

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO AL AÑADIR ADITIVO SIKA® AER EN
UN CONCRETO DE 30 MPA FABRICADO CON ADITIVO SIKAMENT®-290N Y CEMENTO
PORTLAND TIPO MS**

TESIS

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

Bach. MACHUCA RONCAL, Silvia Catalina

ASESOR:

Dr. Ing. MOSQUEIRA MORENO, Miguel Angel

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** MACHUCA RONCAL, SILVIA CATALINA

DNI: 70168985

Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL

2. **Asesor:** Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

Facultad: DE INGENIERÍA

3. **Grado académico o título profesional**

☐ Bachiller

☒ Título profesional

☐ Segunda especialidad

☐ Maestro

☐ Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

☒ Tesis

☐ Trabajo de investigación

☐ Trabajo de suficiencia profesional

☐ Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

"RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO AL AÑADIR ADITIVO SIKA® AER EN UN CONCRETO DE 30 MPA FABRICADO CON ADITIVO SIKAMENT®-290N Y CEMENTO PORTLAND TIPO MS"

6. **Fecha de evaluación:** 04/02/2025

7. **Software antiplagio:**

☒ TURNITIN

☐ URKUND (OURIGINAL) (*)

8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 10%

9. **Código Documento: Oid:** 3117:426598741

10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 07/02/2025



FIRMA DEL ASESOR

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO
DNI: 26733060

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



Dra. Ing. Laura Sofía Bazán Díaz
DIRECTORA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO AL AÑADIR ADITIVO SIKAR® AER EN UN CONCRETO DE 30 MPA FABRICADO CON ADITIVO SIKAMENT® - 290N Y CEMENTO PORTLAND TIPO MS"

ASESOR : Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0151-2024-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 22 de abril de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **treinta días del mes de abril de 2025**, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidenta : Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Vocal : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Secretario : M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO AL AÑADIR ADITIVO SIKAR® AER EN UN CONCRETO DE 30 MPA FABRICADO CON ADITIVO SIKAMENT® - 290N Y CEMENTO PORTLAND TIPO MS", presentado por la Bachiller en Ingeniería Civil SILVIA CATALINA MACHUCA RONCAL, asesorada por el Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y la evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : ⁰⁷ PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : ¹⁰ PTS.
EVALUACIÓN FINAL : ¹⁷ PTS ^{Diecisiete} (En letras)

En consecuencia, se la declara ^{Aprobada} con el calificativo de ^{17 (Diecisiete)} acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las ^{11:00 am} horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Presidente

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Vocal

M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.
Secretario

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Asesor

DEDICATORIA

A mi mentor y gran amigo el Mg. Ing. Manuel Vásquez Espinoza, quien me enseñó que con esfuerzo, dedicación y entrega se puede lograr lo imposible. Además, quien me enseñó que la mejor profesión es ser una buena persona, gracias por trascender en mi vida profesional y personal.

AGRADECIMIENTO

*A Dios, porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas
(Romanos 11:36).*

*A mis queridos padres Catalina Natalia Roncal Ruiz y José Elias
Machuca Alcalde, por su apoyo incondicional, guía y sacrificio. Este Logro
también es suyo.*

*A mi asesor el Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno, por su
dedicación y compromiso con mi crecimiento académico y profesional.*

*A mis amigos: Carmen, Nair, Ana Paula, Leidy, Ernesto, Eduardo y
demás, mi fuente de inspiración y mi familia elegida.*

*Al jurado calificador de esta investigación. Agradezco su tiempo,
dedicación y experticia en la evaluación de mi trabajo.*

*Al laboratorio GUERSAN, por su soporte en el desarrollo de mis
ensayos.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Hipótesis de la investigación	2
1.4. Justificación de la investigación	2
1.5. Alcances o delimitación de la investigación	2
1.6. Limitaciones	3
1.7. Objetivos	3
1.7.1.Objetivo general	3
1.7.2.Objetivos específicos	3
1.8. Descripción del contenido	4
CAPITULO II: MARCO TEORICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.1.1. Antecedentes a nivel internacional	5
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional	6
2.1.3. Antecedentes a nivel local	7
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. Concreto	7
2.2.2. Resistencia del concreto	8

2.2.3. Durabilidad del concreto.....	8
2.2.4. Concreto en climas fríos.....	9
2.2.5. Aditivos incorporadores de aire	10
2.2.6. Aditivos superplastificantes:	13
2.2.7. Concreto expuesto a sulfatos:	14
2.2.8. Cemento tipo MS	15
2.2.9. Determinación del contenido de aire en una mezcla de concreto:	16
2.3. Definición de términos básicos.....	17
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Ubicación geográfica.....	18
3.1.1. Ubicación de la investigación	18
3.1.2. Ubicación de la cantera.....	19
3.2. Duración de la investigación	20
3.3. Metodología	20
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación	20
3.3.2. Población de estudio	20
3.3.3. Muestra.....	20
3.3.4. Unidad de análisis.....	21
3.4. Procedimiento	21
3.4.1. Selección de materiales	23
3.4.2. Propiedades de los materiales	23
3.4.3. Procedimiento del diseño de mezclas	31
3.4.4. Método de módulo de fineza de la combinación de agregados	31
3.4.5. Elaboración de testigos de concreto:.....	32
3.4.6. Asentamiento	32
3.4.7. Ensayo de presión	33

3.4.8. Resistencia del concreto a la compresión:	35
3.5. Presentación de resultados	35
3.5.1. Propiedades de los agregados grueso y fino.....	35
3.5.2. Dosificación de los diseños de mezcla	36
3.5.3. Consistencia de la mezcla.....	37
3.5.4. Contenido de aire.....	38
3.5.5. Resistencia a la compresión del concreto	39
3.5.6. Variación de la resistencia en función al contenido de aire	41
CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
4.1. Propiedades de los agregados (fino y grueso)	43
4.3. Propiedades del concreto fresco	43
4.3.1. Consistencia de la mezcla:.....	43
4.3.1. Contenido de Aire	43
4.4. Resistencia a la compresión del concreto	44
4.5. Contraste con la hipótesis planteada.....	44
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
5.1. Conclusiones	45
5.2. Recomendaciones	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mecanismo de funcionamiento del aire incorporado.....	10
Figura 2: Esquema del comportamiento del contenido de aire en la resistencia y la durabilidad del concreto.	11
Figura 3: Ubicación del laboratorio donde se realizó la investigación.....	18
Figura 4: Ubicación de la cantera.....	19
Figura 5: Procedimiento de la investigación.....	22
Figura 6: Contenido de aire total por tratamiento (%).....	38
Figura 7: Contenido de aire (%) vs. cantidad de aditivo Sika Aer (%).....	39
Figura 8: Resistencia a la compresión del concreto vs edad del concreto.....	40
Figura 9: Resistencia a la compresión (7días) vs contenido de aire.....	41
Figura 10: Resistencia a la compresión (14 días) vs contenido de aire.....	41
Figura 11: Resistencia a la compresión (28 días) vs contenido de aire.....	42
Figura 12: Curva granulométrica de agregado fino (Muestra A).....	50
Figura 13: Curva granulométrica de agregado fino (Muestra B).....	51
Figura 14: Curva granulométrica de agregado fino (Muestra C).....	52
Figura 15: Curva granulométrica de agregado grueso (Muestra A).....	56
Figura 16: Curva granulométrica de agregado grueso (Muestra B).....	57
Figura 17: Curva granulométrica de agregado grueso (Muestra C).....	58
Figura 18: Sección de testigo de concreto pulida.....	98
Figura 19: Aparato Medidor de contenido de aire Tipo “B”.	98
Figura 20: Agregado fino de la cantera de los “Hermanos Ayala”.....	99
Figura 21: Agregado grueso de la cantera de los “Hermanos Ayala”.	99
Figura 22: A la izquierda aditivo Sika® Aer y a la derecha aditivo Sikament® 290N.	100
Figura 23: Cemento Pacasmayo tipo MS (A.S.T.M.C -1157).	100
Figura 24: Olla de Washinton o medidor tipo B de la norma NTP 339.080 (2017).....	101
Figura 25: Análisis granulométrico del agregado fino y grueso.	101
Figura 26: Peso específico del agregado fino.....	102
Figura 27: Peso unitario suelto y peso unitario compactado del agregado fino.	102
Figura 28: Peso específico del agregado grueso.	103
Figura 29: Peso unitario suelto y peso unitario compactado del agregado grueso.	103
Figura 30: Peso del aditivo Sika-Ment.....	104
Figura 31: Determinación del slump.....	104

Figura 32: Determinación del factor de corrección de agregado (método de presión).	105
Figura 33: Determinación del contenido de aire.	105
Figura 34: Lectura del contenido de aire total por el método de presión.....	106
Figura 35: Testigos de concreto de los tratamientos de prueba.	106
Figura 36: Elaboración de testigos de concreto.....	107
Figura 37: Codificación de los testigos de concreto.....	107
Figura 38: Curado de testigos de concreto.....	108
Figura 39: Medición de diámetros de los especímenes de concreto.	108
Figura 40: Peso de los testigos de concreto.....	109
Figura 41: Ensayo de compresión uniaxial - edad 14 días.	109
Figura 42: Ensayo de compresión uniaxial - edad 28 días.	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categorías y clases de exposición del concreto.	9
Tabla 2: Características y ventajas del aditivo Sika® Aer.	12
Tabla 3: Requisitos para concreto por categoría de exposición S para exposición a sulfatos.	15
Tabla 4: Datos generales de la ubicación de la investigación.	18
Tabla 5: Datos de la ubicación de la cantera.	19
Tabla 6: Muestra de la investigación.	21
Tabla 7: Requisitos granulométricos del agregado grueso.	24
Tabla 8: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.	25
Tabla 9: Análisis granulométrico del agregado fino.	25
Tabla 10: Asentamiento de la mezcla de concreto.	33
Tabla 11: Propiedades de los agregados fino y grueso empleados en la investigación.	36
Tabla 12: Dosificaciones en porcentaje del peso del cemento para cada aditivo.	36
Tabla 13: Dosificaciones de mezclas por tratamiento.	37
Tabla 14: Dosificaciones de mezclas por tratamiento corregidas por humedad.	37
Tabla 15: Resultados de propiedades determinadas en estado fresco.	37
Tabla 16: Contenidos de aire de diseño y contenidos de aire obtenidos.	38
Tabla 17: Cantidad de aire incorporado para cada tratamiento de prueba.	39
Tabla 18: Resistencia a la compresión promedio obtenida para cada tratamiento.	40
Tabla 19: Análisis granulométrico de agregado fino (Muestra A).	50
Tabla 20: Análisis granulométrico de agregado fino (Muestra B).	51
Tabla 21: Análisis granulométrico de agregado fino (Muestra C).	52
Tabla 22: Determinación del peso específico del agua.	53
Tabla 23: Determinación del factor "f".	53
Tabla 24: Peso unitario suelto del agregado fino (Muestra A, B y C).	53
Tabla 25: Peso unitario compactado del agregado fino (Muestra A, B y C).	54
Tabla 26: Peso específico por el procedimiento gravimétrico (Muestra A, B y C).	54
Tabla 27: Porcentaje de absorción (Muestra A, B y C).	54
Tabla 28: Ensayo de contenido de humedad (Muestra A, B y C).	55
Tabla 29: Ensayo partículas < N° 200 para el agregado fino (Muestra A, B y C).	55
Tabla 30: Análisis granulométrico de agregado grueso (Muestra A).	55
Tabla 31: Análisis granulométrico de agregado grueso (Muestra B).	56
Tabla 32: Análisis granulométrico de agregado grueso (Muestra C).	57

