitabs

Análisis de Varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Regresión	2	3,51406	1,75703	7,61	0,030	
Ultrasonido	1	1,57512	1,57512	6,82	0,048	
Resistencia 28 días	1	0,00964	0,00964	0,04	0,846	
Error	5	1,15402	0,23080			
Total	7	4,66809				
Resumen del modelo						
	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
	0,480421	75,28%	65,39%	52,31%		
Coeficientes						
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV	
Constante	22,86	6,29	3,64	0,015		
Ultrasonido	-0,00518	0,00198	-2,61	0,048	2,52	
Resistencia 28 días	0,0159	0,0779	0,20	0,846	2,52	
Ecuación de regresión						
Permeabilidad	=	22,86		- 0,00518	Ultrasonido	
		+ 0,0159			Resistencia 28 días	
Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes						
Obs	Permeabilidad	Ajuste	Resid	Resid est.	R	
5	1,798	0,880	0,918	2,06	R	
Residuo grande R						

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Valor $p < \alpha$; se rechaza hipótesis nula y se concluye que la interacción entre las variables es significativa. Además, el modelo se ajusta a los datos en un 75.28%.

Correlación: Permeabilidad; Ultrasonido; Resistencia 28 días

Tabla 3.18: Correlación Pearson Permeabilidad & Resistencia & Ultrasonido

Minitabs

	Permeabilidad	Ultrasonido
Ultrasonido	-0,866 0,005	
Resistencia 28 d	-0,644 0,085	0,777 0,023

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

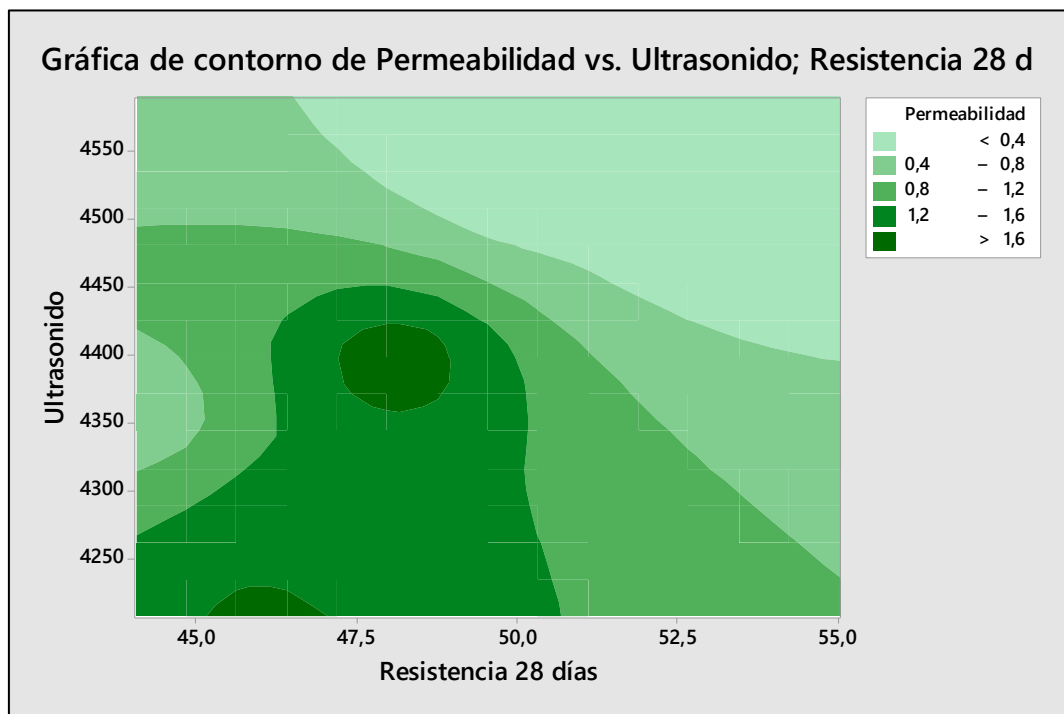


Ilustración 3.12: Contorno de Regresión Múltiple Minitabs

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Usando la ecuación 3.1 podemos evaluar el nivel de permeabilidad con las variables de ultrasonido y resistencia

$$\underline{\underline{Permeabilidad=22,8630581-0,00517879*Ultrasonido+0,01591916*Resistencia}} \quad ec(3.1)$$

Gráfica de dispersión de 3D de Permeabilidad vs. Ultrasonido vs. Resistencia

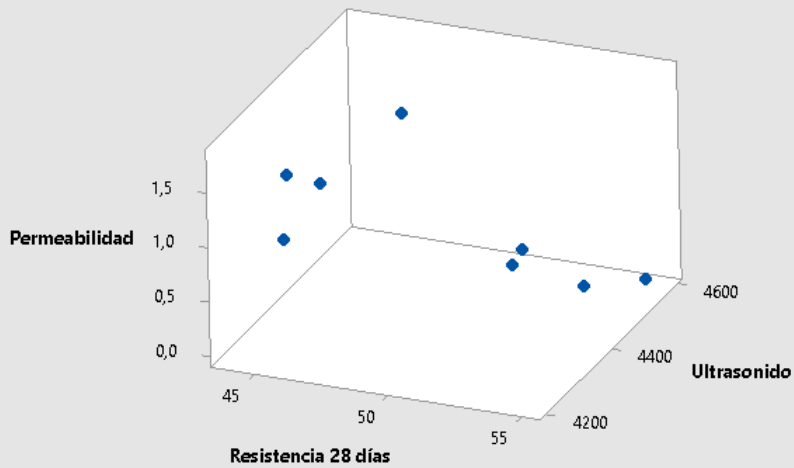


Ilustración 3.13: Dispersión 3D Permeabilidad & Ultrasonido & Resistencia

Minitabs

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Gráfica de superficie de Permeabilidad vs. Ultrasonido; Resistencia

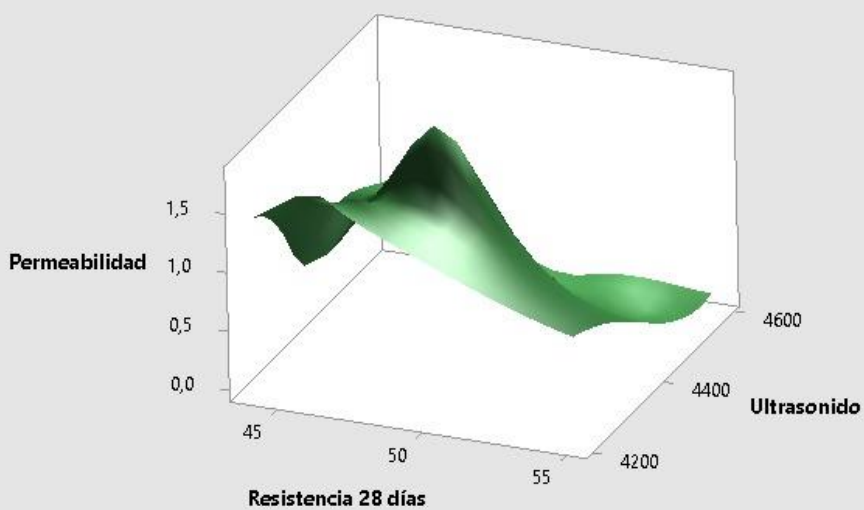


Ilustración 3.14: Superficie de Regresión Múltiple Minitabs (Vargas & Velasco, 2018)

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

3.8 Consideraciones ambientales

Al analizar los datos obtenidos a lo largo de la realización de esta tesis se puede determinar que la condición óptima es la adición del 2,5% de nanosílice en la dosificación. Para determinar los beneficios en el ámbito ambiental, se desarrolló una comparación entre la dosificación patrón y una nueva dosificación con 2,5% de nanosílice, donde se reduce la cantidad de cemento HE y agua. En esta dosificación se obtuvo 45 MPa de compresión a los 7 días.

Tabla 3.19: Dosificación Óptima con 2,5% Nanosílice

Materiales		Kg
Cemento	HE Holcim	380
Piedra 1	19mm	570
Piedra 2	12,5mm	320
Arena1	ar río	586
Arena2	ar triturada	310
Agua		168
Aditivos	%	Kg
Retardante	0,80%	3.04
Plastificante	1,00%	3.80
Nanosílice	2,50%	9.50

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Los resultados obtenidos demostraron que la nueva dosificación (2,5%N3) sí cumple con los requisitos establecidos. Además, muestra una clara reducción de la huella de carbono con respecto al cemento y el ahorro del agua.

3.8.1 Ahorro en cemento

Las emisiones a la atmósfera de dióxido de carbono (CO₂) por la producción del Clinker del cemento Portland van aproximadamente de 0,82 a 1,15 kg por cada kilogramo de cemento fabricado, contribuyendo a las emisiones antropogénicas globales de CO₂ entre un 5-7%. (Gartner, 2004)

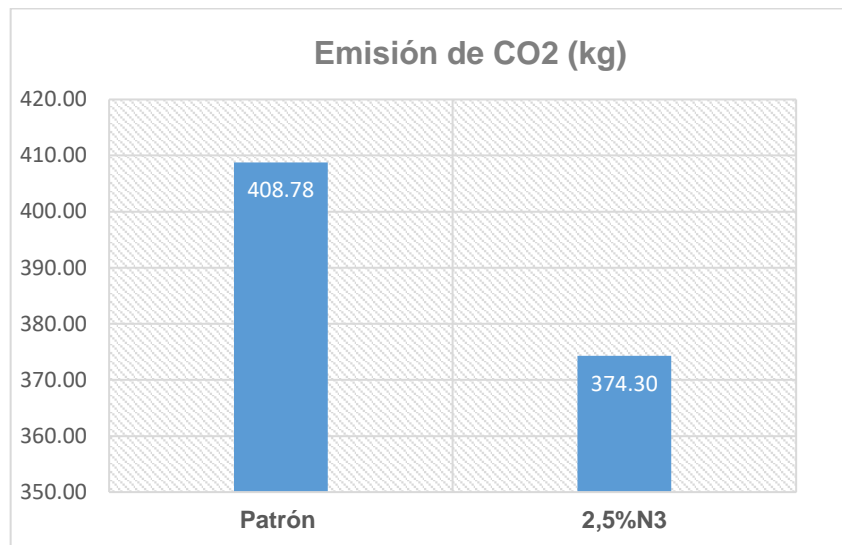


Ilustración 3.15: Comparación de Emisiones de CO2

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Al considerar una producción promedio de 0,985 kg de CO2 por cada kg de cemento, se realizó el análisis de emisión de CO2 correspondiente a los dos diseños antes mencionados; obteniendo una reducción del 8,43% de emisiones de CO2 al ambiente con la dosificación 2,5%N3.

3.8.2 Ahorro en Agua

El agua es un recurso natural escaso, lo que determina a nivel global la implementación de una gestión orientada a su uso racional y a su preservación. Esta creciente escasez de fuentes de agua viene generando importantes tensiones sociales y mayores costos de abastecimiento para la mayoría de las empresas a nivel mundial. En relación específicamente a la construcción, ésta requiere de importantes volúmenes de agua en varias fases de su proceso de producción.

Extracción de agua:			
Extracción total de agua	2005	9 918	millones m ³ /año
- Agrícola (Riego + Ganadería + Acuicultura)	2005	8 076	millones m ³ /año
- Municipal	2005	1 293	millones m ³ /año
- Industrial	2005	549	millones m ³ /año
• Por habitante	2005	720	m ³ /año
Extracción de agua superficial y agua subterránea (primaria y secundaria)	2005	9 915.8	millones m ³ /año
• % sobre los recursos hídricos renovables totales	2005	2.2	%

Ilustración 3.16: Extracción de agua al año en Ecuador

Fuente: SENAGUA, 2005

En 2005, según datos de la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) las extracciones de agua totales en el Ecuador son 9.918 millones de m³ por año, de las cuales 0.549 millones de m³ o el 6 por ciento es para uso industrial. Debido al aspecto líquido del aditivo Nanosílice y por sus propiedades, se obtuvo un ahorro en el uso del agua en las dosificaciones usadas en esta investigación (2.5%N, 2.5%N3 y 5.0%N).

