

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Influencia del aditivo SIKA VISCOCRETE-40 HSCL sobre las propiedades mecánicas y durabilidad en concretos autocompactantes

Línea de investigación: Ingeniería de la construcción, ingeniería urbana, ingeniería estructural

Sub Línea de investigación: Estructuras y materiales

Autores:

Delgado Pino, Orlando Jaimito

Vivar Hurtado, Marco Ricardo

Jurado Evaluador:

Presidente : Hurtado Zamora, Oswaldo

Secretario : Merino Martínez, Marcelo Edmundo

Vocal : Cancino Rodas, Cesar Leonidas

Asesor:

Medina Carbajal, Lucio Sigifredo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5207-4421>

TRUJILLO-PERÚ
2023

Fecha de Sustentación: 2023/07/14

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Influencia del aditivo SIKA VISCOCRETE-40 HSCL sobre las propiedades mecánicas y durabilidad en concretos autocompactantes

Línea de investigación: Ingeniería de la construcción, ingeniería urbana, ingeniería estructural

Sub Línea de investigación: Estructuras y materiales

Autores:

Delgado Pino, Orlando Jaimito

Vivar Hurtado, Marco Ricardo

Jurado Evaluador:

Presidente : Hurtado Zamora, Oswaldo

Secretario : Merino Martínez, Marcelo Edmundo

Vocal : Cancino Rodas, Cesar Leonidas

Asesor:

Medina Carbajal, Lucio Sigifredo

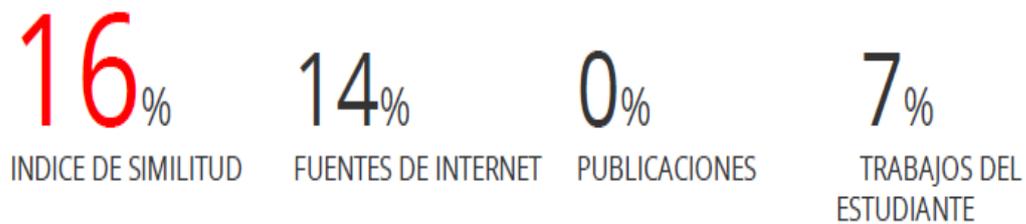
Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5207-4421>

TRUJILLO-PERÚ
2023

Fecha de Sustentación: 2023/07/14

Influencia del aditivo SIKA VISCOCRETE-40 HSCL sobre las propiedades mecánicas y durabilidad en concretos autocompactantes

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	10%
2	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	4%
3	docplayer.es Fuente de Internet	2%

AME

Excluir citas Apagado

Excluir coincidencias < 2%

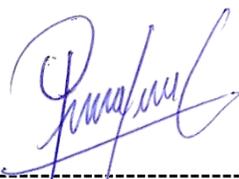
Excluir bibliografía Apagado

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **Lucio Sigifredo Medina Carbajal**, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada **"INFLUENCIA DEL ADITIVO SIKA VISCOCRETE–40 HSCL SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DURABILIDAD EN CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES"**, de los autores **Delgado Pino Orlando Jaimito** y **Vivar Hurtado Marco Ricardo**, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del **16%**. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día **27 de junio del 2023**.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **"INFLUENCIA DEL ADITIVO SIKA VISCOCRETE - 40 HSCL SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DURABILIDAD EN CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES"**, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

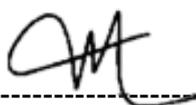
Trujillo, 27 de junio del 2023



Delgado Pino Orlando Jaimito
DNI: 45080823



Vivar Hurtado Marco Ricardo
DNI: 42774620



Medina Carbajal, Lucio Sigifredo
DNI: 40534510

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5207-4421>

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a toda mi familia, principalmente a mis padres que con su apoyo y amor incondicional me ayudaron en los momentos malos y menos malos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades con paciencia y buen humor. Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio.

Marco Ricardo Vivar Hurtado.

Le dedico el resultado de este trabajo a mi novia y a mis padres que me apoyan siempre y con todo el amor del mundo me han formado como una persona íntegra, la persona que soy hoy se los debo a ustedes, gracias porque en su amor incondicional encuentro el motivo para seguir cumpliendo mis sueños cada día.

Orlando Jaimito Delgado Pino

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Lucio Medina Carbajal, Catedrático de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, por brindarnos el asesoramiento en el presente trabajo de investigación.

Al Ing. Walter Hugo Delgado Florián por su apoyo en la realización de los ensayos y utilización del laboratorio de Suelos, CECAPED.

Br. Delgado Pino Orlando Jaimito

Br. Vivar Hurtado Marco Ricardo

RESUMEN

Esta investigación titulada “Influencia del aditivo SIKA VISCOCRETE-40 HSCL sobre las propiedades mecánicas y durabilidad en concretos autocompactantes” busca aportar en la cadena del conocimiento métodos para elaborar un concreto autocompactante de alto rendimiento, con el fin de minimizar los problemas que enfrentan la realización de muros anclados, como muros de contención en excavaciones profundas, de espesores considerables, encofrados a una cara, y por los esfuerzos de empuje del volumen de concreto a verter involucrado esta impedidos de poder utilizar medios de vibración mecánicas, por el peligro de abrirse el encofrado, creando posibles consecuencias en la calidad, vacíos internos, cangrejeras, armaduras de refuerzo expuestas, etc. sumado a esto la necesidad de conseguir resistencias a la compresión tempranas del concreto vertido, para poder anclar el muro y avanzar en el proceso constructivo, sin olvidar, un grado de impermeabilidad necesario debido a suelos con contenidos considerables de sales solubles totales en condiciones de humedad, por la cercanía con la napa freática. Por lo cual, el principal objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del aditivo Sika ViscoCrete-40 HSCL sobre la fluidez, segregación, resistencia a la compresión y profundidad de penetración de agua de concretos autocompactantes.

Inicialmente se realizó los ensayos de caracterización de los agregados, luego se hizo ensayos del concreto en estado fresco mediante los ensayos de extensibilidad, embudo V, Anillo J, la caja en L y la caja en U, luego se realizaron los ensayos de concreto en estado endurecido para la resistencia a la compresión axial y la permeabilidad.

Se concluyó que el efecto de aditivo brinda una buena trabajabilidad, resistencia a la compresión axial favorable a edades tempranas y que alcanza un grado beneficioso de bajo de permeabilidad.

Palabras clave: Durabilidad, consistencia, permeabilidad, capacidad de relleno y resistencia al bloque.

ABSTRACT

This research entitled "Influence of SIKA VISCOCRETE-40 HSCL admixture on the mechanical properties and durability of self-compacting concrete" seeks to contribute to the chain of knowledge of methods to elaborate a high performance self-compacting concrete, in order to minimize the problems faced in the realization of anchored walls, as retaining walls in deep excavations, with considerable thicknesses, one-sided formwork, and due to the thrust forces of the volume of concrete to be poured involved, it is not possible to use mechanical vibration methods, because of the danger of opening the found, creating possible consequences in the quality, internal voids, crabbing, exposed reinforcing steel, etc. Added to this is the need to achieve early compressive strengths of the poured concrete, in order to anchor the wall and advance in the construction process, without forgetting a necessary degree of impermeability due to soils with considerable contents of total soluble salts in humid conditions, due to the proximity to the water table. Therefore, the main objective of this research was to determine the effect of Sika ViscoCrete-40 HSCL admixture on the flowability, segregation, compressive strength and water penetration depth of self-compacting concrete.

Initially, aggregate characterization tests were carried out, then fresh concrete was tested by means of extensibility, V-funnel, J-ring, L-box and U-box tests, and then hardened concrete was tested for axial compressive strength and permeability.

It was concluded that the admixture effect provides good workability, favorable axial compressive strength at early ages and reaches a beneficial low degree of permeability.

Keywords: Durability, consistency, permeability, filling capacity and block resistance.

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado: En cumplimiento al reglamento vigente de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, entrego al criterio de evaluación la tesis titulada “**Influencia del aditivo SIKA VISCOCRETE-40 HSCL sobre las propiedades mecánicas y durabilidad en concretos autocompactantes**”, con la finalidad de optar el título profesional de Ingeniero civil.

Atentamente.

Br. Orlando Jaimito Delgado Pino.

Br. Marco Ricardo Vivar Hurtado.

JURADO EVALUADOR:

Dr. Oswaldo Hurtado Zamora
Presidente
CIP: 63712

Ing. Marcelo Merino Martinez
Secretario
CIP: 77111

Ing. Cesar Cancino Rodas
Vocal
CPI: 77103

Ing. Lucio Sigifredo Medina Carbajal
Asesor
CIP: 76695

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
PRESENTACIÓN	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema de investigación.....	1
1.1.1. <i>Realidad Problemática</i>	1
1.1.2. <i>Enunciado del problema</i>	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. <i>Objetivos Generales</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.3. Justificación del estudio.....	3
II. MARCO DE REFERENCIA	5
2.1. Antecedentes del Estudio	5
2.1.1. <i>Antecedentes Locales</i>	5
2.1.2. <i>Antecedentes Nacionales</i>	6
2.1.3. <i>Antecedentes Internacionales</i>	8
2.2. Marco Teórico.....	10
2.2.1. <i>Concreto Autocompactante</i>	10
2.2.1.1. Características.....	10
2.2.1.2. Usos.	11
2.2.1.3. Ventajas.....	11
2.2.2. <i>Componentes de Diseño</i>	12
2.2.2.1. Cemento Portland.....	12
2.2.2.2. Agregado Fino.	12
2.2.2.3. Agregado Grueso.	12
2.2.2.4. Agua de mezclado.	12
2.2.3. <i>Aditivos para el concreto autocompactante</i>	12
2.2.3.1. Aditivo plastificante.	13
2.2.3.2. Aditivo Superplastificante.	13
2.2.3.3. Aditivo Hiperplastificante.	14
2.2.4. Mecanismo de acción del aditivo superplastificante	15
2.2.5. <i>Propiedades en estado fresco del CAC</i>	15

2.2.6.	<i>Ensayos para caracterizar la Autocompactabilidad</i>	16
2.2.6.3.	Ensayo del Embudo en “V”.....	20
2.2.7.	<i>Características de Autocompactabilidad</i>	23
2.3.	Marco Conceptual.....	27
2.4.	Sistema de Hipótesis.....	28
2.5.	Variables. Operacionalización de Variables.....	28
III.	METODOLOGÍA EMPLEADA.....	31
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	31
3.2.	Población y muestra de estudio.....	31
3.2.1.	<i>Población</i>	31
3.2.2.	<i>Muestra</i>	31
3.3.	Diseño de investigación.....	35
3.3.1.	<i>Estudio de las Propiedades Físicas de los Agregados</i>	35
3.3.1.1.	<i>Peso Específico y Absorción del Agregado Fino: NTP 400.022, 2013 - ASTM C128.</i>	35
3.3.1.2.	<i>Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso: (NTP 400.021,2013)</i>	36
3.3.1.3.	<i>Peso Unitario Suelto y Compactado del Agregado Fino y Grueso: NTP 400.017:2013 – ASTM C 29</i>	37
3.3.1.4.	<i>Contenido de Humedad para el agregado Fino y Grueso: NTP 339.185:2013 - ASTM C 70</i>	38
3.3.1.5.	<i>Análisis Granulométrico de los Agregados: NTP 400.012:2013 - ASTM C136</i>	39
3.3.1.6.	<i>Cantidad de Agregados Finos que pasan por el tamiz: N°200: NTP 400.018, 2013 - ASTM C 117</i>	40
3.3.2.	<i>Estudio de las propiedades de fluidez, resistencia al bloqueo y resistencia a la segregación de un CAC en estado fresco</i>	41
3.3.2.1.	<i>Ensayo de Extensibilidad: (UNE 83361) “Este método de prueba cubre la determinación del flujo de asentamiento del Concreto autocompactante”</i>	41
3.3.2.2.	<i>Ensayo de Anillo Japonés: (UNE 83362). Este ensayo sirve para la caracterización del concreto autocompactante en presencia de barras metálicas.</i>	43
3.3.2.3.	<i>Ensayo del Embudo en “V”</i>	44
3.3.2.4.	<i>Método de ensayo de caja en L</i>	44
3.3.2.5.	<i>Ensayo De Caja U</i>	45
3.3.3.	<i>Ensayos de Laboratorio del Concreto Endurecido.</i>	46
3.3.3.1.	<i>Ensayo a la Resistencia a la Compresión (NTP 339.033, 2008)</i>	46

3.3.3.2. Ensayo de Profundidad de penetración de agua bajo presión.	47
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación	48
3.4.1. <i>Técnicas de Recolección de datos</i>	48
3.4.2. <i>Instrumentos de recolección de datos.</i>	49
3.5. Procesamiento y análisis de datos	49
3.5.1. <i>Nivel de significancia - ANOVA</i>	49
3.5.1.1. Criterio de rechazo.	50
3.5.1.2. Intervalos de confianza.....	50
3.5.1.3. Análisis de varianza.....	50
3.5.1.4. Media aritmética.	52
3.5.1.5. Varianza..	52
3.5.1.6. Desviación estándar.	52
3.5.1.7. Coeficiente <i>de variación.</i>	53
3.5.1.8. Análisis de datos.....	53
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	54
4.1. Resultados de las Propiedades Físicas del Agregado Fino.....	54
4.1.1. <i>Análisis granulométrico de la Agregado Fino - NPT:400.12</i>	54
4.1.2. <i>Contenido de Humedad del Agregado Fino (NTP 339.185,2013)</i>	56
4.1.3. <i>Peso Unitario Suelto del Agregado Fino- NTP: 400.017.</i>	56
4.1.4. <i>Peso Unitario Compactado del Agregado Fino - NTP: 400.017,2016</i>	57
4.1.5. <i>Peso Específico y Absorción del Agregado Fino - NTP 400.022</i>	57
4.2. Propiedades físicas del agregado grueso.....	58
4.2.1. <i>Granulometría del agregado grueso - NPT:400.12</i>	58
4.2.2. <i>Contenido de Humedad del Agregado Grueso – NTP:339.185</i>	60
4.2.3. <i>Peso Unitario suelto del Agregado Grueso – NTP:400.017</i>	60
4.2.4. <i>Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso – NTP:400.017</i>	61
4.2.5. <i>Peso Específico y Absorción del Agregado Fino – NTP: 400.022.</i>	61
4.3. Diseños de Mezclas.....	62
4.4. Ensayos de Concreto Autocompactante en Estado Fresco.....	63
4.4.1. <i>Ensayo de Extensibilidad</i>	63
4.4.2. <i>Ensayo del Anillo Japonés</i>	65
4.4.3. <i>Ensayo del embudo en V</i>	67
4.4.4. <i>Ensayo de la caja en L</i>	68
4.5. Ensayos de Concreto Autocompactante en Estado Endurecido.	71
4.5.1. <i>Ensayo de Resistencia a la Compresión Axial</i>	71

4.5.2. <i>Ensayo de Permeabilidad de Concreto.</i>	72
4.6. Análisis e interpretación de resultados	73
4.7. Docimasia de hipótesis	77
4.7.1. <i>Ensayos de Concreto en Estado Endurecido</i>	77
4.7.2. <i>Ensayos de Concreto en Estado Endurecido</i>	79
4.7.2.1. Análisis estadístico de la resistencia a la compresión axial.....	79
4.7.2.2. Análisis estadístico de penetración de agua (Norma EN 12390-8).	86
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	87
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES	90
Referencia Bibliográficas.....	91
ANEXO I	93
ANEXO II	98
ANEXO III	100
ANEXO IV	104
ANEXO V	106
ANEXO VI	109

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Propiedades de ensayos y métodos de evaluación del CAC.....</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 2: Recomendaciones de la Guía Europea para el ensayo de Extensibilidad.</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3: Rango admisible de los ensayos normalizados (instrucciones EHE-08)</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 4: Margen de Valores de los ensayos para CAC.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5: Cuadro de operacionalización de Variables.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 6: Matriz de Ensayos de Autocompactabilidad.....</i>	<i>333</i>
<i>Tabla 7: Matriz de Ensayos de CAC en estado endurecido</i>	<i>344</i>
<i>Tabla 8: Análisis Granulométrico del agregado fino</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 9: Contenido de Humedad del agregado fino</i>	<i>566</i>
<i>Tabla 10: Peso unitario suelto del agregado fino.</i>	<i>566</i>
<i>Tabla 11: Peso unitario compactado del agregado fino</i>	<i>577</i>
<i>Tabla 12: Peso específico y absorción de la arena gruesa</i>	<i>577</i>
<i>Tabla 13: Granulometría del agregado grueso.....</i>	<i>588</i>
<i>Tabla 14: Contenido de Humedad del agregado grueso</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 15: Peso unitario suelto de la grava</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 16: Peso unitario compactado del agregado grueso</i>	<i>611</i>
<i>Tabla 17: Peso específico y absorción de la grava</i>	<i>611</i>
<i>Tabla 18: Parámetros de Diseño de un CAC.</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 19: Ensayo de Extensibilidad</i>	<i>633</i>
<i>Tabla 20: Ensayo del Anillo J – Fluidez de la masa del CAC método con obstrucción.....</i>	<i>655</i>
<i>Tabla 21: Ensayo del embudo en V – Fluidez.....</i>	<i>677</i>
<i>Tabla 22: Ensayo de la Caja en L – Caracteriza la Fluidez y la segregación del CAC.....</i>	<i>688</i>
<i>Tabla 23: Ensayo de la Caja U – Caracteriza la Fluidez y la segregación del CAC.</i>	<i>699</i>
<i>Tabla 24: Ensayo de Resistencia a la Compresión – NTP 339.034.....</i>	<i>711</i>
<i>Tabla 25: Ensayo de Permeabilidad de Concreto.</i>	<i>722</i>
<i>Tabla 26: Resistencia a la compresión axial Vs Aditivo Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento – periodo de 3 días de maduración del concreto.....</i>	<i>799</i>

<i>Tabla 27: ANOVA – Análisis de varianza para comparar múltiples medias (f'c a 3 días)</i>	799
<i>Tabla 28: Análisis entre medias – método de Tukey (f'c a 3 días)</i>	81
<i>Tabla 29: Resistencia a la compresión axial Vs Aditivo Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento – periodo de 7 días de maduración del concreto</i>	81
<i>Tabla 30: ANOVA – Análisis de varianza para comparar múltiples medias (f'c a 7 días)</i>	822
<i>Tabla 31: Análisis entre medias – método de Tukey (f'c a 7 días)</i>	83
<i>Tabla 32: Resistencia a la compresión axial Vs Aditivo Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento – periodo de 28 días de maduración del concreto</i>	83
<i>Tabla 33: ANOVA – Análisis de varianza para comparar múltiples medias (f'c a 28 días)</i>	844
<i>Tabla 34: Análisis entre medias – método de Tukey (f'c a 28 días)</i>	855
<i>Tabla 35: Profundidad de penetración de agua Vs Aditivo Viscocrete-40 HSCL</i>	866
<i>Tabla 36: Análisis de varianza – Ensayos de penetración de agua</i>	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ensayo de extensibilidad.....	18
Figura 2: Anillos de barras para el ensayo de anillo J.	19
Figura 3: Equipo de embudo en V, para concreto autocompactante.....	21
Figura 4: Dimensiones y características de la caja L.	22
Figura 5: Dimensiones y características de la caja U.....	23
Figura 6: Ensayo de compresión simple.....	25
Figura 7: Ensayo de penetración de agua Norma EN12390-8.....	27
Figura 8: Granulometría del agregado fino.....	55
Figura 9: Granulometría del agregado grueso.....	59
Figura 10: Ensayo de Extensibilidad – Tiempo transcurrido para alcanzar 500 mm de diámetro	64
Figura 11: Ensayo de Extensibilidad – Diámetro final alcanzado por la masa del CAC.....	64

Figura 12: Ensayo del Anillo J – Tiempo transcurrido para alcanzar 500 mm de diámetro.	65
Figura 13: Ensayo del Anillo J – Diámetro final alcanzado por la masa del CAC.....	66
Figura 14: Ensayo del Anillo J – Altura final de segregación alcanzado por la masa del CAC.	66
Figura 15: Ensayo del Embudo en V– Tiempo del flujo de la masa de CAC	67
Figura 16: Ensayo de la Caja en L– Tiempo del flujo de la masa de CAC..	68
Figura 17: Ensayo de la Caja en L– Coeficiente de bloqueo.....	69
Figura 18: Ensayo de la Caja en U – Fluidez en función del tiempo.	70
Figura 19: Ensayo de la Caja en U – Altura de Llenado.....	70
Figura 20: Resistencia a la Compresión Vs % en Peso de Aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL.....	71
Figura 21: Ensayo de resistencia a la compresión axial – Altura de Llenado.....	72
Figura 22: Ensayo de Permeabilidad – Penetración de Agua.	73
Figura 23: Prueba de hipótesis (f'c a 3 días).....	80
Figura 24: Prueba de hipótesis (f'c a 7 días).....	822
Figura 25: Prueba de hipótesis (f'c a 28 días).....	844
Figura 26: Prueba de hipótesis – Ensayo de permeabilidad	866

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. *Realidad Problemática*

El concreto está dentro de los materiales más usados en la industria de la construcción en todo el mundo, tiene gran facilidad para moldearse y ser usado como elemento estructural, posee excelentes propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad lo cual lo hace el material ideal para proyectos de ingeniería civil; sin embargo, la calidad del producto final depende de todo el proceso de consolidación del paso del estado fresco a la solidificación del concreto.

El concreto en elementos con alta densidad de acero o en moldes de formas complejas debido a la configuración arquitectónica con zonas de difícil acceso para el llenado y vibrado presentan una elevada insuficiencia de la trabajabilidad de la mezcla, en estos casos se procede a aumentar la relación a/c con el objetivo de mejorar la fluidez del concreto sacrificando la resistencia a la compresión y por ende la durabilidad.

La falta de adecuadas técnicas de compactación, suponen vacíos o bolsas de aire, en muchos casos complementados por una separación de finos debido a la segregación causada por un mal proceso de vaciado, representan un problema no solo en de aspecto estético, sino además brinda una debilidad al elemento estructural en el producto final del concreto.

Estas dificultades exigen una clase de concreto que garantice su colocación en obra o elementos pre fabricados sin la necesidad de utilizar aparatos electromecánicos para su compactación y sin perjudicar su calidad y propiedades físico mecánicas de diseño. Esta necesidad hizo posible el desarrollo del concreto autocompactante (CAC), concretos de alto desempeño y rendimiento, con la ventaja sobresaliente en su condición de estado fresco de compactarse por acción de su propio peso capaz de rellenar todos los rincones del encofrado sorteando todo obstáculo sin dificultad para lograr un producto sin segregación de sus componentes, bloqueos por áridos gruesos, ni exudación.

A Nivel Internacional

Hajime Okamura (1986), profesor de la Universidad de Tokio, quien junto con Ozawa y Maekawa realizaron estudios e investigaciones debido a que observaron la necesidad de crear un concreto que no requiera vibración y con alta fluidez, que el agregado grueso no tenga segregación; rellenando de forma natural el volumen del encofrado y consolidándose, solucionando así los problemas de durabilidad que se evidenciaban en las estructuras en ese país, dando origen a la llegada de los aditivos superplastificantes en el concreto.

A inicios del siglo XXI, el uso de CAC en América del Norte tuvo un crecimiento exponencial, sobre todo en la industria de prefabricados, orientados a en mayor parte a estructuras de garajes de estacionamientos y paneles arquitectónicos. En Estados Unidos para el 2002, el 40% de los fabricantes de concreto prefabricado hacían uso de esta nueva tecnología. (ACI 237R, 2007).

A nivel nacional

En la década pasada, el uso de aditivos superplastificantes para el concreto llegaron al mercado peruano, iniciando así una serie de investigaciones en diferentes instituciones académicas del país, con el fin de conocer y aplicar esta nueva tecnología a la industria de la construcción nacional, rápidamente tuvo mucha aceptación en obras de edificaciones, puentes y túneles, por las ventajas que ofrecían, sin embargo donde hubo mayor acogida fue en la industria de prefabricados de concreto, la cual en el 2022 tiene una cuota del 12.6% de la producción nacional de concreto y se espera que se incremente 3.8% este año. (IEC N° 75, 2022)

A nivel local

En Trujillo, en los últimos años se ha incrementado la construcción de edificios multifamiliares como un esfuerzo por cubrir la demanda de viviendas en la población, todas las constructoras locales se han visto en la necesidad de construir anillos de sótanos que, por el tipo de suelo arenoso a profundidades, hace necesario utilizar muros anclados, con el encofrado a una cara y de alta densidad de refuerzo de acero, siendo necesario el uso de concreto CAC, no solo por el proceso constructivo sino también para conseguir elementos estructurales

de alta resistencia, durabilidad y de buena apariencia, ya que generalmente estos por su uso no suelen tener un acabado de revestimiento.

El concreto autocompactante CAC se obtiene en general incorporando aditivos superplastificantes y aumentando la cantidad de áridos finos en el diseño de mezcla, con la finalidad de obtener estructuras durables sin defectos de compactación, por lo cual esta investigación evaluará los beneficios en las propiedades físicas y mecánicas de los aditivos superplastificantes ofrecidas por mercado local utilizando agregados de canteras de la región, conociendo que esto genera un mayor costo comparado con el concreto convencional, pero brinda a su vez el beneficio de reducir el tiempo y personal cuando se elabora en obra.

1.1.2. Enunciado del problema

¿Cuál es la Influencia del aditivo Sika ViscoCrete-40 HSCL sobre las propiedades mecánicas y durabilidad en concretos autocompactantes?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Generales

Determinar el efecto del aditivo Sika ViscoCrete-40 HSCL sobre la trabajabilidad, resistencia y permeabilidad de concretos autocompactantes.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características físicas y granulométricas de los agregados.
- Elaborar un diseño de mezcla patrón para un concreto de $f'c = 420 \text{ kg/cm}^2$, con Agregado de TMN= $\frac{3}{4}$ ".
- Determinar la óptima dosificación de aditivo hiperplastificante para obtener una buena trabajabilidad, alta resistencia a la compresión y baja permeabilidad en concretos autocompactantes.

1.3. Justificación del estudio

El desarrollo del concreto autocompactante tiene sus inicios en la Universidad de Tokio (Japón) a finales de los 80's, con el objetivo de obtener estructuras de concreto de alta durabilidad y en los 90's se extiende su uso en Europa y USA, sin embargo, su uso en el país no está muy difundido, a pesar que su aplicación en

nuestra industria de la construcción no está lejos de sus posibilidades, su uso es escaso. (Carlos Fava, 2003, p. 1)

Por otro lado, los aditivos que hacen posible el diseño de un concreto autocompactante están en constante mejoramiento, el mercado de estos productos se hace cada vez más amplio debido a la mayor oferta, pero su efecto en el comportamiento del concreto autocompactante en las condiciones ambientales locales, con los áridos de la región no están claramente investigados con lo cual podemos obtener y predecir propiedades físico mecánicas de diseño.

Esta investigación va a contribuir con el desarrollo y caracterización del concreto autocompactante aportando conocimientos teóricos y aplicables que puedan realmente servir de información a la industria local o como reforzamiento a investigaciones complementarias futuras.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del Estudio

2.1.1. *Antecedentes Locales*

Reyes, C. y Echevarría, T. (2019), en su investigación titulada “Influencia del aditivo sika viscocrete-3330 en el ensayo de resistencia a la compresión y en las propiedades de un concreto autocompactante para elementos verticales, Trujillo 2019” realizado en la Universidad Privada del Norte, tuvo como objetivo principal determinar la influencia del aditivo Sika Viscocrete-3330 en la de resistencia a la compresión en un concreto autocompactante para elementos verticales. Se realizó un diseño patrón y tres grupos de dosificaciones de 0.9 %, 1.1 % y 1.3 % en peso de cemento de sika viscocrete-3330; influyendo de manera positiva en la resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días con respecto a la muestra patrón. establecieron en cumplimiento de las normas ACI 237R, un diseño de mezcla para CAC con la siguiente composición: un ciclo de 40 litros de volumen: 18.80 kg de cemento Tipo I, 7.75 litros de agua, 37.57 Kg de agregado fino, 30.00 Kg de agregado grueso y 0.207 kg de aditivo Sika Viscocrete 3330. Obteniendo la conclusión que el aditivo brinda la autocompactabilidad en su optima dosificación la cual fue de 1.1%.

La presente investigación aporta una caracterización de los agregados, diseño de mezcla usando un superplastificante, así como su influencia en la resistencia a la compresión.