Tabla 33: Determinación del factor "f"	58
Tabla 34: Peso unitario suelto del agregado grueso (Muestra A, B y C).	58
Tabla 35: Peso unitario compactado del agregado grueso (Muestra A, B y C).	59
Tabla 36: Peso específico del agregado grueso (Muestra A, B y C).	59
Tabla 37: Porcentaje de absorción del agregado grueso (Muestra A, B y C).	59
Tabla 38: Contenido de humedad del agregado grueso (Muestra A, B y C).	60
Tabla 39: Ensayo partículas < N° 200 para el agregado grueso (Muestra A, B y C).	60
Tabla 40: Resistencia a la degradación para el agregado grueso (Muestra A, B y C).	60
Tabla 42: Asentamiento de la mezcla de concreto.	73
Tabla 43: Cantidad de agua de mezcla para diferentes asentamientos y diferentes tamaños máximos de los agregados.	73
Tabla 44: Relación a/c por resistencia.	74
Tabla 45: Relación a/c por durabilidad por exposición a sulfatos.	74
Tabla 46: Relación a/c por durabilidad por exposición a congelación y descongelación.	75
Tabla 47: Modulo de fineza de la combinación de agregados.	75
Tabla 48: Resultados del contenido de aire por el método de presión (Ensayo A).	76
Tabla 49: Resultados del contenido de aire por el método de presión (Ensayo B).	77
Tabla 50: Resultados del contenido de aire por el método de presión (Ensayo C).	78
Tabla 51: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento patrón (AB0).	79
Tabla 52: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento (AB1).	80
Tabla 53: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento (AB2).	81
Tabla 54: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento (AB3).	82
Tabla 55: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento (AB4).	83
Tabla 56: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento (AB5).	84

RESUMEN

La combinación de aditivos en respuesta a agentes dañinos para el concreto como los ciclos de hielo- deshielo y la reacción química de los sulfatos, requiere una comprensión profunda de su interacción para optimizar su diseño. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo determinar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto de 30 MPa, utilizando diferentes dosificaciones de un aditivo incorporador de aire en una mezcla con aditivo superplastificante y cemento tipo MS. Las dosificaciones del aditivo incorporador de aire fueron de 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08% y 0.10% del peso del cemento, manteniendo constante el superplastificante en 0.989%. El contenido de aire fue evaluado mediante el método de presión según la norma NTP 339.080 (2017), estableciendo la relación entre la cantidad de aditivo, el contenido de aire total y la resistencia a compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días. Se emplearon aditivos Sika® Aer (incorporador de aire) y Sikament® 290-N (superplastificante), cemento Pacasmayo (Fortimax) y agregados de la cantera "Hermanos Ayala". Las mezclas se diseñaron según el método de fineza de agregados, considerando durabilidad en climas fríos y exposición a sulfatos. La relación agua/cemento fue de 0.44 para el tratamiento patrón (AB0) y 0.40 para los tratamientos de prueba (AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5). Los resultados mostraron que por cada 1% de aire incorporado, la resistencia disminuyó en un 2.54%. Además, el contenido de aire en la mezcla aumentó en 0.25% por cada 0.01% en peso del cemento de aditivo Sika® Aer añadido. Las resistencias a compresión a los 28 días fueron: 138.52%, 130.73%, 125.01%, 122.47%, 118.53% y 115.56% para AB0, AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5, respectivamente. Se concluye que el incremento del contenido de aire reduce la resistencia del concreto, pero en menor proporción comparado con mezclas que solo usan aditivo incorporador de aire sin superplastificante, manteniéndose por encima de la resistencia de diseño.

Palabras Claves: Aditivo incorporador de aire, Aditivo Superplastificante, resistencia a la compresión.

ABSTRACT

The combination of admixtures in response to concrete damaging agents such as freeze-thaw cycles and sulfate chemical reaction requires a thorough understanding of their interaction to optimize their design. In this context, the research aimed to determine the variation in compressive strength of a 30 MPa concrete using different dosages of an air-entraining admixture in a mix designed with a superplasticizer and Type MS cement. The dosages of the air-entraining admixture were 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08%, and 0.10% of the cement weight, while the superplasticizer dosage remained constant at 0.989%. The air content was evaluated using the pressure method in accordance with the NTP 339.080 (2017) standard, establishing the relationship between the admixture dosage, total air content, and compressive strength at 7, 14, and 28 days. The admixtures used were Sika® Aer (air-entraining agent) and Sikament® 290-N (superplasticizer), while the cement was Pacasmayo (Fortimax) and the aggregates were sourced from the "Hermanos Ayala" quarry. The mix design followed the aggregate fineness combination method, considering durability requirements for structures in cold climates and exposed to sulfate attacks. The water-to-cement ratio was 0.44 for the control treatment (AB0) and 0.40 for the test treatments (AB1, AB2, AB3, AB4, and AB5). The results showed that for every 1% increase in air content, compressive strength decreased by 2.54%. Additionally, the air content in the mix increased by 0.25% for every 0.01% of cement weight of Sika® Aer added. The compressive strengths at 28 days were 138.52%, 130.73%, 125.01%, 122.47%, 118.53%, and 115.56% for AB0, AB1, AB2, AB3, AB4, and AB5, respectively. It is concluded that the increase in air content reduces the concrete strength, but in a lower proportion compared to mixtures using only air-entraining admixture without superplasticizer, remaining above the design strength.

Key words: Air entraining admixture, Superplasticizing admixture, compressive strength.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En los últimos años, los nuevos desafíos de la industria de la construcción han impulsado el uso de diversas combinaciones de aditivos como respuesta a agentes dañinos para el concreto, lo que ha generado un impacto significativo en sus características. La combinación de agentes perjudiciales del medio, como la exposición a ciclos de hielo y deshielo y la reacción química de los sulfatos, ocasiona el deterioro del recubrimiento de las estructuras de concreto, la corrosión de la armadura de refuerzo y, por ende, la disminución de la duración de la vida útil de dichas estructuras.

Los daños causados por la exposición a ciclos de hielo y deshielo se atribuyen a que el agua presente en los poros del concreto se congela, aumentando su volumen y generando esfuerzos internos de tensión que eventualmente provocan la falla del elemento (Sánchez, 2001). Para mitigar estos daños, el reglamento ACI 201.2R-4 (2001) recomienda el uso de aditivos incorporadores de aire. Sin embargo, diversas investigaciones han demostrado que estos aditivos pueden reducir significativamente la resistencia del concreto. En este sentido, Peña (2023) señala que al incorporar un 1% de aire en el concreto, la resistencia a compresión disminuye en un 5%.

Para contrarrestar esta pérdida de resistencia, se propone el uso de aditivos superplastificantes en la mezcla de concreto, ya que permiten reducir la cantidad de agua utilizada y, por consiguiente, disminuir la relación agua/cemento, lo cual incrementa la resistencia del material.

Por otro lado, otro de los factores que provocan el deterioro del concreto es la exposición a sulfatos. Metha & Monteiro (2014) destacan que esta exposición puede provocar la formación de productos expansivos, como la etringita y el yeso, lo que resulta en un deterioro significativo del concreto. En respuesta, el reglamento ACI 211 (2022) establece varios criterios, entre ellos el uso de cemento resistente a sulfatos, recomendando su aplicación específica según la concentración de sulfatos presentes en el ambiente.

A pesar de la relevancia de los aditivos en la durabilidad del concreto, no existe bibliografía consolidada sobre el diseño de mezclas que combinen aditivos incorporadores de aire y superplastificantes en condiciones de exposición severa. La dosificación de estos componentes requiere una comprensión profunda de su interacción para optimizar su desempeño sin comprometer la resistencia mecánica del concreto.

En este contexto, la presente investigación analizó el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto al añadir diversas cantidades del aditivo incorporador de aire Sika® Aer a una mezcla con un $f'c$ de 30 MPa, preparada con cemento de resistencia media a sulfatos (MS) y el aditivo superplastificante Sikament®-290N. Los resultados obtenidos permitirán generar una base de conocimiento sobre la influencia de estas combinaciones de aditivos en la resistencia mecánica del concreto, lo que podrá ser complementado en futuras investigaciones con ensayos de durabilidad en condiciones reales.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo afecta la incorporación de diferentes porcentajes del aditivo Sika® Aer a la resistencia a la compresión de un concreto de 30 MPa fabricado con cemento Portland tipo MS y aditivo Sikament®-290N?

1.3. Hipótesis de la investigación

La resistencia a la compresión del concreto aumenta en un 2% a medida que la cantidad de aire disminuye en un 1% al reducir la dosificación de aditivo Sika® Aer en un concreto de 30 MPa fabricado con cemento Portland tipo MS y el aditivo Sikament®-290N.

1.4. Justificación de la investigación

La incorporación de aditivos en las mezclas de concreto es una estrategia clave para adaptar sus propiedades a las exigencias de entornos específicos. No obstante, en condiciones donde convergen múltiples factores adversos, como climas fríos y exposición a sulfatos, resulta indispensable emplear combinaciones de aditivos que aseguren tanto la durabilidad como la resistencia del concreto.

En este contexto, la presente investigación se centró en evaluar el impacto del aditivo incorporador de aire Sika® Aer sobre la resistencia a la compresión de un concreto con resistencia característica de 30 MPa, elaborado con cemento de resistencia media a sulfatos (MS) y el aditivo superplastificante Sikament®-290N.

Los hallazgos de esta investigación aportan información técnica de gran utilidad para los ingenieros que diseñan mezclas de concreto en entornos adversos, facilitando la toma de decisiones para optimizar el desempeño y la vida útil de las estructuras.

1.5. Alcances o delimitación de la investigación

El estudio se realizó en el distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca, entre los meses de octubre del 2023 a septiembre del 2024, teniendo como principal

alcance estudiar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto de 30 MPa, al incorporar aditivo incorporador de aire Sika® Aer en diferentes cantidades 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08% y 0.10% del peso del cemento, en una mezcla elaborada con aditivo superplastificante y cemento de mediana resistencia a los sulfatos. Determinando la cantidad de aire total de las mezclas, así como sus resistencias a los 7, 14 y 28 días de curado sin considerar la exposición a ciclos de congelamiento y deshielo.