Tabla 3.20: Cantidades de Agua Usada al Año

	Agua empleada (kg)	% Ahorro por m ³	Ahorro estimado (millones m ³ /año)
Patrón	180	0	0
2.5%N2	170	5.6	33.58
2.5%N3	168	6.7	36.78
5.0%N	165	8.3	45.57

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

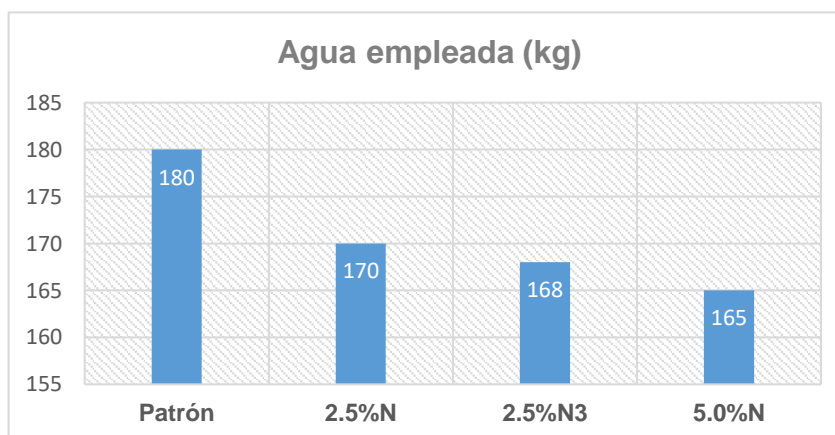


Ilustración 3.17: Niveles de Agua Empleada

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

Observamos que por el uso del Nanosílice, aparte de mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, se puede obtener un beneficio ambiental al reducir el uso del agua en un 5.6%, 6.7% o 8.3% por cada m³ de hormigón respectivamente.

3.9 Análisis de Presupuesto

En esta sección se mostrará el análisis de costos de la investigación realizada. En el Anexo I se encuentran las proformas usadas para el análisis de costos y las tablas del rubro considerado.

3.9.1 Precio de materiales

Tabla 3.21: Lista de precios de materiales

MATERIAL	DENSIDAD (kg/m ³)	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
Cemento HE	1500	ton	\$ 154.00
Piedra 78	2554	ton	\$ 9.39
Piedra 67	2606	ton	\$ 8.15
Arena Triturada	2591	ton	\$ 7.76
Arena de Río	2586	ton	\$ 13.25
2001 R Retardante	1050	kg	\$ 1.27
5012 Plastificante	1100	kg	\$ 2.37
Agua	1000	m ³	\$ 0.72
Nanosílice	1215	kg	\$ 5.00

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

3.9.2 Precios de las dosificaciones

Tabla 3.22: Precios Unitarios de las dosificaciones realizadas

PRECIOS UNITARIOS DE DOSIFICACIÓN		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO/M ³
Patrón	m ³	\$ 93.34
2.5%N2	m ³	\$ 147.20
2.5%N3	m ³	\$ 135.62
5.0%N	m ³	\$ 197.02

Fuente: Vargas & Velasco, 2018

De los resultados obtenidos, la mayor resistencia (54,12 MPa) a los 28 días se obtuvo de la dosificación de 2.5% de Nanosílice (2.5%N2) con un costo de \$147,20 por m³. Mientras que el de 5.0% de Nanosílice (5%N) con una resistencia de 50,13 MPa tiene un valor por m³ de \$197,02.

Analizando el costo/beneficio de las dos las mezclas con Nanosílice, se tiene como resultado que la dosificación 2,5%N2 destaca en resistencia, permeabilidad y costo, la cual da un incremento de resistencia a los 28 días del 14,30% (54.12 MPa) con respecto a la mezcla patrón (47,35 MPa).

Al comparar el diseño 5%N con la muestra Patrón se tiene una resistencia de 50,13 MPa a un coste de \$197,02. Es decir, se tiene una diferencia de \$103,68 para obtener un beneficio de apenas un 5,90% la resistencia del hormigón. En términos monetarios no es rentable usar la dosificación 5%N por su elevado costo de producción y su carencia en brindar propiedades óptimas comparado con la mezcla de 2,5%N2.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En conclusiones establecemos que:

- Se analizaron las diferentes propiedades del hormigón en estado fresco y en estado endurecido. La cantidad de plastificante usada en las diferentes dosificaciones en conjunto con el nanosílice, condicionaron la trabajabilidad del hormigón en estado fresco.
- Como vemos en el Anexo A, una cantidad excesiva de plastificante actuando sin nanosílice puede incrementar el revenimiento, dándole mayor trabajabilidad a la mezcla, pero alterando el asentamiento deseado. La misma cantidad de plastificante en conjunto con nanosílice, aumentaron la cohesión entre partículas disminuyendo la trabajabilidad y el fraguado. De igual manera, mientras incrementaba la cantidad de nanosílice, aumentaba la fricción entre partículas y se observó una disminución de la segregación y del uso de agua.
- En el caso de ensayos en estado endurecido como la resistencia a compresión, se tuvo que esperar mayor cantidad de tiempo para observar la acción de nanosílice en el aumento de la resistencia ya que el aditivo en conjunto al hidratarse forma un gel. Se necesitaron 4 días en las mezclas con aditivo para que haya mayor resistencia a la compresión. La mayor diferencia entre las resistencias se dio a los 28 días, por lo que se concluye que, a mayor cantidad de tiempo, existe mayor acción del nanosílice.
- La mezcla con 2.5%N(2) de aditivo tuvo un incremento del 14% más con respecto a la mezcla patrón, caso contrario en la mezcla con 2.5%(1) que disminuyó el 5% de resistencia. En el hormigón con 5% de aditivo tuvo incremento del 6% haciendo referencia al hormigón patrón.

- En el ensayo de hormigón en estado endurecido de permeabilidad, observamos una diferencia muy importante en los hormigones. Las partículas no consumidas en la hidratación actúan como fillers, y estas rellenan poros de tamaño nanométrico produciendo más densidad. En todos los casos de adición de nanosílice, mejoró la lectura de permeabilidad al aire, es decir disminuyendo los vacíos. El hormigón patrón muestra mayor cantidad de vacíos e interconexión de poros al ubicarse en el nivel de un hormigón malo a la impermeabilidad. El hormigón con 2.5%(2) de nanosílice, se ubica en nivel de hormigón bueno a la impermeabilidad gracias a que las partículas de nanosílice hacen un hormigón más compacto.
- Se generaron morteros equivalentes que ayudaron a identificar un comportamiento previo del hormigón. En estos ensayos identificamos la aceleración de fraguado que provoca usar como aditivo nanosílice, a mayor cantidad mayor aceleración. También disminuye la trabajabilidad debido al roce que generan las nanopartículas y existe mayor cohesión en la mezcla.
- Se generó un hormigón patrón con los procedimientos que indica la NEC para obtener un hormigón impermeable, el cuál ayudó para la debida comparación. Su trabajabilidad se extendió por mayor cantidad de tiempo y su calor de hidratación fue menor que los que tenían aditivo. Este hormigón tuvo un excelente comportamiento en los ensayos de resistencia a compresión, pero decayó en su densidad y su impermeabilidad; lo que nos indica que un hormigón con alta resistencia no necesariamente es impermeable.
- Se generó una dosificación óptima con 2.5% de nanosílice en la cual se usa 35 kg menos de cemento con respecto a las demás dosificaciones y 168 lt de agua para un metro cúbico. Esta dosificación logró en 7 días la resistencia del hormigón patrón. Este aditivo reacciona mejor con una cantidad moderada de cemento y aumentando la cantidad de agregados en la mezcla.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda un análisis de comparación entre la cantidad de nanosílice y las diferentes relaciones a/c.
- Estimar la curva esfuerzo deformación del hormigón con adición de nanosílice.
- Estudio indirecto del ingreso de agua por medio del ensayo Ion Cloruro.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. Farmington Hills, MICHIGAN, USA.
- ACI 211. (1997). Standar Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete . *American Concrete Institute*.
- ASTM C143, /.-1. (2012). Método del Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico. *ASTM International*. doi:10.1520/C0143_C0143M-12
- ASTM C231, /.-1. (2014). Método de Ensayo Normalizado de Contenido de Aire de Hormigón Recién Mezclado Mediante el Método por Presión. *ASTM International*. doi:10.1520/C0231_C0231M-14
- ASTM C33. (10 de Julio de 2002). Standard Specification for Concrete Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02*. West Conshohocken, Pensilvania, USA: ASTM International.
- ASTM C39, /.-1. (Febrero de 2018). Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto. *Annual Book of ASTM Standars, Vol. 04.02*. doi:10.1520/C0039_C0039M-18
- ASTM C403, C. (2016). Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance. *ASTM International*. doi:91.100.30
- ASTM C566, -9. (2004). Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying. *ASTM*. doi:10.1520/C0566-97R04
- ASTM C596, -1. (2018). Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement. *ASTM International*. doi:10.1520/C0596-18
- ASTM C597, /.-1. (2016). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. *ASTM International*. doi:10.1520/C0597-16
- ASTM C94, C. 9. (JULIO de 2003). Especificaciones normalizadas para el hormigón premezclado1. *ASTM C 94, 1,2*. doi: 19428-2959
- Cadena, I. A. (2017). Trabajo en equipo. *Construcción Latinoamericana CLA*.

- Gartner, E. (2004). Industrially interesting approaches to 'low-CO₂' cements. *Cement and Concrete Research*, 1489-1498.
- HOLCIM. (Diciembre de 2016). MeToo-Cone Manua. *LafargeHolcim Research Centre, Version 2.1*.
- INEN, N. (2001). Hormigones. Hormigón premezclado. Requisitos. *NTE INEN 1855-1*. doi:91.100.30
- J. Tobón, O. R. (2006). Adición de nanopartículas al cemento portland. 280-282.
- Li, H., & Xiao, H. &. (2004). Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO₂. *Cement and Concrete Research*, 1043-1049.
- NEC. (2014). ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO. *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormig%C3%B3n-Armado.pdf>
- NTE INEN 151. (2010). Cemento Hidráulico. Definición de términos. Quito, Ecuador: INEN.
- NTE INEN 2380. (2011). Cemento Hidráulico. Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos. Quito, Ecuador: INEN.
- Romero, H. (2012). Durabilidad y propiedades mecánicas del hormigón con adición de nanosílice y microsílice. *Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, E.T.S de Ingenieros de Caminos*. doi:978-84-15302-25-4
- Terreros, C. (2013). Materiales de Construcción. Guayaquil, Ecuador.
- TORRENT, R. J. (1997). Un método rápido y no-destrutivo para medir la permeabilidad al aire del hormigón. *"Holderbank" Management & Consulting Ltd*. Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/450/498>
- Vargas, D. A., & Velasco, C. A. (2018). *Estudio de la propiedad de permeabilidad en hormigones fraguados con la inclusión de plastificante. Análisis estadístico*. ESPOL, FICT. Guayaquil-Ecuador: ESPOL.

Walpole, R. E. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (Vol. Novena edición). México, México: PEARSON EDUCACIÓN. doi: 978-607-32-1417-9

ANEXOS

ANEXO A

Tabla resumen de resultados

En la tabla podemos encontrar el resumen y promedio de los datos obtenidos en los diferentes ensayos previos a la generación de la mezcla, ensayos en estado fresco y en estado endurecido, como las diferentes dosificaciones elaboradas. En color rojo podemos ver los valores máximos obtenidos en resistencia, permeabilidad y ultrasonido.