Quiliche Neira, J. (2018), desarrollo su tesis de pregrado titulado: Influencia del polvo de mármol y superplastificante sobre la resistencia, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante, realizado en la Universidad Privada del Norte, en la ciudad de Trujillo, en Perú; tuvo como principal objetivo determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y la adecuada concentración del aditivo superplastificante para elaborar un concreto autocompactante de elementos estructurales medianamente reforzadas (columnas, placas y losas de cimentación). Se utilizó los porcentajes de 0.5 %, 1.0 %, 1.5 % y 2.0% de polvo de mármol respecto al peso del concreto en estado fresco, y 0.30%, 0.35%, 0.40% y 0.45% de aditivo superplastificante respecto al peso del cemento. El diseño de mezcla fue para un concreto $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$,

con una relación a/c de 0.43 y una relación agua/finos de 0.40 en peso. En los ensayos en estado fresco del concreto autocompactante se evaluó la capacidad al paso y de relleno por medio del anillo J y cono de Abrams, además en los ensayos en estado endurecido se determinó la porosidad del concreto aplicando la norma ASTM C642 y la resistencia a la compresión a 28 y 56 días de maduración, según la norma ASTM C39.

Llegaron a concluir que con el incremento del porcentaje de aditivo superplastificante y polvo de mármol se mejoran las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto autocompactante, donde sus resultados más óptimos se obtuvieron al adicionar 0.45 % de aditivo superplastificante y 2.0 % de polvo de mármol al diseño de mezcla logrando una resistencia a la compresión de 438 Kg/cm² a los 28 días y 519 Kg/cm² a los 56 días de maduración, esto significó un incremento del 17% para 28 días de maduración y 30% para 56 días de maduración.

Esta investigación proporciona datos de las dosificaciones del aditivo superplastificantes, así como sus efectos, además la utilización de un producto cementante alternativo como lo es el polvo de mármol, en comparación a la microsílíce.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Chanta, D y Zuta, C. (2020), en su investigación titulada "Influencia de aditivos basados en policarboxilato en las propiedades del concreto autocompactante" realizado en Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Tuvo como objetivo determinar cómo influye el aditivo superplastificante a base de policarboxilatos sobre las propiedades del CAC, para esto realizaron una investigación documental con fuentes de especialistas e investigadores de prestigio, información en un marco de especialidad y técnico de normas específicas compilando los resultados de ensayos en estado fresco y endurecido del CAC. Llegando a la conclusión general que los resultados conseguidos, mostraban el óptimo asentamiento observado fue de 780 mm, con la inclusión de 0.45% de aditivo superplastificante de policarboxilato, con una relación de a/c de 0.38 y 0.15% de agente modificador de viscosidad; Encontrando resultados satisfactorios en la segregación al cumplir las especificaciones del La Federación Europea de

Especialistas en Productos Químicos para la Construcción y Sistemas de Hormigón (EFNARC) ; y la resistencia a la compresión máxima a los 28 días de maduración dio como resultado 73.48 MPa con una relación a/c de 0.37 y 0.30% del aditivo superplastificante de policarboxilato. Por lo que se concluyó que los aditivos a base de policarboxilato influyen en las propiedades del CAC. Así también, para lograr un flujo de asentamiento óptimo es necesario dosificaciones alrededor de 0.30% de aditivo que brindan valores promedio de 780 mm siendo de clase SF3 según el GPE en estructuras con densa armadura de refuerzo y de elementos estructurales verticales, estructuras muy complejas, pero en cumplimiento de los límites del EFNARC.

Esta investigación nos brinda una gama de estudios con aditivos superplastificantes y su influencia en diversas características del CAC y bajo diferentes normas internacionales.

Enciso, B. y Huamán, D. (2019), en su investigación de tesis de pregrado titulada “Influencia de la adición de nanosílice sobre las propiedades en estado plástico y endurecido del concreto autocompactante, Nuevo Chimbote-2019” tuvieron como objetivo principal evaluar la adición de nanosílice en un concreto autocompactante, por medio de sus propiedades mecánicas en estado plástico y endurecido. Para lo cual en el diseño de mezcla emplearon la gradación Huso N° 7 del agregado grueso y los porcentajes de dosificación de nanosílice fueron 0.5%, 1.5% y 3.0%; entonces en estado plástico se evaluó la resistencia a la segregación, capacidad de paso y capacidad de relleno por medio de los ensayos de extensión de flujo, Caja L y embudo V respectivamente; Y para la evaluación del concreto autocompactante en estado endurecido se realizó ensayos de resistencia a la compresión axial. Llegando a concluir que la adición de un 1.7% de Nanosílice en peso del cemento, en un concreto autocompactante logra mejorar las propiedades en estado fresco y endurecido representando el 162.22% con respecto a la resistencia de diseño requerida que fue $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$.

Rabanal, D. y Su Chaquí, A. (2018), realizaron su tesis de pregrado titulada “Diseño de un concreto autocompactable” en la Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú, el principal objetivo fue diseñar un CAC para mejorar la calidad de las estructuras de concreto con el uso de aditivos superplastificantes. Los componentes utilizados para elaborar el concreto son: Gravilla de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ " y 1",

arena fina, agua potable, y cemento Tipo I; la relación a/c estuvo en el rango 0.25 y 0.45. Como aditivos se usaron los aditivos Sika Viscocrete 1110 PE en el rango de 1 a 2 % en peso de cemento utilizado y Microsílice Sika Fume. Para determinar la trabajabilidad se realizaron ensayos de extensibilidad, de Anillo Japonés, del Embudo en “V”, de la Caja “L”, y de la Caja “U”; donde los resultados mostraron una buena fluidez. Sobre lo que respecta al ensayo de resistencia a la compresión con probetas cilíndricas de dimensiones según la NTP 339.034.2015, se logró obtener resistencias superiores a las estimadas de $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$, 719.72 kg/cm^2 a los 7 días, 736.65 kg/cm^2 a los 14 días y 771.57 kg/cm^2 a los 28 días de maduración. Superando largamente la resistencia de diseño esperada.

Esta investigación nos brinda un diseño de concreto autocompactante elaborado en clima cálido, agregados locales y con reactivos de fácil obtención en el mercado nacional.

La presente investigación nos brinda información de los tipos de ensayos ideales para un concreto autocompactante en estado fresco, así también rangos de los materiales para el diseño de mezcla y los resultados de resistencia a la compresión.

2.1.3. Antecedentes Internacionales

N. Chairunnisa et al. (2022) en su tesis doctoral titulada “La viabilidad y el desempeño del concreto autocompactante elaborado con agregado grueso local en varios tamaños y proporciones”. Tuvo lugar en la Universidad Lambung Mangkurat en Indonesia; el objetivo de esta investigación fue evaluar el desempeño del concreto autocompactante utilizando tamaños y proporciones de los agregados gruesos disponibles localmente, y las mezclas químicas en la producción de CAC; En esta investigación se utilizaron cemento Portland compuesto (PCC), agregado fino (arena de río), agregado grueso de piedra triturada de 10 mm y 12,5 mm, viscocemento 8030 y superplastificante Plastocreto; las dosificaciones de agregado grueso representaron el 40 % a 50 % del peso total y del superplastificante fueron 0.5%, 1.0% y 1.5%. Para evaluar la trabajabilidad se evaluó el slump $T_{500\text{mm}}$ y el ensayo de la caja L, y para evaluar la resistencia a la compresión axial se elaboraron probetas de 10x 20 cm, a los 3, 14 y 28 días de maduración para su ruptura. Concluyeron que La fluidez de CAC en

términos de flujo de asentamiento y el ensayo de la caja L con agregado grueso de 10 mm es mejor que el agregado grueso de 12,5 mm. Además, la resistencia a la compresión de las mezclas con un tamaño de agregado grueso de 12,5 mm es menor que la resistencia a la compresión de las mezclas con un tamaño de agregado grueso de 10 mm, debido a que la pasta de cemento y el agregado están entrelazados correctamente; por otra parte, el aumento del porcentaje de superplastificante en las mezclas de CAC del 0,5 % al 1,5 % del peso del cemento mejoran las propiedades frescas y endurecidas CAC.

Esta investigación proporciona valores de las distribuciones de tamaño ideal en el agregado grueso y características; además del uso del aditivo superplastificante Plastocreto con base en lignosulfonatos.

K. James Seidler (2019) es su investigación para la obtención del grado de maestro, titulada "Propiedades plásticas del hormigón autocompactante de altas prestaciones" realizado en la Universidad de Dakota del Norte, USA, tuvo como objetivo principal centrarse en las propiedades de la mezcla CAC antes de que comience a solidificarse dentro del encofrado; los ensayos que se efectuaron fueron una prueba de extensión, una prueba de anillo en J, una prueba de contenido de aire y una prueba de resistencia a la compresión a las 24 horas, 3 días y 28 días, para un concreto de diseño de 420 kg/cm^2 ; el agregado grueso y fino cumplieron con la gradación específica para ASTM C33 y ambos con una gravedad específica de 2.67, se usó el tipo I de cemento I; como aditivos superplastificantes se usaron dos productos: el primer superplastificante denominado Pozzolith 322N, es de tipo A, responsable de reducir la cantidad de agua necesaria para una mezcla entre un 5 % y un 12 % y el segundo superplastificante fue un producto producido por MasterGlenium llamado 3030, es del tipo F, clasificado como reductor de agua de alta gama, ya que puede reducir la cantidad de agua necesaria desde un 12% hasta un 30%; ambos productos cumplen con los estándares establecidos por ASTM C 494 y C494M.

También se agregó al diseño de mezcla tres aditivos: un incorporador de aire llamado MasterAir AE 90, estimando que la cantidad aproximada de mezcla de arrastre de aire oscila entre el 4 % y el 7 % en peso, cenizas volcánicas de clase C que consisten principalmente en alúmina y sílice, y microsílíce Rheomac SF 100 por debajo del 5% peso del cemento. Obtuvieron como resultados en todos los

diseños de mezcla evaluados un aumento de 38% más, como mínimo en la resistencia a la compresión a los 28 días de maduración, también se determinó que con la adición de microsílíce a la mezcla también aumentaba la cantidad de agua requerida para mantener la mezcla fluida, aun así, en los ensayos de trabajabilidad todos los diseños de mezcla exhibieron propiedades que los clasificarían como concreto de alto rendimiento aun así no son concluyentes, por tal, los aditivos deberán modificarse según el tiempo de viaje y otras condiciones, como el clima y el estilo de colocación.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Concreto Autocompactante

El concreto autocompactante es denominado así porque no necesita ningún método de compactación dentro del encofrado a verter, interno o externo, es capaz de consolidarse y compactarse por su propio peso, discurre a través del encofrado y densas armaduras de refuerzo por acción de la gravedad, esto lo logra, modificando la mezcla tradicional adicionando aditivos; el resultado es un hormigón denso, menos permeable, con excelentes propiedades estructurales y una vida útil similar al concreto elaborado convencionalmente. (GPE, 2006, p.1)

2.2.1.1. Características.

Los elementos que componen al concreto autocompactante (CAC) podría decirse que son los mismos que el concreto tradicional, cemento, agregados, agua y aditivos, sin embargo, estos poseen una menor cantidad de agregados gruesos o es casi insignificante, con un tamaño máximo límite de 25 mm, teniendo un porcentaje mayor de pasta de cemento; esto sumado la adicción de una serie de aditivos superplastificantes y reductores de agua brindan una alta trabajabilidad y fluidez, obteniendo además una alta impermeabilidad la cual aumentaría la durabilidad del concreto. (Raby, 2016, p. 5)

El CAC ilustra tres propiedades esenciales básicas:

- Capacidad de relleno, debido a su alta fluidez tiene la habilidad de fluir sin ayuda externa y llenar la totalidad del encofrado.

- Capacidad de paso o habilidad de pasar por las barras de armadura sin que exista obstrucción entre el agregado grueso y la armadura de refuerzo.
- Mínima segregación, la cual permite obtener finalmente una matriz uniforme de agregados en toda su masa. (Rabanal & Su, 2017, p.31)

2.2.1.2. Usos.

- Obras de infraestructura, tales como puentes, estructuras de anclajes, muros de contención, arcos, vigas, edificios, túneles, tanques, etc.
- Elementos de concretos prefabricados.
- Elementos de sección transversal estrecha o geometría amorfa.
- Cualquier estructura donde se desee garantizar una adecuada compactación del concreto y baja permeabilidad.
- Elementos estructurales donde el acero de refuerzo hace dificultoso el vibrado. (Rabanal & Su, 2017, p.32)

2.2.1.3. Ventajas.

- Menor mano de obra y eliminación de equipos de vibrado para el vertido de concreto.
- Excelente acabado superficial, libre de cangrejas o vacíos; lo que podría brindar una mayor rentabilidad si se opta por un concreto visto.
- Produce un buen desempeño mecánico y durabilidad en el concreto.
- Disminución en el plazo de ejecución como consecuencia de una elevada productividad.
- Amplifica mayor disposición geométrica del concreto, por lo que, se pueden diseñar elementos arquitectónicos y estructurales de formas más complejas.
- Reducción de fallas operativas y el sobre costo que ocasiona, debido al riesgo de falla del encofrado por expansión y aberturas por los esfuerzos causados cuando usamos el vibrado electro mecánico. (Molina & Saldaña, 2014, p.13)

2.2.2. Componentes de Diseño

2.2.2.1. Cemento Portland. Cemento hidráulico se elabora mediante la pulverización del Clinker compuesto básicamente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente sulfato de calcio y eventualmente caliza adicionado durante el proceso de molienda. (NTP 334.009, 2005, p.6)

2.2.2.2. Agregado Fino. Son piedras o rocas procedente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037. (NTP 400.011, 2008, p. 4)

2.2.2.3. Agregado Grueso. Agregado de piedras o rocas procedente de la desintegración natural o artificial que al someterlo a un tamiz normalizado 4,75 mm (Nº 4), es retenido y cumple los límites establecidos en la NTP 400.037. (NTP 400.011, 2008, p. 4)

2.2.2.4. Agua de mezclado. Elemento necesario para las reacciones químicas que permiten la hidratación del cemento, este definido como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento para producir una pasta eficientemente hidratada, que le dé una fluidez tal, a la matriz de cemento que envuelva adecuadamente a los agregados cuando la mezcla está en estado plástico. (Sánchez, 1994, p.57)

2.2.3. Aditivos para el concreto autocompactante

Los aditivos reductores de agua de alto rango o superplastificantes más usados en la fabricación del CAC, junto con los agentes modificadores de viscosidad (AMV); según la norma ASTM C494 se clasifican de la siguiente manera:

TIPO A - Reductores de agua.

TIPO B – Retardantes de fraguado.

TIPO C – Acelerantes de fraguado.

TIPO D – Reductores de agua Retardantes.

TIPO E - Reductores de agua Acelerantes.

TIPO F – Reductores de agua de alto rango.

TIPO G – Reductores de agua de alto rango retardantes.

Los aditivos reductores de agua de alto rango también son llamados aditivos plastificantes, superplastificantes y hiperplastificantes.

2.2.3.1. Aditivo plastificante. Son aditivos del concreto que reducen en pequeña medida el volumen de agua contenido, necesario para la elaboración del concreto, incrementando la fluidez y transporte sin incrementar significativamente la relación a/c, ergo, incrementa la resistencia a la compresión, junto con el mejoramiento de otras propiedades. (Raby,2016, p.28)

2.2.3.2. Aditivo Superplastificante. Son aditivos químicos que actúan con un mecanismo diferente a los plastificantes normales, pudiéndose emplear altas dosis sin efectos colaterales de retardo de fraguado o exceso aire incluido. Los usos más relevantes de esta clase de aditivos químicos son: primero para la elaboración de concreto fluido con relaciones a/c de asentamiento mayores a 18 cm, técnicamente autonivelante (sin necesidad de compactación por medios mecánicos) exento de segregación y exudación del concreto; y segundo en la elaboración de concreto de alta resistencia a la compresión, con relaciones de a/c menores de 0.4, ocasiona una alta reducción de agua en el rango de 25% a 30%, manteniendo la trabajabilidad requerida para cada uso en específico. Sin embargo, la duración de los efectos es breve de 30 a 60 minutos, para luego perder la manejabilidad violentamente. (Sánchez, 1994, p.273)

2.2.3.3. Aditivo Hiperplastificante. Los aditivos hiperplastificantes mejoran la trabajabilidad del hormigón en presencia de una relación a/c constante. conjugando de forma controlada dos efectos: mejora la trabajabilidad y reduce la relación a/c, lo cual, hace posible un efecto colateral que es la demora en el fraguado; es por tal razón que es de vital importancia las características del cemento y de los agregados a usar, así se recomienda evaluar la afinidad entre los constituyentes y los aditivos químicos, con énfasis para casos de dosis elevadas de aditivos químicos o cuando se emplea más de un aditivo simultáneamente. (González I.,2003, p. 95)

Se consideran reductores de alta actividad para reducir el volumen de agua ejerciendo una elevada trabajabilidad con una ratio a/c bajo. Esta clase de aditivos es esencial cuando se elabora CAC, específicamente la nueva generación de hiperplastificantes a base de policarboxilatos, pueden llegar a reducir el volumen de agua alrededor del 40%. Aun cuando el contenido de finos es elevado llegan a conseguir una excelente fluidez y trabajabilidad en el concreto, consiguiendo que la mezcla ofrezca una consistente viscosidad y necesite un volumen menos de agua. (Sánchez L., 2014, p. 21)

2.2.3.4. Moduladores de Viscosidad. Estos aditivos químicos son variadores reológicos que incrementan la adherencia en la matriz del concreto con mínúsculas perjuicio en la fluidez. Se utilizan cuando se carece de finos en la mezcla, donde existe una insuficiente adhesión en el interior de la matriz y el concreto se inclina a disgregarse. El uso de esta clase de aditivo, así como aumenta la cohesión y disminuye la segregación, también hace que al concreto más resistente ante la variabilidad la dosis de agua contenida y en circunstancias donde los agregados carecen de finos o presentan granulometrías discontinuas. Este aditivo es para tener en cuenta ante la contingencia de no alcanzar las propiedades de un CAC requeridas con los agregados utilizados. (Raby,2016, p. 29)

2.2.4. Mecanismo de acción del aditivo superplastificante

La absorción de los superplastificantes a base Éteres de Policarboxilatos (PCE), modifica químicamente la estructura molecular de las partículas de cemento evitando que se aglomeren, esto debilita las fuerzas de atracción entre las partículas, como consecuencia, las partículas de cemento se separan y se libera el agua atrapada, la cual sirve para lubricar el sistema del conglomerado de moléculas y aumentar la fluidez del material en estado fresco. (Ramírez A., 2022, p. 2)

La eficiencia de los superplastificantes se debe en gran medida a su mecanismo de acción:

2.2.4.1. Repulsión electroestática. Los aditivos superplastificantes al ser adsorbidos en la superficie de las partículas de cemento, modifican químicamente la estructura interior, dotándola de una concentración de cargas negativas. Así, las fuerzas de repulsión entre cargas negativas generan distanciamiento entre las partículas producto de los superplastificantes adsorbidos. (J. Plank et al., 2015)

2.2.4.2. Impedimento estérico. Los polímeros adsorbidos en la superficie de las partículas de cemento forman una obstrucción física que imposibilita el acercamiento entre partículas. Así, polímeros con mayor tamaño, generan impedimentos estéricos más importantes (Geraldini & Flatt, 2016)

2.2.5. Propiedades en estado fresco del CAC

2.2.5.1. Manejabilidad.

Según el comité 211 de ACI, se conoce también como la trabajabilidad y se considera una propiedad mediante la cual el concreto determina su capacidad de colación y consolidado adecuadamente, sin segregación; sin embargo, algunos autores resaltan y dan mayor valor a la resistencia a la segregación. También se define la manejabilidad en términos de capacidad de compactación, debido a que para colocar el concreto en el interior del encofrado es necesario vencer la fricción interna presente entre las partículas de los materiales que lo componen y otra fricción externa del concreto y la superficie del encofrado o acero de refuerzo, con la finalidad de

quitar el aire en el interior, atrapado durante la operación y lograr la máxima densidad. De esta manera, la manejabilidad se puede explicar cómo la energía interna necesaria para ocasionar una completa compactación, ya que una de las propiedades intrínseca de la mezcla son las fricciones en su interior y es independiente de un sistema de construcción que se aplique. (Sánchez, 1994, p.111)

2.2.5.2. Consistencia. Es considerado como el grado de humedad que contiene la mezcla de concreto y también se describe como el estado de fluidez, es decir, que tan seca (dura) o fluida (blanda) está la mezcla de concreto cuando aún permanece en estado plástico. (Sánchez, 1994, p.112)

2.2.5.3. Plasticidad. La plasticidad se define como una consistencia del concreto en la que se logre moldear fácilmente, pero que le tolere variar de forma gradualmente si se saca el molde. En consecuencia, las mezclas muy fluidas o muy secas no deben considerarse como mezclas de consistencia plástica; una mezcla cuando se encuentra en estado húmedo es mucho más manejable que una en estado seco, sin embargo, si cogemos dos mezclas que tengan la misma consistencia no serían igualmente manejables solo que presenten el mismo grado de plasticidad. (Sánchez, 1994, p.112)

2.2.6. *Ensayos para caracterizar la Autocompactabilidad*

Existen una variedad de métodos de ensayos para caracterizar y medir las propiedades en estado fresco del CAC. En la Tabla 1, podemos observar de manera agrupada los ensayos por la propiedad a la que evalúan. (GPE, 2006, p.23)

Tabla 1
Propiedades de ensayos y métodos de evaluación del CAC

Característica	Método de ensayo	Valor medio
Caracterización de la fluidez / capacidad de llenado	Ensayo de escurrimiento	Extensión
	Caja de Kajima	Llenado visual
Viscosidad / Caracterización de la fluidez	T ₅₀₀	Tiempo de flujo
	Ensayo del embudo en V	Tiempo de flujo
	Ensayo del embudo en O	Tiempo de flujo
	Orimet	Tiempo de flujo
Capacidad de paso	Método de la caja en L	Relación de paso
	Método de la caja en U	Diferencia de altura
	Ensayo del escurrimiento con el anillo japonés	Altura de paso, flujo total
	Caja de Kajima	Capacidad de paso visual
Resistencia a la segregación	Penetración	Profundidad
	Segregación en tamiz	Porcentaje de retención
	Columna de decantación	Relación de segregación

Nota. Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante, GPE (2006, p. 23).

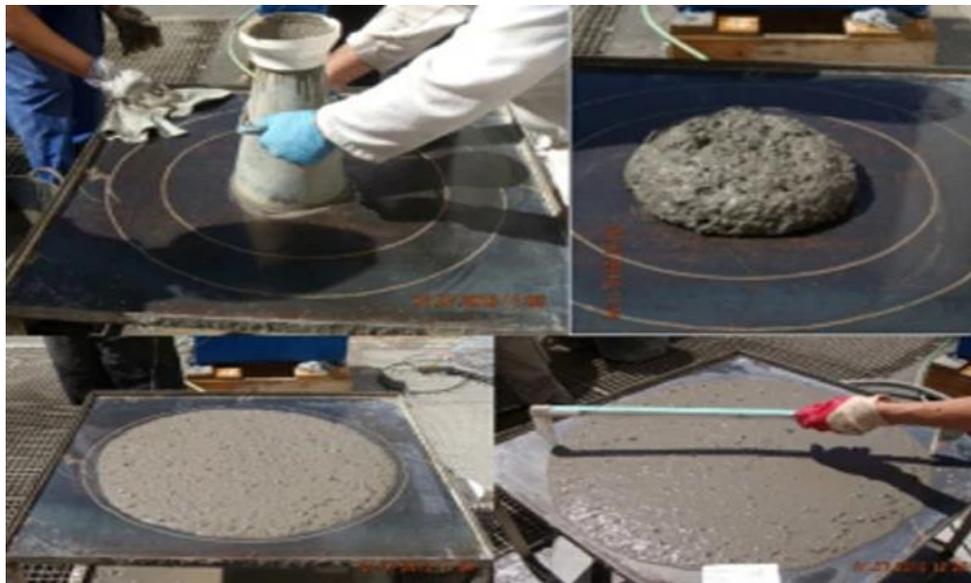
2.2.6.1. Ensayo de extensibilidad. El ensayo slump-flow o de

extensibilidad, estima en el CAC la capacidad de relleno sin la interferencia de obstáculos. Además, nos brinda una visión si existe exudación, si hay segregación e indirectamente la media de la tensión umbral de flujo. La norma española UNE 83361:2007 estandariza este ensayo, el cual radica en llenar con concreto el cono metálico sin pinchar, luego levantar el cono y dejar que el concreto fluya extendiéndose de manera circular para cronometrar el tiempo que demora en hacer un círculo de 50 cm de diámetro, el cual debería encontrarse en el rango de 3 a 6 segundos; se deja continuar extendiéndose hasta medir el diámetro final, que se espera se encuentre entre **55 y 85 cm**.

La apariencia final del concreto no debe presentar segregación y debe estar homogéneamente distribuido la gravilla. Al observar el ensayo una concentración de gravilla en el centro de la masa, indicaría una tendencia a la segregación. Los bordes del concreto deben estar libres de indicios de exudación. Cuando los resultados muestran medidas mayores a 850 mm se podría especificar en algunos casos especiales, sin embargo, se deberá tener medidas de precaución, teniendo en cuenta que el tamaño máximo y la

segregación de los agregados es menor de 12 mm normalmente.
(GPE, 2006, p.14)

Figura 1
Ensayo de extensibilidad.



Nota. Descripción grafica del ensayo de extensibilidad. Fuente:
<https://dehormigon.com.ar/hormigon-autocompactante/>

Los resultados comunes para diferentes tipos de asentamiento y su uso frecuente se detallan a continuación:

Tabla 2
Recomendaciones de la Guía Europea para el ensayo de Extensibilidad.

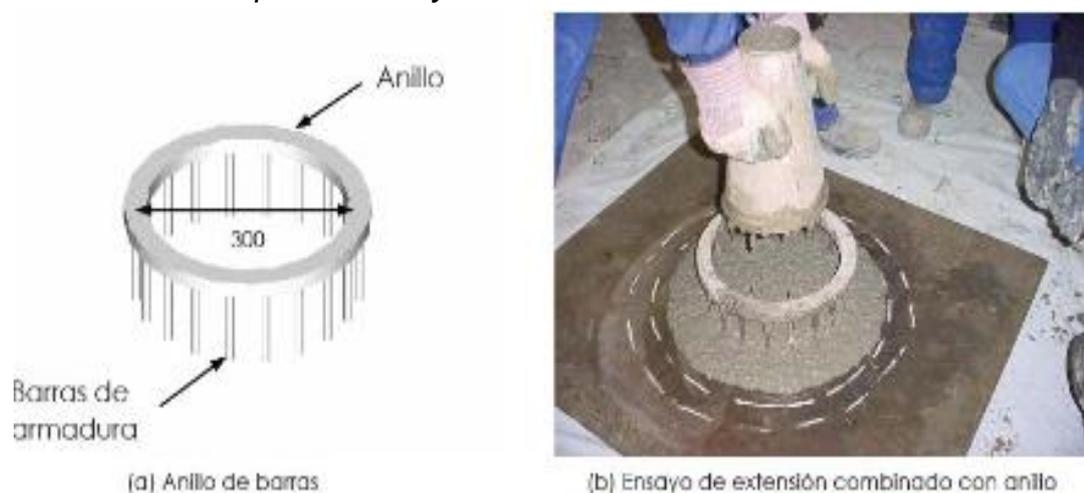
Clase	mm	Aplicación
Sf1	550 a 650	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras en masa o poca densidad de armaduras que sean llenada desde la parte superior con desplazamiento libre desde el punto de entrega (losas de cimentación o pavimentos) • Hormigones de relleno por bombeo (p.e. encofrados de túneles). • Elementos suficientemente pequeños que no precisen largos flujos horizontales (pilares y algunas cimentaciones profundas)
Sf2	660 a 750	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuado para muchas cimentaciones normales (muros y pilares)
Sf3	760 a 850	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones verticales en estructuras muy armadas, estructuras de forma compleja, o rellenos bajo los encofrados

Nota. Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante, GPE (2006, p.15)

Respecto al tiempo en el que fluye la mezcla de concreto hasta alcanzar el diámetro de 500mm, se propone que en el rango de 5 a 7 segundos es ideal para aplicaciones de ingeniería civil, mientras que de 2 a 5 segundos es aplicable en obras de edificación (EFNARC 2002).