Los materiales utilizados fueron aditivo superplastificante Sikament® 290-N, cemento Pacasmayo tipo MS (Fortimax) y agregados de río de la cantera de los “Hermanos Ayala”.

1.6. Limitaciones

- La investigación enfrenta una limitación en la disponibilidad de tablas referenciales específicas que describan el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto con el uso del aditivo Sika® Aer, lo que implica que los resultados obtenidos dependerán exclusivamente de los ensayos experimentales realizados en este estudio.
- Debido a restricciones de presupuesto y la falta de equipos especializados, no fue posible realizar la evaluación directa de la resistencia de los testigos de concreto expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo. No obstante, los efectos de esta exposición fueron analizados a partir de referencias bibliográficas y estudios previos.

1.7. Objetivos

1.7.1.Objetivo general

Evaluar la resistencia a la compresión del concreto al añadir aditivo Sika® Aer a un concreto de 30MPa, fabricado con cemento Portland tipo MS y aditivo Sikament® - 290N.

1.7.2.Objetivos específicos

- Obtener el contenido de aire total e incorporado para el tratamiento patrón y para cada tratamiento de prueba por el método de presión indicado en la norma NTP 339.080.
- Determinar la relación del contenido de aire con el contenido de aditivo para cada tratamiento de prueba.
- Determinar la relación de la resistencia a la compresión del concreto con el contenido de aire para cada tratamiento de prueba.

1.8. Descripción del contenido

CAPITULO I:

Se aborda el planteamiento del problema, formulando una posible hipótesis, justificación, alcances, limitaciones y los objetivos que se desean alcanzar.

CAPITULO II:

Resume los conocimientos teóricos adquiridos sobre el tema, se exponen antecedentes internacionales, nacionales y locales, y se definen los términos básicos utilizados.

CAPITULO III:

Describe el lugar de la investigación, los materiales empleados y el procedimiento seguido, detallando el tratamiento y análisis de datos en función de los objetivos e hipótesis planteados.

CAPITULO IV:

Ofrece una posible solución al problema mediante la comparación de los resultados obtenidos con los datos de la literatura revisada.

CAPITULO V:

Presenta las conclusiones derivadas del análisis realizado, junto con recomendaciones para futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS:

La investigación incluye una bibliografía que recoge las referencias utilizadas, y en los anexos se presentan los resultados de los ensayos, diseños de mezclas, tablas, fichas técnicas, certificados de calibración y un panel fotográfico.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes a nivel internacional

García (2017) en su investigación para optar por el título de Ingeniero Constructor en la Universidad Andrés Bello (Chile), realizó un estudio sobre ***“Porcentaje de Aire Incorporado en el Hormigón y su Efecto en el Desempeño”***, en dicho estudio determinó las propiedades del concreto fresco y endurecido, entre ellas la resistencia a la compresión de concreto a los 28 días para una mezcla con 0,0%, 0,5 %, 1,0 %, 1,5%, 2,0% y 3,0% de aditivo incorporador de aire. obteniéndose 63.7 kgf/cm², 66.1 kgf/cm², 62.6 kgf/cm², 59.8 kgf/cm², 57.7 kgf/cm² y 50.3 kgf/cm² respectivamente; por lo que pudo concluir que, a mayor dosis de aire incorporado, es menor la resistencia obtenida.

Nowak-Michta (2019) en su artículo denominado ***“Impact analysis of air-entraining and superplasticizing admixtures on concrete compressive strength”***, publicado en la revista Elsevier B.V en la ciudad de Polonia, analizó la acción simultanea del aditivo incorporador de aire y el aditivo superplastificante en la resistencia a la compresión del concreto en una mezcla elaborada con cemento Portland CEM I 42.5R. Utilizó ocho mezclas de prueba, divididas en dos grupos, todas con una relación a/c constante igual a 0.46.

El primer grupo de mezclas de prueba estaba formado por cuatro de las mezclas, las cuales no contenían aire incorporado, pero si diferentes contenidos de aditivos superplastificantes (0.00, 0.20, 0.35 y 0.50), mientras que el segundo grupo estaba formado por cuatro mezclas con la misma cantidad de aire incorporado (0.20) y las mismas cantidades de contenido superplastificante que las muestras del primer grupo (0.00, 0.20, 0.35 y 0.50). Los resultados de las pruebas mostraron que a medida que aumenta el contenido de superplastificante, la resistencia del concreto también aumentaba, obteniéndose las siguientes resistencias para el primer grupo 51.7, 58.6, 59, 59 Mpa y para el segundo grupo 49.3, 49.5, 52.5 y 56 Mpa.

Además, pudo distinguir que la resistencia a la compresión en concreto con aire incorporado y sin aire incorporado aumenta del 1 al 14%. El aire incorporado de las mezclas de concreto por sí solo da como resultado una pérdida de resistencia en el rango de 5 a 17 % y depende del contenido del superplastificante, la consistencia de la mezcla de concreto, los cambios en el contenido de poros y su estructura. Finalmente, concluyó que a medida que aumenta la cantidad de aditivo superplastificante, la cantidad de poros disminuye.

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

Pérez & Flores (2019) realizaron un estudio sobre: ***“Influencia de los aditivos incorporadores de aire y superplastificantes en las propiedades físicas y mecánicas del concreto cemento - arena liviano, elaborado con perlas de poliestireno expandido y agregado fino, Iquitos 2018”***, en la Universidad Científica del Perú (Iquitos). El objetivo de su investigación fue determinar la influencia de los aditivos superplastificante e incorporador de aire, a través de la medición de las propiedades físicas y mecánicas del concreto cemento–arena liviano no estructural con cemento Portland Tipo I, en estado fresco y endurecido, para ello elaboró dos grupos de muestras: El primer grupo de muestras fue elaborado con la misma cantidad de aditivo incorporador de aire EUCOCELL (0.0001), y con diferentes cantidades de aditivo superplastificante NEOPLAST (0.004, 0.005, 0.008 y 0.009); mientras que el segundo grupo de muestras fue elaborado con diferentes cantidades de aditivo incorporador de aire EUCOCELL (0.000, 0.00005, 0.0002 y 0.0003), y con la misma cantidad de aditivo superplastificante NEOPLAST (0.006). Para el segundo grupo, en el cual se varía la cantidad de aditivo incorporador de aire, el promedio de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días fue disminuyendo a medida que se aumentó la cantidad de aditivo EUCOCELL (195.29 kg/cm², 169.74 kg/cm², 127.79 kg/cm² y 116.52 kg/cm²). Por lo que llegó a la conclusión de que la resistencia a la compresión aumenta fuertemente a medida que disminuye la dosis de aditivo incorporador de aire.

Virruet (2022) en su tesis para optar por el título de ingeniero civil, realizó el ***“Análisis Comparativo en el Diseño de Concreto Empleando Aditivos superplastificantes e Incorporadores de Aire para Evaluar la Resistencia Mecánica Máxima del Concreto Autocompactante, Tacna 2022”***. En la investigación, se analizó el comportamiento de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto autocompactante de $f'c=280$ Kg/cm², al añadir diferentes porcentajes de aditivos Superplastificante Sikament-290N y utilizando cemento portland tipo IP. Se realizó 10 probetas patrón sin algún tipo de aditivo, 10 probetas con un porcentaje de aditivo superplastificante de 1%, 10 con un porcentaje de aditivo superplastificante de 2% y 10 con un porcentaje de aditivo superplastificante de 3%.

Al comparar los resultados de la resistencia a la compresión de los cuatro grupos de muestras se determinó que la mezcla patrón sin ningún tipo de aditivo obtuvo una resistencia de 285.068 kg/cm², el grupo de probetas con 1% de aditivo superplastificante de 325.40 Kg/cm², el de 2% de aditivo superplastificante de 369.66 kg/cm² y el de 3% de aditivo superplastificante de 337.88

kg/cm². Por lo que concluye que la resistencia a la compresión del concreto mejora considerablemente al añadir un 2% de aditivo Superplastificante.

2.1.3. Antecedentes a nivel local

Cotrina (2018) en su tesis para optar por el título de ingeniero civil, realizó una investigación sobre: **“Comportamiento Mecánico del Concreto de Alta Resistencia de $f'c=450$ Kg/cm² con Aditivo Superplastificante Sikament®-290N y Adición Mineral Sika® Fume”**, en la Universidad Nacional de Cajamarca, en la cual llegó a la conclusión que adición de Sika® Fume no incrementa considerablemente la resistencia por sí sólo, sin embargo, si la incrementa conjuntamente con el Aditivo Superplastificante.

Fernández (2019) en su tesis para optar por el Grado de Maestro en Ciencias de la Universidad Nacional de Cajamarca, realizó el estudio sobre el **“Efecto De La Incorporación Del Aditivo Air Mix 200 en el Contenido Total de Aire y en la Resistencia a Compresión de Concretos Reciclados $F'c: 210$ Kg/cm²”**, determinó la resistencia a la compresión a los 14 y 28 días. El promedio de la resistencia a los 14 días fue de 189,75 Kg/cm² y a los 28 días 223,05 Kg/cm², por lo que concluyó que 0.03% de aditivo Air Mix 200, incorpora aire en un 3% y con respecto a la resistencia a la compresión, disminuye en un 3.39% a los 14 días y en 4.78% a los 28 días en comparación a la muestra patrón.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

El concreto, uno de los materiales más utilizados en la construcción, se define como una composición compleja en la que interactúan diversos elementos para formar una estructura sólida y resistente.

Metha & Monteiro (2014) denominan al concreto como la unión de la matriz de la pasta, los agregados y la zona de transición entre la matriz y el agregado grueso (Ver **Figura 18**). La matriz de la pasta, a su vez, está compuesta por el material cementante y el agua, elementos fundamentales que determinan las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto.

Por su parte, Neville & Brooks (2010) definen el concreto como un material compuesto que, al endurecerse, adquiere resistencia mecánica gracias a la reacción química entre el cemento y el agua, proceso conocido como hidratación. Su comportamiento y desempeño estructural dependen de la calidad de sus componentes, la proporción de la mezcla y las condiciones de curado.

2.2.2. Resistencia del concreto

Metha & Monteiro (2014) define la resistencia como la capacidad del concreto de resistir esfuerzos sin fallar, además, indica que la resistencia del concreto depende de la resistencia de sus componentes (pasta o matriz, agregados y zona de transición). Además, propone algunos factores que influyen en la resistencia a la compresión del concreto, los cuales se indican a continuación:

2.2.2.1. Factores que influyen en la resistencia del concreto

A) Porosidad del concreto: esto debido a que mayor porosidad tenga el concreto, disminuye su densidad y por ende su resistencia (Metha & Monteiro, 2014).