	UNIDADES	Patrón 3	NANOSÍLICE 2.5%(1)	NANOSÍLICE 2.5%(2)	NANOSÍLICE 5%
Cemento	kg	415,00	415,00	415,00	415,00
Agregado N°67	kg	559,00	559,00	559,00	559,00
Agregado N°78	kg	314,00	314,00	314,00	314,00
Arena Río	kg	570,00	571,00	571,00	566,00
Arena Triturada	kg	301,00	302,00	302,00	299,00
Agua	kg	180,00	170,00	170,00	165,00
Retardante 2001	kg	3,32	3,32	3,32	3,32
Plastificante 5012	kg	3,74	3,74	4,57	3,74
Nanosílice	kg	0,00	10,38	10,38	20,75
Relación A/C	-	0,44	0,44	0,44	0,44
Adición de agua	kg	0,00	0,90	0,00	0,00
Asentamiento	cm	21,00	12,50	23,00	14,5
Aire%	%	5,00	3,00	4,00	2,5
RESISTENCIA 1d	Mpa	15,62	15,05	11,53	15,72
RESISTENCIA 4d	Mpa	33,26	29,40	38,35	33,3
RESISTENCIA 7d	Mpa	39,78	37,87	42,64	39,8
RESISTENCIA 28d	Mpa	47,35	45,07	54,12	50,13
HOLCIM HEAT INIC FRAG	hora:min	14:15	12:59	19:29	11:42
HOLCIM HEAT FIN FRAG	hora:min	16:26	14:53	21:22	13:47
TMAX	°C	44,1	43,6	40,2	45
Time TMAX	hora:min	20:31	19:08	25:15:00	18:19
HOLCIM CONE T0	cm	349,00	260,00	-	234,5
HOLCIM CONE TF	cm	341,00	219,00	-	223
PERMEABILIDAD					
Dpmax	mbar	21,65	20,25	4,025	4,425
tmax	s	337,5	487,5	720	720
kT*10^-16	m2	1,4958	1,1020	0,0165	0,0190
L	mm	56,83	48,83	8,48	9,37
ULTRASONIDO					
Tiempo	µs	35,12	35,63	33,58	33,17
Velocidad	m/s	4329,00	4280,00	4540,83	4567,50

ANEXO B

Tabla de Presiones del Ensayo de Torrent

Cubo Patrón

Patrón							
Ensayo	444	Ensayo	443	Ensayo	442	Ensayo	441
Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)
0	1006,1	0	1004,6	0	1004,8	0	1003,1
60	259,3	60	259,0	60	273,9	60	260,2
120	4,5	120	6,7	120	6,6	120	6,2
180	8,0	180	12,2	180	12,2	180	11,1
240	10,9	240	17,1	240	17,3	240	15,4
300	14,3	300	22,1	300	22,5	300	19,9
360	17,2	360	-	360	-	360	-
420	20,3	420	-	420	-	420	-
480	-	480	-	480	-	480	-
540	-	540	-	540	-	540	-
600	-	600	-	600	-	600	-
660	-	660	-	660	-	660	-
720	-	720	-	720	-	720	-

Cubo 2,5%N1

2,5%N1							
Ensayo	448	Ensayo	447	Ensayo	446	Ensayo	445
Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)
0	1005,7	0	1005,6	0	1006	0	1005,3
60	262,7	60	259,7	60	261,3	60	258,7
120	2,7	120	3,9	120	6,8	120	5,6
180	4,5	180	6,8	180	12,4	180	9,7
240	5,8	240	9,2	240	17,5	240	13,3
300	7,4	300	11,6	300	22,5	300	16,7
360	8,6	360	13,9	360	-	360	19,8
420	10,0	420	16,1	420	-	420	-
480	11,2	480	18,2	480	-	480	-
540	12,6	540	20,4	540	-	540	-
600	14,0	600	-	600	-	600	-
660	15,3	660	-	660	-	660	-
720	16,7	720	-	720	-	720	-

Cubo 2,5% N2

2,5%N2							
Ensayo	454	Ensayo	453	Ensayo	452	Ensayo	451
Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)
0	1009,3	0	1008,7	0	1008,9	0	1006,8
60	255,8	60	263,1	60	255,4	60	258,2
120	1,1	120	1,6	120	1,5	120	1,9
180	1,5	180	2,1	180	2,0	180	2,7
240	1,7	240	2,2	240	2,3	240	3,3
300	2,0	300	2,6	300	2,7	300	3,9
360	2,2	360	2,7	360	2,9	360	4,5
420	2,3	420	2,7	420	3,1	420	4,8
480	2,4	480	2,8	480	3,3	480	5,1
540	2,6	540	3,0	540	3,4	540	5,4
600	2,7	600	3,0	600	3,6	600	5,7
660	2,8	660	3,1	660	3,7	660	5,9
720	2,9	720	3,1	720	3,9	720	6,2

Cubo 5%N

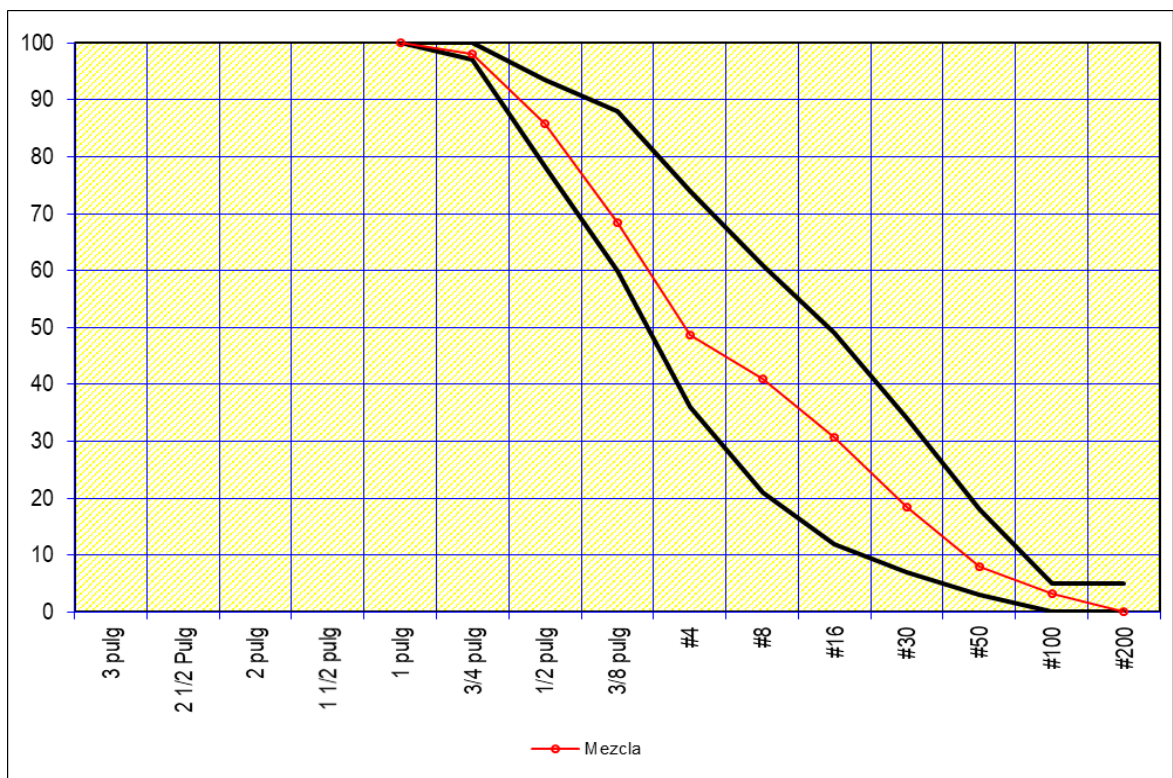
5%N							
Ensayo	459	Ensayo	458	Ensayo	457	Ensayo	456
Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)	Tiempo (sg)	ΔP (mbar)
0	1005,4	0	1002,6	0	1002,4	0	1004,2
60	260,6	60	251,4	60	254,5	60	230,4
120	1,1	120	1,3	120	1,4	120	1,8
180	1,6	180	2,0	180	2,0	180	2,7
240	1,7	240	2,3	240	2,4	240	3,2
300	2,0	300	2,6	300	2,9	300	3,8
360	2,1	360	2,9	360	3,2	360	4,0
420	2,2	420	3,1	420	3,6	420	4,4
480	2,3	480	3,8	480	3,9	480	4,6
540	2,4	540	4,1	540	4,2	540	4,8
600	2,5	600	4,5	600	4,5	600	4,9
660	2,6	660	4,6	660	4,7	660	5,0
720	2,7	720	4,9	720	5,0	720	5,1

ANEXO C

Mezcla de Materiales

Materiales

Tamices	Mat N° 1	32,0%	Mat N° 2	18,0%	Mat N° 3	33,0%	Mat N° 4	17,0%	Total
3	100,0	32,0	100,0	18,0	100,0	33,0	100,0	17,0	100,0
2 1/2	100,0	32,0	100,0	18,0	100,0	33,0	100,0	17,0	100,0
2	100,0	32,0	100,0	18,0	100,0	33,0	100,0	17,0	100,0
1 1/2	100,0	32,0	100,0	18,0	100,0	33,0	100,0	17,0	100,0
1	100,0	32,0	100,0	18,0	100,0	33,0	100,0	17,0	100,0
3/4	94,0	30,1	100,0	18,0	100,0	33,0	100,0	17,0	98,1
1/2	60,0	19,2	92,0	16,6	100,0	33,0	100,0	17,0	85,8
3/8	23,0	7,4	62,0	11,2	100,0	33,0	100,0	17,0	68,5
#4	1,0	0,3	2,0	0,4	95,0	31,4	98,0	16,7	48,7
#8	1,0	0,3	0,0	0,0	78,0	25,7	88,0	15,0	41,0
#16	0,0	0,0	0,0	0,0	54,0	17,8	76,0	12,9	30,7
#30	0,0	0,0	0,0	0,0	27,0	8,9	56,0	9,5	18,4
#50	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	4,0	24,0	4,1	8,0
#100	0,0	0,0	3,0	0,5	4,0	1,3	8,0	1,4	3,2
#200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mod finura	6,8	2,2	6,3	1,1	3,3	1,1	2,5	0,4	4,8



ANEXO D

Dosificaciones de Mortero Equivalente

6 de Noviembre del 2018

	PATRÓN1 (g)	PATRÓN2 (g)	1% NANO
ARENA H	2780,6	2780,6	2780,6
CEMENTO	1286,45	1286,45	1286,45
AGUA	459,15	379,81	454,9
2001 R	10,29	10,29	10,29
5012 SP	11,58	11,58	11,58
SIKATELL300	0	0	6,43
ARENA S	2700	2700	2700

9 de Noviembre del 2018

	PATRÓN3 (g)	1% NANO	2.5% NANO	5%NANO
ARENA H	2780,6	2780,6	2780,6	2780,6
CEMENTO	1286,45	1286,45	1286,45	1286,45
AGUA	379,81	379,81	450	430
2001 R	10,29	10,29	10,29	10,29
5012 SP	11,58	11,58	11,58	11,58
SIKATELL300	0	12,86	32,16	64,32
ARENA S	2700	2700	2700	2700

ANEXO E

Dosificación Patrón a 30 litros

		PS SSS *M3	30LT
Materiales		Kg	Kg
Cemento	HE holcim	415	12,45
Piedra 1	19mm	559	16,66
Piedra 2	12,5mm	314	9,28
Piedra 3			0
Arena1	ar río	570	18,1
Arena2	ar tritur	301	9,56
Arena3			0
	Agua	180	3,87
	%	Kg	Kg
Retardante	0,80%	3,32	0,1
Plastificante	0,90%	3,74	0,112
Nanosílice	0,0%	0	0,311

Dosificación 2,5% Nanosílice a 30 litros

		PS SSS *M3	30LT
Materiales		Kg	Kg
Cemento	HE holcim	415	12,45
Piedra 1	19mm	559	16,66
Piedra 2	12,5mm	314	9,28
Piedra 3			0
Arena1	ar río	571	18,1
Arena2	ar tritur	302	9,56
Arena3			0
	Agua	170	3,87
	%	Kg	Kg
Retardante	0,80%	3,32	0,1
Plastificante	1,10%	3,735	0,137
Nanosílice	2,5%	10,375	0,311