2.2.6.2. Ensayo de anillo japonés o J-Ring. El ensayo utiliza un anillo con barras, llamado comúnmente anillo japonés o J-Ring en inglés, esta herramienta es utilizado en conjunto con todos los otros ensayos de manejabilidad mencionados para evaluar la autocompactabilidad del concreto, la resistencia que pone para pasar por las barras del refuerzo en su armadura. El instrumento mostrado en la figura 2., es un anillo metálico de 30 cm de diámetro, soldado a varillas verticales que hacen la obstrucción al paso de 10 o 12 cm de altura dispuestas simétricamente en toda la circunferencia del anillo, separadas adecuadamente entre ellas. Este espacio entre las barras generalmente se considera igual o superior a el triple del tamaño máximo del agregado. (Molina & Saldaña, 2014, p.45)

Figura 2
Anillos de barras para el ensayo de anillo J.



Nota. Obstaculizando el ensayo de extensión. Fuente: Crespo P. & García L. (2009) “Correlaciones entre ensayos destructivos y no destructivos para hormigones de alta resistencia con agregados calcáreos.” Escuela superior politécnica del litoral. Guayaquil, Ecuador. P. 51.

El procedimiento consiste en realizar el ensayo dejando después fluir el concreto horizontalmente sobre una superficie plana de manera que tenga que atravesar las barras del anillo para extenderse. El

espacio entre barra y barra, así como la configuración de ellas cambian demasiado según el autor; sin embargo, generalmente se establece que la separación de las barras sea 3 veces el tamaño máximo del agregado. Entonces una vez descendido todo el flujo de concreto entre el anillo y sus barras, medimos la altura del concreto en el interior del anillo y en el exterior para determinar la acción de bloqueo. Frecuentemente el diámetro final suele medirse en su total extensión, procediendo a tomar el promedio de dos mediciones perpendiculares. (Molina & Saldaña, 2014, p.46)

Para la interpretación de resultados, los criterios a seguir en la capacidad de relleno son los mismos que en los ensayos de extensibilidad, sin embargo, para la capacidad de paso la diferencia entre las alturas en las caras interior y exterior del anillo no debería superar los 10 mm para un CAC con buena habilidad de paso. (Molina & Saldaña, 2014, p.47)

2.2.6.3. Ensayo del Embudo en “V”. En inglés este ensayo es

denominado V-funnel, su desarrollador fue el Profesor Ozawa en la Universidad de Tokio, consiste en colmar de concreto un embudo en forma de V con concreto fresco, anotando el tiempo que demora atravesarlo, para obtener el flujo del concreto fresco. El embudo va reduciendo su sección transversal conforme el flujo del concreto fresco recorre el camino de salida, incrementando la posibilidad de que se bloquee debido a los agregados gruesos (grava), si esto pasara habría la necesidad de restablecer la trabajabilidad. El principal objetivo del ensayo es determinar la capacidad de fluir el concreto fresco en área confinadas y obstaculizadas en orientación vertical y por acción de su propio peso, calificando la predisposición al bloqueo y a la segregación, a través de la variación de la velocidad del flujo observada. (Molina & Saldaña, 2014, p.42)

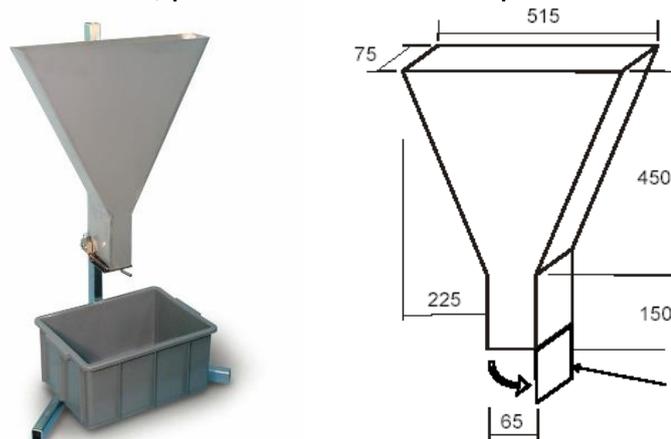
Las dimensiones del embudo en V se muestran en la figura 3 con tolerancias de ± 1 mm; es llenado raudamente con el volumen del concreto fresco, desde su parte superior, la cual debe ser colocada horizontalmente, el material que lo compone es metálico de

superficies lisas e inoxidables para impedir alguna fricción en el desplazamiento del concreto fresco, además posee al final del embudo una hermética puerta. (GPE, 2006, p.54)

Con una muestra representativa de CAC, se llena rápidamente el embudo en V por la parte superior de manera continua y sin compactar. A continuación, se apertura la puerta hermética en la base y en ese momento se toma el tiempo en que tarda todo el volumen de concreto fresco en fluir y caer en la bandeja de recolección. Algunos autores proponen también medir el tiempo del flujo dejando por 5 minutos reposar la muestra en el embudo, así poder valorar la predisposición del concreto fresco a la segregación. (Molina & Saldaña, 2014, p.43).

Figura 3

Equipo de embudo en V, para concreto autocompactante.



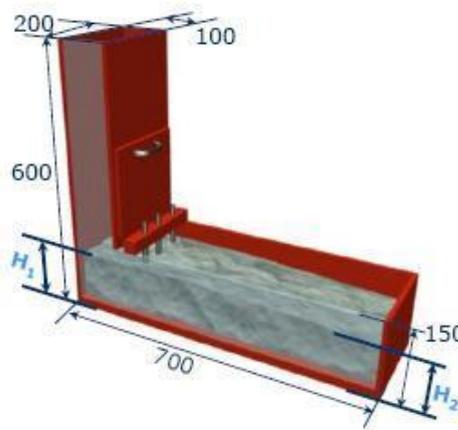
Nota. Medidas en milímetros del embudo en V. Fuente: **TMC-3620** Aparato Embudo V, <https://www.testmak.com/es/Aparato-Embudo-V>

2.2.6.4. Ensayo de la Caja “L”. Este ensayo es llamado también L-Box en inglés, es utilizado para determinar la capacidad de paso del CAC, de su fluidez a través de estrechas aberturas y espacios entre obstaculizados por los refuerzos de armadura u obstrucciones varias, sin atascos ni disgregaciones. Entonces existe dos modalidades en el ensayo una con dos obstáculos de barras y otra con tres; Estas barras tratan de simular las obstrucciones que ofrecen las barras de acero en el concreto armado más denso. Entonces hacemos fluir el volumen de concreto por el tramo vertical de la caja L obstaculizado por las barras

lisas y verticales; luego medimos la altura del concreto pasada las barras. Estas cajas deben ser de material plano y liso, en especial metálico con superficies resistente al ataque químico de las reacciones del concreto fresco, es decir de acero inoxidable; el tramo vertical debe tener un volumen en el rango de 12,6 – 12,8 litros cuando esté completamente lleno y ser de fácil limpieza. (GPE, 2006, p.57)

La forma de realizar el ensayo empieza con agregar el concreto fresco en el depósito vertical, llenándolo completamente para dejar fluir hacia el sector horizontal a través de las barras verticales, para tomar el tiempo que este volumen tarda en llegar a la distancia de 20 cm (T20) y de 40 cm (T40), así como las alturas en el inicio y final del tramo horizontal, H1 y H2 respectivamente; cuando la mezcla de detuvo y está en reposo. La relación H_2/H_1 se denomina como el coeficiente de bloqueo. (Molina & Saldaña, 2014, p.39)

Figura 4
Dimensiones y características de la caja L.



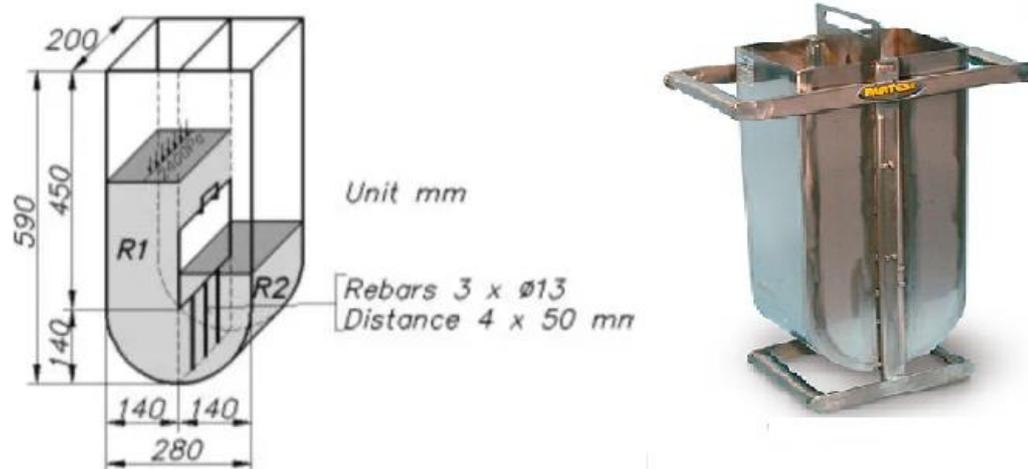
Nota. Diseño de la Caja L, Fuente: Nuria Rebolledo (2010) “Aplicación de técnicas no destructivas al estudio del hormigón fresco”.

Para un CAC en el que no se presente bloqueo se recomiendan tiempos en los siguientes rangos: $T_{20} < 1,5$ s y $T_{40} < 2,5$ s ; según la recomendaciones de EFNARC (2002).

2.2.6.5. Ensayo de la Caja “U”. Este ensayo es conocido también en inglés U-Box, sirve para evaluar la resistencia a la disgregación y capacidad de llenado, cuando hace pasar el volumen de concreto a través de barras de acero, pero con una demanda de fluidez de un alto nivel; este equipo consta de secciones verticales divididas por un compartimento armado y una compuerta. Para desarrollar el ensayo llenamos la sección alta A con la muestra representativa del concreto fresco, en la posición de la compuerta cerrada; para abrir la compuerta que separa las secciones luego de un tiempo de un minuto de reposo, dejando fluir el concreto de la sección A a la B, pasando por la barra que sirven de obstáculos, para que al final cuando el flujo se detiene se mide la altura alcanzada por el concreto en la sección B. (Sánchez L., 2014, p. 30)

Figura 5

Dimensiones y características de la caja U.



Nota. Diseño de la Caja U. Fuente <https://www.matest.com/es/producto/c173-u-box>

2.2.7. Características de Autocompactabilidad

En España, las normas UNE solamente recogen cuatro de los ensayos como ya se ha mencionado y mediante esos ensayos las características de autocompactabilidad se evalúan del siguiente modo:

- Capacidad de relleno: ensayo de extensibilidad.

- Resistencia de bloqueo: ensayo del embudo en V, caja en L y escurrimiento con anillo japonés.
- Resistencia a la segregación: la Instrucción EHE-08 (Tabla 3) estipula que la resistencia a segregación se mida indirectamente a través de los ensayos de escurrimiento y si se quiere de una manera directa se podría realizar con el ensayo de columna o con el tubo-U, aunque son ensayos que no están recogidos en las normas UNE.

Tabla 3

Rango admisible de los ensayos normalizados (Instrucciones EHE-08)

Ensayo	Parámetro Medido	Rango Admisible
Extensibilidad	T ₅₀	T ₅₀ ≤ 8s
	D _f	550 mm ≤ D _f ≤ 850 mm
Caja L	C _{bl}	0.75 ≤ C _{bl} ≤ 1.0

Nota. Criterios de Autocompactabilidad según EHE-08.

El control y valores de aceptación de un CAC se muestran la Tabla N°4. Las recomendaciones de la composición de la mezcla por ACI y de la EFNARC, son los porcentajes promedios del agregado grueso entre 28% - 32%, para la pasta de cemento está en el rango de 34% - 40% y del mortero entre 68% y 72%. Si se exceden estos % se presentarán variaciones en el comportamiento, principalmente inestabilidad y radio de bloqueo.

Tabla 4

Margen de Valores de los ensayos para CAC

MÉTODO	UNIDAD	MARGEN DE VALORES	
		MÍNIMO	MAXÍMO
<i>Columna de segregación</i>	%	0	15
<i>Extensión de Flujo</i>	cm	65	90
<i>Flujo de asentamiento T50 cm</i>	segundos	2	5
<i>Anillo J</i>	D1-D2 mm	0	10
<i>Caja L</i>	h1/h2	0.8	1.0
<i>Embudo V</i>	segundos	6	12
<i>Embudo V a T5 minutos</i>	segundos	0	+4
<i>Caja en U</i>	h2-h1 cm	0	5

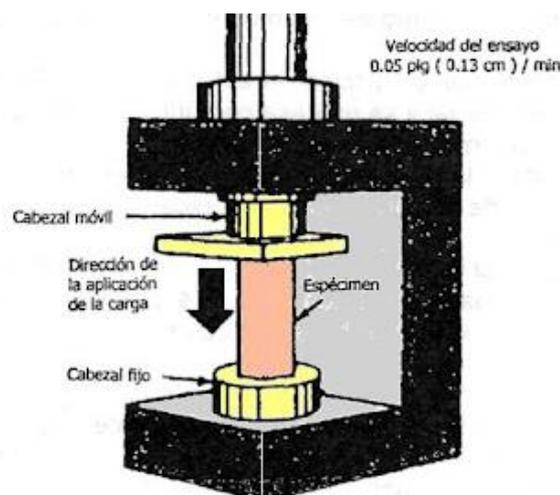
Nota. Se representa los valores límites de los ensayos de capacidad de relleno, de paso y segregación. Fuente: EFNARC (2002)

2.2.7.1. La resistencia a la compresión simple. Es la propiedad mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, se mide el fracturado de probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos a la compresión. Y se calcula a partir de la carga de rotura dividida entre el área de sección resistente; la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en Kg/cm², aunque es común expresarla en Mega-Pascales (MPa), de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. La forma de evaluar de la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destruidas, para lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar, o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. (Sánchez, 1994, p.138)

La norma técnica que regula el método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas es NTP 339.034

Figura 6

Ensayo de compresión simple.



Nota. Esquema de las partes principales de una máquina de ensayo de resistencia a la compresión. Fuente: <https://angelabriesingcivil.blogspot.com/2015/>

2.2.7.2. Permeabilidad. Es la cantidad de un fluido (agua, aire, vapor de agua) que atraviesa a un elemento de concreto por los poros del

material en un determinado tiempo a causa de una diferencia de presión entre las dos superficies opuestas del material. La permeabilidad está determinada por el caudal filtrado de acuerdo con la ley experimental de Darcy, en la cual el flujo es laminar y constante. (Sánchez, 1994, p.149)

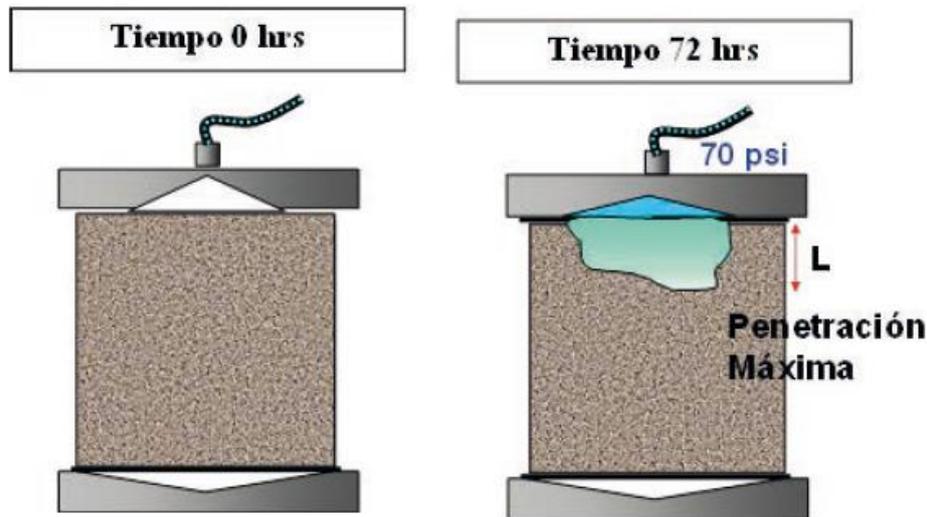
La permeabilidad se mide en medio saturados; en el caso de concreto este debe estar saturado para medir la permeabilidad que se expresa en términos de $m^3/(m^2.s)$, es decir una tasa de m/s. Este tipo de fenómeno es común observarlo en las estructuras de contención de agua. (Ing. Hermida G., 2013, p. 6)

Más allá de la necesidad manifiesta por no perder el líquido en estructuras de contención y conducción, o impedir su ingreso en zonas donde no se desea. La penetración de agua al interior del material de concreto está relacionada con la durabilidad de la estructura misma. La penetración de agua en el interior del concreto depende de la porosidad de la pasta de cemento y de la porosidad de los agregados, así como de los vacíos causados por una compactación deficiente o por los capilares dejados por el agua de exudación y está directamente relacionada con el ingreso, redistribución o pérdida de sustancias que pueden ser perjudiciales o benéficas al concreto, al refuerzo o a ambos elementos. (Ing. Hermida G., 2013, p. 7)

La comunidad europea por su parte cuenta con la norma EN12390-8 "Profundidad de penetración de agua bajo presión", para los concretos en que la penetración de agua no alcanza a generar un flujo constante fácil de medir, se definió el procedimiento de profundidad de penetración. Se trata de una metodología equivalente a la de flujo constante, se concentra en medir bajo 50 m de columna de agua la profundidad de penetración (72 Psi), solo que luego de tres días se detiene el ensayo y se falla lateralmente la probeta midiendo la mancha penetración de agua. Lo que se determina así, corresponde a profundidad de penetración de agua que se identifica fácilmente a la vista. (Ing. Hermida G., 2013, p. 15)

Figura 7

Ensayo de penetración de agua Norma EN12390-8



Nota. Esquematación de ensayo de permeabilidad. Fuente: Ing. Germán Hermida Ph.D. (2013) "Concreto Impermeable, Una mirada reciente" Laboratorio Ensayo de Materiales, Sika. p.15

El criterio utilizado para considerar un concreto impermeable es el que cumple con la parte 8 de la Norma EN12390, que refiere un valor de penetración de agua en este ensayo, menor a 30 milímetros.

2.3. Marco Conceptual

- **Cangrejeras:** Son vacíos o bolsas de aire, que presentan elementos de concreto en su superficie, exponiendo el interior de la estructura a la agresividad del medio ambiente, se debe a la segregación durante el vaciado y pueden tener una trascendencia de perjuicio o daño a los elementos estructurales (ACI 116R, 2000, p. 21).
- **Fraguado en el concreto:** Es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento del debido al proceso de endurecimiento por las reacciones de hidratación del cemento, desecación y recristalización de los hidróxidos. Hay dos etapas: La inicial cuando la masa empieza a perder plasticidad y la final cuando la pasta de cemento deja de ser deformable y se convierte en un bloque rígido (Abanto Castillo, 2009, p. 17).
- **Policarboxilatos:** Son cadenas de polímeros acrílicos donde las estructuras de sus moléculas tienen forma tridimensional muy compleja, sumado a su

composición química generan una acción dispersante de triple efecto: eléctrica, por absorción y por repulsión estérica (Comité ACI 318, 2015, p. 37).

- **Segregación en Concreto:** Se define a la separación de los elementos del concreto en estado fresco, debido a que los agregados gruesos más pesados se ubican en el fondo de la mezcla, dejando a los finos en la parte superior, afectando la homogeneidad de la mezcla (Pasquel Carvajal, 1998, p).
- **Trabajabilidad o Manejabilidad en el Concreto:** Se refiere a una propiedad del concreto fresco para poder fácilmente manejar, mezclarse, colocarse, compactarse sin que se pierda la homogeneidad de la mezcla (Abanto Castillo, 2009, p. 47).

2.4. Sistema de Hipótesis

El aditivo hiperplastificante Sika ViscoCrete-40 HSCL tienen un efecto significativo mejorando la trabajabilidad, teniendo un importante aumento de la resistencia a la compresión y una significativa reducción de la permeabilidad en concreto autocompactantes.

2.5. Variables. Operacionalización de Variables

Variables independientes

Aditivo Hiperplastificante: Sika® ViscoCrete®-40 HSCL; Es un líquido de color blanco, aditivo hiperplastificante de alto rendimiento con nanosílice incorporada. Ideal para concretos de alta resistencia, fluidos y autocompactantes. Cumple con la norma ASTM C-494 Tipo G. Se utiliza en dosis de porcentaje en peso del cemento, dependiendo del efecto deseado.

Variables dependientes:

Capacidad de relleno: Se mide mediante el ensayo de extensibilidad y el embudo en V. sus unidades de medida están en milímetros y segundos.

Capacidad de paso: Se mide mediante los ensayos del anillo J, del embudo en V y la caja en L, las unidades de medida son milímetros, segundos y adimensional respectivamente.

Resistencia a la segregación: Se mide mediante el ensayo de la caja U, su unidad de medida es en milímetros.

Resistencia a la Compresión Uniaxial: Es cuanta carga puede soportar por unidad de área, se expresa en Kg/cm². Este método se describe en la norma ASTM C 109 o NTP 334.051.

Tabla 5*Cuadro de operacionalización de Variables*

Variable	Propiedad	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Independiente		Cantidad de aditivo	Porcentaje	ml
		Capacidad de relleno	Longitud Tiempo	mm s
Dependiente	Trabajabilidad	Capacidad de paso	Longitud	mm
			Tiempo	s
			Adimensional	mm/mm
		Resistencia a la Segregación	Longitud	mm
	Resistencia	Resistencia a la Compresión	Peso por unidad de área	Kg/cm ²
	Permeabilidad	Caudal Filtrado	Volumen por unidad de área y tiempo	m ³ /(m ² .s)

Nota. Cuadro lógico de coherencia e interrelación metodológica. Fuente: Elaboración Propia.

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

Esta investigación por su forma y fondo, es experimental y aplicada, con diseño estadístico de un solo factor con tres niveles de tratamientos (inferior, medio y superior) y un testigo (especímenes de control de CAC sin aditivo), para lo cual, se harán cuatro repeticiones en los ensayos de concreto fresco y tres repeticiones para los ensayos de concreto endurecidos, donde analizara los resultados por comparación de medias simple.

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población

Concretos autocompactantes con resistencia a la compresión de $f'c$ 420 kg/cm² elaborados con cemento Tipo I.

Unidad de Análisis

Las muestras de concreto autocompactante de resistencia $f'c = 420$ Kg/cm²

3.2.2. Muestra.

La muestra que se obtendrá dependerá directamente de las características físicas del agregado, la dosificación de aditivo superplastificante y el cemento Portland tipo I.

El tamaño de muestra *para ensayos de concreto en estado fresco*, se establecerá a través de la toma de muestras aleatorias simples, para la Estimación de la Media Poblacional (μ) con Universo infinito es del tipo cuantitativo continuo. Para su estudio, tenemos a continuación su fórmula:

$$n \geq \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma_0^2}{E^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra

$Z_{\alpha/2}$ = Coeficiente de (1- α)% de confiabilidad.

σ_0 = Desviación estándar poblacional de antecedentes.

E = Error máximo tolerable en la estimación de la media μ .

Se trabajará a un nivel de confianza del 95% quedando el nivel de significancia en un 5%, con lo cual, en las tablas estadísticas se obtuvo un valor de Z igual a 1,96. La desviación estándar poblacional de antecedentes (σ) se estimó en ± 0.10 %, estimado de 10 ensayos preliminares de Extensibilidad (Anexo IV), para un diseño de mezcla de concreto autocompactante de $f'c$ 420 Kg/cm²

Con el objetivo de obtener una cantidad de muestra confiable y los resultados tengan mejor representatividad, se ha considerado con el valor de:

$$E = 0.06 \%$$

Con lo que se obtiene un tamaño de muestra de 10.67 especímenes, entonces lo redondearemos a 12 especímenes, para 5 grupos de ensayos, Cada grupo tendrá una muestra patrón o de control y tres niveles de variación (inferior, medio y superior) con 3 réplicas cada tratamiento, detallados de la siguiente manera:

- 15 muestras sin aditivo hiperplastificante o de control, para ensayos de extensibilidad, anillo J, embudo V, la Caja L y la Caja U. De 3 réplicas cada uno.
- 15 muestras con 1.0 % en peso de Sika ViscoCrete®-40 HSCL del peso del cemento, para ensayos de extensibilidad, anillo J, embudo V, la Caja L y la Caja U. De 3 réplicas cada uno.
- 15 muestras con 1.5 % en peso de Sika ViscoCrete®-40 HSCL del peso del cemento, para ensayos de extensibilidad, anillo J, embudo V, la Caja L y la Caja U. De 3 réplicas cada uno.
- 15 muestras con 2.0 % en peso de Sika ViscoCrete®-40 HSCL del peso del cemento, para ensayos de extensibilidad, anillo J, embudo V, la Caja L y la Caja U. De 3 réplicas cada uno.

Bajo esta estructura experimental se evaluará las muestras de concreto autocompactante sometiéndolas a 5 ensayos de autocompactabilidad, siendo en total 60 unidades experimentales (Tabla 6) para ensayos del concreto autocompactante en estado fresco.

Tabla 6*Matriz de Ensayos de Autocompactabilidad.*

Descripción	Código	Nivel del Aditivo Hiperplastificante							
		Control		Inferior		Medio		Superior	
		0		I		M		S	
Ensayo de Extensibilidad	E	E01	E02	EI1	EI2	EM1	EM2	ES1	ES2
		E03		EI3		EM3		ES3	
Ensayo del Anillo J	J	J01	J02	JI1	JI2	JM1	JM2	JS1	JS2
		J03		JI4		JM3		JS3	
Ensayo del Embudo en V	V	V01	V02	VI1	VI2	VM1	VM2	VS1	VS2
		V02		VI3		VM3		VS3	
Ensayo de la Caja L	L	L01	L02	LI1	LI2	LM1	LM2	LS1	LS2
		L02		LI3		LM3		LS3	
Ensayo de la Caja U	U	U01	U02	UI1	UI2	UM1	UM2	US1	US2
		U02		UI3		UM3		US3	

Nota. Codificación de muestras para ensayos. Fuente: Elaboración Propia.

Para los ensayos de concreto en estado endurecido, resistencia a la compresión y permeabilidad; también se trabajará a un nivel de confianza del 95% y con un error máximo tolerable de 0.04 %, siendo la desviación estándar poblacional de antecedentes (σ_0) estimada en ± 0.07 % de ensayos preliminares; resultando en un tamaño de muestra de 11.76, por lo que usamos $n = 12$ probetas de concreto autocompactante para cada tipo de ensayo, sin embargo, para el caso de la resistencia a la compresión se evaluara en tres tiempos de maduración a 3, 7 y 28 días, con lo que el tamaño de muestra total será $n = 36$, con un diseño de mezcla de concreto $f'c$ 420 Kg/cm² con medidas de 30 cm de longitud x 15 cm de diámetro.; los cuales serán distribuidos de la siguiente forma:

- 9 muestras sin aditivo hiperplastificante o de control, para ensayos de resistencia a la compresión por triplicado, para 3, 7 y 28 días de maduración.
- 9 muestras con 1.0 % en peso de Sika ViscoCrete®-40 HSCL del peso del cemento, para ensayos de resistencia a la compresión por triplicado, para 3, 7 y 28 días de maduración.

- 9 muestras con 1.5 % en peso de Sika ViscoCrete®-40 HSCL del peso del cemento, para ensayos de resistencia a la compresión por triplicado, para 3, 7 y 28 días de maduración.
- 9 muestras con 2.0 % en peso de Sika ViscoCrete®-40 HSCL del peso del cemento, para ensayos de resistencia a la compresión por triplicado, para 3, 7 y 28 días de maduración.
- 3 muestras sin aditivo hiperplastificante o de control, para ensayos de permeabilidad por triplicado.
- 3 muestras con 1.0 % en peso de Sika ViscoCrete®-40 HSCL del peso del cemento, para ensayos de permeabilidad por triplicado.
- 3 muestras con 1.5 % en peso de Sika ViscoCrete®-40 HSCL del peso del cemento, para ensayos de permeabilidad por triplicado.
- 3 muestras con 2.0 % en peso de Sika ViscoCrete®-40 HSCL del peso del cemento, para ensayos de permeabilidad por triplicado.

Entonces los ensayos de concreto autocompactante en estado endurecido, resistencia a la compresión y permeabilidad, tendrá un total de 60 unidades experimentales:

Tabla 7

Matriz de Ensayos de CAC en estado endurecido.