B) Relación agua/cemento: al usar grandes relaciones a/c, aumenta la cantidad de agua en la mezcla, la cual al evaporarse genera vacíos, es decir aumenta la porosidad del concreto y baja la resistencia del mismo. La relación agua cemento es uno de los principales factores que determinan la resistencia a la compresión del concreto, esto se debe a que, a mayor cantidad de agua utilizada, aumenta la cantidad de folículos de agua y al evaporarse dejan vacíos aumentando así la porosidad del concreto (Metha & Monteiro, 2014).

C) Contenido de aire: La porosidad del concreto también aumenta debido a los vacíos (aire atrapado) que se genera al momento de realizar la mezcla de concreto o debido a la adición intencional de aire mediante aditivos, lo cual en consecuencia reduce la resistencia del concreto. La porosidad del concreto aumenta, no solo por una relación agua/cemento elevado, sino que también cuando a través de los procesos de mezclado, se incluye aire en el concreto o también cuando se añade intencionalmente aditivos, lo cual como ya se mencionó reduce la resistencia del concreto (Metha & Monteiro, 2014).

2.2.3. Durabilidad del concreto

“La durabilidad se define como la capacidad del concreto para resistir a la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro” (ACI 201.2R, 2001, p.02)

El incremento de la durabilidad del concreto se relaciona con concretos elaborados con mezclas en bajo contenido de agua, concretos con aditivos (superplastificantes o inclusores de aire), uso de cementantes suplementarios y uso de cementos especiales (Matallana, 2019).

Para el diseño de una mezcla de concreto, se debe considerar los requisitos de durabilidad de acuerdo al tipo de exposición que presentará las estructuras de concreto, los cuales se mencionan en la **Tabla 1**.

Tabla 1:

Categorías y clases de exposición del concreto.

Categoría	Clase	Condición	
Congelamiento y deshielo (F)	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	
	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	
	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto frecuente con la humedad	
	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto frecuente con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	
Sulfato (S)		Sulfatos solubles en agua (SO_4^{2-}) en el suelo, % en masa	Sulfato (SO_4^{2-}) disuelto en agua, ppm
	S0	$\text{SO}_4^{2-} < 0.10$	$\text{SO}_4^{2-} < 150$
	S1	$0.10 \leq \text{SO}_4^{2-} < 0.20$	$\text{SO}_4^{2-} < 1500$ o agua marina
	S2	$0.20 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 2.00$	$1500 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 10000$
	S3	$\text{SO}_4^{2-} > 2.00$	$\text{SO}_4^{2-} > 10000$
En contacto con el agua (W)	W0	Concreto seco en servicio	
	W1	Concreto en contacto con agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	W2	Concreto en contacto con agua donde se requiere baja permeabilidad	
Protección del refuerzo para la corrosión (C)	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	

Fuente: Tabla 13.3.1.1. del reglamento ACI 318 (2019)**2.2.4. Concreto en climas fríos**

Un concreto que se encuentra ubicado en zonas con climas fríos, suele deteriorarse a causa de la exposición a ciclos de congelamiento y deshielo. Esto sucede, debido a que el agua que se encuentra en el interior de la pasta de concreto o en los agregados se congela y al descongelarse, el volumen ocupado por el agua se expande, generando presiones hidráulicas, las cuales a su vez producen la formación de fisuras y grietas. Para proteger las estructuras de concreto en dichas condiciones, se utiliza aditivo incorporador de aire (H. Kosmatka, Kerkhoff, & C. Panarese, 2011).

La norma ACI 318 (2019), clasifica a exposición a ciclos de congelamiento y deshielo, dentro de la categoría F, la cual se subdivide de acuerdo a lo indicado en la **Tabla 1**.

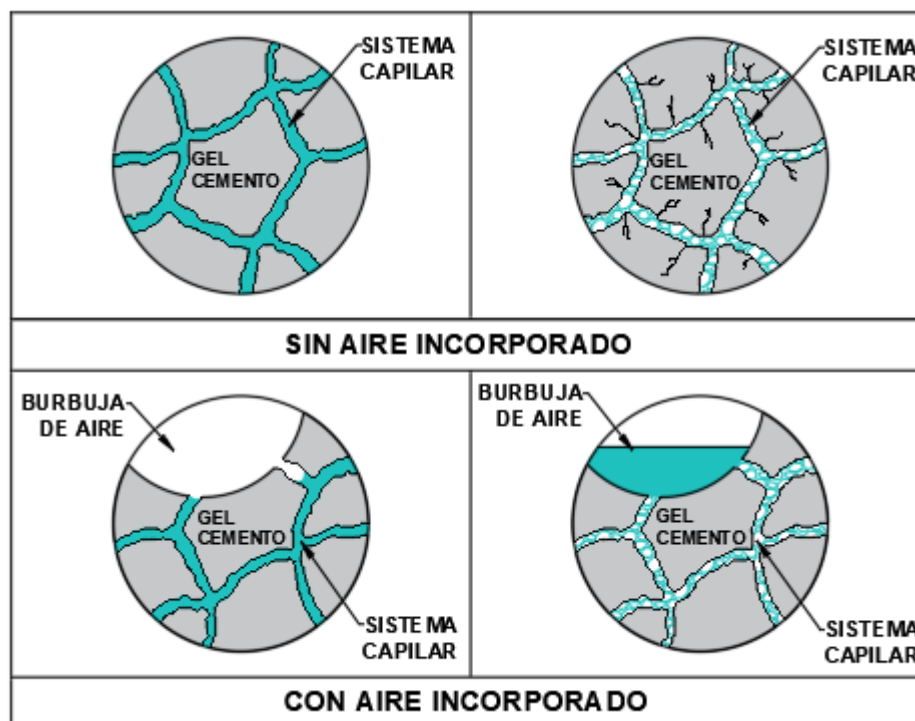
2.2.5. Aditivos incorporadores de aire

Son aquellos que introducen y estabilizan burbujas microscópicas de aire dentro del concreto (H. Kosmatka, Kerkhoff, & C. Panarese, 2011). Estas burbujas se distribuyen de manera uniforme dentro de la mezcla y desempeñan un papel crucial en la mejora de la durabilidad del concreto frente a ciclos de congelamiento y deshielo. Estos aditivos se encuentran dentro del tipo S de la norma ASTM C494 (2004) – aditivos de desempeño específico, diseñados para satisfacer necesidades particulares en aplicaciones específicas del concreto.

El aditivo incorporador de aire tiene la capacidad de generar una estructura interna más resistente al deterioro por factores ambientales adversos. Según Peña (2023), las burbujas de aire creadas por estos aditivos proporcionan un espacio suficiente para liberar la presión hidráulica generada por el agua congelada que, al descongelarse, tiende a expandirse y causar fisuras internas en el concreto.

Figura 1:

Mecanismo de funcionamiento del aire incorporado.



Fuente: Peña (2023).

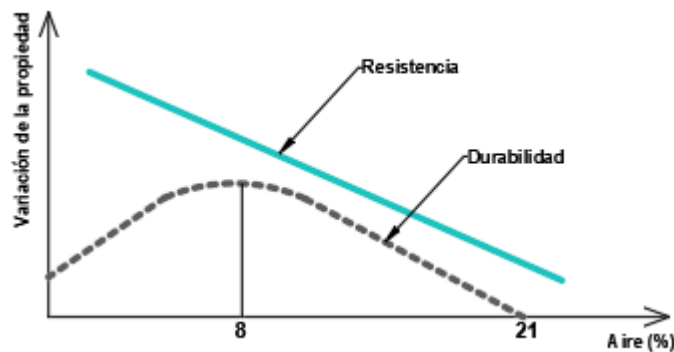
En la **Figura 1**, se muestra el mecanismo de acción de las burbujas de aire en el concreto, en un primer escenario se tiene presencia de fisuramiento de las partículas debido al proceso de descongelamiento del agua contenida en la mezcla. En contraste, en el segundo escenario, las burbujas de aire introducidas actúan como reservorios, permitiendo almacenar el agua derretida y reduciendo significativamente el riesgo de fisuración.

Matallana (2019) indica que, el aire incluido mejora la resistencia del concreto frente a los ciclos de hielo y deshielo, permite aumentar la trabajabilidad, reducir la segregación y exudación, generar mayor resistencia al ataque de sustancias químicas y mejorar su comportamiento frente al ataque de sulfatos.

Además, menciona que se debe tener en cuenta que los aditivos incorporadores de aire tienen un límite máximo de uso, puesto que un incremento en la cantidad de aire incorporado provoca un impacto adverso en la resistencia del concreto. Así mismo, con respecto a la durabilidad, al añadir mayor cantidad de aire incorporado, esta llega a un punto máximo y luego empieza a disminuir tal como se muestra en la **Figura 2**.

Figura 2:

Esquema del comportamiento del contenido de aire en la resistencia y la durabilidad del concreto.



Fuente: Matallana (2019).

Otros autores también indican que, al añadir aire incorporado, la resistencia disminuye:

- Peña (2023) indica que “Al incorporar 1% de aire en el concreto, esto provocara que la resistencia a compresión disminuya en 5%”.

- Matallana (2019) indica que: “por cada 1% de aire incluido, la pérdida de resistencia puede estar entre 3% y 5%”.
- Sika Perú S.A (2013) menciona que: “La incorporación de aire también produce a partir de ciertos volúmenes una afectación sobre la resistencia mecánica que debe considerarse durante el proceso de diseño”.

2.2.5.1. Aditivo Sika® Aer:

Es un aditivo elaborado a base de agentes tensoactivos, el cual cumple con la norma ASTM C260. Su principal bondad es permitir la incorporación de aire, el cual se reparte de manera homogénea en forma de microburbujas; estas microburbujas funcionan como vasos de expansión y reducen la presión del agua. El número de microburbujas incorporadas varía de 100.000 a 400.000 por cm³ (Sika, 2024).

Sus principales ventajas son las siguientes:

Tabla 2:

Características y ventajas del aditivo Sika® Aer.

Concreto fresco	Concreto endurecido
▪ Aumento de la trabajabilidad. ▪ Reducción del agua de mezcla. ▪ Reduce la segregación en el concreto, especialmente en el transporte del mismo. ▪ Disminuye la exudación en el concreto. ▪ Aumento de la cohesión interna de la pasta del concreto. ▪ Reduce el tiempo de vibración y colocación. ▪ Mejora el aspecto superficial del concreto. ▪ Incremento de la impermeabilidad.	▪ Mayor resistencia frente a la acción de aguas agresivas. ▪ Incremento de las resistencias a ciclos de hielo y deshielo. ▪ Rompe la capilaridad.

Fuente: Ficha Técnica del aditivo Sika® Aer

Este aditivo, se utiliza en el agua de mezcla, en una cantidad recomendada por el fabricante del 0.02% al 0.12% del peso del cemento.

2.2.6. Aditivos superplastificantes:

También llamados “Aditivos reductores de agua de alto rango”, son productos químicos que al añadirse a un concreto normal, reducen entre 12% y 30% la cantidad de agua de mezcla y corresponden a los tipos F y G de la norma ASTM C494 (Matallana, 2019).