Dosificación 5% Nanosílice a 35 litros

		PS SSS *M3	35LT
Materiales		Kg	Kg
Cemento	HE holcim	415	14,53
Piedra 1	19mm	559	19,58
Piedra 2	12,5mm	314	10,83
Piedra 3			0
Arena1	ar río	566	20,70
Arena2	ar tritur	299	10,82
Arena3			0
	Agua	165	4,88
	%	Kg	Kg
Retardante	0,80%	3,32	0,116
Plastificante	1,0%	4,15	0,145
Nanosílice	5,0%	20,75	0,311

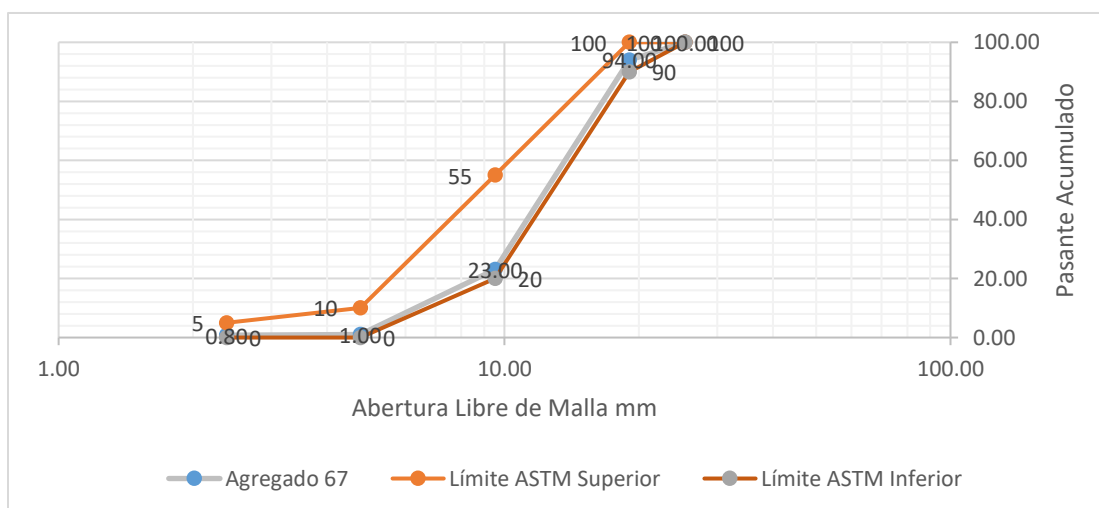
Dosificación 2,5% Nanosílice 35 litros

		PS SSS *M3	35LT
Materiales		Kg	Kg
Cemento	HE holcim	380	13,3
Piedra 1	19mm	570	20,29
Piedra 2	12,5mm	320	11,05
Piedra 3		0	0
Arena1	ar río	586	21,81
Arena2	ar tritur	310	11,1
Arena3			0
	Agua	168	4,14
	%	Kg	Kg
Retardante	0,80%	3,04	0,106
Plastificante	1,00%	3,80	0,133
Nanosílice	5,00%	9,50	0,333

ANEXO E

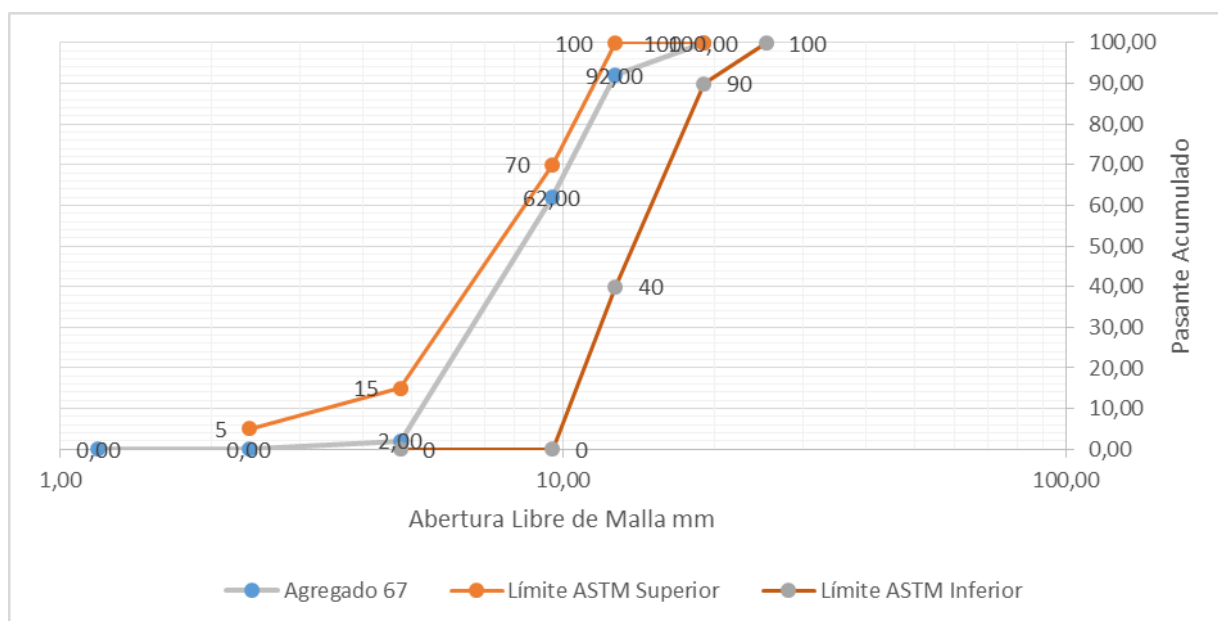
Análisis Granulométrico

Análisis Granulométrico de Agregado 67					
Fuente:		Caliza Guayco			
Masa Inicial:		3847,10			
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
3"	76,20	-	-	-	-
2 1/2"	63,50	-	-	-	-
2"	50,80	-	-	-	-
1 1/2"	38,10	-	-	-	-
1"	25,40	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	214,8	6,00	6,00	94,00
1/2"	12,70	-	-	-	-
3/8"	9,53	2757,1	72,00	77,00	23,00
N°4	4,75	851	22,00	99,00	1,00
N°8	2,38	0,9	0,20	99,20	0,80
N°16	1,19				
N°30	0,59	-	-	-	-
N°50	0,30				
N°100	0,15				
Fondo		23,2	1,00	100	0,00
	Masa Final	3847	MF	6.8	

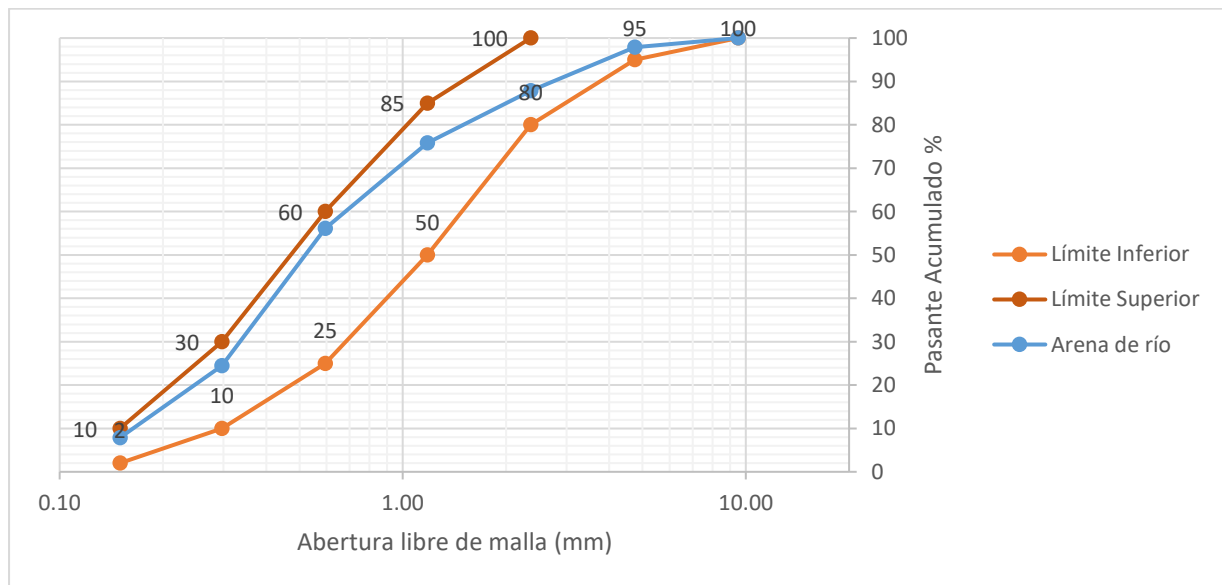


Análisis Granulométrico de Agregado 78

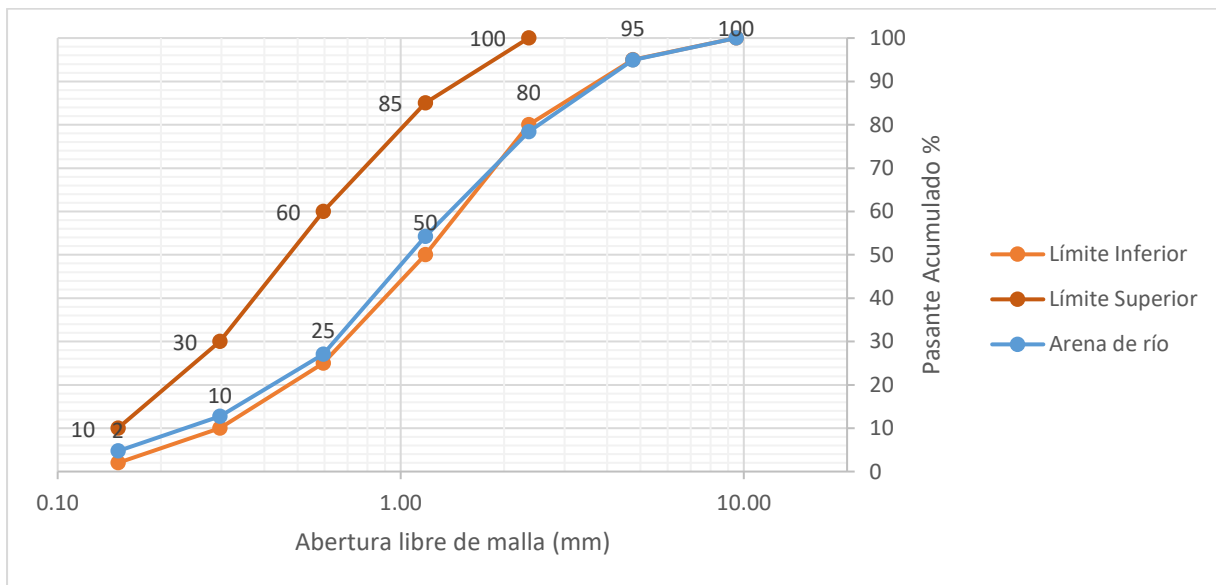
Fuente:		Caliza Guayco			
Masa Inicial:		3500,10			
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
3"	76,20	-	-	-	-
2 1/2"	63,50	-	-	-	-
2"	50,80	-	-	-	-
1 1/2"	38,10	-	-	-	-
1"	25,40	-	-	-	-
3/4"	19,05	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,70	295,5	8	8,00	92,00
3/8"	9,53	1026	29	38,00	62,00
N°4	4,75	2090,4	60	98,00	2,00
N°8	2,38	66,6	2	100,00	0,00
N°16	1,19	0	0	100,00	0,00
N°30	0,59	-	-	-	-
N°50	0,30				
N°100	0,15				
Fondo		23,2	1,00	100	0,00
Masa Final		3478,5	MF	6,4	



Análisis Granulométrico de Agregado Fino de río					
Masa Inicial		962,3			
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	% Que pasa
3/8"	9,50	0	0	0	100
N°4	4,75	20,5	2	2	98
N°8	2,36	96,8	10	12	88
N°16	1,18	115,2	12	24	76
N°30	0,59	189,9	20	44	56
N°50	0,30	304,3	32	76	24
N°100	0,15	159,9	17	92	8
Fondo		73,5	8	100	0
TOTAL		960,1	MF	2,50	