Descripción	Nivel del Aditivo Hiperplastificante							
	Control		Inferior		Medio		Superior	
	0		I		M		S	
Resistencia a la Compresión	R0	R0	RI	RI	RM	RM	RS	RS
	1	2	1	2	1	2	1	2
	R03		RI3		RM3		RS3	
Permeabilidad	R0	R0	RI	RI	RM	RM	RS	RS
	1	2	1	2	1	2	1	2
	R03		RI3		RM3		RS3	

Nota. Los ensayos de resistencia a la compresión axial de harán a 3, 7 y 28 días de maduración. Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. Estudio de las Propiedades Físicas de los Agregados

El agregado que utilizado en la elaboración de concreto proviene de la cantera natural denominada Cantera “Mellizos” en la Quebrada de León, ubicada en Río Seco, distrito de Huanchaco, Km 3400 Panamericana Norte, Trujillo. Ergo se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para determinar las propiedades físicas del agregado, cumpliendo las normas técnicas peruanas:

3.3.1.1. *Peso Específico y Absorción del Agregado Fino: NTP 400.022, 2013 - ASTM C128.*

Materiales y Equipos

- Picnómetro o fiola: $500 \text{ cm}^3 \pm 0.1 \text{ cm}^3$
- Un Horno Secador $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$
- Balanza Electrónica: $3 \text{ kg.} \pm 0.1 \text{ gr.}$
- Secador con aire caliente.
- Molde Metálico Cónico
- Estufa eléctrica
- Varilla de acero lisa

Procedimiento

- Mezclar el agregado fino (arena) y obtener un producto uniforme, luego dividir la muestra en cuatro partes iguales, descartando 2 partes extremas del cuadrante hasta adquirir 1 kg. de muestra aproximadamente, después de haber realizado varias divisiones por cuarteo, introducir en el horno la muestra para secado durante 24 horas; después dejar se enfríe a temperatura ambiente, hasta obtener una temperatura que haga factible su manipulación ($T < 50^\circ\text{C}$).
- Adicionamos agua al agregado fino para obtener una humedad de por lo menos 6 % y dejamos reposar por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$. Vertemos la arena sobre en un área plana permeable y con el uso de un bastidor removemos cada tanto y utilizamos un secador de aire caliente, para obtener una muestra saturada superficialmente seca.

- Hacemos la prueba del cono, con el objetivo de verificar la muestra y su estado saturado superficialmente seco. Para esto, ponemos la muestra en un cono metálico y lo compactamos con 25 golpes, luego lentamente, pero sin pausa, levantamos el cono metálico, tratando de que no se desmorone la arena contenida en su interior, para conseguir una muestra saturada superficialmente seca, si ocurre lo contrario, entonces la arena aún estaría húmeda.
- Llenamos parcialmente de agua al picnómetro y adicionamos 500 gr \pm 5 gr. de muestra saturada superficialmente seca, agregamos el agua hasta alcanzar una capacidad de 90% de calibración del picnómetro, tapar y agitar el contenido para erradicar las burbujas de aire de la muestra, después se debe llenar con agua el picnómetro hasta llegar al volumen de aforo. Pesamos y adquirimos la masa total del picnómetro, la muestra y agua.
- Vaciamos el contenido que está en el picnómetro a un recipiente metálico sin derramar y permitimos decantar la muestra, con cuidado de sacar la mayor porción de agua sin perder partículas del agregado fino en el proceso.
- Ponemos la muestra en el horno secador a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 hr. Dejamos enfriar en un secador a temperatura ambiente durante $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ hora para luego pesarla.

3.3.1.2. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso: (NTP 400.021,2013)

Materiales y Equipos

- Canastilla
- Balanza Hidrostática
- Franelas
- Recipientes metálicos
- Brocha

Procedimiento

- Primero realizamos el cuarteo del material, tendiendo el material en el suelo para luego dividirlo en cuatro partes con una palana, escogiendo solo dos partes del cuarteo, cantidad necesaria para el ensayo.
- Seguimos con el tamizado de agregado grueso, eliminando todo el material que pase por el tamiz N^o 4.
- Lavamos la muestra seca, retirando el polvo e impurezas y ubicándolo en el horno por 24 horas, posteriormente dejamos enfriar la muestra por 1 a 3 horas.
- Remojamos la muestra en agua por 24 ± 4 horas a temperatura ambiente.
- Después de las 24 horas secamos la muestra con una franela. Después de secar la muestra la esparcimos cuidadosamente en la franela y con otro secador comenzamos a quitarle el brillo a las piedras para así tenerla superficialmente secas. Luego esta se deja en la canastilla metálica para pesar dicho agregado en la balanza hidrostática.
- Luego ponemos la muestra saturada con superficie seca en la canastilla de alambre de la balanza hidrostática para determinar su peso sumergido en agua a temperatura de $23^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$. Finalmente, dejar enfriar a temperatura ambiente por 1 a 3 horas y pesar la muestra, ubicando las pesas de manera adecuada en la balanza hidrostática.

3.3.1.3. **Peso Unitario Suelto y Compactado del Agregado Fino y Grueso:** NTP 400.017:2013 – ASTM C 29

Peso Unitario Suelto (PUS)

Materiales y Equipos

- Recipiente cilíndrico de metal
- Varilla de acero lisa.
- Muestra de la arena fina.
- Cucharón
- Espátula.
- Balanza de capacidad: 3 kg. \pm 0.1 gr.

Procedimiento

- Llenar el recipiente hasta el tope con un cucharón, haciendo la descarga de la muestra de agregado a una altura no mayor de 5 cm, encima del borde superior del recipiente.
- Nivelamos el agregado en el recipiente, al ras con una espátula, con la finalidad de que el agregado ocupe el volumen del recipiente.
- Hallamos la masa del recipiente más el contenido de la masa del recipiente vacío y anotamos los valores con una variación de 0,05 kg.

Peso Unitario Compactado (PUC)**Materiales y Equipos**

- Recipiente de
- Barra compactadora.
- Muestra del agregado fino
- Pala de acero.
- Balanza de capacidad: 3 kg. \pm 0.1 gr.

Procedimiento

- Dividir en tres tercios el recipiente, luego con la muestra cubrimos un tercio y nivelamos la superficie con los dedos. Para luego apisonar con 25 golpes uniformemente sobre la superficie. Seguido cubrir a 2 tercios el recipiente para nivelar y apisonar. Luego llenar el recipiente, apisonar y nivelar la superficie del agregado con una espátula.
- Identificar la masa del recipiente más su contenido, la masa del recipiente vacío, y anotar los valores con una variación máxima de 0,05 kg.

3.3.1.4. Contenido de Humedad para el agregado Fino y Grueso: NTP 339.185:2013 - ASTM C 70**Materiales y Equipos**

- Horno de secado 110 °C \pm 5°C
- Recipiente cilíndrico metálico.
- Espátula metálica.
- Balanza electrónica: 3 kg. \pm 0.1 gr.

Procedimiento

- Utilizar 500 g \pm 10 g de muestra húmeda y colocarla en un recipiente metálico, determinamos la masa del recipiente con el contenido de la muestra, con una balanza electrónica de 0.01 g de precisión.
- Introducir la muestra en el recipiente metálico al horno a una temperatura de 110°C \pm 5°C por 24 hr para su secado, evitar perder partículas de muestra al realizar la tarea.
- Cuando la muestra está totalmente seca, sacar del horno y determinar su masa, realizar la operación hasta que la variación con la medición anterior sea un 0,1 % de masa, si la variación es mayor, nuevamente introducimos la muestra al horno para seguir con el secado, por un periodo de tiempo, hasta lograr el objetivo.
- Se procede a hallar la masa de la muestra, después de algunos minutos de enfriamiento para que el recipiente metálico no dañe la balanza.
- Se calcula el contenido de humedad total evaporable usando la siguiente formula:

$$P = 100 (W - D) / D$$

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje.

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos.

D = Masa de la muestra seca en gramos.

3.3.1.5. Análisis Granulométrico de los Agregados: NTP 400.012:2013 - ASTM C136

Materiales y Equipos

- Equipo vibrador Ro-tap.
- Tamices 2"- 1 1/2"- 1"- 3/4" - 1/2" - 3/8"- 1/4" - N°4, 8, 16, 30, 50, 80, 100 y 200 - Agregado Grueso
- Tamices N°4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200 - Agregado Fino
- Balanza de capacidad 3 kg. \pm 0.1 gr.
- Horno secador Temperatura uniforme de 110 °C \pm 5°C

Procedimiento

- Tomamos 4 kg de muestra aproximadamente de agregado fino, en cumplimiento de la NTP 400.010. Mezclamos para homogenizar la muestra, cuarteamos la muestra hasta disminuir su cantidad a una cuarta parte de la masa original, es decir, no se permite la disminución a una cantidad específica.
- Continuamos secando la muestra a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ como mínimo por 24 horas hasta tener una pérdida de masa menor al 0.1 g.
- Enfriamos la muestra a temperatura ambiente ($T = 25^{\circ}\text{C}$) por $\frac{1}{2}$ o 1 hr, para pesarla y hallar su masa.
- Lavar la muestra seca y pasar por el tamiz N° 200, quitando los finos menores con un chorro de agua.
- El espécimen retenido en el tamiz N° 200 debe secarse en el horno, por menos de 24 horas, hasta una disminución de masa menor al 0.1 g.
- Utilizamos los tamices de tamaño apropiado para el ensayo de análisis granulométrico de un agregado Grueso y fino según NTP. Ubicamos los tamices de mayor a menor abertura para colocar la muestra en el tamiz superior.
- Agregamos la muestra seca en el tamiz superior, tapar y asegurar; después colocar el juego de tamices en el equipo vibrador Ro-tap lo encendemos para su agitación por vibrado por un tiempo mínimo de 5 min.
- Determinar la masa de muestra retenida en cada tamiz.
- Realizamos los cálculos matemáticos.
- El Análisis Granulométrico sirvió para obtener los módulos de fineza y los tamaños máximos nominales tanto para el agregado fino, el agregado grueso y agregado global.

3.3.1.6. Cantidad de Agregados Finos que pasan por el tamiz: N°200: NTP 400.018, 2013 - ASTM C 117

Materiales y Equipos

- Tamices Taylor N° 200
- Balanza de capacidad 3 kg. ± 0.1 gr.
- Balde de plástico
- Recipiente metálico
- Horno secador Temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Procedimiento

- Aproximadamente tomamos un 1 kg de muestra de agregado fino según con la NTP 400.010. Mezclar para homogenizar, reducimos la muestra con un cuarteo y obtenemos una cantidad de peso necesario para el ensayo.
- Secamos la muestra una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 horas como mínimo, hasta obtener una disminución de masa en cada operación de pesaje, menor al 0.1 g. con la pesada anterior.
- Enfriar la muestra a temperatura ambiente, luego determinar su masa.
- En un balde plástico colocamos la muestra de agregado fino, adicionamos agua inundando la muestra y mezclándola, con el objetivo de apartar las partículas más finas de las gruesas.
- Homogenizada la muestra vaciamos todo el contenido del balde en el tamiz N° 200 y con un chorro fino de agua con poca presión, lavamos la muestra evitando la pérdida de partículas. Se procede a lavar los finos a través de la malla.
- En un recipiente metálico lavamos el tamiz N° 200 con el material, conteniendo todo el material lavado dentro del recipiente con un chorro de agua constante a poca presión, después dejar decantar inclinando el recipiente para quitar la mayor porción de agua.
- La muestra resultante, secar a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 h, hasta tener una disminución de peso no mayor de 0.1g.
- Pesar la muestra para determinar su masa.

3.3.2. Estudio de las propiedades de fluidez, resistencia al bloqueo y resistencia a la segregación de un CAC en estado fresco

3.3.2.1. Ensayo de Extensibilidad: (UNE 83361) “Este método de prueba cubre la determinación del flujo de asentamiento del Concreto autocompactante”.

Materiales y Equipos

- Placa metálica no absorbente.
- Varilla metálica lisa para enrasar.
- Cono de Abrams.
- Flexómetro.
- Cronómetro.
- Recipiente para llenado.

Procedimiento:

- Ubicamos la base en un área plana y nivelada, garantizando que todo está totalmente apoyado.
- Humedecemos la superficie con un paño húmedo, teniendo especial cuidado en no dejar agua libre; de igual manera el cono se humedece.
- La muestra de concreto se mezcla en una carretilla, con el objetivo de homogenizarla bien antes de verterlo en el cono.
- Sujetamos firmemente el cono y lo rellenamos vertiendo el hormigón con ayuda de un balde y de forma continua sin ninguna clase de compactación.
- Nivelamos el hormigón de la superficie con el borde superior del cono con la varilla de acero lisa y retira el concreto que cayó en la base del molde, podría impedir el movimiento del flujo.
- Levantar el cono verticalmente luego de vertido el concreto antes de un minuto, de forma cuidadosa y continua (2 a 3 segundos), dejando que el hormigón se extienda sobre la base.
- El balde de llenado no debe hacerlo a una altura mayor a 125 mm y el levantamiento del cono a una distancia 225 ± 75 mm.
- Tomamos el tiempo en el cual el flujo del concreto tarda en alcanzar un diámetro de 50 cm.
- Luego de terminar de fluir el concreto autocompactante se mide el diámetro más grande formado por el concreto, dos diámetros perpendiculares entre sí.
- La medida de los diámetros debe incluir los halos, además si las medidas de ambos diámetros difieren de en más de 50 mm, la prueba no es válida y se repetirá.
- Finalmente se registra el promedio de los dos diámetros.

Ecuación, Diámetro final del escurrimiento.

$$D_f = \frac{(D_1 + D_2)}{2}$$

Dónde:

D_f = Diámetro final del escurrimiento.

D_1 = El diámetro más grande de la extensión circular del hormigón y

D_2 = La extensión circular del hormigón en un ángulo aproximadamente perpendicular a D_1

3.3.2.2. Ensayo de Anillo Japonés: (UNE 83362). Este ensayo sirve para la caracterización del concreto autocompactante en presencia de barras metálicas.

Materiales y Equipos

- Placa metálica de 850 mm x 850 mm con círculos señalizados concéntricos de 200 mm, 300 mm y 500 mm de diámetro.
- Cronómetro.
- Badilejo.
- Varilla metálica lisa
- Anillo de acero de diámetro medio de 300 mm. (Anillo Japonés)
- Cono de Abrams.
- Recipiente para llenado.
- Flexómetro

Procedimiento:

- Se coloca la placa metálica en superficie plana, libre de sacudidas y desniveles.
- Se humedece la superficie con un paño, cuidando de no dejar agua libre, de igual manera el interior del cono, previo al ensayo y se colocó el cono sobre base en la marca de 200 mm.
- Colocamos sobre la base el anillo J en la marca de 300 mm.
- Vertimos el CAC con el badilejo en el cono de forma continua y sin compactación alguna. Se enrasa el CAC usando la varilla lisa en el borde superior del cono, se limpia la zona libre de la placa metálica si cayó un resto de concreto.
- Antes de que transcurra un minuto, levanta el cono en verticalmente, de forma cuidadosa y continua (2 a 3 segundos), dejando que el CAC fluya extendiéndose sobre la base y atravesando el anillo.
- Al momento de levantar el cono se acciona el cronómetro y se detiene al momento de que la masa de CAC alcance los 500 mm de diámetro.
- Posteriormente se midieron las alturas en la parte interna del anillo y en la parte externa del anillo. La diferencia de alturas no debe ser mayor a 10 mm.
- Cuando la masa de CAC termina su expansión, se toman dos medidas del diámetro perpendiculares entre sí y se promedia el dato. La diferencia de estos

diámetros no debe ser superior a 50 mm, porque se invalida el ensayo y se repite.

3.3.2.3. Ensayo del Embudo en “V”. Este ensayo caracteriza el tiempo de flujo del concreto autocompactante.

Materiales y Equipos

- Embudo metálico en V de sección rectangular con compuerta.
- 02 baldes uno para llenado y otro de recipiente de recepción del concreto
- Badilejo
- Cronómetro

Procedimiento:

- Se preparó el Embudo V humedeciendo su interior con un paño húmedo, y se colocó en posición vertical sobre una superficie plana, firme y bien nivelada.
- Se colocó bajo el embudo el recipiente para recoger el concreto.
- Tras asegurarnos de que la compuerta está completamente cerrada, vertimos la muestra de concreto (aproximadamente 12 litros) de manera continua y sin vibración.
- Se niveló el hormigón en la parte superior del embudo. Dejamos transcurrir entre 8 y 12 segundos.
- Abrimos la compuerta de la base y medimos el tiempo que tardó el volumen total de concreto en fluir a través del embudo.
- Para determinar el final del paso del concreto se observó el flujo de éste desde la parte superior del embudo deteniendo el cronómetro al aparecer los primeros rayos de luz en el fondo.

3.3.2.4. Método de ensayo de caja en L (UNE 83363) Este ensayo sirve para la caracterización del concreto CAC en presencia de barras metálicas.

Materiales y Equipos

- Caja metálica en L.
- Badilejo.
- Cronómetro.
- Recipiente para llenado.
- Flexómetro.

Procedimiento

- Se necesitó unos 14 litros de concreto autocompactante para realizar el ensayo como muestra.
- Se colocó la caja en L sobre una superficie firme y nivelado; asegurándose de que la compuerta deslizante puede moverse con libertad.
- Luego se humedeció las superficies interiores de la caja en L.
- Se llenó la sección vertical y más alta de la caja en L con la muestra de concreto autocompactante, manteniendo la compuerta cerrada.
- Luego se elevó la compuerta deslizante y se dejó que el concreto fluya hacia la sección horizontal.
- De manera simultánea, se activó el cronómetro registrándose los tiempos que requiere el hormigón para alcanzar las marcas de 200 y de 400 mm.
- Un CAC debe estar en el rango de valores de $T-200 < 1,5$ s y $T-400 < 2,5$ s.
- Cuando el hormigón deje de fluir, se miden las alturas H_1 (Altura en la sección Vertical) y H_2 (Altura en la sección Horizontal).
- Se considera que hay segregación cuando la grava queda retenida en las barras de acero de la compuerta.

Ecuación: *Coeficiente de bloqueo, es óptimo para valores como mínimo 0.8*

$$Cbl = \frac{H_2}{H_1}$$

Cbl = Coeficiente de bloqueo.

H_1 = Altura interna posterior.

H_2 = Altura interna delantera.

3.3.2.5. Ensayo De Caja U (Capacidad de Relleno y Paso). El ensayo se utiliza para medir la capacidad de relleno del CAC, en este ensayo se requiere compartimientos en forma de U dividido en dos, por una pared intermedia.

Materiales y Equipos

- Mezcla de concreto autocompactante (20 litros aproximadamente).
- Caja en U de un material rígido no absorbente.
- Llana
- Pala
- Cronómetro.

Procedimiento

- Se inicia colocando la caja una superficie firme y nivelado; y asegurándonos de que la compuerta deslizante puede moverse con libertad, para luego cerrarla.
- Se humedeció las superficies interiores de la caja y se cerró la compuerta central.
- Llenar completamente el compartimiento izquierdo con 20 litros de concreto y enrazar.
- Pasado el tiempo de reposo de un minuto, se elevó la compuerta deslizante y se dejó que fluya la mezcla hacia el compartimiento derecho pasando por las varillas de acero.
- Después de dejar reposar el concreto, midió la altura del mismo en el compartimiento que se ha llenado, en dos lugares, y calculó la media H1.
- Luego se midió también la altura en el otro compartimiento H2, con estos datos se calculó la altura de llenado (Calcule $H1 - H2$).
- El rango permitido para la diferencia $H1 - H2$ es de 0 – 3 cm, una diferencia más grande significaría la posibilidad de bloqueo.
- El concreto con buena capacidad de relleno debe alcanzar una altura de al menos 30 cm en el lado derecho de la caja.

3.3.3. Ensayos de Laboratorio del Concreto Endurecido.

Serán dos tipos de ensayos, el primero para hallar la resistencia a compresión axial y el segundo para determinar la tasa de permeabilidad.

3.3.3.1. Ensayo a la Resistencia a la Compresión (NTP 339.033, 2008).

Realizar el transporte de los especímenes al laboratorio. durante el transporte, proteja los especímenes con un material adecuado de amortiguación para evitar daño por sacudidas. Evite la pérdida de humedad durante el transporte envolviendo los especímenes en plástico, arpillera mojada, rodeándolos de arena húmeda, o ajustándolos firmemente con cabezales plásticos sobre moldes plásticos. El tiempo de transporte no debe exceder las 4 horas.

Para los ensayos de compresión de probetas cilíndricas de concreto 420 kg/cm² de concreto Tipo MS, se realizaron a las edades de 3, 7, y 28 días a través de una máquina hidráulica de compresión.

Materiales y Equipos

- Probetas cilíndricas de 6" x 12"
- Máquina de ensayos.

Procedimiento

- Pasado el periodo asignado a la probeta, retirada de la poza de fraguado y transportado con las medidas indicadas anteriormente, se procede a realizar el ensayo de resistencia a la compresión.
- Limpiamos con un paño las superficies de los bloques superiores e inferiores de la máquina de compresión y colocamos la probeta en el equipo, esta se coloca con el bloque de carga inferior sobre el soporte de la máquina de compresión y directamente debajo del bloque superior.
- Procedemos a aplicar la carga hasta que falle y se registra la carga máxima soportada por la probeta durante el ensayo. Anótase el tipo de falla y la apariencia del concreto.

3.3.3.2. Ensayo de Profundidad de penetración de agua bajo presión (EN 12390-8). Esta norma específica un método para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en concretos endurecidos curados en agua por inmersión.

Materiales y Equipos

- Equipo de presión de agua.
- Medidor de presión de agua
- Sellado de caucho o material similar
- Cepillo de púas metálicas.

Procedimiento

- Las probetas serán cilíndricas de diámetro no menor a 150 mm, se somete a un desgaste la cara que será sometida a presión del agua con un cepillo de púas metálicas.

- La probeta se coloca en el equipo de ensayo y se aplica una presión de agua de (500 ± 50) KPa durante (72 ± 2) h.
- Se observa constantemente las áreas no expuestas a la presión de agua, en busca de posible presencia de agua.
- Luego del tiempo señalado, se retira la probeta, se limpia con un paño seco y se rompe la probeta en dos mitades, con un corte perpendicular al área circular, donde se aplicó la presión de agua.
- Observamos la penetración del frente de agua, se marca dicho frente húmedo y se mide la profundidad máxima alcanzada y se redondea al mm. más próximo.
- El criterio para determinar si un concreto es impermeable, es la obtención de valores < 30 mm.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

3.4.1. Técnicas de Recolección de datos

Las técnicas de recolección de información básica para la presente investigación están basadas en la observación del comportamiento del aditivo hiperplastificante en el diseño de mezcla, desde el fraguado hasta su estado endurecido. Estos datos serán obtenidos mediante ensayos experimentales de laboratorio con la metodología planteada descrita en los procedimientos, cumpliendo con las normas ASTM, NTP y UNE para cada ensayo que nos ayudará a asegurar una adecuada investigación; entonces las muestras fueron elaboradas en laboratorio, codificadas, anotadas sus datos, para posteriormente analizarlas y desarrollar la investigación

Para los ensayos de resistencia del concreto del presente estudio se realizaron según la NTP 339.034 CONCRETO *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*, en el laboratorio particular de suelos en la empresa Corporación A&J Construcción y Consultoría S.A.C. Las probetas fueron trasladadas con sus respectivos códigos asignados para su rompimiento.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.

Se utilizaron para la elaboración de la investigación los instrumentos siguientes:

- Ficha de Experimentación: Hoja en la cual se detalla, fecha elaboración del concreto, tipo de ensayo, dosis del aditivo, fecha de ensayo, pesos, dimensiones, tiempos y observaciones especiales que puedan surgir.
- Cámara Fotográfica. Hacer un registro fotografías que facilite reportar los ensayos y poder evaluar visualmente los detalles de los ensayos.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Elaboraremos conjuntos de especímenes de prueba, donde se utilizará un diseño unifactorial completamente aleatorio, es decir se hará un experimento con un solo factor con tres niveles (inferior, medio y superior) y un testigo (especímenes de control de CAC sin aditivo) con cuatro repeticiones para cada tratamiento. Bajo esta estructura experimental se evaluará las muestras de concreto autocompactante sometiéndolas a 5 ensayos de autocompactabilidad, con una corrida de control, cada tratamiento será por triplicado, siendo en total 60 unidades experimentales para ensayos del concreto autocompactante en estado fresco.

Para los ensayos de concreto autocompactante en estado endurecido, resistencia a la compresión y permeabilidad, también se usará un diseño unifactorial completamente aleatorizado. Tendrán un solo tratamiento con 3 niveles de 3 repeticiones cada uno y una corrida testigo o de control sin ningún tratamiento y con 3 repeticiones.

3.5.1. Nivel de significancia - ANOVA

Es muy frecuente fijarlo en un 5% ($\alpha = 0.05$) es decir pruebas con un 95% de confianza, pero también es posible usar otro nivel, lo cual dependerá de las características del estudio y su finalidad; Esto representa la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera.

Se evaluó el valor de P de la prueba de ANOVA, si este valor de P es menor que el nivel de significancia α : ($P < \alpha$) entonces se concluirá que es significativo y por lo tanto el resultado no es aleatorio (posible), así rechazando la hipótesis nula.

3.5.1.1. Criterio de rechazo. Según Montgomery (2006), la hipótesis alterna H_1 se acepta si:

$$F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$$

F_0 : se obtiene experimentalmente.

F_{α, v_1, v_2} : se obtiene mediante tablas estadísticas.

Donde:

α = Nivel de confiabilidad o significancia (generalmente al 0.01 o 0.05).

v_1 = Grados de libertad de los efectos e interacciones, generalmente iguales a 2 en los diseños factoriales de 3 niveles.

v_2 = Grados de libertad de la suma de cuadrados del error, lo cual está calculado como la diferencia de los grados de libertad de la suma total de cuadrados menos la suma de los efectos o tratamientos.

3.5.1.2. Intervalos de confianza. Según Montgomery (2006), los intervalos de confianza se calculan con la siguiente fórmula:

$$\mu = X \pm t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

n = Número de niveles.

σ = Desviación estándar.

X = Promedio

t = T- student.

3.5.1.3. Análisis de varianza. Según Montgomery (2006), los análisis de varianza se calculan con las siguientes fórmulas:

- Suma de cuadrados de los efectos principales.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{br} - \frac{Y^2}{abr}$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{ar} - \frac{Y^2}{abr}$$

- Suma de cuadrados de la interacción de los efectos principales

$$SS_{Subtotales} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij}^2}{r} - \frac{Y^2}{N}$$

$$SS_{AB} = SS_{ST} - SS_A - SS_B$$

- Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r Y_{ijk}^2 - \frac{Y^2}{abr}$$

- Suma de cuadrados de error

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B$$

- Suma de cuadrados medios

$$CM_A = \frac{SS_A}{k-1}$$

$$CM_B = \frac{SS_B}{k-1}$$

- Suma de cuadrados medios del error

$$CM_E = \frac{SS_E}{N-k}$$

Dónde:

N= a x b x r = Número total de muestras.

k =Número de niveles del factor de tratamientos.

a =Número de niveles del factor A.

b =Número de niveles del factor B.

r = Número de réplicas.

Y =Media general de todas las observaciones.

Y_i =Media del iésimo nivel del factor A.

Y_j =Media del jésimo nivel del factor B.

Y_{ij} =Media del iésimo nivel del factor A y el jésimo nivel del factor B.

3.5.1.4. Media aritmética. La definimos como el valor característico de la serie de datos resultado de la suma de todas las observaciones dividido por el número total de datos.

Se suma todos los resultados de cada ensayo por dosificación, así como lo indica la formula siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n X_i}{n}$$

Donde:

\bar{X} = Media Aritmética.

Σ = Sumatoria.

x_i = Observación de la muestra.

n = Tamaño de la muestra.

3.5.1.5. Varianza. La varianza en estadística es la raíz cuadrada de la desviación estándar, siendo una media de las frecuencias con la media elevadas al cuadrado.

Para determinar la varianza de cada ensayo, se reemplaza los datos hallados de cada dosificación en la siguiente fórmula:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Donde:

σ^2 = Varianza

Σ = Sumatoria.

x_i = Observación de la muestra.

\bar{X} = Media Aritmética.

n = Tamaño de la muestra.

3.5.1.6. Desviación estándar. La desviación estándar es la medida de dispersión más común, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos.