Matallana (2019) indica que dentro de los efectos de los aditivos superplastificantes, se encuentran el aumento de la resistencia a la compresión del concreto y disminución de la permeabilidad, lo cual es beneficioso para el concreto, ya que evita la entrada de elementos perjudiciales como los sulfatos y los cloruros. Además, menciona que la efectividad de los aditivos superplastificantes frente a la resistencia del concreto, depende de la composición del cemento. Cementos de bajo contenido de álcalis o de bajo contenido de aluminato tricálcico (C3A), presentan las mejores resistencias.

2.2.6.1. Aditivo Sikament®-290N

Es un aditivo polivalente, que actúa tanto como un plastificante como un superplastificante. Como plastificante cumple con la norma ASTM C494 y como superplastificante con la norma ASTM C494. Además, no posee cloruros y no tiene ningún impacto corrosivo en las armaduras (Sika, 2023).

Sus principales ventajas son las siguientes:

- Incremento de las resistencias mecánicas.
- Acabado superficial de excelente calidad.
- Mayor firmeza en la fijación de armaduras.
- Mayor tiempo de manejabilidad de la mezcla a cualquier temperatura.
- Es posible disminuir hasta un 20% del agua en la mezcla.
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Permite el bombeo del hormigón a distancias y alturas superiores.
- Ofrece un excelente control de la mezcla, previniendo su segregación y la creación de cangrejas.

Este aditivo, se utiliza en el agua de mezcla o en el amasado del concreto, en una cantidad recomendada por el fabricante del 0.7% al 1.2% del peso del cemento.

2.2.7. Concreto expuesto a sulfatos:

Son sustancias químicas encontradas en el suelo o el agua, originadas por el ácido sulfúrico, que tienen la capacidad de interactuar con los componentes del concreto, provocando su deterioro y disminución de la resistencia estructural a lo largo del tiempo. Este fenómeno se denomina ataque por sulfatos y representa una de las causas más significativas de deterioro en estructuras de hormigón sometidas a entornos agresivos (Metha & Monteiro, 2014)

Los sulfatos se encuentran inherentes en el medio externo e interno de las estructuras de concreto, ya sea dentro de la mezcla, como puede ser por la presencia de agregados con sulfatos, así como también en el medio externo a través de agua con presencia de sulfatos, en los suelos, en procesos industriales, entre otros.

Los sulfatos se consideran perjudiciales para el concreto debido a que estos pueden reaccionar con los compuestos hidratados en la pasta de cemento hidratada y producir desintegración del concreto (H. Kosmatka, Kerkhoff, & C. Panarese, 2011).

Al desintegrarse el concreto, en estructuras de concreto armado, el espesor de recubrimiento disminuye, dejando expuesto al acero de refuerzo, y su vez generar la corrosión del mismo.

Para mitigar el ataque de los sulfatos, el ACI 318 (2019), presenta los siguientes requisitos a considerar de acuerdo al tipo de ataque:

- **Ataque despreciable (S0):** Cuando el contenido de sulfatos es menor de 0.1 por ciento en el suelo, o menor de 150 ppm en el agua, no habrá restricción para el tipo de cemento ni para la relación agua/cemento.
- **Ataque moderado (S1):** Cuando el contenido de sulfatos es de 0.1 a 0.2 por ciento en el suelo, o de 150 a 1,500 ppm en el agua, deberá usarse cemento portland ASTM Tipo II o ASTM C595/C595M Tipo MS, además de una relación agua/cemento de al menos de 0.50 y una resistencia f'_c de 28 MPa.
- **Ataque severo (S2):** Cuando el contenido de sulfatos es de 0.2 a 2.00 por ciento en el suelo, o de 1,500 a 10,000 ppm en el agua, deberá usarse cemento portland ASTM Tipo V o ASTM C595/C595M Tipo HS, con una relación agua/cemento de menos de 0.45 y una resistencia f'_c de 31 MPa.
- **Ataque muy severo (S3):** Cuando el contenido de sulfatos es de más de 2 por ciento en el suelo, o de más de 10,000 ppm en el agua, deberá usarse el cemento ASTM Tipo V

más un adiconante puzolánico o ASTM C595/C595M Tipo HS más puzolana, con una relación agua/cemento menor de 0.45 y una resistencia f'_c de 31 MPa.

2.2.8. Cemento tipo MS

El cemento Portland tipo MS (Moderate Sulfate Resistance) es un tipo de cemento hidráulico diseñado específicamente para ofrecer una resistencia moderada a los ataques de sulfatos presentes en ambientes agresivos. Este tipo de cemento se utiliza comúnmente en estructuras expuestas a condiciones donde el agua o el suelo contienen concentraciones moderadas de sulfatos, lo que podría generar problemas de durabilidad a largo plazo.

El reglamento ACI 318 (2019) recomienda el uso del cemento tipo MS para la Clase de exposición S1, tal como se indica en la **Tabla 3**. Este tipo de exposición incluye situaciones en las que las concentraciones de sulfatos en el agua subterránea o el suelo no son lo suficientemente altas como para requerir un cemento con alta resistencia a los sulfatos (tipo HS), pero aún representan un riesgo moderado que debe ser mitigado mediante el uso del cemento adecuado.

Tabla 3:

Requisitos para concreto por categoría de exposición S para exposición a sulfatos.

Clase de exposición	Máxim o a/c	Mínimo f _c , MPa	Materiales cementosos requeridos - tipos			Cloruro de calcio mezcla	
			ASTM C150/C150 M	ASTM C595/C595M	ASTM C1157/C115 7M		
S0	N/A	17	N/A	N/A	N/A	Sin restricciones	
S1	0.50	28	II	Tipos con designación (MS)	EM	Sin restricciones	
S2	0.45	31	V	Tipos con designación (HS)	SA	No permitido	
S 3	Opción 1	0.45	31	V más puzolana o cemento de escoria	Tipos con designación (HS) más puzolana o cemento de escoria	HS más puzolana o cemento de escoria	No permitido
	Opción 2	0.40	35	V#	Tipos con designación (HS)	SA	No permitido

Fuente: Tabla 4.7.3.a del reglamento del ACI 211(2022).

2.2.8.1. Cemento Fortimax

Cemento Tipo MS (MH) de moderada resistencia a los sulfatos que cumple con la norma NTP 334.082. Presenta un calor de hidratación moderado, y se aplica en terrenos con presencia moderada de sulfatos, para trabajos que necesitan un calor de hidratación moderado y para trabajos próximos a grandes fuentes de agua (mar, lagos, ríos, etc.).

Las ventajas de utilizar este tipo de cemento son:

- Presenta incorporaciones de minerales activos que aseguran un óptimo desarrollo de resistencias a la compresión y una protección superior frente a los elementos perjudiciales del ambiente.
- Óptimo para emplearse en climas cálidos o en envíos en masa de concreto ya mezclado. En condiciones apropiadas de curado disminuye la posibilidad de fisuras y fisuras.
- El diseño, a través de sus adiciones, ayuda a reducir la permeabilidad del hormigón, asegurando la salvaguarda de las estructuras de fierro en la construcción.

2.2.9. Determinación del contenido de aire en una mezcla de concreto:

Para determinar el contenido de aire una mezcla de concreto fresco, la norma NTP 339.080 (2017), establece el Método de ensayo por Presión, el cual determina el contenido de aire partir de la medición del cambio de presión debido al cambio de volumen del concreto. Este tipo de ensayo se limita a concretos normales y pesados, no pudiendo ser aplicado en concretos ligeros en los cuales se utiliza agregados con un gran contenido de poros.

El equipo que se usa comúnmente para realizar este ensayo, se conoce como medidor tipo B u Olla de Washington (Ver **Figura 19**). Este dispositivo, para calcular el porcentaje de aire, iguala un volumen de aire conocido a una presión determinada en una cámara sellada de aire con el volumen desconocido de aire en la muestra de concreto. El dial del manómetro se ajusta en función del porcentaje de aire correspondiente a la presión que se observa en la muestra. Este equipo, consta de los siguientes elementos:

- a) **Cuenco de Medición:** Recipiente metálico de 0.20 ft³ de capacidad mínima y con un diámetro mínimo de 0.75 a 1.25 veces la altura del recipiente. Posee un ajuste hermético a presión con la tapa.
- b) **Sistema de tapa:** Este fabricado de acero y cuenta con un ajuste hermético a presión con el cuenco de medición, cuenta con un medio de lectura directa que indica el

porcentaje de aire, válvulas de aire, válvulas de purga de aire, llaves de purga, una bomba de mano y un tubo de rociado.

Para realizar el ensayo, se requiere, además, una varilla compactadora redonda lisa, un mazo de goma y una barra de enrasado.

2.3. Definición de términos básicos

Resistencia a la compresión:

Propiedad del concreto que se obtiene al dividir la carga máxima de rotura de los testigos de concreto sobre el área de aplicación, y se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm²) o en mega - pascales (MPa) a una edad de 28 días (H. Kosmatka, Kerkhoff, & C. Panarese, 2011).

Sikament® -290N:

Aditivo superplastificante de alto rendimiento a base de naftaleno, diseñado para mejorar la trabajabilidad y la reducción de agua en concretos de alta resistencia y durabilidad. Su uso permite disminuir la relación agua/cemento, mejorar la resistencia mecánica y aumentar la cohesión de la mezcla (Sika, 2023).

Sika® Aer:

Aditivo incorporador de aire diseñado para mejorar la durabilidad del concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo. Funciona introduciendo burbujas de aire microscópicas en la mezcla, lo que reduce la permeabilidad y mejora la resistencia del concreto frente a la expansión del agua congelada (Sika, 2023).

Cemento Portland tipo MS:

El cemento Portland Tipo MS (Moderada Resistencia a los Sulfatos) es un tipo de cemento hidráulico formulado para resistir la acción de los sulfatos presentes en suelos y aguas agresivas (ASTM C150, 2022).

Aire incorporado:

La norma ASTM C125, define como aire incorporado a las burbujas entre 10 y 1000 μm (1mm) de diámetro y de forma esférica o casi esférica, que se incorporan intencionalmente a una mezcla de concreto, durante el mezclado mediante un aditivo incorporador de aire.

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

3.1.1. Ubicación de la investigación

La presente investigación (ensayo de los agregados, elaboración de especímenes de concreto, ensayos del concreto fresco y endurecido); se llevó a cabo en el laboratorio GUERSAN INGENIEROS S.R.L., cuyos datos de ubicación se muestran en la **Tabla 4**.