Análisis Granulométrico de Agregado Fino Triturado					
Masa Inicial		654,5			
Fuente		Huayco			
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	% Que pasa
3/8"	9,50	0	0	0	100
N°4	4,75	33,3	5	5	95
N°8	2,36	108	17	22	78
N°16	1,18	158	24	46	54
N°30	0,59	177,9	27	73	27
N°50	0,30	94	14	87	13
N°100	0,15	52,4	8	95	5
Fondo		29,2	4	100	0
TOTAL		652,8	MF	3,3	



Densidades y Masas de agregado fino

Muestra	Origen	A	B	S	C	Ds	Dsss	D	Po
		g	g	g	g	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	%
Arena Río	Río Boliche	489,4	994,4	500,0	1305,5	2591	2647	2745	2,17
Arena Triturada	Huayco	490,3	994,4	500	1304,8	2586	2637	2725	1,98

A	Masa en el aire de la muestra secada en el horno
B	Masa del matraz lleno de agua hasta la marca de calibración
S	Masa en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco
C	Masa del matraz con la muestra lleno de agua hasta la marca de calibración
Ds	Densidad de volumen a 23°C del arido fino seco
Dsss	Densidad de volumen a 23°C del arido fino en estado saturado superficialmente seco
D	Densidad aparente del árido a 23°C
Po	Porcentaje de absorción de agua del árido fino

Densidades y Masas de agregado grueso

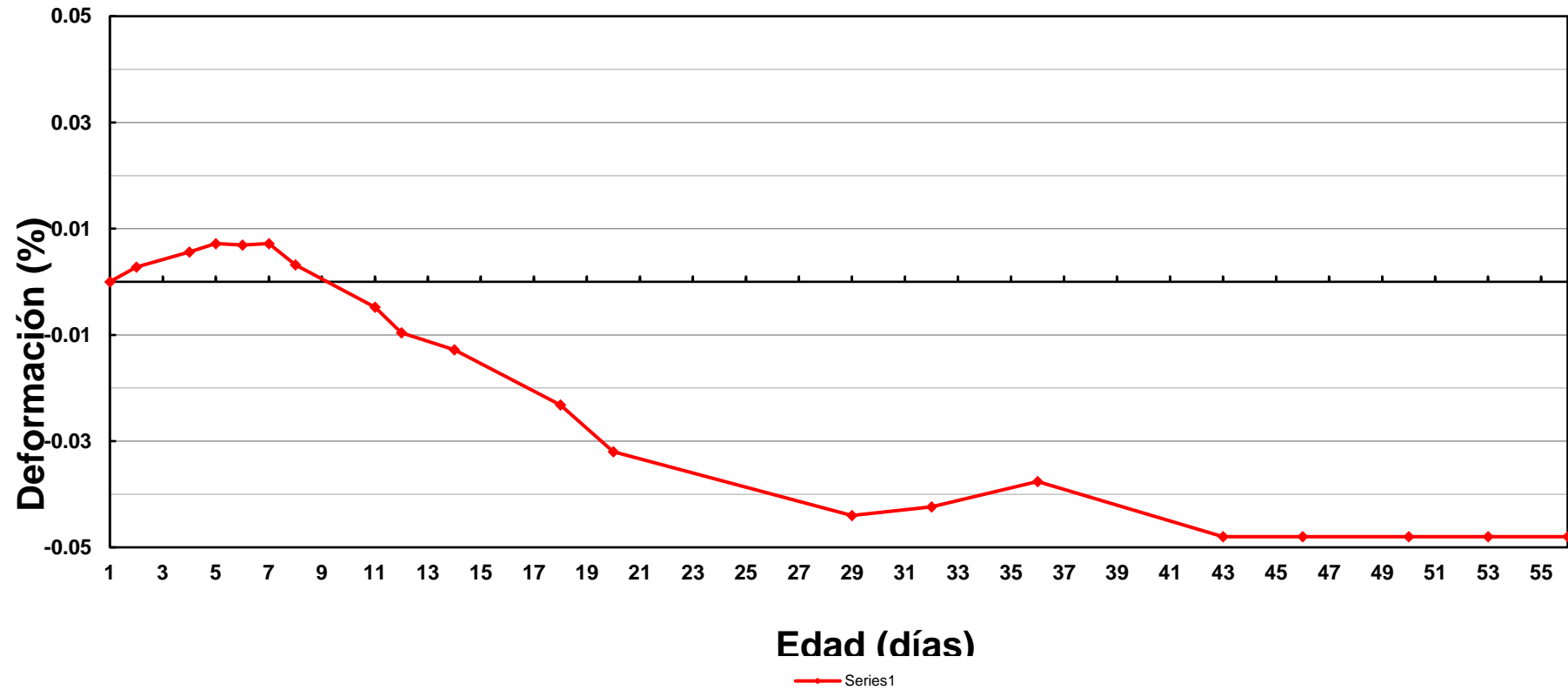
Muestra	Origen	A	B	C	Ds	Dsss	D	Po
		g	g	g	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	%
Agregado 78	Huayco	2947,4	3000,2	1846	2554	2599	2676	1,79
Agregado 67	Huayco	2958,5	3000,2	1865	2606	2643	2706	1,41
A	Masa en el aire de la muestra secada en el horno							
B	Masa en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco							
C	Masa en el agua de la muestra en estado saturado							
Ds	Densidad de volumen a 23C° del agregado grueso seco							
Dsss	Densidad de volumen a 23C° del agregado grueso en estado saturado superficialmente seco							
D	Densidad aparente del árido a 23°C							
Po	Porcentaje de absorción de agua del árido grueso							

ANEXO F

Gráficas de retracción

Viga Patrón al agua (170-00040)

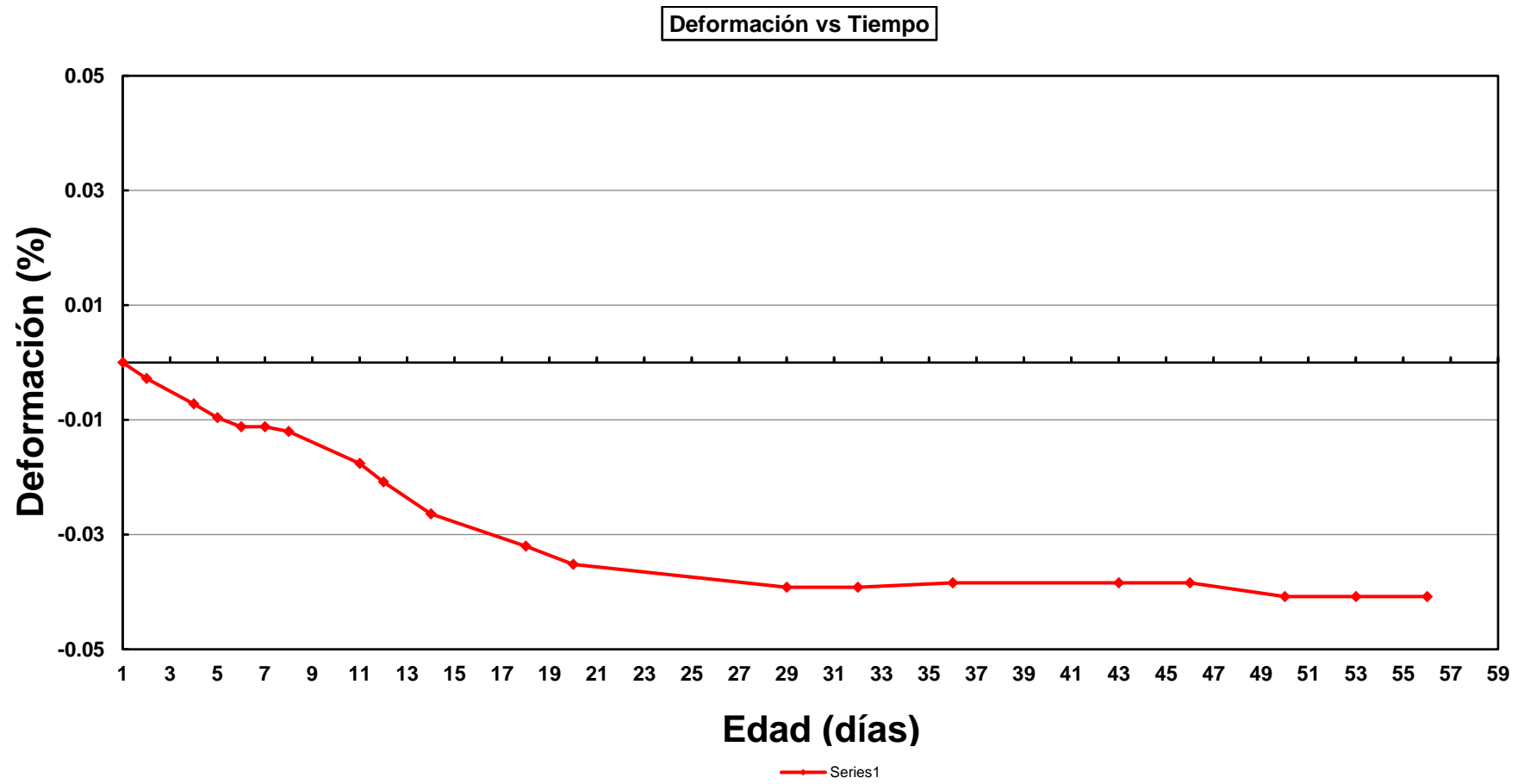
Deformación vs Tiempo



Muestra	Lecturas relativas (mm.)									
170-00040	Lo	L								
#	1 días	2 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	11 días	12 días	14 días
1	5,670	5,676	5,692	5,680	5,700	5,686	5,680	5,650	5,638	5,626
2	5,670	5,676	5,692	5,680	5,678	5,686	5,680	5,650	5,638	5,626
3	5,670	5,676	5,692	5,680	5,678	5,686	5,680	5,650	5,638	5,626
PATRÓN	7,604	7,603	7,612	7,596	7,602	7,602	7,606	7,596	7,596	7,592
fecha:	9/11/2018	10/11/2018	12/11/2018	13/11/2018	14/11/2018	15/11/2018	16/11/2018	19/11/2018	20/11/2018	22/11/2018
Observación							ambiente	ambiente	ambiente	ambiente

Muestra											
170-00040											
#	18 días	20 días	29 días	32 días	36 días	43 días	46 días	50 días	53 días	56 días	60 días
1	5,600	5,612	5,562	5,574	5,574	5,552	5,552	5,552	5,552	5,552	5,552
2	5,600	5,612	5,562	5,574	5,574	5,552	5,552	5,552	5,552	5,552	5,552
3	5,600	5,612	5,562	5,574	5,574	5,552	5,552	5,552	5,552	5,552	5,552
PATRÓN	7,592	7,626	7,606	7,614	7,602	7,606	7,606	7,606	7,606	7,606	7,606
fecha:	26/11/2018	28/11/2018	7/12/2018	10/12/2018	14/12/2018	21/12/2018	24/12/2018	28/12/2018	31/12/2018	3/1/2019	7/1/2019