El dato de la varianza de cada ensayo se reemplaza en la formula siguiente para determinar la desviación estándar:

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

Dónde:

σ^2 = Varianza

3.5.1.7. Coeficiente de variación. El coeficiente de variación permite comparar la dispersión entre dos poblaciones distintas e incluso, comparar la variación producto de dos variables diferentes (que pueden provenir de una misma población).

El coeficiente de variación elimina la dimensionalidad de las variables y tiene en cuenta la proporción existente entre una medida de tendencia y la desviación típica o estándar.

$$CV = \frac{DS}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

DS = Desviación estándar

\bar{x} = Media Aritmética.

3.5.1.8. Análisis de datos. Para desarrollar el análisis de datos, las variables de investigación y los datos se compararán las medias de grupos, variables proporcionales continuas y distribuidas normalmente, se optó por una prueba conocida como análisis de varianza o ANOVA path y Tukey.

Las conclusiones se sacarán al final. Los datos recopilados se encuentran en diferentes tablas (tablas de doble entrada, graficas, histogramas) que explican el comportamiento de las variables en estudio.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Inicialmente se realizó los ensayos de caracterización de los agregados finos y gruesos, para que, con los resultados de las propiedades físicas, sirva de base para la realización del diseño de mezcla de un concreto autocompactante de alto rendimiento, con la adición de aditivo superplastificante en dosis variables y con las constantes fijas de una relación a/c de 0.38 y un agente modificador de viscosidad al 0.1% del peso del cemento.

4.1. Resultados de las Propiedades Físicas del Agregado Fino.

4.1.1. Análisis granulométrico de la Agregado Fino - NPT:400.12

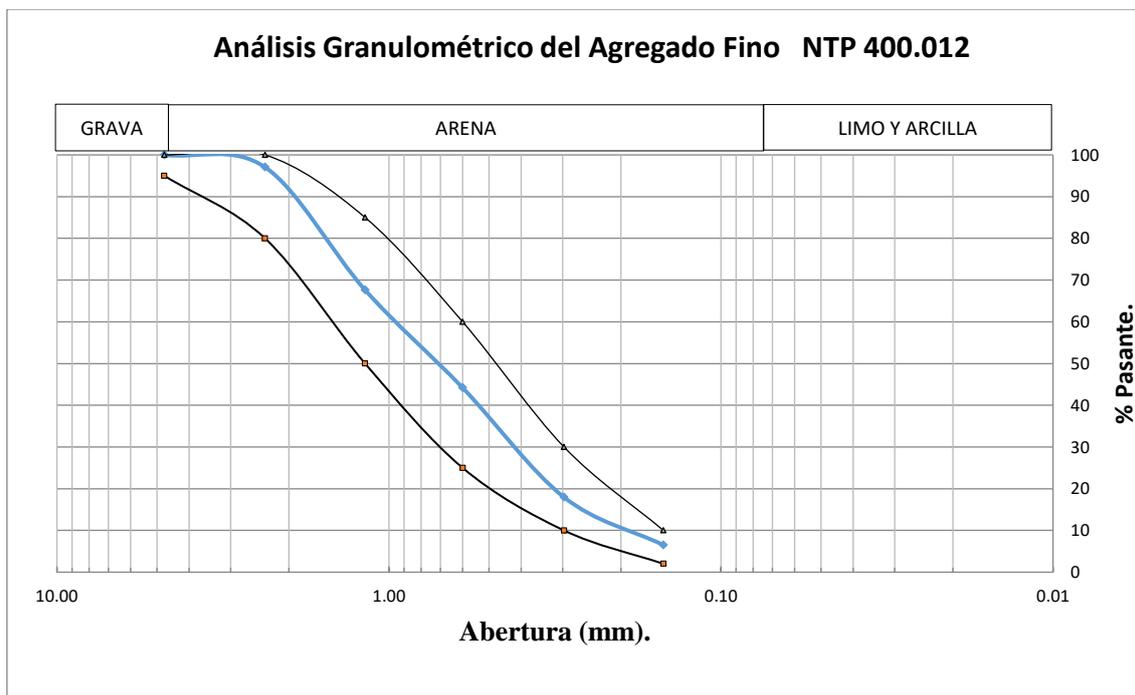
Tabla 8

Análisis Granulométrico del agregado fino

Tamíz N°	Ø (mm)	Limites Granulométricos NTP 400.012		Peso Retenido (g.)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
		Mínimo	Máximo				
4	4.75	95	100	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.36	80	100	25.3	2.9	2.9	97.1
16	1.18	50	85	253.2	29.4	32.4	67.6
30	0.60	25	60	201.5	23.4	55.8	44.2
50	0.30	10	30	225.6	26.2	82.0	18.0
100	0.15	2	10	98.6	11.5	93.5	6.5
-100	Bandeja			55.9	6.5	100.0	0.0

Nota. La tabla muestra el % de pasante acumulado del agregado pasado por las mallas 4,8,16,30,50,100 y la malla ciega. Fuente: Elaboración propia.

Figura 8
Granulometría del agregado fino



Nota. La grafica del agregado fino se muestra dentro de los limites granulométricos de la norma NPT:400.12 y clasificado como arena. Fuente: Elaboración propia.

D ₆₀ :	<u>0.93</u>	% de Grava : <u>0</u>
D ₃₀ :	<u>0.41</u>	% de Arena : <u>100</u>
D ₁₀ :	<u>0.2</u>	% de Finos : <u>1.8</u>
Cc (Coeficiente de curvatura) :	<u>0.9</u>	
Cu (Coeficiente de uniformidad) :	<u>4.7</u>	% W = 1.99%
Módulo de Finura:	<u>2.67</u>	

La tabla N° 08 muestra el desarrollo de un análisis granulométrico usando los tamices N° 4,8,16,50,100; los resultados son expresados en la gráfica N°08 que muestra la abertura de los tamices (mm) vs el porcentaje pasante acumulado de la muestra del agregado fino, dando como resultado valores dentro de los usos granulométricos de la NTP 400.012 y al usar esta grafica se obtiene el valor de 2.67 para el módulo de finura; el cual es ideal para el agregado fino, debido a que se encuentra en el rango de 2.5 a 3.

4.1.2. Contenido de Humedad del Agregado Fino (NTP 339.185,2013)

Tabla 9

Contenido de Humedad del agregado fino

Contenido de Humedad	A. Fino
Peso tazón	323.1 g
Peso tazón + material húmedo	922.3 g
Peso tazón + material seco	910.6 g
Peso material húmedo	599.2 g
Peso material seco	587.5 g
Contenido de humedad	11.7 g
Contenido de Humedad	1.99%

Nota. Resultado del ensayo de humedad. Fuente: Propia

La tabla N°9, muestra el porcentaje total de humedad evaporable en la muestra de agregado fino por secado igual a 1.99%. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación, por lo que no está incluida en el porcentaje determinado por este método.

4.1.3. Peso Unitario Suelto del Agregado Fino- NTP: 400.017

Tabla 10

Peso unitario suelto del agregado fino.

Agregado Fino	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Promedio
Peso recipiente + material	11.560 Kg	11.640 Kg	11.596 Kg	
Peso recipiente	0.923 Kg	0.923 Kg	0.923 Kg	
Peso neto muestra	10.637 Kg	10.717 Kg	10.673 Kg	
Volumen recipiente	0.006 m ³	0.006 m ³	0.006 m ³	
Peso Unitario Suelto	1772.83	1786.17	1778.83	1779.3 Kg/m³

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso unitario suelto por triplicado del agregado fino. Fuente: Elaboración Propia.

La tabla muestra como media aritmética del ensayo de peso unitario suelto de agregado fino el valor de 1779.3 kg/m³, donde para determina la densidad de masa suelta por este método no se consideró la condición e secar la muestra en la estufa

4.1.4. Peso Unitario Compactado del Agregado Fino - NTP: 400.017,2016

Tabla 11

Peso unitario compactado del agregado fino

Agregado Fino	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Promedio
Peso recipiente + material	14.635 Kg	14.710 Kg	14.656 Kg	
Peso recipiente	0.923 Kg	0.923 Kg	0.923 Kg	
Peso neto muestra	13.712 Kg	13.733 Kg	13.787 Kg	
Volumen recipiente	0.007 m ³	0.007 m ³	0.007 m ³	
Peso Unitario Compactado	1,959	1,962	1,970	1963.4 Kg/m³

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso unitario compactado por triplicado del agregado fino. Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla se muestra la media aritmética del ensayo de peso unitario compactado del agregado fino realizado por triplicado, resultando el valor de 1963.4 kg/m, donde para determinar la densidad de masa compactada por este método no se consideró la condición de secar la muestra en el horno.

4.1.5. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino - NTP 400.022

Tabla 12

Peso específico y absorción de la arena gruesa

Cod. Agregado Fino	E1	E2
A Peso de Muestra (SSD)	501.3 g	502.7 g
B Peso frasco con agua	685.2 g	692.4 g
C Peso frasco con agua + (A)	1186.5 g	1195.1 g
D Peso del frasco con muestra aforado con agua	984.9 g	992.1 g
E Vol de masa + vol de vacío = [C-D]	201.6	203.0
F Peso de material seco al horno	495.0 g	491.0 g
Resultados	R1	R2
	2.46 g/cm ³	2.42 g/cm ³
Peso Específico (Promedio)	2.44 g/cm³	
	1.27%	2.38%
% De Absorción (Promedio)	1.83%	

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso específico y % de Adsorción por duplicado del agregado fino. Fuente: Elaboración Propia.

La tabla muestra el ensayo por duplicado por peso específico obtenido del agregado fino, siendo el valor promedio obtenido de 2.44 y los valores de % de absorción es de 1.83, el cual se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca.

4.2. Propiedades físicas del agregado grueso.

4.2.1. Granulometría del agregado grueso - NPT:400.12

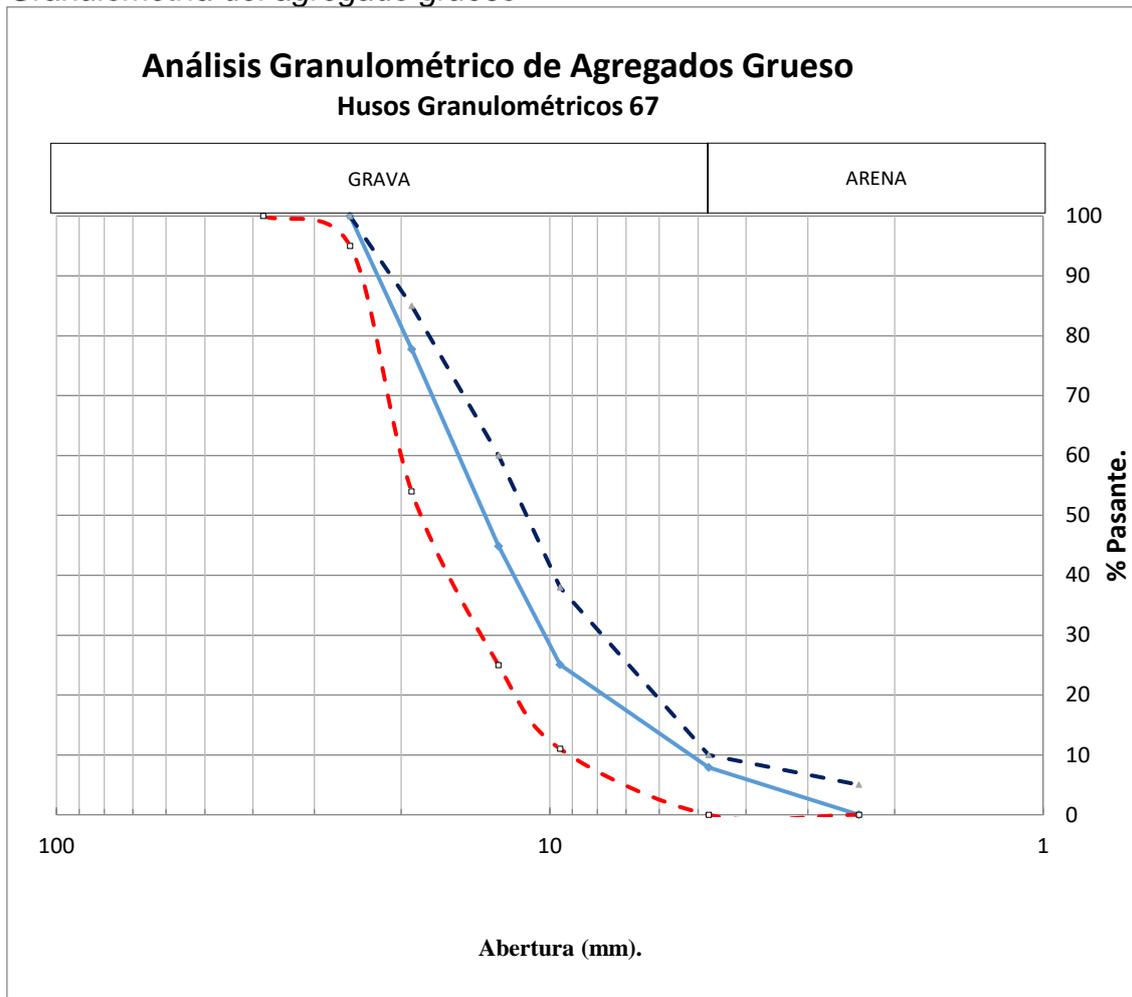
Tabla 13

Granulometría del agregado grueso

Tamiz N°	Æ (mm)	Husos Granulométricos 67		Peso Retenido (g.)	%	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
		Mínimo	Máximo				
3"	76.2			0.0	0.0	0.0	100
2 1/2"	63.5			0.0	0.0	0.0	100
2"	50.8			0.0	0.0	0.0	100
1 1/2"	38.1	100		0.0	0.0	0.0	100
1"	25.4	95	100	0.0	0.0	0.0	100
3/4"	19.05	54	85	201.2	22.3	22.3	78
1/2"	12.7	25	60	297.1	32.9	55.1	44.9
3/8"	9.525	11	38	178.9	19.8	74.9	25.1
N° 4	4.76	0	10	155.3	17.2	92.1	7.9
N° 8	2.36	0	5	71.2	7.9	100.0	0.0

Nota. La tabla muestra el % de pasante acumulado del agregado pasado por las mallas de 3" hasta la N°4. Fuente: Elaboración propia.

Figura 9
Granulometría del agregado grueso



Nota. La grafica del agregado grueso se muestra dentro de los husos granulométricos 67 y clasificado como grava. Fuente: Elaboración propia.

D ₆₀ : 15.0	C.c. (Coeficiente de Curvatura) : 1.3	% Grava: 100
D ₃₀ : 10.1	C.u. (Coeficiente de Uniformidad) : 2.94	TM: 1"
D ₁₀ : 5.1	MF: 6.97	TMN: 3/4"

La tabla N° 13 muestra el desarrollo de un análisis granulométrico donde los resultados expresan una curva granulométrica dentro de los husos granulométricos 67; obteniendo el valor de 2.94.

4.2.2. Contenido de Humedad del Agregado Grueso – NTP:339.185

Tabla 14

Contenido de Humedad del agregado grueso

Contenido de Humedad	A. Grueso
Peso tazón	323.1 g
Peso tazón + material húmedo	4356.7 g
Peso tazón + material seco	4331.2 g
Peso material húmedo	4033.6 g
Peso material seco	4008.1 g
Contenido de humedad	25.5 g
Contenido de Humedad	0.64%

Nota. Ficha de laboratorio para el ensayo de humedad de la grava. Fuente: Elaboración Propia.

La tabla N°14, muestra el porcentaje total de humedad evaporable en la muestra de agregado grueso por secado igual a 0.64%. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación, por lo que no está incluida en el porcentaje determinado por este método.

4.2.3. Peso Unitario suelto del Agregado Grueso – NTP:400.017.

Tabla 15

Peso unitario suelto de la grava

Grava	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Promedio
Peso recipiente + material	13.392 Kg	13.751 Kg	13.637 Kg	
Peso recipiente	2.55 Kg	2.55 Kg	2.55 Kg	
Peso neto muestra	10.842 Kg	11.201 Kg	11.087 Kg	
Volumen recipiente	0.007 m3	0.007 m3	0.007 m3	
Peso Unitario Suelto	1548.86	1600.14	1583.86	1577.6 Kg/m3

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso unitario suelto por triplicado del agregado grueso. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4. *Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso – NTP:400.017.*

Tabla 16

Peso unitario compactado del agregado grueso

Grava	Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03	Promedio
Peso recipiente + material	13.592 Kg	13.940 Kg	13.844 Kg	
Peso recipiente	2.55 Kg	2.55 Kg	2.55 Kg	
Peso neto muestra	11.042 Kg	11.390 Kg	11.294 Kg	
Volumen recipiente	0.007 m3	0.007 m3	0.007 m3	
Peso Unitario Compactado	1577.43	1627.14	1613.43	1606.0 Kg/m3

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso unitario compactado por triplicado del agregado grueso. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5. *Peso Específico y Absorción del Agregado Fino – NTP: 400.022.*

Tabla 17

Peso específico y absorción de la grava

Cod.	Grava	E1	E2
A	Peso de Muestra (SSD)	603.1 g	607.2 g
B	Peso frasco con agua	785.2 g	785.1 g
C	Peso frasco con agua + (A)	1388.3 g	1392.3 g
D	Peso del frasco con muestra aforado con agua	1225.9 g	1233.1 g
E	Vol de masa + vol de vacío = [C-D]	162.4	159.2
F	Peso de material seco al horno	597.2 g	602.1 g
	Resultados	R1	R2
	Peso Específico (Promedio)	3.68 g/cm3	3.78 g/cm3
		3.73 g/cm3	
	% De Absorción (Promedio)	0.99%	0.85%
		0.92%	

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso específico y % de Adsorción por duplicado del agregado grueso. Fuente: Elaboración Propia.

La tabla muestra el ensayo por duplicado por peso específico obtenido de la grava, siendo el valor promedio obtenido de 3.73 y los valores de % de absorción es de 0.92, el cual se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca.

4.3. Diseños de Mezclas.

Para el diseño y caracterización del concreto autocompactante nos hemos orientado en la aplicación de un concreto convencional, las directrices de la federación europea para el Hormigón Autocompactante (EFNARC) y la asociación americana del concreto (ACI), las cuales precisan las proporciones relativas de los componentes claves.

Tabla 18

Parámetros de Diseño de un CAC.

Parámetros	EFNARC	ACI 237-R
Relación a/f (en vol.)	0.80 – 1.10	-
Relación a/f (en peso)	-	0.32 – 0.45
Contenido Total de Finos (Kg/m ³)	400 - 600	386 - 485
Agregado grueso (% en vol.)	28 - 35	28 - 32
Agua (l/m ³)	< 200	-
Fracción en pasta (% en vol.)	-	34 - 40
Fracción en Mortero (% en volumen)	-	68 - 72
Cantidad de cemento (Kg/m ³)	350 - 450	-

Nota. Metodología de diseño con Directivas de EFNARC y ACI.

4.4. Ensayos de Concreto Autocompactante en Estado Fresco.

4.4.1. Ensayo de Extensibilidad

Tabla 19

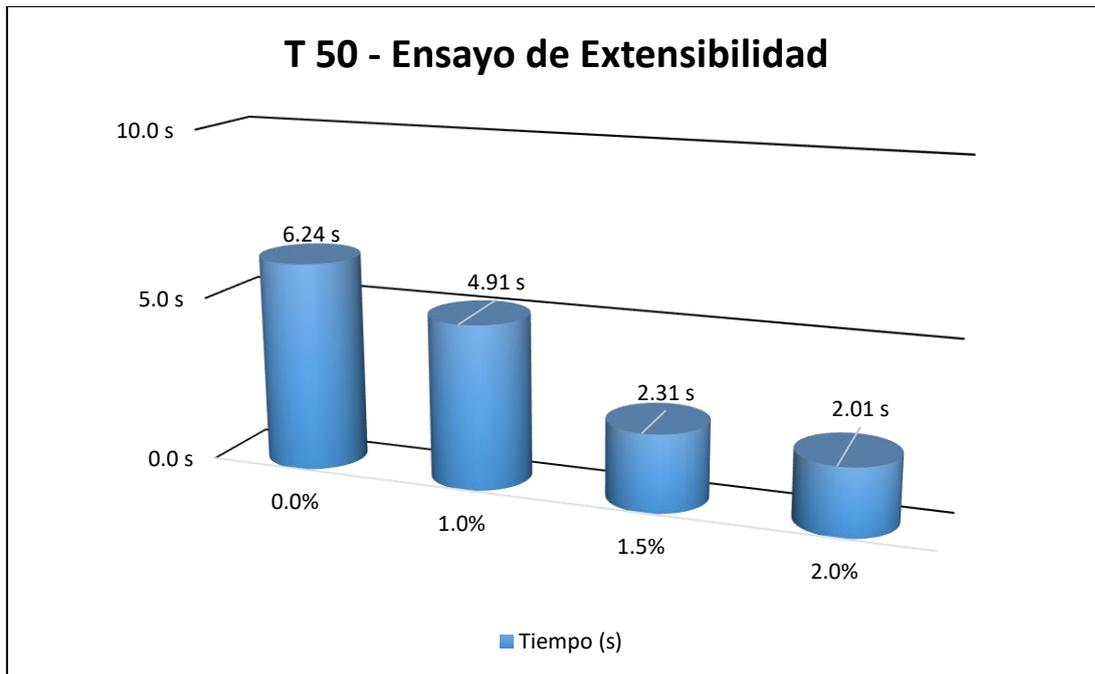
Ensayo de Extensibilidad

Réplica	% en Peso	T 50	T 50 Promedio	D ₁	D ₂	Df	Df Promedio
1	0.0%	6.17 s	6.24 s	515 mm	523 mm	519 mm	524 mm
2		6.35 s		526 mm	517 mm	522 mm	
3		6.21 s		524 mm	536 mm	530 mm	
1	1.0%	4.84 s	4.91 s	618 mm	613 mm	616 mm	619 mm
2		4.98 s		625 mm	621 mm	623 mm	
3		4.91 s		617 mm	619 mm	618 mm	
1	1.5%	2.25 s	2.31 s	723 mm	719 mm	721 mm	736 mm
2		2.31 s		735 mm	736 mm	736 mm	
3		2.36 s		753 mm	747 mm	750 mm	
1	2.0%	2.02 s	2.01 s	791 mm	794 mm	793 mm	790 mm
2		2.98 s		796 mm	791 mm	794 mm	
3		2.03 s		785 mm	782 mm	784 mm	

Nota. La tabla muestra el tiempo transcurrido para que la masa de concreto alcance 500 mm de diámetro y el promedio de dos mediciones al final de todo movimiento. Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

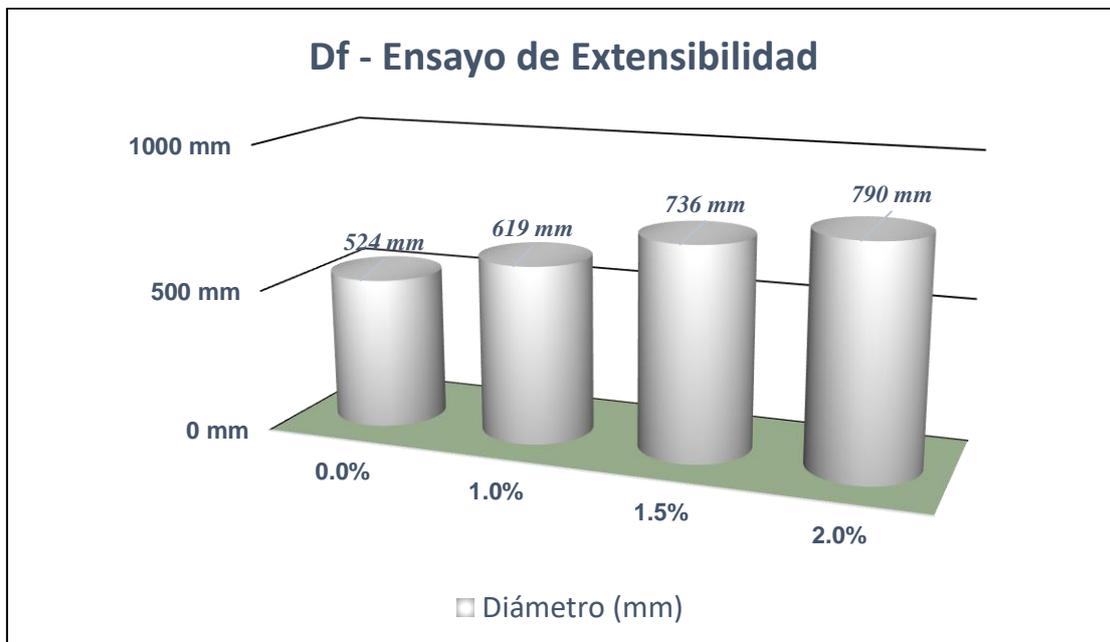
Ensayo de Extensibilidad – Tiempo transcurrido para alcanzar 500 mm de diámetro



Nota. Muestra el efecto de la adición de aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre el aumento de la fluidez de la masa del concreto en función del tiempo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 11

Ensayo de Extensibilidad – Diámetro final alcanzado por la masa del CAC.



Nota. Muestra el efecto de la adición de aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre el aumento de la fluidez de la masa del concreto en función del diámetro alcanzado. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2. Ensayo del Anillo Japonés

Tabla 20

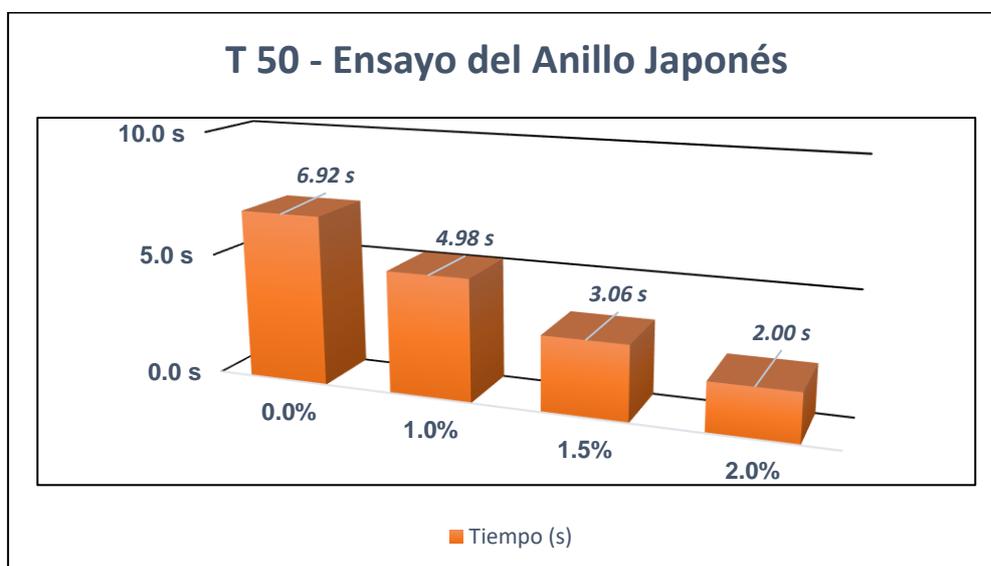
Ensayo del Anillo J – Fluidez de la masa del CAC método con obstrucción.