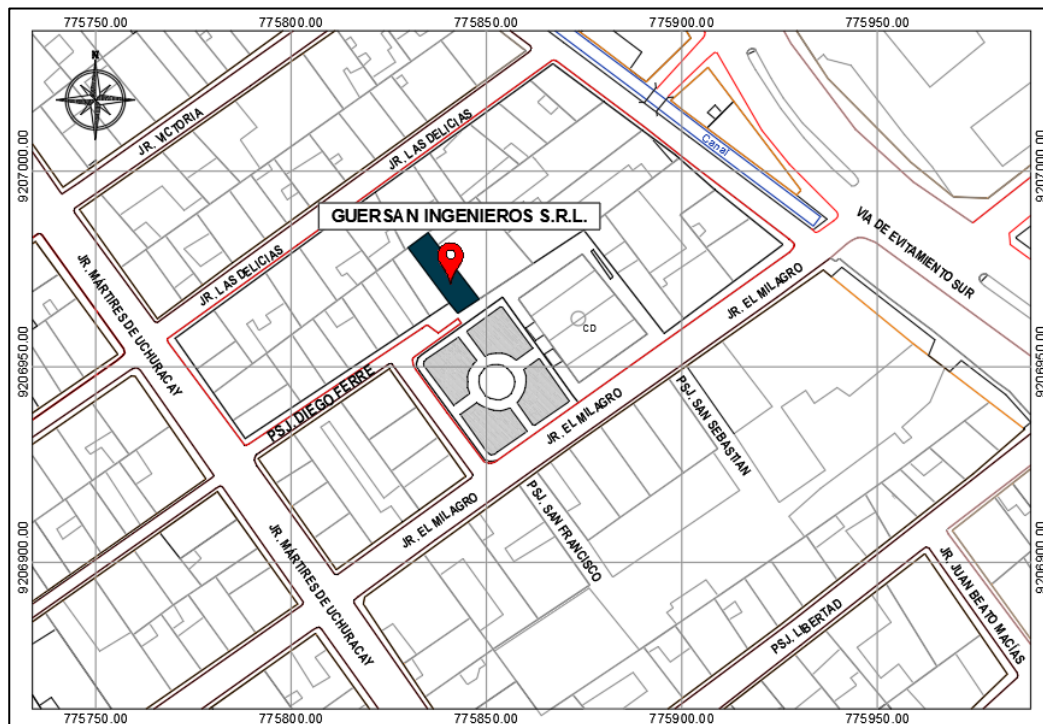
Tabla 4:

Datos generales de la ubicación de la investigación.

Nombre del Laboratorio	: GUERSAN INGENIEROS S.R.L.
Región	: Cajamarca
Provincia	: Cajamarca
Distrito	: Cajamarca
Dirección	: PSJ. Diego Ferre N°295
Coordenadas UTM	: 9206969.00 m N 775842.00 m E

Figura 3:

Ubicación del laboratorio donde se realizó la investigación.



3.1.2. Ubicación de la cantera

Los agregados fino y grueso, se obtuvieron de la cantera denominada “Hermanos Ayala”, la cual recoge agregados del Río Cajamarquino. En la **Tabla 5**, se resume los datos más resaltantes para la identificación de la ubicación de la cantera.

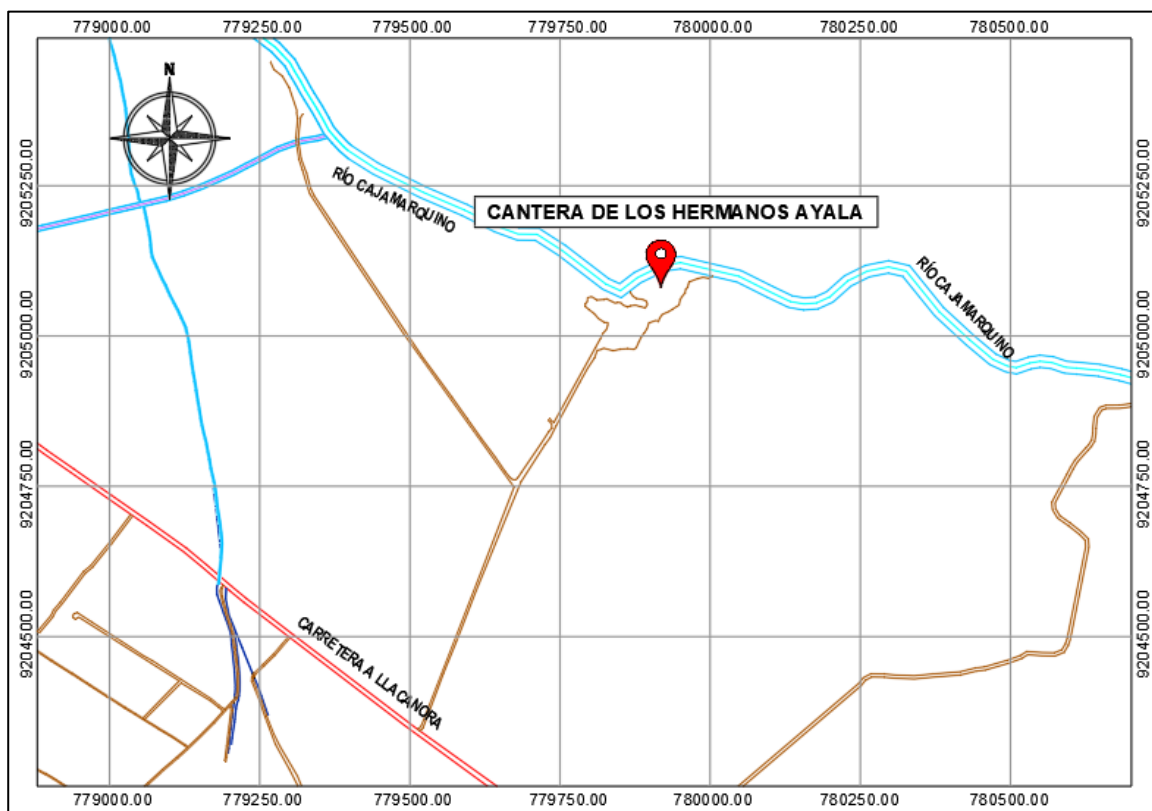
Tabla 5:

Datos de la ubicación de la cantera.

Nombre de la cantera	: Hermanos Ayala
Región	: Cajamarca
Provincia	: Cajamarca
Distrito	: Llacanora
Coordenadas UTM	: 9205020.08 N 779864.45 E

Figura 4:

Ubicación de la cantera.



3.2. Duración de la investigación

La investigación se realizó desde octubre del año 2023 hasta septiembre del año 2024.

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación

A) Tipo: Aplicada, ya que se enfoca en generar conocimientos nuevos relacionados con el uso del aditivo Sika® Aer en diversos tipos de mezclas de concreto.

B) Nivel: Correlacional, ya que tiene como objetivo determinar la correlación entre la resistencia a la compresión del hormigón y la adición del aditivo Sika® Aer en una mezcla elaborada con Sikament® -290N y cemento MS.

C) Diseño: Experimental, dado que se variarán las cantidades de Sika® Aer para analizar su efecto sobre la resistencia a la compresión del concreto.

D) Enfoque: Cuantitativo, ya que se recogen datos numéricos y se emplean herramientas estadísticas para validar la hipótesis planteada.

3.3.2. Población de estudio

La población estuvo constituida por todas las probetas de concreto con $f'c = 30$ Mpa, fabricadas con cemento tipo MS, aditivo Sikament®-290N y por las probetas de concreto con $f'c = 30$ Mpa, fabricadas con cemento tipo MS, aditivo superplastificante Sikament®-290N y Aditivo incorporador de aire Sika® Aer.

3.3.3. Muestra

La muestra fue del tipo probabilístico. Córdova (2019), establece la siguiente fórmula para el cálculo de una muestra con variables cuantitativas:

$$n = \frac{(Z^2 \times \sigma^2)}{E^2}$$

Donde:

Z: Valor Z para el nivel de confianza.

σ : Desviación estándar esperada de la resistencia a la compresión del concreto.

E: Error máximo permitido.

Para la presente investigación se consideró un nivel de confianza de 95% ($Z=1.96$); una desviación estándar de 3MPa y un error máximo permitido de 0.69MPa.

$$n = \frac{(1.96)^2 \times (3)^2}{(0.70)^2} = 70.56$$

Como se tiene 6 dosificaciones y 3 edades del concreto, las probetas por grupo son:

$$\frac{70.56}{6 \times 3} = 3.92 \approx 4 \text{ probetas por combinación}$$

En resumen, la muestra estuvo constituida por un total de 72 especímenes de concreto, de las cuales 12 fueron elaboradas con cemento tipo MS y aditivo Sikament®-290N (tratamiento patrón), mientras que, el resto de probetas, además de utilizar aditivo Sikament®-290N, se le añadió aditivo incorporador de aire Sika® Aer en diferentes proporciones, tal como indica la **Tabla 6**.

Tabla 6:

Muestra de la investigación.

Especímenes de Concreto	7 días	14 días	28 días
Tratamiento Patrón AB0	4	4	4
Tratamiento AB1 (0.02% peso del cemento de Sika® Aer)	4	4	4
Tratamiento AB2 (0.04% peso del cemento de Sika® Aer)	4	4	4
Tratamiento AB3 (0.06% peso del cemento de Sika® Aer)	4	4	4
Tratamiento AB4 (0.08% peso del cemento de Sika® Aer)	4	4	4
Tratamiento AB5 (0.10% peso del cemento de Sika® Aer)	4	4	4
TOTAL		72	

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis fue la resistencia a la compresión del concreto.