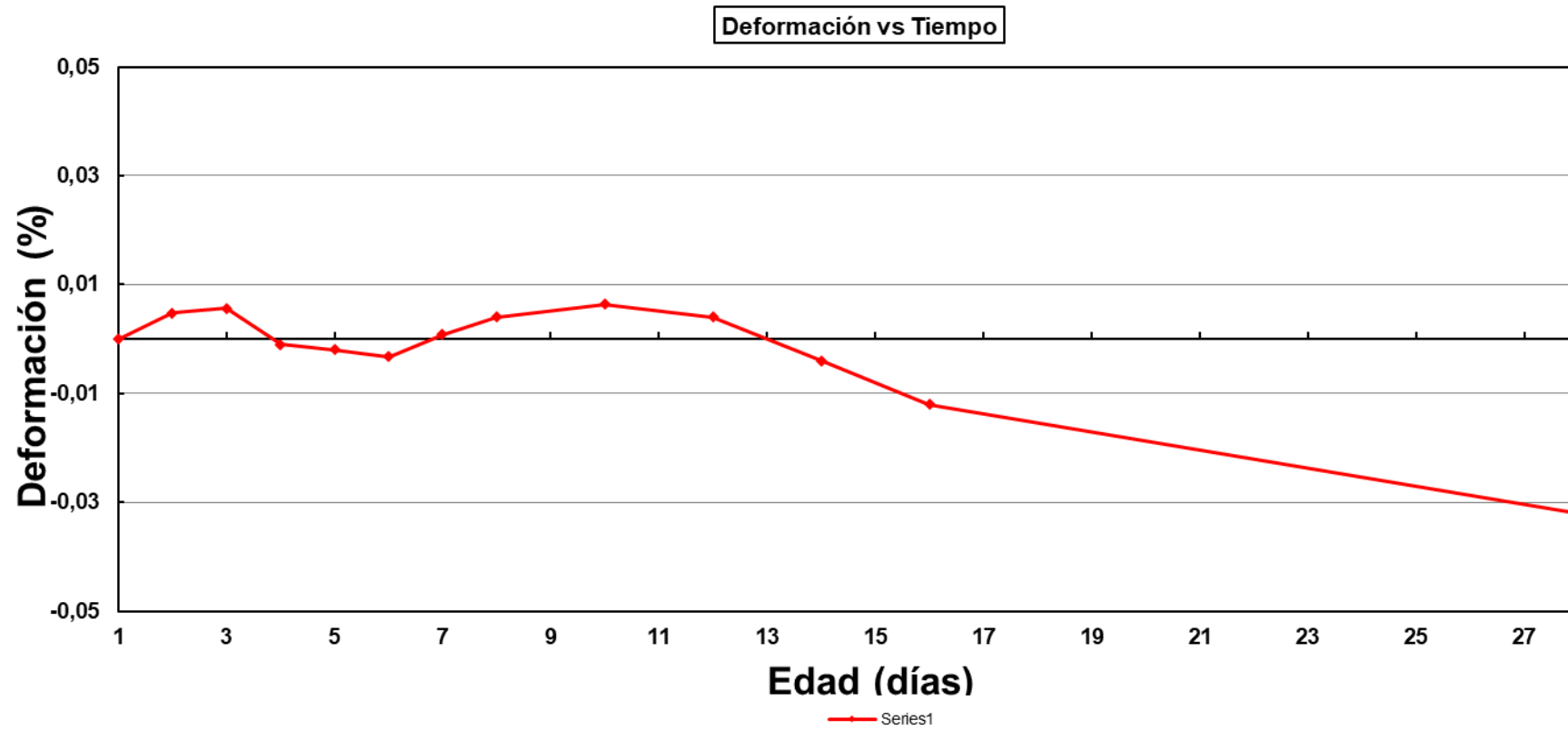
Viga Patrón al aire.



Lecturas relativas (mm.)											
Lo	L										
1 días	2 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	11 días	12 días	14 días	18 días	20 días
6,182	6,166	6,164	6,154	6,140	6,146	6,146	6,128	6,112	6,116	6,102	6,096
6,182	6,166	6,164	6,154	6,140	6,146	6,146	6,128	6,112	6,116	6,102	6,096
6,182	6,166	6,164	6,154	6,140	6,146	6,146	6,128	6,112	6,116	6,102	6,096
7,612	7,603	7,612	7,608	7,598	7,604	7,606	7,602	7,594	7,612	7,612	7,614
9/11/2018	10/11/2018	12/11/2018	13/11/2018	14/11/2018	15/11/2018	16/11/2018	19/11/2018	20/11/2018	22/11/2018	26/11/2018	28/11/2018

Muestra									
#	29 días	32 días	36 días	43 días	46 días	50 días	53 días	56 días	60 días
1	6,084	6,066	6,080	6,080	6,080	6,062	6,062	6,062	6,062
2	6,084	6,066	6,080	6,080	6,080	6,062	6,062	6,062	6,062
3	6,084	6,066	6,080	6,080	6,080	6,062	6,062	6,062	6,062
PATRÓN	7,612	7,594	7,606	7,606	7,606	7,594	7,594	7,594	7,594
fecha:	7/12/2018	10/12/2018	14/12/2018	21/12/2018	24/12/2018	28/12/2018	31/12/2018	3/1/2019	7/1/2019

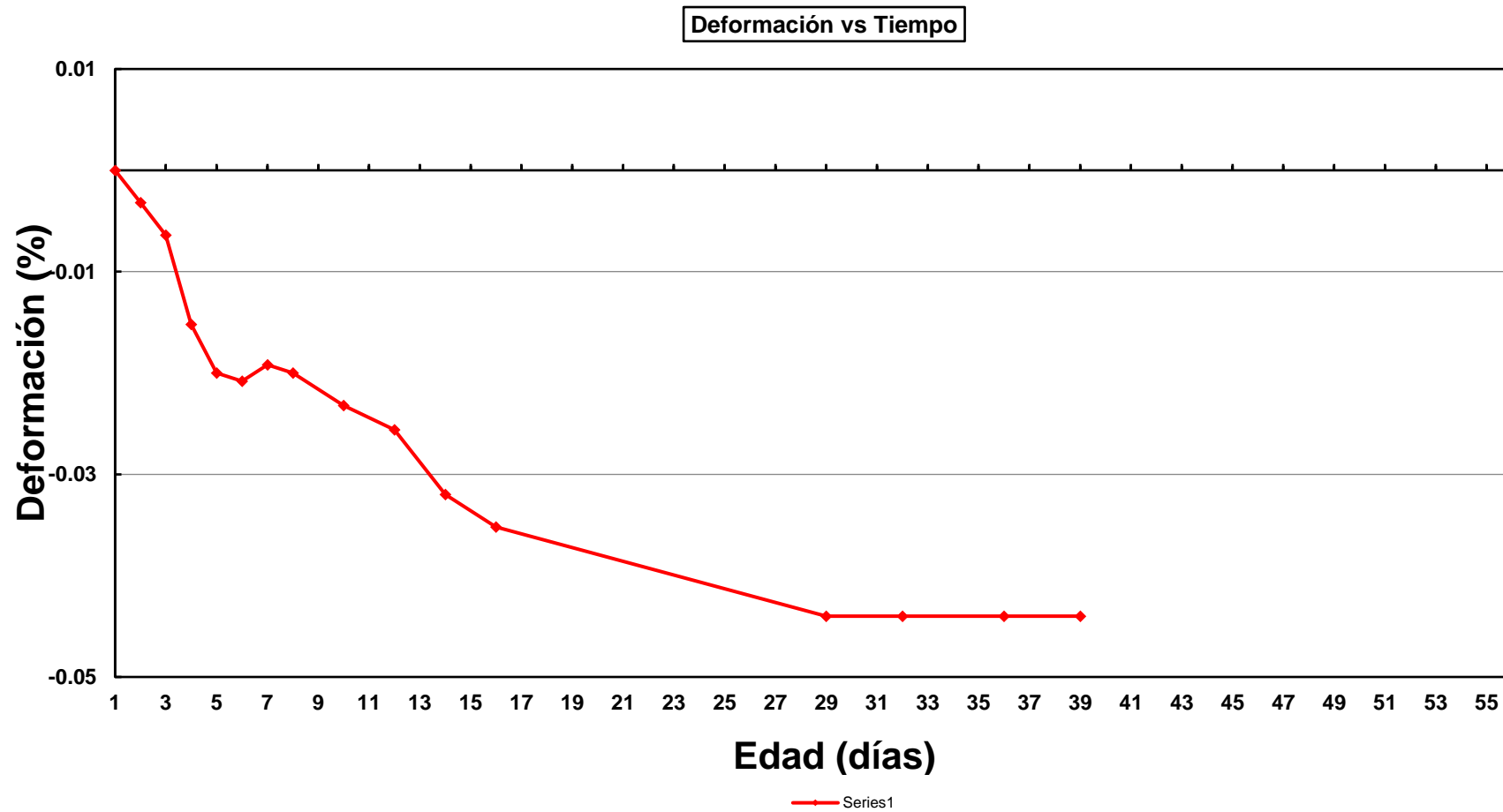
Viga con adición 2,5% Nanosílice al agua



Muestra	Lecturas relativas (mm.)										
	Lo	L									
#	1 días	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	10 días	12 días	14 días
1	7,138	7,152	7,160	7,172	7,650	7,150	7,148	7,150	7,156	7,150	7,126
2	7,138	7,152	7,160	7,172	7,650	7,150	7,148	7,150	7,156	7,150	7,126
3	7,138	7,152	7,160	7,172	7,650	7,150	7,148	7,150	7,156	7,150	7,126
PATRÓN	7,594	7,596	7,602	7,606	7,606	7,614	7,602	7,596	7,596	7,596	7,592
fecha:	13/11/2018	14/11/2018	15/11/2018	16/11/2018	17/11/2018	18/11/2018	19/11/2018	20/11/2018	22/11/2018	24/11/2018	26/11/2018

Muestra										
#	16 días	29 días	32 días	36 días	39 días	42 días	46 días	49 días	52 días	56 días
1	7,118	7,066	7,062	7,062	7,062	7,062	7,030	7,030	7,030	7,030
2	7,118	7,066	7,062	7,062	7,062	7,062	7,030	7,030	7,030	7,030
3	7,118	7,066	7,062	7,062	7,062	7,062	7,030	7,030	7,030	7,030
PATRÓN	7,604	7,606	7,608	7,608	7,608	7,608	7,592	7,592	7,592	7,592
fecha:	28/11/2018	11/12/2018	14/12/2018	18/12/2018	21/12/2018	24/12/2018	28/12/2018	31/12/2018	3/1/2019	7/1/2019

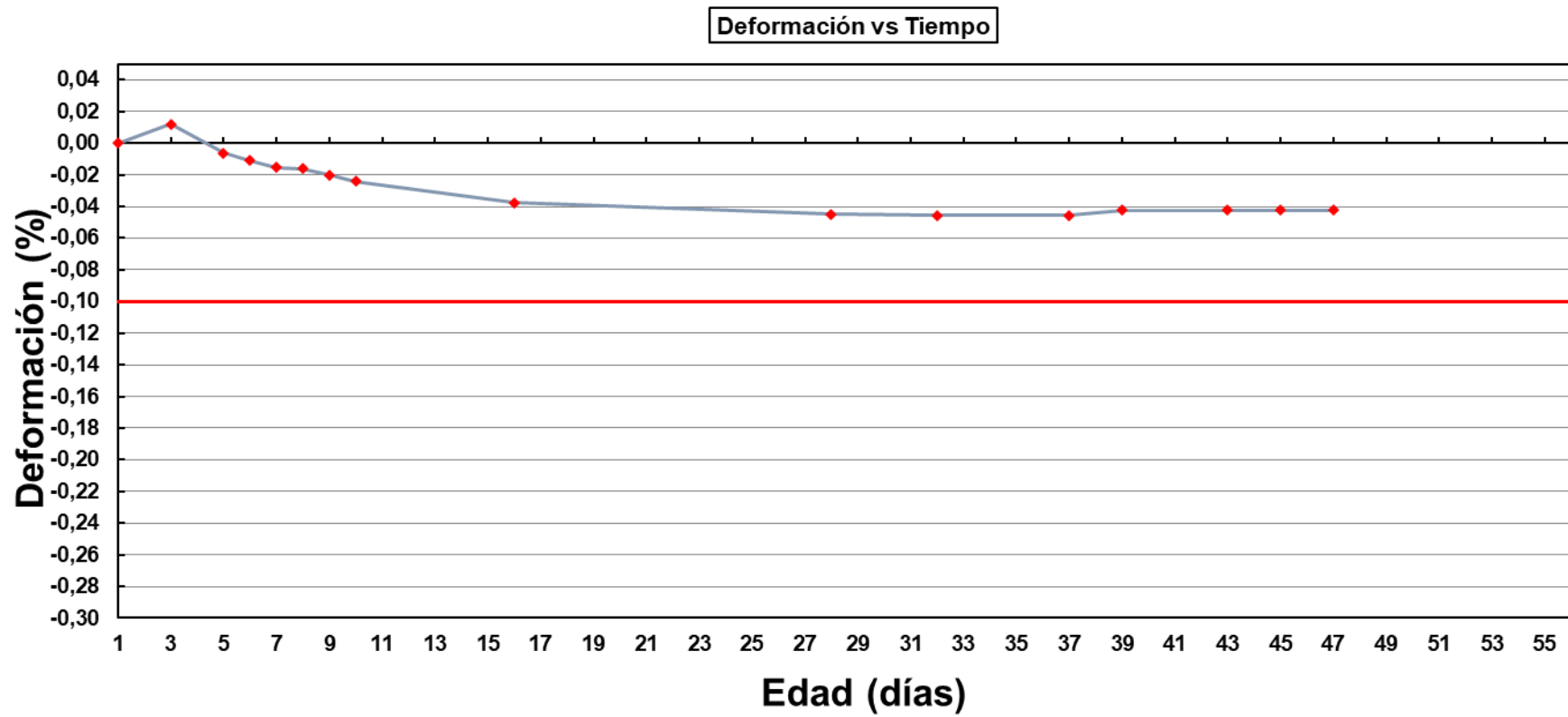
Viga con adición 2,5% Nanosílice al aire