Réplica	% en Peso	T 50	D ₁	D ₂	D _f	H Interior	H Exterior	H		
1	0.0%	6.84 s	515 mm	517 mm	516 mm	28 mm	28 mm			
2		6.92 s	516 mm	515 mm	516 mm	517 mm	29 mm	28 mm	28 mm	
3		7.01 s	518 mm	519 mm	519 mm		28 mm	28 mm		
1	1.0%	5.01 s	605 mm	607 mm	606 mm	20 mm	20 mm			
2		4.91 s	4.98 s	609 mm	608 mm	609 mm	607 mm	20 mm	19 mm	20 mm
3		5.03 s	604 mm	607 mm	606 mm		20 mm	20 mm		
1	1.5%	3.02 s	702 mm	699 mm	701 mm	10 mm	10 mm			
2		3.10 s	3.06 s	705 mm	708 mm	707 mm	702 mm	10 mm	10 mm	10 mm
3		3.06 s	695 mm	705 mm	700 mm		10 mm	9 mm		
1	2.0%	2.00 s	751 mm	755 mm	753 mm	5 mm	4 mm			
2		2.04 s	2.00 s	745 mm	748 mm	747 mm	753 mm	5 mm	5 mm	5 mm
3		1.95 s	762 mm	754 mm	758 mm		5 mm	5 mm		

Nota. La tabla muestra el tiempo transcurrido para que la masa de concreto alcance 500 mm de diámetro y el promedio de alturas interior y exterior para verificar la segregación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

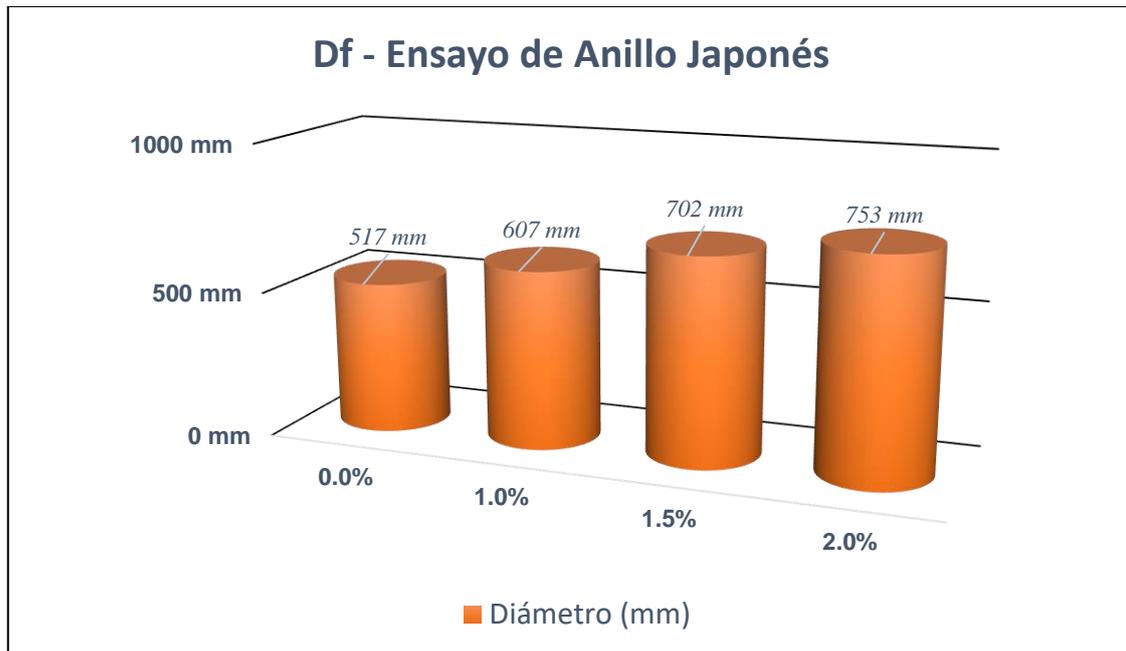
Ensayo del Anillo J – Tiempo transcurrido para alcanzar 500 mm de diámetro.



Nota. Muestra el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre el aumento de la fluidez de la masa del concreto en función del tiempo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 13

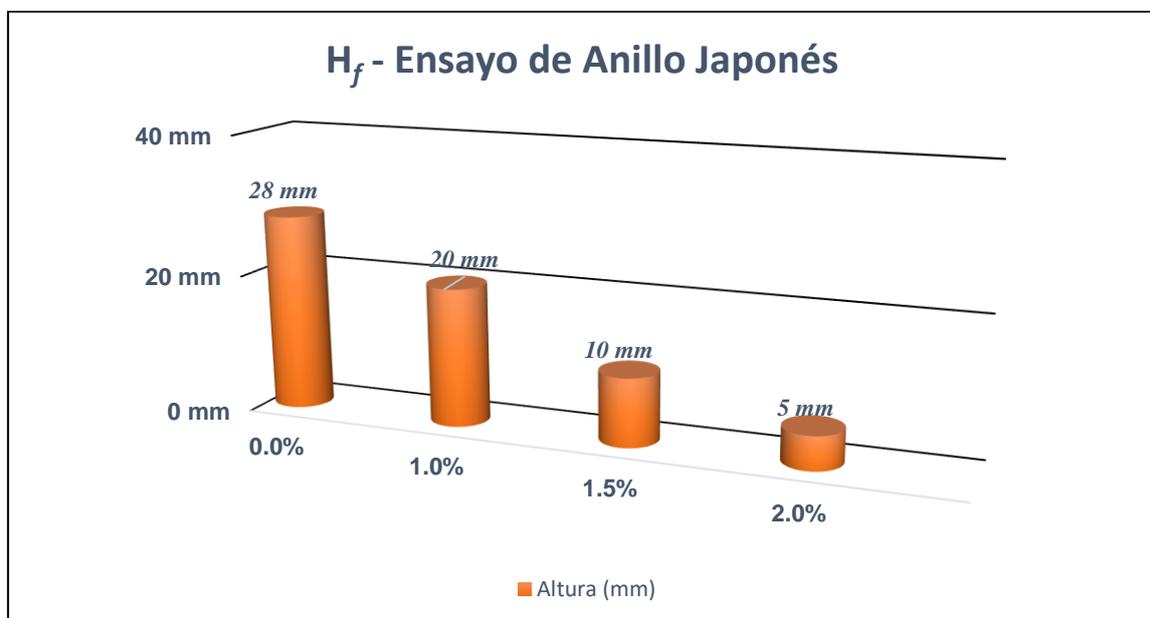
Ensayo del Anillo J – Diámetro final alcanzado por la masa del CAC.



Nota. Muestra el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre el aumento de la fluidez de la masa del concreto en función del diámetro. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14

Ensayo del Anillo J – Altura final de segregación alcanzado por la masa del CAC.



Nota. Muestra el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre el aumento de la fluidez de la masa del concreto en función del diámetro. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.3. Ensayo del embudo en V

Tabla 21

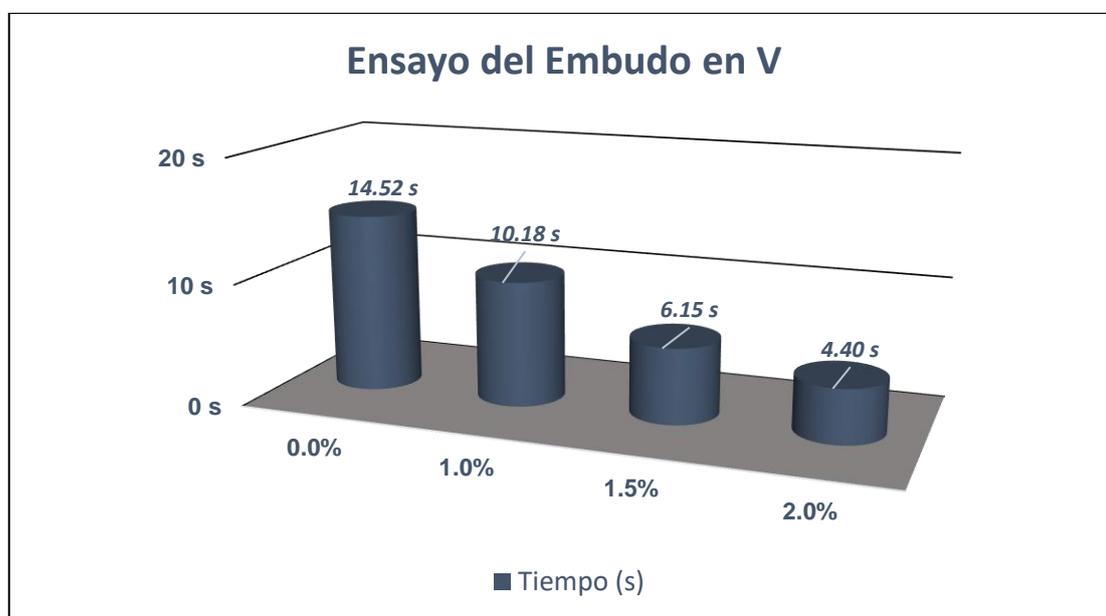
Ensayo del embudo en V – Fluidez

Réplica	% en Peso de Sika Viscocrete-40 HSCL	Tiempo	
1	0.0%	14.02 s	
2		14.33 s	14.52 s
3		15.20 s	
1	1.0%	10.20 s	
2		10.28 s	10.18 s
3		10.05 s	
1	1.5%	6.04 s	
2		6.10 s	6.15 s
3		6.30 s	
1	2.0%	4.05 s	
2		4.53 s	4.40 s
3		4.62 s	

Nota. Muestra el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre el aumento de la fluidez de la masa del concreto en función del tiempo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 15

Ensayo del Embudo en V– Tiempo del flujo de la masa de CAC.



Nota. Muestra el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre el aumento de la fluidez de la masa del concreto en función del tiempo. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.4. Ensayo de la caja en L

Tabla 22

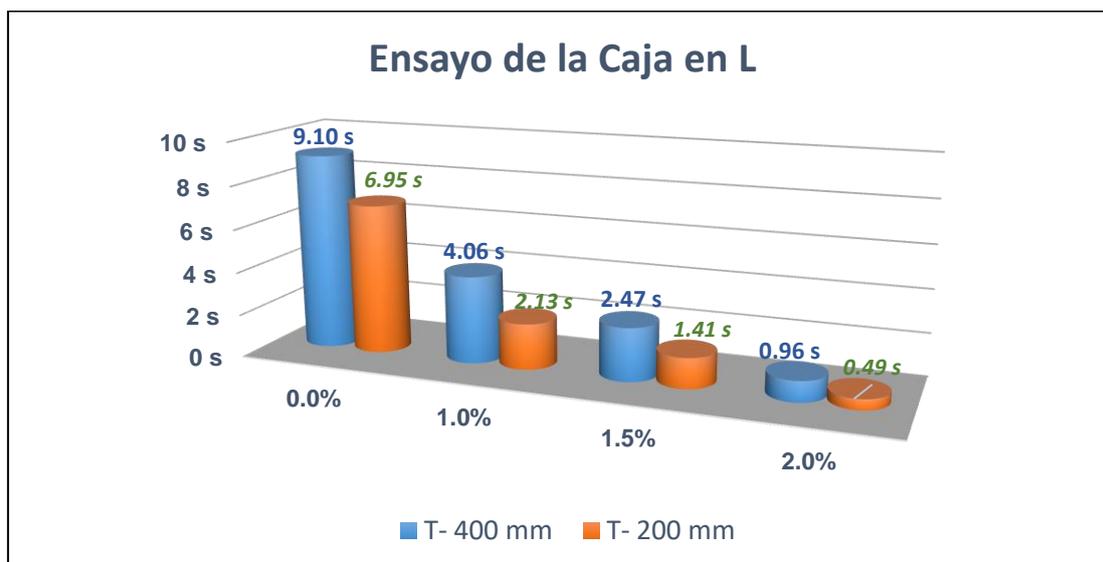
Ensayo de la Caja en L – Caracteriza la Fluidez y la segregación del CAC.

Réplica	% en Peso Aditivo	T-200 mm	T-400 mm	H ₁	H ₂	Cbl		
1	0.0%	7.20 s	9.10 s	130 mm	85 mm	0.64		
2		6.90 s	6.95 s	9.21 s	9.10 s		129 mm	82 mm
3		6.75 s	8.99 s	128 mm	82 mm			
1	1.0%	2.10 s	4.02 s	107 mm	78 mm	0.73		
2		2.13 s	2.13 s	4.08 s	4.06 s		112 mm	81 mm
3		2.15 s	4.07 s	114 mm	84 mm			
1	1.5%	1.35 s	2.42 s	92 mm	73 mm	0.81		
2		1.45 s	1.41 s	2.50 s	2.47 s		90 mm	74 mm
3		1.42 s	2.48 s	88 mm	72 mm			
1	2.0%	0.51 s	0.97 s	85 mm	77 mm	0.91		
2		0.44 s	0.49 s	0.98 s	0.96 s		82 mm	75 mm
3		0.53 s	0.93 s	85 mm	77 mm			

Nota. La tabla caracteriza la fluidez midiendo el tiempo que se tarda en fluir la masa de concreto a 200 mm y 400 mm al atravesar un bloqueo, y mide las alturas como indicador de la segregación. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 16

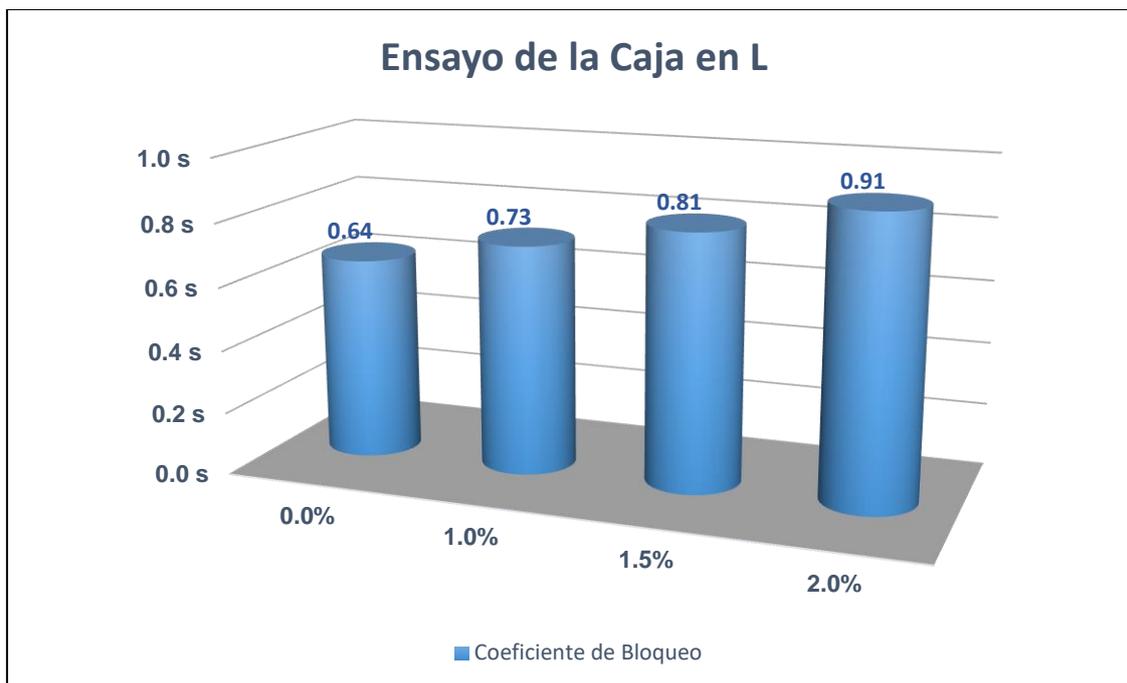
Ensayo de la Caja en L – Tiempo del flujo de la masa de CAC.



Nota. Se visualiza la fluidez en función del tiempo que se tarda en fluir la masa de concreto a 200 mm y 400 mm al atravesar un bloqueo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 17

Ensayo de la Caja en L– Coeficiente de bloqueo



Nota. Se observa el coeficiente de bloque afectado por el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL, donde debe ser mínimo 0.8 para valores óptimos de un concreto autocompactante. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23

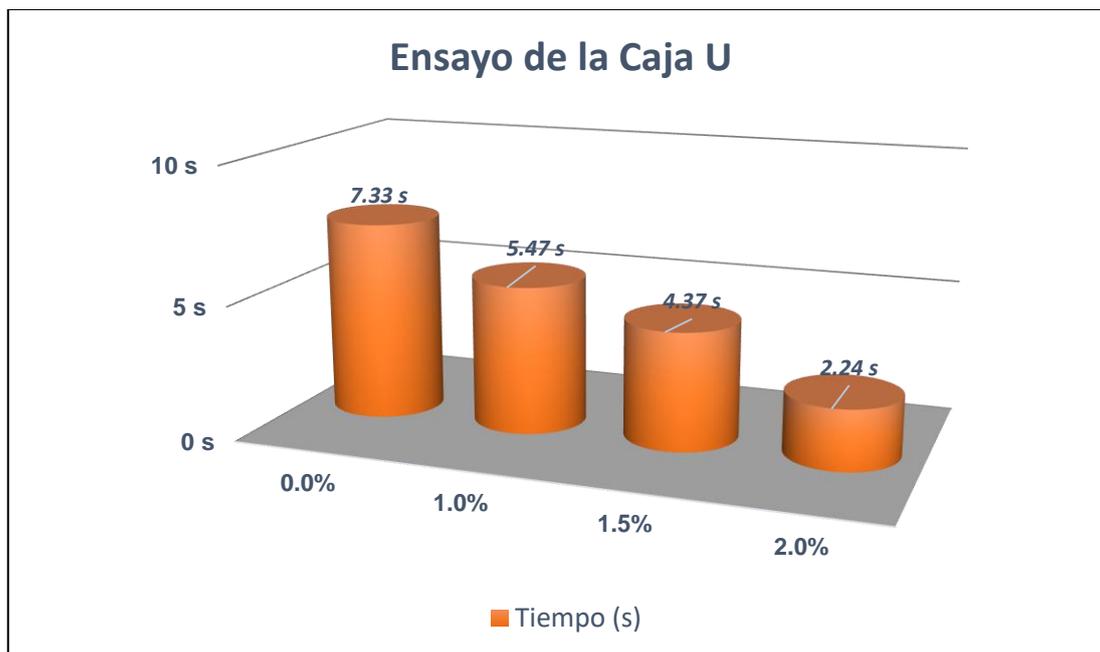
Ensayo de la Caja U – Caracteriza la Fluidez y la segregación del CAC.

Réplica	% en Peso Aditivo	Tiempo	H ₁	H ₂	H	
1	0.0%	7.20 s	26.2 cm	35.2 cm	8.2 cm	
2		7.50 s	7.33 s	26.5 cm		35.1 cm
3		7.30 s		27.5 cm		34.6 cm
1	1.0%	5.30 s	27.8 cm	30.7 cm	2.9 cm	
2		5.54 s	5.47 s	28.2 cm		30.4 cm
3		5.57 s		26.9 cm		30.6 cm
1	1.5%	4.16 s	29.3 cm	31.0 cm	1.8 cm	
2		4.36 s	4.37 s	29.3 cm		31.2 cm
3		4.59 s		29.5 cm		31.4 cm
1	2.0%	2.35 s	30.8 cm	31.2 cm	0.4 cm	
2		2.12 s	2.24 s	30.9 cm		31.1 cm
3		2.25 s		30.7 cm		31.2 cm

Nota. La tabla caracteriza la fluidez midiendo el tiempo que la masa de concreto atraviesa el bloqueo y deja de fluir, y mide las diferencias de alturas como indicador. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 18

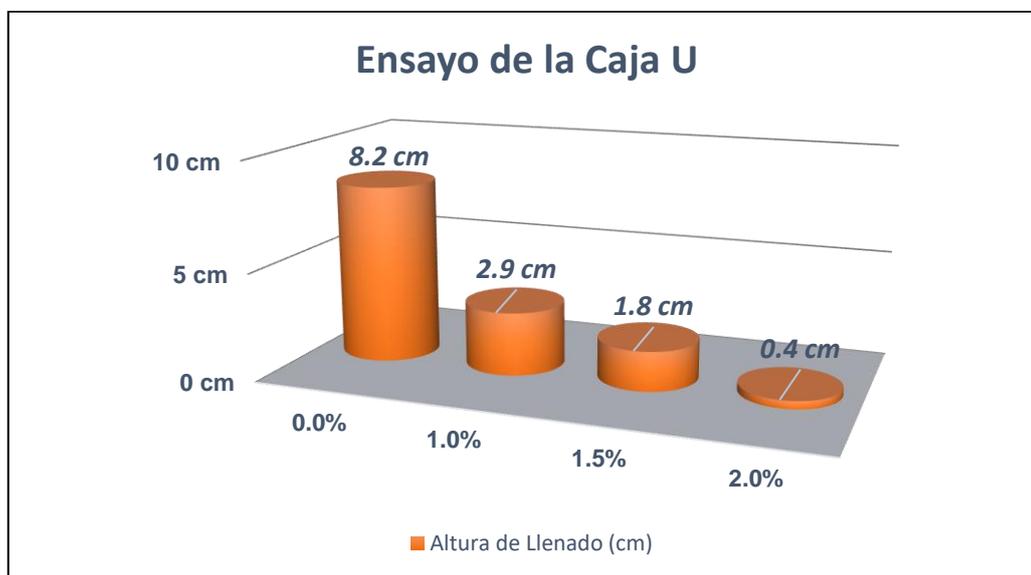
Ensayo de la Caja en U – Fluidez en función del tiempo.



Nota. Muestra el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre el aumento de la fluidez de la masa del concreto en función del tiempo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 19

Ensayo de la Caja en U – Altura de Llenado.



Nota. Muestra el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre el aumento de la fluidez de la masa del concreto en función a la diferencia de alturas concreto. Fuente: Elaboración Propia.

4.5. Ensayos de Concreto Autocompactante en Estado Endurecido.

4.5.1. Ensayo de Resistencia a la Compresión Axial

Tabla 24

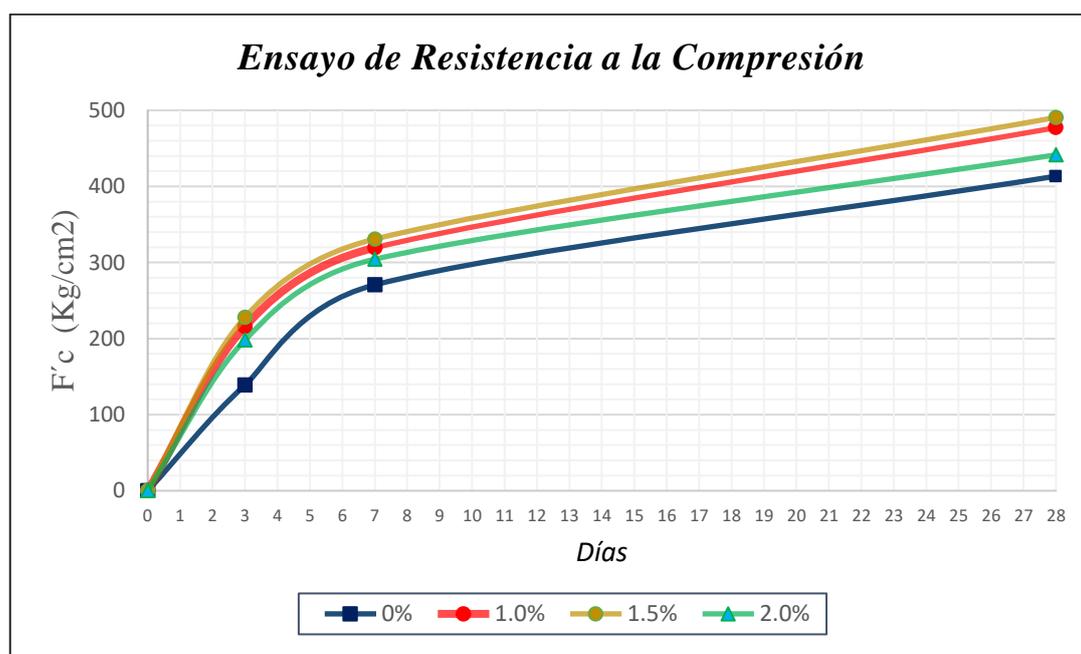
Ensayo de Resistencia a la Compresión – NTP 339.034

% Peso de Aditivo	Edad (días)	Réplicas			Y
		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Promedio
0.0%	0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	142.7	134.9	139.1	138.9
	7	277.4	277.1	257.3	270.6
	28	420.3	404.8	415.1	413.4
1.0%	0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	205.9	219.1	222.4	215.8
	7	320.6	319.3	318.3	319.4
	28	483.5	465.7	482.4	477.2
1.5%	0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	231.5	224.7	227.5	227.9
	7	314.2	342.3	335.9	330.8
	28	487.6	498.6	485.6	490.6
2.0%	0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	204.8	198.8	190.7	198.1
	7	299.7	321.6	291.6	304.3
	28	482.0	482.0	482.0	441.5

Nota. Muestra el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre la resistencia a la compresión axial. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 20

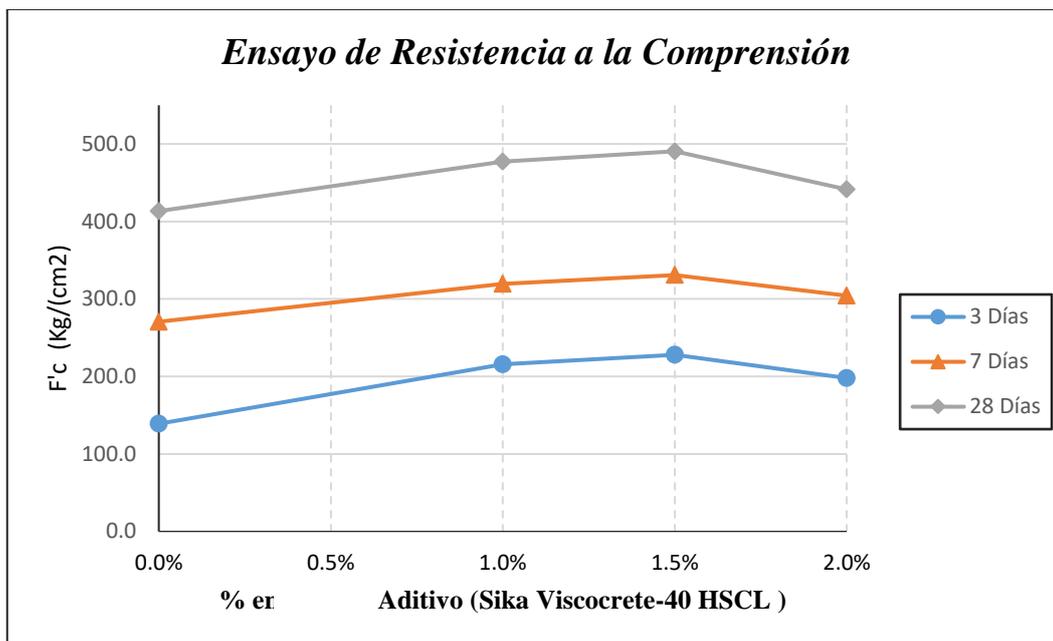
Resistencia a la Compresión Vs % en Peso de Aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL



Nota. Muestra el efecto del % de aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL, evaluado a 3, 7 y 28 días de maduración. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 21

Ensayo de resistencia a la compresión axial – Altura de Llenado.



Nota. Muestra el efecto del porcentaje aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre la resistencia a la compresión. Fuente: Elaboración Propia.

4.5.2. Ensayo de Permeabilidad de Concreto.

Tabla 25

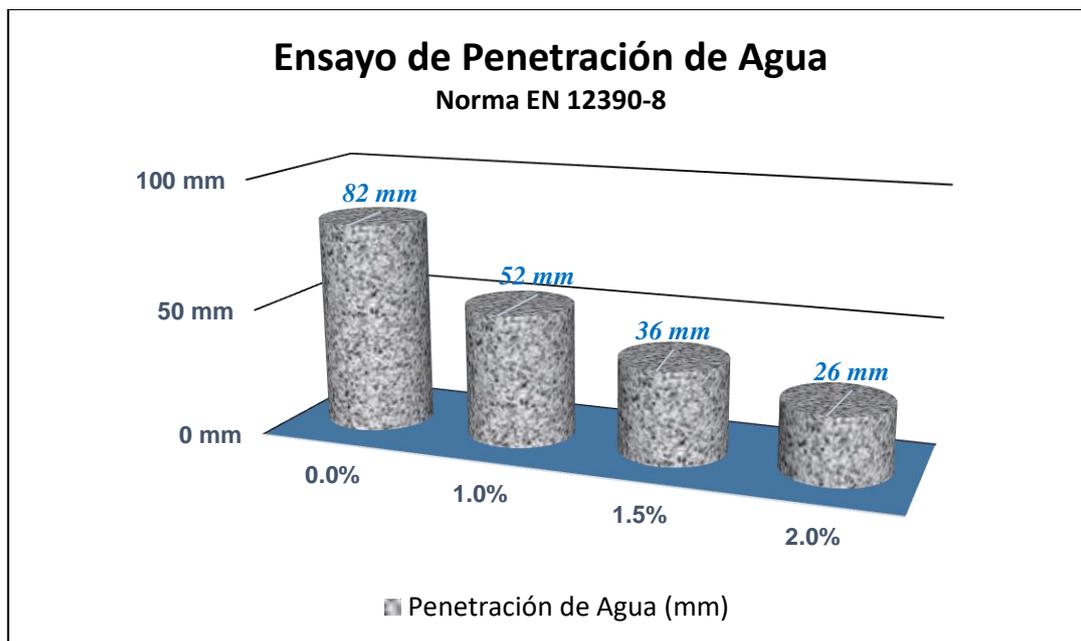
Ensayo de Penetración de Agua - Norma EN12390-8

% Peso de Sika Viscocrete - 40 HSCL	Réplicas			Y Promedio
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	
0.0%	82 mm	78 mm	85 mm	82 mm
1.0%	53 mm	52 mm	50 mm	52 mm
1.5%	34 mm	39 mm	36 mm	36 mm
2.0%	24 mm	29 mm	26 mm	26 mm

Nota. Efecto del porcentaje aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL frente a la penetración de agua de acuerdo a la norma EN 12390-8. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 22

Ensayo de Permeabilidad – Penetración de Agua.