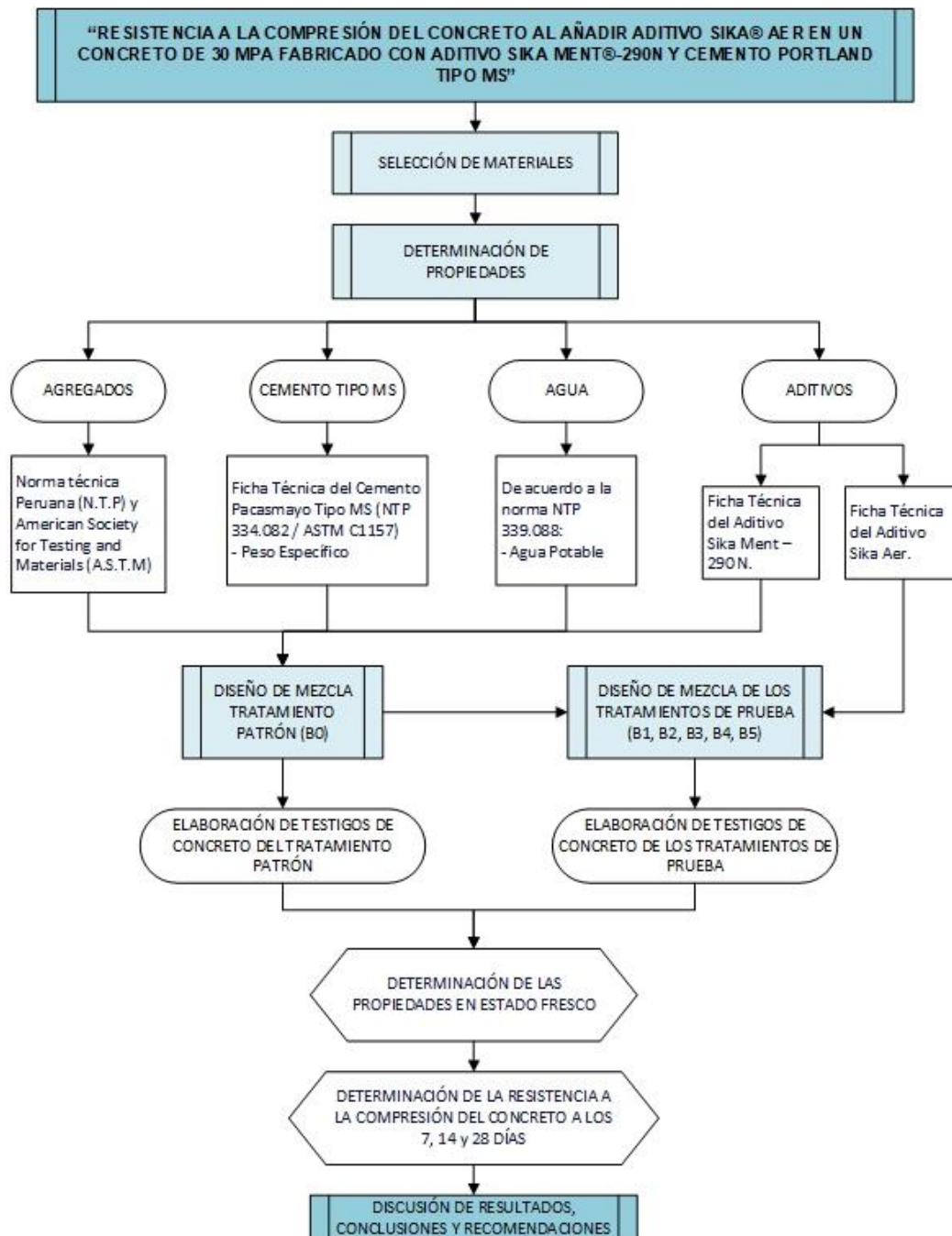
3.4. Procedimiento

El procedimiento consistió en realizar un diseño de mezcla patrón, utilizando cemento tipo MS y aditivo Superplastificante Sikament® - 290 N. Luego, al diseño obtenido se le añadió diferentes cantidades de aditivo Sika® Aer, considerando las dosificaciones indicadas en la ficha técnica del fabricante.

De todas las mezclas obtenidas, se verificó el contenido de aire total de la mezcla y la trabajabilidad. Se elaboró cuatro probetas para cada diseño con las cuales se determinó su resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

Figura 5:

Procedimiento de la investigación.



A continuación, se detalla los pasos realizados del procedimiento de la investigación:

3.4.1. Selección de materiales

- **Agregado Grueso y Fino:** El agregado grueso y fino empleado en la presente investigación fue extraído de la cantera de los “Hermanos Ayala”, de la cual se muestra su ubicación en el apartado **3.1.2.**
- **Aditivos:** Los aditivos utilizados en la presente investigación fueron de la marca Sika, tanto para el aditivo Superplastificante (Sikament®-290N) como para el aditivo Incorporador de Aire (Sika® Aer), de los cuales se adjunta sus fichas técnicas en los **Anexos F y G.**
- **Cemento:** El cemento utilizado, debido al problema planteado fue el cemento tipo MS el cual tiene una resistencia media a los sulfatos cumple con la norma NTP 334.082(2020) y la A.S.T.M C1157. La marca que se considero fue Pacasmayo (Cemento FORTIMAX), del cual se muestra su ficha técnica en el **Anexo H.**

3.4.2. Propiedades de los materiales

3.4.2.1. Propiedades de los agregados

a. Análisis granulométrico de agregado grueso

De acuerdo a la norma NTP 400.037(2021), un agregado grueso es aquel material retenido el tamiz N°4 (4.75 mm) cuyo origen es la trituración natural o artificial de la roca y que cumple con los límites de la **Tabla 7.**

El método empleado para establecer la gradación del agregado grueso se llevó a cabo conforme a la norma NTP 400.012 (2018). Este consiste en pasar una muestra de material seco por una serie de tamices ordenados desde el tamiz de mayor abertura hasta el tamiz de menor abertura (3/4”, 1/2”, 3/8”, N°4, N°8, N° 16, N°30, N°50, N°100 y N°200), para posteriormente calcular el peso retenido, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Que pasa} = 100\% - \% \text{ Retenido acumulado} \quad (1)$$

Tabla 7:

Requisitos granulométricos del agregado grueso.

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 1/2 pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 1/2 pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 1/2 pulg)	25.00 mm (1 pulg)	19.0 mm (3/4 pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	1.18 mm (N°16)	300 µm (N°50)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	63 a 37.5 mm (2 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	50 a 25.0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
357	50 a 4.75 mm (2 pulg a N°4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
4	37.5 a 19.0 mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2 pulg a N°4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
5	25.0 a 12.5 mm (1 pulg a 1/2 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
56	25.0 a 9.5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	40 a 10	0 a 15	0 a 5	...	...	...
57	25.0 a 4.75 mm (1 pulg a N°4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
6	19.0 a 9.5 mm (3/4 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
67	19.0 a 4.75 mm (3/4 pulg a N°4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
7	12.5 a 4.75 mm (1/2 pulg a N°4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
8	9.5 a 2.36 mm (3/8 pulg a N°8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
89	9.5 a 1.18mm (3/8 pulg a N°16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 35	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 a 1.18mm (N°4 a N°16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota: Se permitirá el uso de agregados que no cumplen con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá hormigón (concreto) de la calidad requerida.

Fuente: Tabla 4 de la NTP 400.037 (2021), pág.13.

El tamaño de la muestra considerada para realizar el ensayo de granulometría para el agregado grueso se establece de acuerdo de acuerdo a la **Tabla 8**.

Tabla 8:

Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (½)	2 (4)
19,0 (¾)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5(1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: Anexo A de la norma la NTP 400.012 (2018, pág.12).

b. Análisis granulométrico de agregado fino

Según la norma NTP 400.037 (2021), un agregado fino se refiere al material que pasa por un tamiz de 3/8" (9.5 mm), proveniente de la trituración natural o artificial de la roca, y que respeta los límites establecidos en la **Tabla 9**.

El procedimiento realizado para determinar la gradación del agregado fino es el mismo indicado para el agregado grueso en la norma NTP 400.012 (2018).

Tabla 9:

Análisis granulométrico del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que Pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	05 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Fuente: Norma NTP 400.037 (2021, pág.9)

El tamaño de la muestra considerada para realizar el ensayo de granulometría para el agregado fino se establece de acuerdo de acuerdo a la norma NTP 400.012 (2018), es decir 300gr como mínimo.

c. Módulo de fineza del agregado fino y grueso

El módulo de fineza, es un índice aproximado que indica que tan fino es un material (Sánchez, 2001).

De acuerdo a la norma NTP 400.012 (2018), se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices que cumplen la relación 1:2 a partir del tamiz N°100 hasta el máximo tamaño nominal, y luego dividiendo la suma entre 100, tal como indica la siguiente fórmula:

$$\frac{\sum \% \text{retenido acumulado } (N^{\circ}100 + N^{\circ}50 + N^{\circ}30 + N^{\circ}16 + N^{\circ}8 + N^{\circ}4 + 3/8'' + 3/4'' + 1 1/2'')}{100} \quad (2)$$

Según la norma NTP 400.037 (2021), el agregado fino debe poseer un módulo de fineza que oscile entre 2.3 y 3.1.

d. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y grueso

El peso unitario, también denominado densidad de masa, se establece como la proporción entre el peso del agregado (que incluye los vacíos) y el volumen que alberga (Sánchez, 2001). Esta característica facilita el cálculo del número de vacíos que muestra el agregado y puede realizarse tanto en su estado suelto como compactado.

La norma utilizada para el presente ensayo es la NTP 400.017 (2011), la cual indica que para el cálculo del peso unitario suelto y compactado del agregado fino y grueso se utiliza la siguiente fórmula:

$$M = (G - T) * F \quad (3)$$

Donde:

M: Peso Unitario del agregado, kg/m³

G: Peso del recipiente de medida más el agregado, kg

T: Peso del recipiente de medida, kg

F: Factor de la medida, 1/m³

La fórmula para determinar el factor F es la siguiente:

$$F = \frac{D}{(W - M)} \quad (4)$$

Donde:

D: Densidad del agua, kg/m³

W: Peso del agua más recipiente, kg

M: Peso del recipiente, kg

e. Contenido de humedad de los agregados

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en una muestra de agregados en un determinado momento, la cual puede ser calculada mediante el procedimiento de secado conforme a la norma NTP 339.185 (2021). Para determinar el contenido de humedad para el agregado fino y grueso se utiliza la siguiente fórmula:

$$p = \frac{100(W - D)}{D} \quad (5)$$

Donde:

p: Contenido total de humedad total evaporable de la muestra, %

W: Masa de la muestra húmeda original, g

D: Masa de la muestra seca, g

f. Peso específico del agregado fino

El peso específico, también conocido como densidad, indica la relación entre la masa y el volumen de una muestra de agregado. Para determinar el peso específico, es importante considerar que los agregados tienen poros, que pueden estar vacíos, llenos de agua o parcialmente llenos (Sánchez, 2001).

Para determinar el peso específico del agregado fino se utilizó el método gravimétrico, indicado en la norma NTP 400.022 (2013), el cual presenta el procedimiento para determinar el peso específico en las siguientes condiciones:

- **Peso Específico de Masa (g/cm³):** Es la masa de las partículas del agregado fino seco al horno por unidad de volumen.

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica)} = (0.9975 \text{ g/cm}^3) \times \frac{A}{(B + S - C)} \quad (6)$$

- **Peso específico de masa saturado superficialmente seco (g/cm³):** Es la masa de las partículas del agregado fino saturado superficialmente seco al horno por unidad de volumen de las partículas del agregado.

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica)(SSS)} = (0.9975 \text{ g/cm}^3) \times \frac{S}{(B + S - C)} \quad (7)$$

- **Peso específico de aparente (g/cm³):** Es la masa por unidad de volumen considerando las partes impermeables de las partículas del agregado fino.

$$\text{Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente)} = (0.9975 \text{ g/cm}^3) \times \frac{A}{(B + A - C)} \quad (8)$$

Donde:

A: masa de la muestra seca al horno, g

B: masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g

C: masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g

S: masa de la muestra de saturado superficialmente seca, g

Para determinar que una muestra de agregado se encuentre superficialmente seca, se realiza la prueba de humedad superficial, indicado en el ítem 7.3 de la norma NTP 400.022 (2013).

g. Porcentaje de absorción del agregado fino

La norma NTP 400.022 (2013) define a la absorción como el aumento de la masa del agregado debido a la incorporación de agua en los poros del mismo, en un periodo de tiempo, exceptuando el agua de la superficie exterior. La fórmula para determinar el porcentaje de absorción es el siguiente:

$$\text{Absorción (\%)} = 100 \times \frac{(S - A)}{A} \quad (9)$$

Donde:

A: masa de la muestra seca al horno, g

S: masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

h. Peso específico del agregado grueso

Para determinar el peso específico del agregado grueso se utilizó la norma NTP 400.021, la cual presenta el procedimiento para determinar el peso específico en las siguientes condiciones:

- **Peso específico de masa (g/cm³):** Es la masa de las partículas del agregado grueso seco al horno por unidad de volumen.