Muestra	Lecturas relativas (mm.)										
	Lo	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
#	1 días	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	10 días	12 días	14 días
1	6,812	6,812	6,804	6,776	6,760	6,760	6,766	6,764	6,750	6,756	6,742
2	6,182	6,812	6,804	6,776	6,760	6,760	6,766	6,764	6,750	6,756	6,742
3	6,182	6,812	6,804	6,776	6,760	6,760	6,766	6,764	6,750	6,756	6,742
PATRÓN	7,594	7,602	7,602	7,596	7,592	7,594	7,596	7,596	7,590	7,602	7,604
fecha:	13/11/2018	14/11/2018	15/11/2018	16/11/2018	17/11/2018	18/11/2018	19/11/2018	20/11/2018	22/11/2018	24/11/2018	26/11/2018

Muestra										
	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20
#	16 días	29 días	32 días	36 días	39 días	42 días	46 días	49 días	52 días	56 días
1	6,732	6,704	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720
2	6,732	6,704	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720
3	6,732	6,704	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720
PATRÓN	7,602	7,596	7,612	7,612	7,612	7,612	7,612	7,612	7,612	7,612
fecha:	28/11/2018	11/12/2018	14/12/2018	18/12/2018	21/12/2018	24/12/2018	28/12/2018	31/12/2018	3/1/2019	7/1/2019

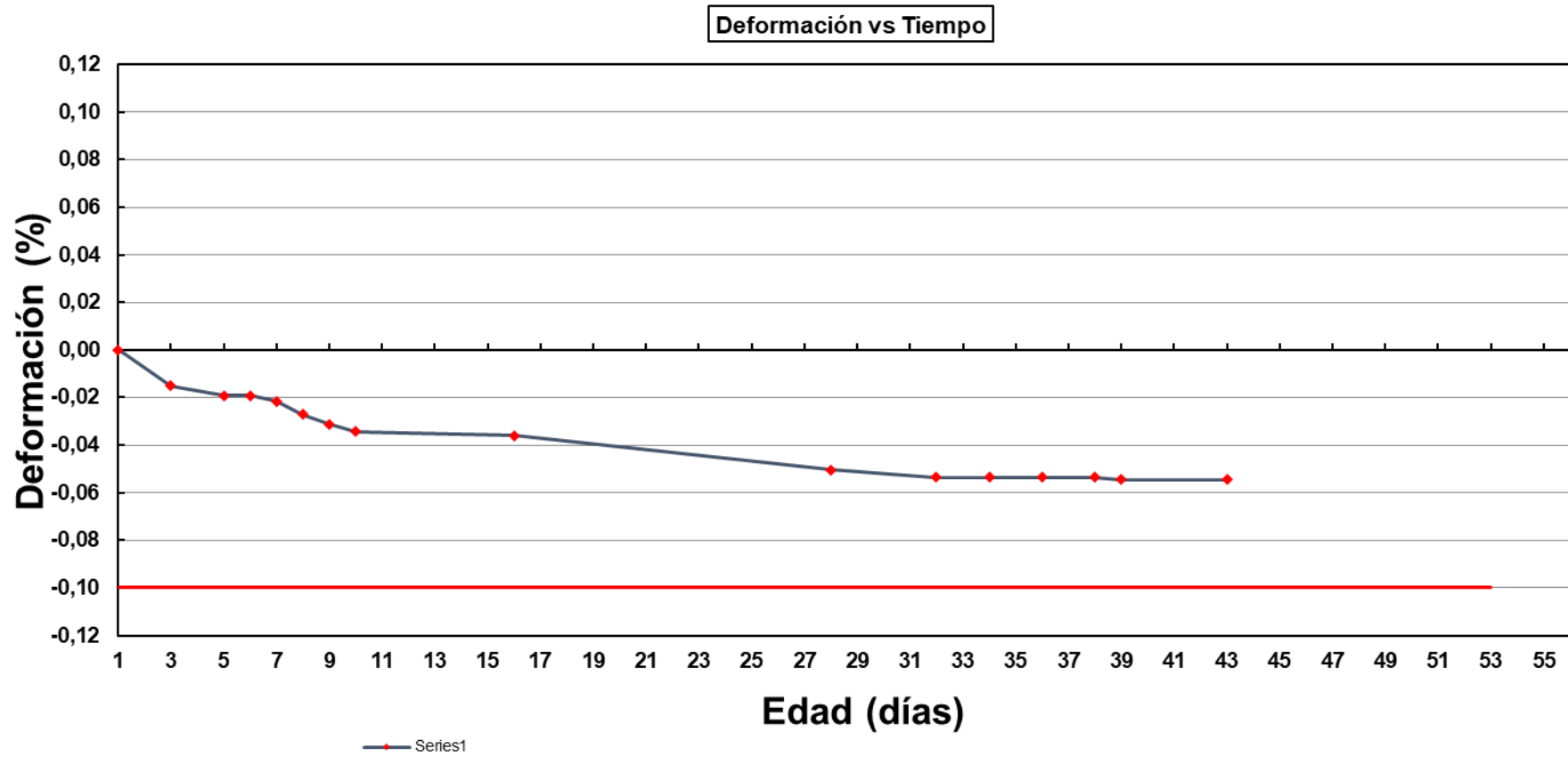
Viga con adición 5% Nanosílice al agua



Muestra	Lecturas relativas (mm.)									
	Lo	L								
#	1 días	3 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días	16 días	28 días
1	8,966	8,992	8,950	8,935	8,924	8,930	8,920	8,912	8,868	8,850
2	8,966	8,992	8,950	8,935	8,924	8,930	8,920	8,912	8,868	8,850
3	8,966	8,992	8,950	8,935	8,924	8,930	8,920	8,912	8,868	8,850
PATRÓN	7,596	7,592	7,596	7,592	7,592	7,600	7,600	7,602	7,592	7,592
fecha:	20/11/2018	22/11/2018	24/11/2018	25/11/2018	26/11/2018	27/11/2018	28/11/2018	29/11/2018	5/12/2018	17/12/2018

Muestra										
#	32 días	37 días	39 días	43 días	45 días	47 días	49 días	51 días	53 días	55 días
1	8,848	8,848	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858
2	8,848	8,848	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858
3	8,848	8,848	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858	8,858
PATRÓN	7,592	7,592	7,594	7,594	7,594	7,594	7,594	7,594	7,594	7,594
fecha:	21/12/2018	26/12/2018	28/12/2018	1/1/2019	3/1/2019	5/1/2019	7/1/2019	9/1/2019	11/1/2019	13/1/2019

Viga con adición 5% Nanosílice al aire



Muestra	Lecturas relativas (mm.)										
	Lo	L									
#	1 días	3 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días	16 días	28 días	32 días
1	7,222	7,180	7,174	7,170	7,164	7,150	7,140	7,138	7,128	7,104	7,098
2	7,222	7,180	7,174	7,170	7,164	7,150	7,140	7,138	7,128	7,104	7,098
3	7,222	7,180	7,174	7,170	7,164	7,150	7,140	7,138	7,128	7,104	7,098
PATRÓN	7,596	7,592	7,596	7,592	7,592	7,592	7,592	7,598	7,592	7,604	7,606
fecha:	20/11/2018	22/11/2018	24/11/2018	25/11/2018	26/11/2018	27/11/2018	28/11/2018	29/11/2018	5/12/2018	17/12/2018	21/12/2018

Muestra											
	Lo										
#	1 días	34 días	36 días	38 días	39 días	43 días	45 días	47 días	49 días	51 días	53 días
1	7,222	7,098	7,098	7,098	7,084	7,084	7,084	7,084	7,084	7,084	7,084
2	7,222	7,098	7,098	7,098	7,084	7,084	7,084	7,084	7,084	7,084	7,084
3	7,222	7,098	7,098	7,098	7,084	7,084	7,084	7,084	7,084	7,084	7,084
PATRÓN	7,596	7,606	7,606	7,606	7,594	7,594	7,594	7,594	7,594	7,594	7,594
fecha:	20/11/2018	23/12/2018	25/12/2018	27/12/2018	28/12/2018	1/1/2019	3/1/2019	5/1/2019	7/1/2019	9/1/2019	11/1/2019

ANEXO G

kT	m/s	MPa
Permeabilidad	Ultrasonido	Resistencia 28 días
0,009	4522	53,19
0,035	4559,666667	55,04
0,584	4354,333333	44,04
1,71	4206,666667	46,1
1,798	4392,666667	48,1
1,47	4265,333333	46,6
0,022	4546	50,2
0,024	4589	50,06

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,86763153
Coefficiente de determinación R ²	0,75278447
R ² ajustado	0,65389826
Error típico	0,48042145
Observaciones	8

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	3,514064172	1,757032086	7,612633483	0,030387107
Residuos	5	1,154023828	0,230804766		
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%
Intercepción	22,8630581	6,289212887	3,635281317	0,014977368	6,696121698
Ultrasonido	-0,00517879	0,00198241	-2,612371548	0,047533445	-0,01027474
Resistencia 28 días	0,01591916	0,077885638	0,204391485	0,846106908	-0,184292246

Regresión Lineal Simple

kT	m/s
Permeabilidad	Ultrasonido
0,009	4522
0,035	4559,666667
0,584	4354,333333
1,71	4206,666667
1,798	4392,666667
1,47	4265,333333
0,022	4546
0,024	4589

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,866440388
Coefficiente de determinación R ²	0,750718945
R ² ajustado	0,709172103
Error típico	0,440391095
Observaciones	8

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	3,5044221	3,5044221	18,06921781	0,005375459
Residuos	6	1,1636659	0,193944317		
Total	7	4,668088			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%
Intercepción	22,25146559	5,070852219	4,38811163	0,004627419	9,843537205
Ultrasonido	-0,004864018	0,001144262	-4,250790257	0,005375459	-0,007663927

Regresión Lineal Simple

kT	MPa
permeabilidad	resistencia 28 días
0,009	53,19
0,035	55,04
0,584	44,04
1,71	46,1
1,798	48,1
1,47	46,6
0,022	50,2
0,024	50,06
Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,64448486
Coeficiente de determinación R ²	0,41536074
R ² ajustado	0,31792086
Error típico	0,67443155
Observaciones	8

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1,938940488	1,938940488	4,26273878	0,084511971
Residuos	6	2,729147512	0,454857919		
Total	7	4,668088			
	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%
Intercepción	7,69526054	3,393365684	2,26773689	0,06386587	-0,608006166
Resistencia 28 días	-0,14214549	0,068847586	-2,064640108	0,08451197	-0,31060946

ANEXO H

Registro de Resistencias a compresión

Hormigón Patrón.