Nota. Efecto del porcentaje aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL frente a la penetración de agua de acuerdo a la Norma EN 12390-8. Fuente: Elaboración Propia.

4.6. Análisis e interpretación de resultados

En el laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales Cecaped Suelos S.A.C., se realizaron los ensayos de laboratorio para la caracterización de los agregados, se desarrollaron los análisis granulométricos de los agregados finos y gruesos, determinación de humedad, peso unitario suelto, peso unitario compactado, peso específico y grado de absorción; provenientes de las canteras de la región, denominada Cantera “Mellizos”, ubicada en Río Seco, distrito de Huanchaco, en Trujillo. Cumplió los husos granulométricos de la norma NTP 400.012; en el caso del agregado fino se obtuvo un módulo de finura con el valor aproximado a 2.67 con un % de finos de 6.5 (limos y arcillas), un porcentaje de humedad de 1.99%; Siguiendo las NTP 339.185 se obtuvieron: El Peso Unitario Suelto de 1779.3 Kg/m³, el Peso Unitario Compactado de 1963.4 Kg/m³, un peso específico de 2.44 g/cm³ y porcentaje de Adsorción promedio de 1.83%; con lo que se deduce que es una buena arena para la elaboración de concreto.

Del análisis de las características físicas del agregado grueso dentro de los husos granulométricos 67 para el rango de grava que se contemplan la norma

NTP 400.012 en CAC, se obtuvo un tamaño máximo nominal de 3/4" y un coeficiente de uniformidad de 2.94, al ser mayor a 2, se considera bien graduado, un contenido de humedad de 0.64% adecuada según NTP 339.185, el Peso Unitario Suelto de 1577.6 Kg/m³, el Peso Unitario Compactado de 1606.0 Kg/m³, un porcentaje de Adsorción promedio de 0.92% y un peso específico de 3.73 g/cm³. Aunque su coeficiente de uniformidad fue bajo, cumplió con los parámetros necesarios para considerarlo un buen material para la elaboración del concreto.

De nuestros antecedentes de investigaciones locales Molina y Saldaña (2014), junto con Reyes y Echevarría (2019) que obtuvieron sus agregados en quebradas colindantes, podemos deducir que los materiales son similares en características físicas y en la calidad.

Los ensayos para el concreto en estado fresco, se realizaron en el laboratorio de Corporación A&J Construcción y Consultoría S.A.C; en la determinación de la fluidez del concreto se utilizó el ensayo de extensibilidad (escurrimiento) para caracterizar el flujo del movimiento de la masa de concreto autocompactante en función del tiempo. Con el uso del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL se logró en el caso del ensayo de extensibilidad reducir el T50 cerca del 84% (de 6.24 s a 1.01) en la mayor dosificación (2% de aditivo), la extensibilidad también aumento un 50.8 % aproximadamente; sin embargo, para la Norma UNE 83361 la masa del concreto debe alcanzar como mínimo 650 mm de diámetro para considerarlo de buena fluidez y solo se pudo logra con la adición del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL a porcentajes del peso del cemento mayores al 1%. Los resultaos obtenidos por Molina y Saldaña (2014) corroboran estos resultados, aunque ellos en algunas pruebas usando 1% de aditivo si alcanzaron diámetros mayores a 650 mm, hubo ensayos que fallaron en esta meta, sin embargo, a dosis de 1.2 % de aditivo Plastol 200 EXT, todos los ensayos muestran resultados mayores a 650 mm. De la misma manera los resultados de Reyes y Echevarría (2019) consiguen rebasar ese límite con 1.1% de Aditivo Sika Viscocrete-3330.

El siguiente ensayo de fluidez, el ensayo del embudo en V, el cual también caracteriza el flujo de tiempo del CAC, tiene un efecto por el uso de aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL logrando reducir en un 69.7% (de 14.52 s a 4.4 s) el tiempo de flujo de la masa del CAC, de no usar aditivo a el uso en su nivel mayor 2%. Los resultados obtenidos por nuestros investigadores locales son consecuentes

con los resultados obtenidos. Sin embargo, un criterio usado por la investigación de Rabanal y Su Chaquí (2017) de que la masa del CAC fluya en el embudo sea en menos de 10 s, solo lo conseguimos con la adición del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento mayores al 1%, sin embargo, según las instrucciones de EFNARC (2002), un rango admisible de buena fluidez para un CAC está en el rango de 6 a 12 segundos, para los tratamientos del nivel inferior e intermedio (1.0 y 1.5 %) , cumplirían este criterio pero, el tratamiento a nivel superior (2.0 %) estaría clasificado para aplicaciones especiales.

Respecto a los ensayos con resistencia al bloque y la segregación, tuvimos tres, el ensayo del anillo J, la caja en L y la caja en U; todos con características de simular la fluidez del concreto, pero en presencia de la armadura de acero.

Ensayo del anillo japonés, pudimos observar que la masa de CAC no presentaba segregación, pues se realizaron mediciones en el interior del anillo y en la parte exterior con lo que se infiere que diferencia del espesor de la masa tendió a ser ninguna en todos los tratamientos ensayados, así mismo, los valores del T50 resultaron ser muy parecidos a los obtenidos en el ensayo de extensibilidad, a pesar que difieren en tener elementos de bloqueo y de los diámetros obtenidos por todos los flujos de masa del concreto superaron los 600 mm, sin embargo la necesita como mínimo superar los 650 mm para poderse calificar como un concreto autocompactante óptimo y esos valores solo lo conseguimos con la adición del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al 1.5 y 2.0% del peso del cemento y con respecto a las diferencias de alturas menor a 10 mm de la cara interior y exterior del anillo solo las dosis antes mencionadas cumplieron el requerimiento y pueden ser clasificadas como un CAC de buena capacidad de paso.

Reyes y Echevarría (2019) con el ensayo del anillo J, lograron superar los 650 mm en su máximo nivel de aditivo de 1.3 % de Sika Viscocrete-3330 del peso del cemento lograron obtener 725 mm; Un poco mayor a nuestros resultados pues al 1.5 % Sika Viscocrete-40 HSCL del peso del cemento solo conseguimos una extensión del diámetro de 702 mm.

En los ensayos de la Caja en L, se midieron dos distancias (200 mm y 400 mm) que tiene que alcanzar el flujo de concreto en un tiempo determinado a pesar

de la restricción de bloqueo y visualizar la segregación que esta puede causar. Los resultados que obtuvimos reducen el tiempo comparadas con las muestras de control exponiendo el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL en la reducción del tiempo en un aproximadamente 93% para 200 mm y en un 89% para 400 mm, respecto a la segregación evaluada en función al coeficiente de bloqueo se obtuvo valores aceptables mayores a 0.8, sin embargo, solo lo conseguimos con la adición del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento mayores al 1%. Donde el mayor fue 0.9 a una dosis del 2%. Comparado con la Investigación realizada por Molina y Saldaña (2014), observamos que ellos en sus ensayos de la caja L, si superaron este criterio de obtener como mínimo un coeficiente de bloqueo de 0.8 para un óptimo CAC pero, para sus pruebas con concreto realizadas a 40 min de fraguado en adelante.

Por otro lado, Reyes y Echevarría (2019), en los ensayos de la caja L, consiguieron tiempos del flujo de recorrido menores a nuestra investigación, estando nuestros valores resultantes por encima un promedio de 50 % del tiempo para ambas distancias 200 mm y 400 mm; el aditivo usado por ellos Sika Viscocrete-3330 brindo mejores prestaciones que el investigado aquí.

Ensayo en la caja U, se obtuvieron capacidades de diseño con alturas menores a 3 cm y las alturas en el lado derecho de la caja fueron mayores a 30 cm, lo cual refiere que la masa de concreto no ofrece una posibilidad de bloqueo y que además tiene una buena capacidad de relleno, pues para todos los niveles de adición del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento se cumplen los criterios establecidos según los rangos establecidos por EFNARC; de igual manera Rabanal y Su Chaquí (2017) consiguieron resultados con un indicador de las diferencias de altura igual a cero, es decir la masa de concreto presento una excelente capacidad de relleno, sin embargo, hay que hacer notar que en su diseño de mezcla, ellos además de usar el aditivo superplastificante Sika Viscocrete 1110 PE también adicionaron una dosis de Microsílice Sika Fume, donde posiblemente la interacción de estos aditivos sea el fundamento de estos fluidos resultados.

En los ensayos de concreto endurecido, para la resistencia a la compresión el efecto positivo en el aumento de esta propiedad es notorio con respecto a la muestra de control (sin aditivo) desde el primer inferior de adición del aditivo Sika

Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento, como muestra la gráfica 20, sin embargo, es la gráfica 21 que nos señala que al parecer aumentar la dosificación del nivel medio al nivel superior el efecto parece no significativo, pues no es notorio un aumento en la resistencia, al contrario se mantiene constante.

Pudimos corroborar que este fenómeno también se observa en los resultados de Molina y Saldaña (2014), los cuales evaluaron la resistencia a 3, 7 y 28 días de maduración, con varias dosis de aditivo Hiperplastificante Plastol 200 Ext en el rango de 0 hasta 2.2%, donde obtuvo un máximo efecto de la resistencia a la compresión por este aditivo en el nivel de dosificación del 1.2 % en peso, a partir de allí las curvas de resistencia ofrecen una tendencia de disminución en valores. Como nosotros no evaluamos ese nivel del rango no pudimos notar el pico de las curvas, pero si la tendencia al descenso.

Con respecto a los ensayos de permeabilidad, realizados para determinar la profundidad de penetración de agua, según la Norma EN 12390-8, en términos de porcentaje se redujo en un 67.7 % aproximadamente de la muestra patrón, a pesar de que este aditivo Hiperplastificante no está orientado a la permeabilidad tiene un efecto contundente en ella; su efecto es inversamente proporcional entre más aumenta la dosificación de Viscocrete-40 HSCL disminuye la permeabilidad, solo hasta la dosificación evaluada del 2% en peso del cemento, llegando a un valor en su nivel superior de dosificación de 26 mm por debajo de 30 mm, cumpliendo con la norma, muy comparable a los obtenidos por Gutiérrez y Salazar (2015) de 25 mm, usando el aditivo Sika WT-200 y una relación a/c de 0.45 o los registrados en la investigación denominada “Concreto Impermeable, una mirada reciente” de Hermida Barrera, G. (2013) que obtuvo 27mm y 25 mm de penetración de agua con dosis del aditivo Sika WT-100 de 2% y 4% respectivamente, con una relación a/c de 0.48.

4.7. Docimasia de hipótesis

4.7.1. Ensayos de Concreto en Estado Endurecido

Debido a que los ensayos de Trabajabilidad, capacidad de relleno e indicadores de segregación está explícito en las normas españolas UNE, indicando para cada ensayo los rangos de admisibilidad para considerarlo un

concreto autocompactante de buena fluidez, ergo, no es necesario realizar un análisis estadístico para caracterizar su performance.

4.7.2. Ensayos de Concreto en Estado Endurecido

4.7.2.1. Análisis estadístico de la resistencia a la compresión axial.

Tabla 26

Resistencia a la compresión axial Vs Aditivo Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento – periodo de 3 días de maduración del concreto.

Sika Viscocrete-40 HSCL			
Réplica	1.00%	1.50%	2.00%
1	205.9	231.5	204.8
2	219.1	224.7	198.8
3	222.4	227.5	190.7

Nota. Los resultados mostrados en la tabla fueron realizados a **3 días** de maduración del concreto autocompactante. Fuente: Elaboración propia.

Suma(x_i) =	647.4	683.7	594.3
Media =	215.8	227.9	198.1
Suma total($x_{..}$) =	1925.4		
n_i =	3	3	3
N =	9	K =	3
SC_{Trat} =	1347.74		
SC_{Total} =	1623.7		
SC_{Error} =	276.0		

Tabla 27

ANOVA – Análisis de varianza para comparar múltiples medias ($f'c$ a 3 días).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre los Grupos	1347.74	2	673.87	14.65
Dentro de los Grupos	275.96	6	45.99	
Total	1623.7	8		

Nota. Análisis estadístico de comparación de medias para **$f'c$ a 3 días** de maduración del CAC. Fuente: Elaboración propia.

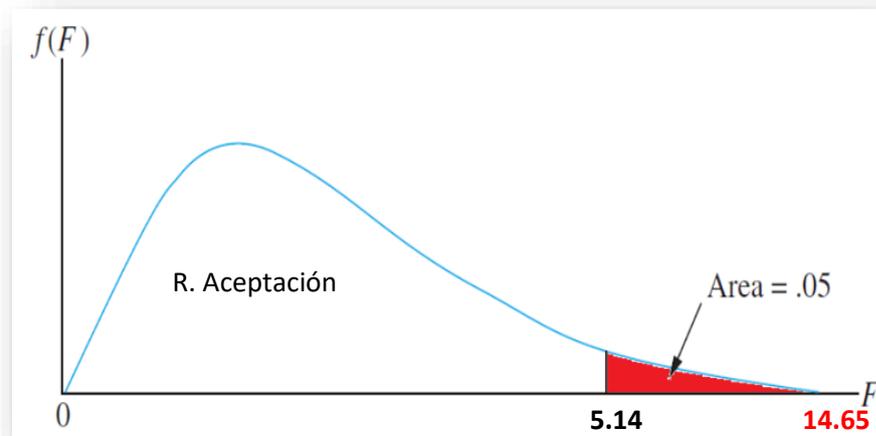
Valores Tabulares:

$$(\text{Valor Crítico}) F_{\alpha, K-1, N-1} = 5.143$$

$$P - \text{valor} = 0.005$$

Figura 23

Prueba de hipótesis ($f'c$ a 3 días).



Nota. Valor de F calculado se encuentra a la derecha del valor crítico F. Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Se debe rechazar la hipótesis nula. Existe diferencias significativas entre las resistencias a la compresión axial alcanzadas a los 3 días de maduración del concreto por las diferentes dosis de 1.0%, 1.5% y 2.0% de aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento.

Análisis por el Método de Tukey.

Donde:

$$k = 3$$

$$N-k = 6$$

$$CM_E = 46.0$$

$$n_i = 3$$

$$q_\alpha(k, N-k) = 4.34$$

Reemplazando Valores

$$T_\alpha = 16.99$$

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N-k) \sqrt{CM_E/n_i}$$

$q_\alpha(k, N-k)$: Valor de la Tabla 8 (Anexo II)
Cuantiles de la distribución de Tukey.

Tabla 28

Análisis entre medias – método de Tukey (f'c a 3 días).

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	12.10	No Existe Diferencia de Medias Significativa
$\mu_A - \mu_C$	17.70	Si existe Diferencia de Medias Significativa
$\mu_B - \mu_C$	29.80	Si existe Diferencia de Medias Significativa

Nota. Compara el valor T_α , con la diferencial muestral de medias. Fuente: elaboración propia.

Tabla 29

Resistencia a la compresión axial Vs Aditivo Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento – periodo de 7 días de maduración del concreto.

Sika Viscocrete-40 HSCL			
Réplica	1.00%	1.50%	2.00%
1	325.6	339.2	299.7
2	324.3	342.3	321.6
3	323.3	335.9	291.6

Nota. Los resultados mostrados en la tabla fueron realizados a **7 días** de maduración del CAC. Fuente: Elaboración propia.

Suma(x_i) =	973.2	1017.4	912.9
Media =	324.4	339.1	304.3
Suma total($x_{..}$)=	2903.5		
n_i =	3	3	3
N=	9	k =	3
SC_{Trat} =	1834.44		
SC_{Total} =	2339.33		
SC_{Error} =	504.9		

Tabla 30**ANOVA – Análisis de varianza para comparar múltiples medias (f'c a 7 días).**

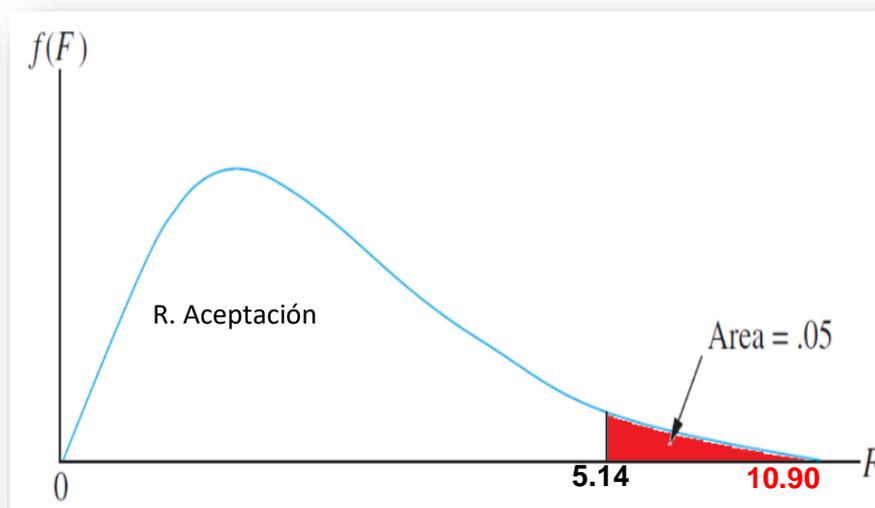
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre Grupos	1834.44	2	917.22	10.90
Dentro de los Grupos	504.9	6	84.15	
Total	2339.3	8		

Nota. Análisis estadístico de comparación de medias para **f'c a 7 días** de maduración del CAC. Fuente: Elaboración propia.

Valores Tabulares:

$$(\text{Valor Crítico}) F_{\alpha, K-1, N-1} = 5.143$$

$$P - \text{valor} = 0.010$$

Figura 24*Prueba de hipótesis (f'c a 7 días).*

Nota. Valor de F calculado se encuentra a la derecha del valor crítico F. Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Se debe rechazar la hipótesis nula. Existe diferencias significativas entre las resistencias a la compresión axial alcanzadas a los 7 días de maduración del concreto por las diferentes dosis de 1.0%, 1.5% y 2.0% de aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento.

Análisis por el Método de Tukey.

Donde:

k =	3
N-k=	6
CM _E =	84.1
n _i =	3
q _α (k,N-k) =	4.34
Reemplazando Valores	
T_α =	22.99

$$T_{\alpha} = q_{\alpha}(k, N - k) \sqrt{CM_E / n_i}$$

q_α(k, N-k): Valor de la Tabla 8 (Anexo II) Cuantiles de la distribución de Tukey.

Tabla 31

Análisis entre medias – método de Tukey (f'c a 7 días).

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	14.73	No Existe Diferencia de Medias Significativa
$\mu_A - \mu_C$	20.10	No Existe Diferencia de Medias Significativa
$\mu_B - \mu_C$	34.83	Si existe Diferencia de Medias Significativa

Nota. Compara el valor **T_α**, con la diferencial muestral de medias. Fuente: elaboración propia.

Tabla 32

Resistencia a la compresión axial Vs Aditivo Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento – periodo de 28 días de maduración del concreto.

Sika Viscocrete-40 HSCL			
Réplica	1.00%	1.50%	2.00%
1	483.5	487.6	445.0
2	465.7	498.6	448.0
3	482.4	485.6	431.5

Nota. Los resultados mostrados en la tabla fueron realizados a **28 días** de maduración del CAC. Fuente: Elaboración propia.

Suma(x _i) =	1431.6	1471.8	1324.5
Media =	477.2	490.6	441.5
Suma total (x.) =	4227.9		
n _i =	3	3	3
N =	9	k = 3	

$$SC_{\text{Trat}} = 3864.86$$

$$SC_{\text{Total}} = 4316.34$$

$$SC_{\text{Error}} = 451.5$$

Tabla 33

ANOVA – Análisis de varianza para comparar múltiples medias (f'c a 28 días).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre Grupos	3864.86	2	1932.43	25.68
Dentro de los Grupos	451.5	6	75.25	
Total	4316.3	8		

Nota. Análisis estadístico de comparación de medias para **f'c a 28 días** de maduración del CAC. Fuente: Elaboración propia.

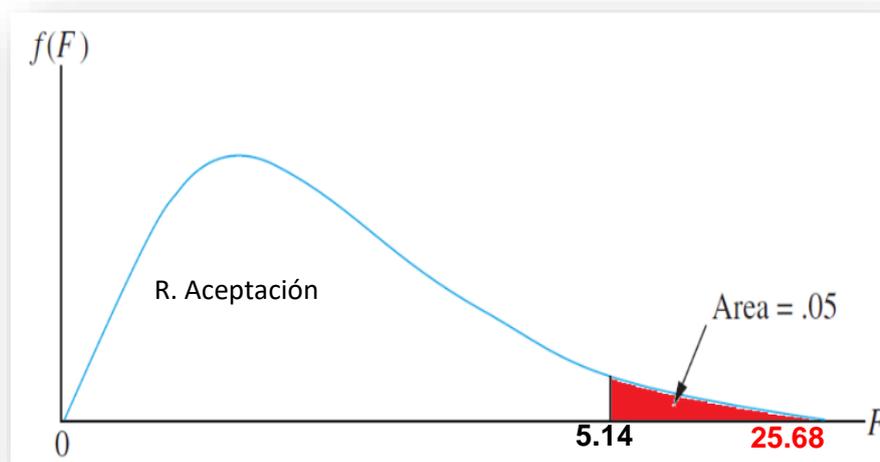
Valores Tabulares:

$$(\text{Valor Crítico}) F_{\alpha, K-1, N-1} = 5.143$$

$$P - \text{valor} = 0.0011$$

Figura 25

Prueba de hipótesis (f'c a 28 días)



Nota. Valor de F calculado se encuentra a la derecha del valor crítico F. Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Se debe rechazar la hipótesis nula. Existe diferencias significativas entre las resistencias a la compresión axial alcanzadas a los 28 días de maduración del

concreto a diferentes dosis de 1.0%, 1.5% y 2.0% de aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento.

Análisis por el Método de TuKey.

Donde:

$k =$	3
$N-k =$	6
$CM_E =$	75.2
$n_i =$	3
$q_\alpha(k, N-k) =$	4.34

Reemplazando Valores

$$T_\alpha = 21.74$$

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N-k) \sqrt{CM_E / n_i}$$

$q_\alpha(k, N-k)$: Valor de la Tabla 8 (Anexo II)
Cuantiles de la distribución de Tukey.

Tabla 34

Análisis entre medias – método de Tukey (f'c a 28 días).

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	Decisión
$\mu_A - \mu_B$	13.40	No Existe Diferencia de Medias Significativa
$\mu_A - \mu_C$	35.70	Si existe Diferencia de Medias Significativa
$\mu_B - \mu_C$	49.10	Si existe Diferencia de Medias Significativa

Nota. Compara el valor T_α , con la diferencial muestral de medias. Fuente: elaboración propia.

4.7.2.2. Análisis estadístico de penetración de agua (Norma EN 12390-8).

Tabla 35

Profundidad de penetración de agua Vs Aditivo Viscocrete-40 HSCL

Sika Viscocrete-40 HSCL			
Réplica	1.00%	1.50%	2.00%
1.0%	53 mm	52 mm	50 mm
1.5%	34 mm	39 mm	36 mm
2.0%	24 mm	29 mm	26 mm

Nota. Los resultados mostrados en la tabla fueron realizados a **28 días** de maduración del CAC. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36

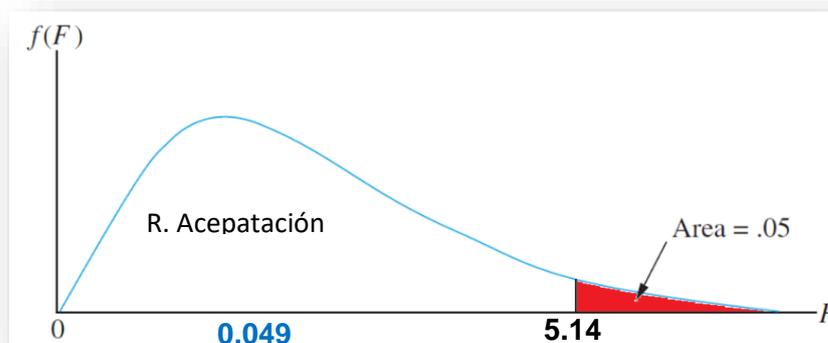
Análisis de varianza – Ensayos de penetración de agua

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre Grupos	16.22	2	8.11	0.049
Dentro de los Grupos	990.17	6	165.11	
Total	1006.9	8		

Nota. Análisis estadístico de ensayo de permeabilidad a 28 días de maduración del CAC. Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

Prueba de hipótesis (ensayo de permeabilidad)



Nota. Valor de F calculado se encuentra a la derecha del valor crítico F. Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Se debe aceptar la hipótesis nula. No Existe diferencias significativas entre las profundidades de penetración de agua alcanzadas a los 28 días de maduración del concreto a diferentes dosis de 1.0%, 1.5% y 2.0% de aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego del análisis de los resultados obtenidos y en complemento con la información recolectada relacionado con el tema de investigación, se escogieron las investigaciones que presentan información sobre el flujo de asentamiento, resistencia a la segregación, resistencia a la compresión axial y permeabilidad del concreto, todo en función a la influencia del uso de aditivos superplastificantes en concretos autocompactantes.

Según la información obtenida de las investigaciones de los autores Ramírez Manrique; J. Plank et al. y Geraldi & Flatt, los cuales mencionan que los aditivos superplastificantes en porcentajes mejoran el asentamiento del concreto autocompactante por acción de la repulsión electrostática e impedimento estérico, generada por la absorción del aditivo y la modificación química en la estructura de las partículas de cemento, facilitando la liberación del agua en el sistema, causando la dispersión y lubricando el sistema entre moléculas, todo fue evidenciado por los ensayos realizados para los concretos elaborados con relación a/c de 0.38 logrando un flujo de asentamiento con el valor de 790 mm, con la incorporación de aditivo superplastificante a base de policarboxilato con porcentaje 0.20% con respecto al material cementante, con adición de un agente modificador de viscosidad de 0.10% respecto al material cementante, encontrándose dentro de los rangos recomendados por los requerimientos de EFNARC (Tabla 3) y de la normas del ASTM C 1611.

Al relacionar los resultados obtenidos, se pudo observar que al compararlos con los parámetros de las directrices europeas para el concreto autocompactante (GPE, 2006), con la adición de 1% del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL solo sería apropiado el uso del CAC para elementos estructurales de poca densidad de refuerzo de acero, clase Sf1, para la dosis de 1.5%; se alcanza la clase Sf2, ideal para muros, columnas y aplicaciones normales, sin embargo, con la dosificación en su rango más alto, 2 %, el CAC obtenido puede usarse para elementos estructurales con alta densidad en refuerzos de acero o de formas complejas, con lo que la influencia del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL sobre la capacidad de relleno es positiva y con respecto al T 500, en todos los rangos de dosificaciones son menores a 6 segundos, cumpliendo con la norma europea UNE 83361:2007 y siendo ideal para su aplicación en obras de edificaciones.

AL observar los resultados en función a la capacidad de paso, evaluados en el ensayo del anillo japonés y la caja en L, podemos interpretar los resultados y valores típicos de las normas ACI 237R (2007) y EFNARC (2002), como favorables, debido a que en los ensayos del anillo japonés, no existe diferencia entre alturas en las caras del interior y exterior del anillo que supere 10 mm, así también, en los ensayos de la caja L, un buen indicador es el cálculo del coeficiente de bloqueo sea mayor a 0.8, condiciones que se cumplieron para dosificaciones mayores a 1.5% del aditivo superplastificante logrando un CAC con una conveniente habilidad de paso sin segregación, ni exudación.

CONCLUSIONES

1. El aditivo Sika ViscoCrete-40 HSCL proporciona una buena trabajabilidad, en los ensayos realizados al concreto fresco; ensayo de extensibilidad y del anillo J, para evaluar la fluidez de la masa del concreto, el valor del T- 50 para ambas pruebas estuvo en el rango de 2 s a 5 s, resultados admisibles para un concreto autocompactante, sin embargo, ambos diámetros alcanzados no llegaron al 650 mm en el nivel inferior de aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento, sino alrededor de 600 mm, pero para los niveles medio y superior de la adición del aditivo, los resultados de D_f fueron de 736 mm, 790 mm en los ensayos de extensibilidad y 702 mm, 753 mm en los ensayos del anillo J, caracterizando a la masa del concreto como un concreto autocompactante de buena fluidez.

La trabajabilidad evaluada en el ensayo del embudo en V, también resulto positivo el efecto generado por el aditivo Sika ViscoCrete-40 HSCL, los valores obtenidos del flujo de descarga, para los niveles de dosificación 1.0 %, 1.5% y 2.0 % fueron 10.18 s, 6.15 s y 4.40 s respectivamente, valores dentro del rango de 6s a 15s admisibles para un concreto autocompactante. Por otro lado, están los ensayos que ofrecen obstáculos para que se produzca segregación, como el ensayo de la caja en L; donde el primer valor en el nivel inferior no obtuvo un coeficiente de bloqueo como mínimo de 0.8, sino fue 0.73, pero si cumplió para denominarse un CAC de buena trabajabilidad para dosificaciones de 1.5 % y 2.0% aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento con valores 0.81 y 0.91 respectivamente. Y por último tenemos el ensayo de la caja en U, que efectivamente el criterio de admisibilidad para un

CAC de buena fluidez y baja o nula segregación, es que su altura en el compartimento derecho sea mayor a 30 cm, con diferencia de alturas de 2.9 cm, 1.8 cm y 0.4 cm en 1.0 %, 1.5% y 2.0% de dosificación de aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL.

2. En los ensayos de resistencia a la compresión axial, para un diseño de mezcla de $F'c = 420 \text{ Kg/cm}^2$, de la muestra patrón, el efecto del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL aumentó los valores, obteniendo un valor máximo de 490.17 Kg/cm^2 para un nivel de dosificación de 1.5%, representando un aumento aproximadamente del 17%, evidenciando que al nivel superior evaluado del 2.0% la resistencia a la compresión tiene la tendencia a la disminución del valor, tanto a los 3, 7 y 28 días de evaluación.
3. El efecto en la permeabilidad del aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL fue su disminución, con una profundidad de penetración de agua promedio de 26 mm para 2% de dosificación, con lo cual se concluye que este aditivo produce una gran influencia en la reducción de agua, exudación y segregación del concreto autocompactante, permitiendo una compactación de la red interna del concreto haciéndolo bloqueando su red porosa, obteniendo valores a la penetración de agua similares al uso de aditivos impermeabilizantes.
4. Se hicieron las pruebas para determinar las características físicas de los agregados, consiguiendo como resultados para la arena gruesa, un 2.67 para el módulo de finura, un contenido de humedad del 1.99 %, un peso unitario suelto de 1779.3 Kg/m^3 , un peso unitario compactado de 1963.4 Kg/m^3 , un grado de absorción de 1.83 %, un peso específico de 2.44 g/cm^3 , y para la gravilla se obtuvo un Tamaño máximo de 2", un tamaño máximo nominal de 1 ½", un contenido de humedad del 0.64%, un peso unitario suelto de 1577.6 Kg/m^3 , un peso unitario compactado de 1606.0 Kg/m^3 , un grado de absorción de 0.92 %, un peso específico de 3.73 g/cm^3 ; cumpliendo con los Husos granulométricos de materiales categorizados como bien graduados e ideales para la elaboración de concreto.

5. La dosificación óptima para alcanzar una excelente trabajabilidad (fluidez y baja segregación), con el valor más alto en resistencia a la compresión axial y alcanzando beneficioso grado bajo de permeabilidad es la adición de 1.5% aditivo Sika Viscocrete-40 HSCL al % del peso del cemento.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar en el diseño de mezcla, cenizas volantes o microsílíce, con la finalidad de reducir en lo posible el agregado grueso y usar varias relaciones agua cemento, para evaluar su interacción con la trabajabilidad y permeabilidad.
- Podemos evaluar un estudio comparativo de los aditivos usados como hiperplastificantes en los antecedentes mencionados: Hiperplastificante Plastol 200 Ext, Sika Viscocrete 3330 y Sika Viscocrete 1110.
- En esta investigación no se hizo uso de un aditivo impermeabilizante, por lo que sería conveniente evaluarlo y ver que propiedades del Concreto autocompactante son afectadas.

Referencia Bibliográficas

- Abanto Castillo Flavio (2009) “Tecnología del concreto”, 2da Edición, Editorial San Marcos E.I.R.L., Lima – Perú.
- ACI C1611R, (2005) Método de prueba estándar para el flujo de asentamiento de concreto autocompactable (Farmington Hills: Instituto Americano del Concreto).
- ACI 116R, 2000 “Terminología del cemento y del concreto” (Farmington Hills: Instituto Americano del Concreto ACI Comité 237)
- ACI 237R-07 2007 Concreto Autocompactable (Farmington Hills: Instituto Americano del Concreto ACI Comité 237)
- Grupo de Proyecto Europeo (GPE). (2006). Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante Especificaciones Producción y Uso. Recuperado de <http://www.efnarc.org/pdf/SandGforSCCSpanish.pdf>
- González I. (2003). *Hormigones de alta resistencia*. Madrid, España: Intemac.
- Hermida Barrera, G. (2013) Concreto Impermeable, una mirada reciente. *Sika- Informaciones Técnicas*. (1), 7-8. Recuperado de <https://per.sika.com/dms/getdocument.get/2a4c9422-120b-358c-94369672bf915150/BROCHURE%20CONCRETO%20IMPERMEABLE%20LATAM.pdf>
- J. Plank, E. Sakai, C. Miao, C. Yu y J. Hong, «Chemical admixtures — Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability,» *Cement and Concrete Research*, vol. 78, 2015.
- G. Gheraldi y R. J. Flatt, (2016) *Science and Technology of Concrete Admixtures*,
- Molina C. & Saldaña S. (2014). *Influencia Del Aditivo Hiperplastificante Plastol 200 Ext en Las Propiedades del Concreto Autocompactante en Estado Fresco Y Endurecido* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]
- Nieto Alcolea, D. (2015). *Estudio de Hormigón autocompactante con árido reciclado* [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]
- Ozawa K, Maekawa K, Kunishima M y Okamura H (1989). Performance of concrete based on the durability design of concrete structures. In: Proc of the second east Asia-Pasific Conference on Structural Engineering and Construction.
- Pasquel Carvajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Lima: Álamos de Monterrico.
- Quiliche Neira, J. (2018) *Influencia del polvo de mármol y superplastificante sobre la resistencia, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante, Trujillo 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]
- Rabanal D. & Su A. (2018). *Diseño de un concreto autocompactable* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán]

- Raby Sandoval, A. (2016). *Caracterización de hormigón autocompactante reforzado con fibras sintéticas para uso estructural* [Tesis de magister, Universidad de Chile]
- Ramírez Manrique, C. (2022). *Síntesis de superplastificantes base policarboxilatos de alto desempeño para concreto y mortero* [Tesis de Maestría, Universidad de los Andes]. Archivo digital.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/58517/SÍNTESIS%20DE%20SUPERPLASTIFICANTES%20BASE%20POLICARBOXILATOS%20DE%20ALTO%20DESEMPEÑO%20PARA%20CONCRETO%20Y%20MORTERO.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Reyes C. & Echevarría T. (2019). *Influencia del aditivo Sika Viscocrete-3330 en el ensayo de resistencia a la compresión y en las propiedades de un concreto autocompactante para elementos verticales* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]
- Sánchez De Guzmán, D. (1994). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bogotá, Colombia: Bhandar editores.
- Sánchez Hidalgo, L. (2014). *Efecto del aditivo superplastificante Sika Viscocrete en la resistencia mecánica del Concreto autocompactante* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]

ANEXO I

(Especificaciones Técnicas de Aditivos del Concreto)

BUILDING TRUST



FICHA DE PRODUCTO

Sika® ViscoCrete®-40 HSCL

Aditivo Hiperplastificante de alto rendimiento con nanosílice incorporada.

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Sika® ViscoCrete®-40 HSCL es un aditivo especialmente diseñado para obtener hormigón de alta resistencia, de muy alta capacidad de reducción de agua y con tecnología nanosílice incorporada. No contiene cloruros, no es cáustico ni inflamable.

USOS

- Hormigón de alta resistencia
- Hormigón impermeable y de alta durabilidad
- Hormigón Auto Compactante
- Hormigón proyectado (shotcrete)
- Hormigón de alta resistencia al desgaste.

CARACTERISTICAS / VENTAJAS

Sika® ViscoCrete®-40 HSCL actúa por diferentes mecanismos. Mediante su adsorción superficial y el efecto estérico de separación espacial de las partículas de cemento, en paralelo al proceso de hidratación, se obtienen las siguientes propiedades:

- Extremadamente alta reducción de agua (35%), lo que resulta en hormigón de alta resistencia y densidad.
 - Excelente fluidez, lo que resulta en el trabajo reducido al mínimo para la colocación y compactación.
 - Incremento de la impermeabilidad y durabilidad.
 - Reducida velocidad de carbonatación del hormigón.
- Sika® ViscoCrete®-40 HSCL no contiene cloruros u otro ingrediente promotor de la corrosión, por lo que puede ser utilizado sin restricciones en hormigón armado y pre tensionado.

CERTIFICADOS / NORMAS

Cumple con los requisitos especificados para superplastificantes en las normas ASTM C- 494 y NCh 2182.

INFORMACION DEL PRODUCTO

Presentación	Granel. Tambor 200 litros. IBC 1000 litros.
Conservación	12 meses desde su fecha de fabricación.
Condiciones de Almacenamiento	En su envase original, cerrado bajo techo y protegido del congelamiento.
Apariencia / Color	Líquido, color blanco.
Densidad	1,11 ± 0,02 kg/L

INFORMACION DE APLICACIÓN

Dosificación Recomendada

Sika® ViscoCrete®-40 HSCL se utiliza en dosis de 0,5 a 1,5% del peso del cemento, dependiendo del efecto deseado. Para la obtención de la dosis óptima deben realizarse ensayos previos con los materiales a usar en la obra. En casos especiales y controlados puede utilizarse una dosis superior a la indicada.

NOTAS

Todos los datos técnicos del producto indicados en esta hoja de datos se basan en pruebas de laboratorio. Los datos medidos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

ECOLOGIA, SEGURIDAD E HIGIENE

Para información y consejo sobre seguridad en la manipulación, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben referirse a la ficha de datos de seguridad vigente, la cual contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y otros datos relativos a la seguridad. En caso de emergencia llamar al CITUC a los siguientes fonos: +5626353800 por intoxicaciones ó +5622473600 por emergencias químicas.

INSTRUCCIONES DE APLICACION

El aditivo debe agregarse diluido en el agua de amasado en el momento del mezclado o agregado simultáneamente con el agua al interior del mezclador. Para una óptimo comportamiento, mezclar enérgicamente durante un mínimo de 1 minuto.

RESTRICCIONES LOCALES

Por favor, observe que como resultado de regulaciones locales específicas el funcionamiento de este producto puede variar de un país a otro. Por favor, consultar la hoja de datos local del producto para la descripción exacta de los campos de aplicación.

NOTAS LEGALES

La información y, en particular, las recomendaciones relacionadas a la aplicación y uso final de productos de Sika, se dan en buena fe basada en el conocimiento y experiencia actual de Sika de los productos cuando se han almacenado apropiadamente, manipulados y aplicados bajo las condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en materiales, sustratos y condiciones reales del sitio son tales que ninguna garantía en relación a la comercialización o de aptitud para un propósito particular, ni cualquier obligación que surja en absoluto de cualquier relación legal, puede ser inferida de esta información, ni de cualquier otra recomendación escrita, o de cualquier otra sugerencia ofrecida. El usuario debe probar la aptitud del producto para la aplicación y propósito propuesto. Sika se reserva el derecho para cambiar las propiedades de sus productos. Deben observarse los derechos de propiedad de terceras partes. Todas las órdenes de compra son aceptadas sujetas a nuestras condiciones actuales de venta y entrega. Los usuarios siempre deben referirse a la más reciente edición de la Ficha de Producto local correspondiente, copias de la cual se proporcionarán a su solicitud.

Sika S. A. Chile
Póta. Salvador Allende N°85
San Joaquín
Santiago
Teléfono 56-2-25106510
web: chil.sika.com



Ficha de Producto
Sika® ViscoCrete®-40 HSCL
Diciembre 2021, Versión 01.04
021301011000001875

SikaViscoCrete-40HSCL-es-CL-(12-2021)-1-4.pdf



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sika® Stabilizer PE

ESTABILIZADOR PARA CONCRETO Y MORTERO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Stabilizer PE es un aditivo que añadido al concreto o mortero incrementa la estabilidad y la cohesión de las mezclas.

USOS

- Fabricación de concretos autocompactantes.
- Fabricación de concretos bombeables.
- Inyección de concreto.
- Fabricación de concreto con bajo contenido de finos.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Mejora enormemente la cohesión interna del concreto.
- Menor sensibilidad frente a variaciones en materias primas.
- Mezcla homogénea.
- Menor exudación.
- Baja tendencia a la segregación.
- Reduce los defectos de compactación.
- Acabados superficiales suaves.
- Mejora el bombeo.
- Mejora la vida útil del equipo de bombeo.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	Cilindro x 200 L
Apariencia / Color	Líquido viscoso blanco
Vida Útil	6 meses
Condiciones de Almacenamiento	El producto debe de ser almacenado en su envase original cerrado, sin deterioro si se mantiene en un lugar fresco y bajo techo. A una temperatura entre 5°C a 35°C.
Densidad	1.00 +/- 0.01 Kg/L

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

Sika® Stabilizer PE se añade a la mezcla diluido en la última parte del agua de amasado del concreto de acuerdo a la dosificación prescrita.

Si no se dispone de dosificadores de aditivo, deberá utilizarse un recipiente con la medida exacta para colocarla en el agua de amasado.

Puede ser agregado directamente a planta Concretera, mezclador o camión mixer; en este último caso se recomienda rotar el tambor del camión a máxima potencia un mínimo de 1 min/m³ o un mínimo de 5 minutos para toda la mezcla, con objeto de lograr que esta sea homogénea.

IMPORTANTE

Se recomienda realizar ensayos previos in situ para definir la dosificación óptima, especialmente si hay algún cambio en el diseño de mezcla o sus componentes.

Una sobredosificación puede provocar un retardo en el fraguado del concreto.

El concreto fresco debe ser curado correctamente inmediatamente después de su colocación.

Sika® Stabilizer PE no debe ser añadida a la mezcla seca de agregados y cemento.

Sika® Stabilizer PE puede ser utilizado en combinación de otros aditivos Sika como son: Sika® Viscocrete®, Sikament®, Sika®Plast®, Sika®Fume, SikaAer®.

DOSIFICACIÓN

0.1% a 1% del peso del cemento

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.



ANEXO II

(Cuantiles de distribución de Tukey)

TABLA 8: Cuantiles de la distribución de Tukey $q(n, m)$

$\alpha = 0.05$	n													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
m														
2	6.08	8.33	9.80	10.88	11.73	12.43	13.03	13.54	13.99	14.40	14.76	15.09	15.39	15.67
3	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.15	10.35	10.52
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.60	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.66
5	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17	7.32	7.47	7.60	7.72
6	3.46	4.34	4.90	5.30	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30	6.43	6.55	6.66	6.76
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48
9	3.20	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.59	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.39	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65
16	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59
17	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46
20	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43
21	2.94	3.56	3.94	4.21	4.42	4.60	4.74	4.87	4.98	5.08	5.17	5.25	5.33	5.40
22	2.93	3.55	3.93	4.20	4.41	4.58	4.72	4.85	4.96	5.06	5.14	5.23	5.30	5.37
23	2.93	3.54	3.91	4.18	4.39	4.56	4.70	4.83	4.94	5.03	5.12	5.20	5.27	5.34
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32
25	2.91	3.52	3.89	4.15	4.36	4.53	4.67	4.79	4.90	4.99	5.08	5.16	5.23	5.30
26	2.91	3.51	3.88	4.14	4.35	4.51	4.65	4.77	4.88	4.98	5.06	5.14	5.21	5.28
27	2.90	3.51	3.87	4.13	4.33	4.50	4.64	4.76	4.86	4.96	5.04	5.12	5.19	5.26
28	2.90	3.50	3.86	4.12	4.32	4.49	4.62	4.74	4.85	4.94	5.03	5.11	5.18	5.24
29	2.89	3.49	3.85	4.11	4.31	4.47	4.61	4.73	4.84	4.93	5.01	5.09	5.16	5.23
30	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21
31	2.88	3.48	3.84	4.09	4.29	4.45	4.59	4.71	4.81	4.90	4.99	5.06	5.13	5.20
32	2.88	3.48	3.83	4.09	4.28	4.45	4.58	4.70	4.80	4.89	4.98	5.05	5.12	5.18
33	2.88	3.47	3.83	4.08	4.28	4.44	4.57	4.69	4.79	4.88	4.97	5.04	5.11	5.17
34	2.87	3.47	3.82	4.07	4.27	4.43	4.56	4.68	4.78	4.87	4.96	5.03	5.10	5.16
35	2.87	3.46	3.81	4.07	4.26	4.42	4.56	4.67	4.77	4.86	4.95	5.02	5.09	5.15
36	2.87	3.46	3.81	4.06	4.25	4.41	4.55	4.66	4.76	4.85	4.94	5.01	5.08	5.14
37	2.87	3.45	3.80	4.05	4.25	4.41	4.54	4.66	4.76	4.85	4.93	5.00	5.07	5.13
38	2.86	3.45	3.80	4.05	4.24	4.40	4.53	4.65	4.75	4.84	4.92	4.99	5.06	5.12
39	2.86	3.45	3.79	4.04	4.24	4.39	4.53	4.64	4.74	4.83	4.91	4.98	5.05	5.11
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.73	4.82	4.90	4.98	5.04	5.11
41	2.86	3.44	3.79	4.03	4.23	4.38	4.51	4.63	4.73	4.82	4.90	4.97	5.04	5.10
42	2.85	3.44	3.78	4.03	4.22	4.38	4.51	4.62	4.72	4.81	4.89	4.96	5.03	5.09
43	2.85	3.43	3.78	4.03	4.22	4.37	4.50	4.62	4.72	4.80	4.88	4.96	5.02	5.08
44	2.85	3.43	3.78	4.02	4.21	4.37	4.50	4.61	4.71	4.80	4.88	4.95	5.02	5.08
45	2.85	3.43	3.77	4.02	4.21	4.36	4.49	4.61	4.70	4.79	4.87	4.94	5.01	5.07
46	2.85	3.42	3.77	4.01	4.20	4.36	4.49	4.60	4.70	4.79	4.87	4.94	5.00	5.06
47	2.85	3.42	3.77	4.01	4.20	4.36	4.48	4.60	4.69	4.78	4.86	4.93	5.00	5.06
48	2.84	3.42	3.76	4.01	4.20	4.35	4.48	4.59	4.69	4.78	4.86	4.93	4.99	5.05
49	2.84	3.42	3.76	4.00	4.19	4.35	4.48	4.59	4.69	4.77	4.85	4.92	4.99	5.05
50	2.84	3.42	3.76	4.00	4.19	4.34	4.47	4.58	4.68	4.77	4.85	4.92	4.98	5.04

ANEXO III

(Diseño de Mezcla de Concreto y Determinación de Parámetros)

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS.

I. Datos Obtenidos de Laboratorio:

Propiedades	Agregado Fino	Agregado Grueso
Módulo de fineza del agregado	2.67	7.62
Peso específico de masa del agregado (gr/cm ³)	2.44	3.73
Porcentaje de humedad (w%)	1.99	0.64
Absorción de agua (a%)	1.83	0.92
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1779.3	1577.6
Peso unitario compactado seco (kg/m ³)	1963.4	1606.0
Tamaño máximo	-	1"
Tamaño máximo nominal	-	3/4"

II. Procedimiento Diseño al 1%:

II.1. Selección de la Resistencia Promedio (f'cr)

$$\text{Resistencia } f'c = 420 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'cr : 420 + 98 = 504 \text{ Kg/cm}^2$$

Tabla N° 01. Resistencia a la Compresión promedio requerida (Kg/cm²)

f'c	f'cr
< 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 84
> 350	f'c + 98

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones RNE

II.2. Selección del Asentamiento:

Consistencia = Fluida
Slump \geq 5"

Tabla N°02. Consistencia y asentamientos

Consistencia	Asentamiento	Trabajabilidad
Seca	0" a 2"	Poco trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Fluida	\geq 5"	Muy Trabajable

Fuente: "Diseño de mezclas" Enrique Rivva López

II.3. Volumen Unitario de agua: l/m³

Criterio = Sin Aire Incorporado

TMN = 3/4"

Slump \geq 5"

De la tabla 03:

Volumen: 216 lt/m³

Tabla N° 03. Volumen de agua por m²

Asentamiento	Agua en lt/m ³ , para TNM agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
≥ 5"	243	228	216	202	190	178	160	***
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
≥ 5"	216	205	187	184	174	166	154	***

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones RNE

Se estimó que el aditivo reduce el % de agua en un 20%

$$20\% * VUA = 172.8 \text{ lt/m}^3$$

II.4. Porcentaje de aire:

Por el TMN = 3/4" De la tabla 04

$$\begin{aligned} \text{Aire atrapado} &= 2.0 \% \\ \text{Aire incorporado} &= \frac{0.0 \%}{2.0 \%} \end{aligned}$$

Tabla N° 04. Contenido de aire atrapado

TMN del Agregado Grueso	Aire atrapado %
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones RNE

II.5. Volumen total de la Pasta de Cemento:

Relación a/c = 0.38

$$172.8/c = 0.38$$

C = 454.7 Kg de cemento/m³ de concreto => 10.7 bls de cemento/m³ de concreto

Volúmenes:

$$\text{Cemento} = 454.7 \text{ Kg} / 3.11 \text{ g/cm}^3 = 0.146 \text{ m}^3$$

$$\text{Sika ViscoCrete-40 HSCL} = 1.0 \% \times 454.7 / 1.11 \text{ g/cm}^3 = 0.004 \text{ m}^3$$

$$\text{Sika Stabilizer PE} = 0.1 \% \times 454.7 / 1.00 \text{ g/cm}^3 = 0.00045 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 172.8 \text{ lit} \times 1.0 \text{ g/cm}^3 = 0.1728 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = 2.0\% \times 1 \text{ m}^3 = \underline{0.020 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen Total de la Pasta de Cemento} = \mathbf{0.3433 \text{ m}^3}$$

II.6. Volumen de Agregados:

$$\text{Vol. Global Agregados} = 1 - \text{Vol. Pasta} = 1 - 0.3433 = 0.6568 \text{ m}^3$$

Agregado Grueso en %V según EFNARC $\leq 50\%$

$$\text{Vol. Agregado Grueso} = 0.328 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 0.328 \text{ m}^3 \times 1606 \text{ Kg/m}^3 = 527.37 \text{ Kg}$$

$$\text{Vol. Agregado Fino} = 0.6568 \text{ m}^3 - 0.328 \text{ m}^3 = 0.328 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del Agregado Fino} = 0.328 \text{ m}^3 \times 1963.4 \text{ Kg/m}^3 = 644.73 \text{ Kg}$$

II.7. Corrección por Humedad

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 527.37 \text{ Kg} \times (1 + 0.64\%) = 530.75 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso del Agregado Fino} = 644.73 \text{ Kg} \times (1 + 1.99\%) = 657.56 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua AG} = 530.75 \text{ Kg} \times (0.64 - 0.92) / 100 = -1.49 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua AF} = 657.56 \text{ Kg} \times (1.99 - 1.83) / 100 = \underline{1.05 \text{ Kg}}$$

$$-0.43 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua} = 172.8 - 0.43 = 172.37 \text{ Kg} = 0.1724 \text{ m}^3$$

II.8. Pesos Resultantes al 1% Aditivo Superplastificante.

MATERIALES	PESOS (Kg)
Cemento	454.70
Agregado Grueso	530.75
Agregado Fino	657.56
Agua	172.24
ViscoCrete-40 HSCL	4.547
Stabilizer PE	0.4547

ANEXO IV

(Pruebas preliminares - Tamaño de muestra)

Ensayo de Extensibilidad de Diseño de mezcla preliminar de CAC

Usando el tamaño de muestra calculado en el Anexo III, se realizó una corrida de 10 ensayos de extensibilidad con los siguientes parámetros:

Cemento :	480.00 Kg.
Agregado Grueso :	581.81 Kg.
Agregado Fino :	667.02 Kg.
Agua :	181.96 L.
ViscoCrete-40 HSCL (2.5%) :	10.81 L.
Stabilizer PE :	0.48 L.

Obteniendo los siguientes resultados:

Réplica	% en Peso	T 50	D ₁	D ₂	X _i	X _i - \bar{U}	(X _i - \bar{U}) ²
1	2.5%	4.01 s	623 mm	625 mm	624 mm	-1 mm	1.2808
2		4.21 s	625 mm	627 mm	626 mm	1 mm	0.7539
3		4.11 s	630 mm	632 mm	631 mm	6 mm	34.4365
4		4.32 s	629 mm	630 mm	630 mm	4 mm	19.0817
5		4.16 s	621 mm	615 mm	618 mm	-7 mm	50.8616
6		4.17 s	622 mm	625 mm	624 mm	-2 mm	2.6626
7		4.28 s	640 mm	639 mm	640 mm	14 mm	206.4470
8		4.33 s	621 mm	624 mm	623 mm	-3 mm	6.9260
9		4.16 s	608 mm	612 mm	610 mm	-15 mm	234.5304
10		4.08 s	627 mm	628 mm	628 mm	2 mm	5.6087

Numero de Datos :	10
Promedio :	625 mm
Suma:	562.589
Desviación:	62.51
Coefficiente de Variación:	0.10

$\sigma_0 =$	0.10	$(\sigma_0)^2 =$	0.0100
E =	0.06	E ² =	0.0036
Z _{$\alpha/2$} =	1.96	(Z _{$\alpha/2$}) ² =	3.8416

$$n \geq \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma_0^2}{E^2}$$

$$n \geq 10.67$$

ANEXO V
(Constancia de Investigación)



CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIOS

El que suscribe, Ing. Hugo Delgado Florian con CIP, hace constar por medio de la presente que los Sres. Orlando Jaimito Delgado Pino y Marco Ricardo Vivar Hurtado, han realizado los ensayos de granulometría, contenido de humedad, peso específico, absorción, peso unitario de agregados, ensayos de caracterización de fluidez y capacidad de paso del concreto, elaboración y compresión de especímenes de concreto, en las instalaciones del **Laboratorio de Suelos CECAPED**; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestros archivos.

Se expide esta certificación a solicitud de los interesados, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 28 de abril del 2023



Ing. W. Hugo Delgado Florian
Reg. CIP N° 126873
PROMOTOR

Informe Final de Asesoramiento

Señor : Ms. Ing. Jorge A. Vega Benites
Director del Programa de Estudio de Ingeniería Civil

Asunto : Informe Final de Asesoramiento de Tesis

Fecha : Trujillo, 04 de mayo del 2023

De conformidad con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad, y en cumplimiento de la **Resolución de Facultad N° 1919-2022-FI-UPAO**, el suscrito, docente asesor de la Tesis titulada:

“Influencia del aditivo SIKA VISCOCRETE-40 HSCL sobre las propiedades mecánicas y durabilidad en concretos autocompactantes”, de los Br. Orlando Jaimito Delgado Pino y Br. Marco Ricardo Vivar Hurtado; cumpro con informar lo siguiente:

La presente Tesis cumple con el cronograma y proceso de investigación de acuerdo al proyecto de tesis, asimismo informe que la tesis reúne la calidad académica exigida por el Programa de Estudio de Ingeniería Civil.

Asimismo, adjunto al presente el reporte de coincidencias generado con el software Antiplagio Turnitin firmado por el suscrito, que no supera el 20 %.

Atentamente,



Ing. Medina Carbajal, Lucio Sigifredo
Docente Asesor
Reg. Cip: 76695

ANEXO VI

(Fotos)



Foto N° 01. Análisis granulométrico de los agregados



Foto N° 02. Contenido de Humedad.



Foto N°03. Medición de D_f , en ensayo de Extensibilidad.



Foto N°04. Ensayo del Anillo J



Foto N° 05. Ensayo de la Caja L



Foto N° 06. Ensayo del embudo V



Foto N° 07. Codificación de Probetas.



Foto N° 08 Ensayo de compresión axial.