Id.	Secuencia	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad	Diámetro mm	Altura mm	Peso kg.	Carga Rotura kN	Resistencia MPa
25664	1	8/11/2018	9/11/2018	1	100	200	3711	120,8	15,38
25664	2	8/11/2018	9/11/2018		100	200	3701	124,5	15,86
25664	3	8/11/2018	12-nov	4	100	200	3773	261,1	33,25
25664	4	8/11/2018	12-nov		100	200	3799	261,3	33,27
25664	5	8/11/2018	15/11/2018	7	100	200	3804	315,0	40,10
25664	6	8/11/2018	15/11/2018		100	200	3764	310,0	39,47
25664	7	8/11/2018	6/12/2018	28	100	200	3831	378	48,10
25664	8	8/11/2018	6/12/2018		100	200	3788	366,4	46,60
25664	9	8/11/2018	17/1/2019	70	100	200	3835	398,2	50,70
25664	10	8/11/2018	17/1/2019		100	200	3775	399,0	50,80

Hormigón con 2,5 de nanosílice y adición de agua.

Id.	Secuencia	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad	Diámetro mm	Altura mm	Peso kg.	Carga Rotura kN	Resistencia MPa
25670	1	12/11/2018	13/11/2018	1	102	204	3835	118,2	15,05
25670	2	12/11/2018	16/11/2018	4	100	200	3820	215,5	27,44
25670	3	12/11/2018	16/11/2018		100	200	3845	246,3	31,36
25670	4	12/11/2018	19/11/2018	7	100	200	3905	295,1	37,57
25670	5	12/11/2018	19/11/2018		100	200	3824	299,8	38,17
25670	6	12/11/2018	10/12/2018	28	100	200	3867	345,9	44,04
25670	7	12/11/2018	10/12/2018		100	200	3832	362,0	46,10
25670	8	12/11/2018	21/1/2019	70	100	200	3847	368,3	46,89
25670	9	12/11/2018	21/1/2019		100	200	3868	375,4	47,8

Hormigón con 2,5 % de nanosílice sin adición de agua.

Id.	Secuencia	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad	Diámetro mm	Altura mm	Peso kg.	Carga Rotura kN	Resistencia MPa
25680	1	15/11/2018	16/11/2018	1	100	200	3794	92,6	11,79
25680	2	15/11/2018	16/11/2018		100	200	3793	88,4	11,26
25680	3	15/11/2018	19/11/2018	4	100	200	3811	296,3	37,73
25680	4	15/11/2018	19/11/2018		100	200	3852	305,9	38,96
25680	5	15/11/2018	22/11/2018	7	100	200	3843	331,7	42,26
25680	6	15/11/2018	22/11/2018		100	200	3872	337,8	43,01
25680	7	15/11/2018	13/12/2018	28	100	200	3894	417,8	53,19
25680	8	15/11/2018	13/12/2018		100	200	3841	432,3	55,04
25680	9	15/11/2018	24/1/2019	70	100	200	3845	470,7	59,93
25680	10	15/11/2018	24/1/2019		100	200	3798	458	58,31

Hormigón con 5% de nanosílice.

Id.	Secuencia	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad	Diámetro mm	Altura mm	Peso kg.	Carga Rotura kN	Resistencia MPa
25689	1	19/11/2018	20/11/2018	1	100	200	3795	127,6	16,25
25689	2	19/11/2018	20/11/2018		100	200	3824	119,3	15,19
25689	3	19/11/2018	23/11/2018	4	100	200	3845	261,1	32,63
25689	4	19/11/2018	23/11/2018		100	200	3824	261,5	33,92
25689	5	19/11/2018	26/11/2018	7	100	200	3845	314,5	40,05
25689	6	19/11/2018	26/11/2018		100	200	3874	310,6	39,55
25689	7	19/11/2018	17/12/2018	28	100	200	3830	394,2	50,2
25689	8	19/11/2018	17/12/2018		100	200	3858	393,2	50,06
25689	9	19/11/2018	28/1/2019	70	100	200	-	-	-
25689	10	19/11/2018	28/1/2019		100	200	3896	414,7	52,81

Hormigón con 2,5% de nanosílice dosificación óptima.

Id.	Secuencia	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad	Diámetro mm	Altura mm	Peso kg.	Carga Rotura kN	Resistencia MPa
25799	1	17/1/2019	20/11/2018	1	100	200	3860	39,4	5,01
25799	2	17/1/2019	20/11/2018		100	200	3846	47,4	6,04
25799	3	17/1/2019	21/1/2019	4	100	200	3882	294,3	37,47
25799	4	17/1/2019	21/1/2019		100	200	3918	298,7	38,04
25799	5	17/1/2019	24/1/2019	7	100	200	3908	346,5	44,11
25799	6	17/1/2019	24/1/2019		100	200	3838	371,5	47,30

ANEXO I

Proformas consideradas en el análisis de costos unitarios y el cálculo de los rubros considerados.



Sr. Andrés Velasco
PROYECTO ESPOL
Ciudad.-

21/01/2019

De nuestras consideraciones:

De acuerdo a las instrucciones impartidas por ustedes, ponemos a su consideración el presupuesto de la solución en cemento Holcim Premium (Tipo HE) para la elaboración de concretos de alta resistencia, como por ejemplo pilotes cuyo precio es el siguiente:

1.- CEMENTO SACOS	CANTIDAD SACOS	PRECIO / SACO \$	TOTAL \$
Cemento PREMIUM TIPO HE Sacos	640	7,72	4940,80

En estos valores NO está incluido el IVA En estos valores NO está incluido el transporte

2.- FORMA DE PAGO: Contado

En esta propuesta está incluido en el ítem 1 el precio de los sacos de cemento requerido para la fabricación de su producto especializado. Nuestro horario de despacho de cemento en Planta Guayaquil es de lunes a sábado en horario ininterrumpido. (24 horas)

El cemento Holcim Premium Tipo HE es un cemento de desencofrado rápido y que produce altas resistencias a edades tempranas y se sostienen en el tiempo

Se denomina tipo HE por sus siglas en inglés de “ high early-strength(alta resistencia temprana) lo que lo hace ideal para fabricar concretos con mayores resistencias mecánicas, edificar estructuras en zonas de alto riesgo sísmico, centrales hidroeléctricas, pavimentos, y obras de infraestructura en general. Así mismo, cuando se requiera mayores resistencias a edades tempranas, como en las plantas de prefabricados.

De producirse hechos que influyan en el alza del costo del cemento debido al incremento de sus materiales o insumos, los precios serán reajustados.

Atentamente,
Ing. José Quinancela C.
Asesor Técnico Comercial
Soluciones en Cemento

Acepto,
Sr. Andrés Velasco

RAZON SOCIAL: HOLCIM ECUADOR S.A.

RUC.:0990293244001

Asesor de Línea - Cemento: José Quinancela.

Tel:+593 4 370 9000 Ext. 363170

Celular: 0986535070 email: jose.quinancela@holcim.com

Estimado Andrés.

El precio por Kg del Sikatell es de USD\$ 5,00 x Kg.

Sikaplast 2001-R es de USD\$ 1,27 x Kg.

Sikaplast 5012 es de USD\$2,37 x Kg,

Estos son PVP.

saludos

CONSTRUYENDO CONFIANZA



ING. EFREN AVILES

Jefe de Infraestructura

División Concrete

SIKA ECUATORIANA S.A.

Edificio Metropolitano. Av. Naciones Unidas entre Iñaquito y Núñez de Vela.

Piso 11. Oficina 1112 - Quito / Ecuador.

Tel : +5934 2812700 Ext. 143 – Cel. : +593 997987715

Fax : +5934 2812700 Ext. 182

aviles.efren@ec.sika.com

R.U.C: 0992351144001

FACTURA

Nº: 001001-000175400

NUMERO DE AUTORIZACIÓN

020120190109923511440012001001000175400000000119

Fecha y Hora de Autorización: 02.01.2019/06.44.11

Ambiente: PRODUCCION

Emisión: Normal

Clave de Acceso



020120190109923511440012001001000175400000000119

CALIZAS HUAYCO S A

Dir Matriz: Via a la Costa Km. 12

Dir Sucursal: Km 12 via a la Costa

Contribuyente Especial Nº: 870

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD SI

Razón Social/Nombres y Apellidos: HOLCIM ECUADOR S.A.

RUC/CI: 0990293244001

Fecha Emisión: 02.01.2019

Guía de Remisión:

Moneda: DOLAR

Cód. Principal	Cód. Auxiliar	Cantidad	Descripción	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
10016518	8	38.430	ARENA UNIFICADA (0 - 5 MM) CE GYE				6.86	0.00	263.63
10018697	7	159.570	PIEDRA #67 (5 - 19 MM) CE GYE				6.90	0.00	1,101.03
10018699	5	120.000	PIEDRA #78 (5 - 12,5 MM) CE GYE				9.00	0.00	1,080.00

Información Adicional

Pedido: 5580000998

Hoja de servicio:

Monto enviado: 2,738.02

Factura HY: 0000000000000

SUBTOTAL 12%	2,444.66
SUBTOTAL 0%	0.00
SUBTOTAL No objeto de IVA	0.00
SUBTOTAL Sin Impuestos	2,444.66
DESCUENTO	0.00
ICE	0.00
IVA 12%	293.36
PROPINA	0.00
VALOR TOTAL	2,738.02

Rubro:	Hormigón Patrón			
Detalle:		No.		1
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		A	B	C=A*B
Cemento HE	kg	415.000	0.154	63.91
Piedra 78	kg	559.000	0.009	5.25
Piedra 67	kg	314.000	0.008	2.56
Arena Triturada	kg	570.000	0.008	4.42
Arena de Río	kg	301.000	0.013	3.99
2001 R Retardante	kg	3.320	1.270	4.22
5012 Plastificante	kg	3.740	2.370	8.86
Agua	m3	0.180	0.720	0.13
Nanosílice	kg	-	-	-
<i>ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.</i>	VALOR OFERTADO			\$93.34

Rubro:	Hormigón 2.5% Nanosílice			
Detalle:		No.		1
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		A	B	C=A*B
Cemento HE	kg	415.00	0.154	63.91
Piedra 78	kg	559.00	0.009	5.25
Piedra 67	kg	314.00	0.008	2.56
Arena Triturada	kg	571.00	0.008	4.43
Arena de Río	kg	302.00	0.013	4.00
2001 R Retardante	kg	3.32	1.270	4.22
5012 Plastificante	kg	4.57	2.370	10.83
Agua	m3	0.17	0.720	0.12
Nanosilice	kg	10.38	5.000	51.88
<i>ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.</i>	VALOR OFERTADO			\$147.20

Rubro:	Hormigón 2.5% Nanosílice			
Detalle:			No.	2
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		A	B	C=A*B
Cemento HE	kg	380.00	0.154	58.52
Piedra 78	kg	570.00	0.009	5.35
Piedra 67	kg	320.00	0.008	2.61
Arena Triturada	kg	586.00	0.008	4.55
Arena de Río	kg	310.00	0.013	4.11
2001 R Retardante	kg	3.04	1.270	3.86
5012 Plastificante	kg	3.80	2.370	9.01
Agua	m3	0.17	0.720	0.12
Nanosilice	kg	9.50	5.000	47.50
<i>ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.</i>	VALOR OFERTADO			\$135.62

Rubro:	Hormigón 5.0% Nanosílice			
Detalle:			No.	1
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		A	B	C=A*B
Cemento HE	kg	415.00	0.154	63.91
Piedra 78	kg	559.00	0.009	5.25
Piedra 67	kg	314.00	0.008	2.56
Arena Triturada	kg	566.00	0.008	4.39
Arena de Río	kg	299.00	0.013	3.96
2001 R Retardante	kg	3.32	1.270	4.22
5012 Plastificante	kg	3.74	2.370	8.86
Agua	m3	0.17	0.720	0.12
Nanosilice	kg	20.75	5.000	103.75
<i>ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.</i>	VALOR OFERTADO			\$197.02