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica)} = (0.9975 \text{ g/cm}^3) \times \frac{A}{(B - C)} \quad (10)$$

- **Peso específico de masa saturado superficialmente seco (g/cm³):** Es la masa de las partículas del agregado grueso saturado superficialmente seco al horno por unidad de volumen de las partículas del agregado.

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica)(SSS)} = (0.9975 \text{ g/cm}^3) \times \frac{B}{(B - C)} \quad (11)$$

- **Peso específico de aparente (g/cm³):** Es la masa por unidad de volumen considerando las partes impermeables de las partículas del agregado grueso.

$$\begin{aligned} \text{Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente)} \\ = (0.9975 \text{ g/cm}^3) \times \frac{A}{(A - C)} \end{aligned} \quad (12)$$

Donde:

A: masa de la muestra seca al horno en aire, g

B: masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire, g

C: masa aparente de la muestra de ensayo satura en agua, g

i. Porcentaje de Absorción del agregado grueso

El porcentaje de absorción del agregado grueso, se calcula en base a la norma NTP 400.021, la cual establece la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción (\%)} = 100 \times \frac{(B - A)}{A} \quad (13)$$

Donde:

A: masa de la muestra seca al horno en aire, g

B: masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire, g

j. Material que pasa la Malla N° 200

Para determinar el material fino que pasa por el tamiz N°200 se utilizó el método de lavado de acuerdo a la norma NTP 400.018 (2013), la cual establece la siguiente fórmula para el cálculo:

$$A = \frac{(P1 - P2)}{P1} \times 100 \quad (14)$$

Donde:

A: Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz de 75 µm (N°200) por vía húmeda

P1: Peso seco de la muestra original, g

P2: Peso Seco de la muestra después del lavado, g

De acuerdo a la norma NTP 400.037 (2021), debe cumplir con un porcentaje máximo de 5% para agregado fino y de 1% para agregado grueso.

k. Ensayo de abrasión del agregado grueso

El ensayo se realizó utilizando la máquina de Los Ángeles de acuerdo a la norma NTP 400.019 (2014). El cálculo de la pérdida de material después de haber realizado el ensayo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Pérdida} = \left(\frac{C - Y}{C} \right) \times 100 \quad (15)$$

Donde:

C: Masa original de la muestra, g

Y: Masa final de la muestra, g

3.4.2.2. Agua de Mezclado

De acuerdo a lo indicado en la norma NTP 339.088 (2014), se utilizará agua potable, la cual no requiere ensayos frecuentes.

3.4.3. Procedimiento del diseño de mezclas

Para realizar el diseño de mezclas del tratamiento patrón y de los tratamientos de prueba se considera el siguiente procedimiento:

- 1) Establecer los requisitos de diseño (TMN, asentamiento y tipo de exposición).
- 2) Determinar la resistencia promedio requerida.
- 3) Encontrar la cantidad del agua de la mezcla.
- 4) Determinar la cantidad de aire total, en el caso del tratamiento patrón únicamente se considera el contenido de aire atrapado, mientras que en el resto de tratamientos se considera aire atrapado más aire incorporado.
- 5) Determinar la relación a/c por resistencia y durabilidad, de las cuales se seleccionará la menor.
- 6) Calcular el factor cemento por unidad cubica de concreto, el cual se obtiene a partir de la cantidad de agua y la relación a/c.
- 7) Determinar las proporciones de los componentes de la mezcla por el método de la combinación de agregados.
- 8) Una vez obtenidas las proporciones del diseño de mezclas, corregir por humedad y considerando el porcentaje de absorción de los agregados.

3.4.4. Método de módulo de fineza de la combinación de agregados

Este procedimiento facilita la determinación de las proporciones de la mezcla, donde la relación entre el agregado fino y el grueso se altera según el contenido de pasta y su relación con el cemento que contiene (Rivva, 2015).

Los contenidos de agregados varían según las diferentes resistencias, debido a la relación agua/cemento y al contenido total de agua, los cuales están determinados por el contenido de cemento de la mezcla. Esto se explica porque el módulo de fineza es un índice que representa la superficie específica de los agregados; por lo tanto, se deduce que, a mayor módulo de fineza, será necesario un mayor contenido de pasta.

El presente método utiliza la fórmula siguiente:

$$m = r_r \times m_r + r_g \times m_g \quad (16)$$

Donde:

M: Módulo de fineza de la combinación de agregados.

Mr: Módulo de fineza del agregado fino.

Mg: Módulo de fineza del agregado grueso.

Rr: Porcentaje del agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado.

Rg: Porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total del agregado.

3.4.5. Elaboración de testigos de concreto:

De acuerdo a la norma NTP 339.183 (2013), las dimensiones de los testigos de concreto deben cumplir con una relación de 1:2 (diámetro: altura), para lo cual se emplean moldes de acero, los cuales son llenados en tres capas de concreto, aplicando 25 golpes con una varilla lisa.

Los moldes cilíndricos usados en la presente investigación son del tamaño convencional: 150mm de diámetro y de 300 mm de altura.

Para elaborar la mezcla de concreto se utilizó mezcladora, en la cual se inicia por incorporar el agregado grueso en la mezcladora, seguidamente, determinar el peso de los aditivos a incorporar en cada tratamiento y añadirlo al agua de mezclado. A continuación, iniciar el funcionamiento de la mezcladora y añadir el agregado fino, el cemento y el agua con los aditivos. El tiempo de mezclado de acuerdo a la norma NTP 339.183 (2013) es de 3 min consecutivos seguido de 3 min de reposo para culminar con 2 min adicionales de mezclado.

3.4.6. Asentamiento

El tipo de asentamiento recomendado según la norma ACI 211.1, está de acuerdo al tipo de construcción. Por ende, debido a que el mayor daño de estructuras expuestas a climas fríos se

da en elementos que presentar mayor área expuesta, se considera para la presente investigación un asentamiento de 3 a 4 pulgadas.

Tabla 10:

Asentamiento de la mezcla de concreto.

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	Asentamiento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Fundaciones, paredes, zapatas reforzadas y muros	80	20
Zapatas simples, caissons y muros de subestructura	80	20
Losas, vigas y paredes reforzadas	100	20
Columnas de edificios	100	20
Pavimentos	80	20
Construcción en masa	50	20

Fuente: Tabla 6.3.1 del reglamento ACI 211.1

3.4.7. Ensayo de presión

El procedimiento del Método de Presión, indicado en el ítem **2.2.9**, consiste en:

- 1.- Llenar el molde previamente humedecido con la mezcla de concreto fresco en tres capas de igual volumen, considerando un varillado de 25 veces por capa, pasando la capa inferior 25mm aproximadamente en cada varillado.
- 2.- Golpear la parte externa del cuenco con un mazo de goma de 10 a 15 veces, posteriormente enrasar la superficie utilizando la barra de enrasado considerando de no tener excesos ni deficiencias de concreto.
- 3.- Limpiar los bordes del cuenco de tal manera que no interfiera el sellado con la tapa, colocar el sistema de tapa y asegurar con los ganchos. A continuación, cerrar la válvula de purga de aire y abrir las dos llaves de purga.
- 4.- Añadir agua con un frasco de boquilla flexible por una de las llaves de purga hasta que el agua brote por la otra válvula del lado opuesto y seguidamente golpear ligeramente el medidor para eliminar el exceso de aire.
- 5.- Cerrar la válvula de aire principal e iniciar el bombeo hasta que el manómetro se encuentre en su posición inicial.

6.- Cerrar ambas llaves de purgas; abrir la válvula de aire principal y golpear ligeramente el cuenco.

7.- Golpear el manómetro para estabilizar la lectura y finalmente leer el porcentaje de aire indicado en el manómetro.

8.- Calcular el contenido de aire final restando el Factor de Corrección del Agregado, mediante la siguiente fórmula:

$$A_s = A_1 - G \quad (17)$$

Donde:

A_s : contenido de aire en la muestra ensayada, %

A_1 : contenido de aire aparente en la muestra ensayada, %

G : factor de corrección del agregado, %

El factor de corrección del agregado, se realiza con la mezcla del agregado fino y el agregado grueso, cuyas cantidades se determinan de la siguiente manera:

- Agregado Fino:

$$F_s = \left(\frac{S}{B} \right) \times F_b \quad (18)$$

Donde:

F_s : masa del agregado fino de la muestra de concreto en ensayo, kg

S : volumen de la muestra de concreto, m³.

B : volumen del concreto producido por tanda, m³

F_b : masa total del agregado fino en la tanda, en las condiciones de humedad usadas, kg

- Agregado Grueso:

$$C_s = \left(\frac{S}{B} \right) \times C_b \quad (19)$$

Donde:

Cs: masa del agregado grueso de la muestra de concreto en ensayo, en kg

S: volumen de la muestra de concreto (el mismo volumen del recipiente de medida), en m³

B: volumen del concreto producido por tanda, m³

Cb: masa del total del agregado grueso en la tanda, en las condiciones de humedad usadas, en kg

En el caso del molde B, el factor de corrección G, es igual a la lectura en la escala del contenido de aire menos el volumen de agua retirado del recipiente expresado como un porcentaje del volumen del recipiente de medición.

3.4.8. Resistencia del concreto a la compresión:

La resistencia a compresión de las probetas cilíndricas elaboradas se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.034 (2015), que describe los métodos estándar para ensayos de compresión de especímenes cilíndricos de concreto. El propósito de este ensayo es evaluar la habilidad del concreto para soportar cargas de compresión axial, que es uno de los indicadores clave para valorar su calidad y rendimiento estructural.

El ensayo se realizó utilizando una máquina de compresión calibrada, que aplica una carga axial de manera continua y uniforme hasta el momento de la falla del espécimen. La resistencia a la compresión se calculó dividiendo la carga máxima soportada por el área de la sección transversal de la probeta, expresándose en megapascuales (MPa).

3.5. Presentación de resultados

3.5.1. Propiedades de los agregados grueso y fino

La **Tabla 11**, muestra los valores obtenidos para cada propiedad del agregado fino y grueso de la cantera de los “Hermanos Ayala”. Para la obtención de dichos resultados se realizó cada ensayo tres veces para luego determinar el promedio, lo cual se detalla en el **Anexo A**.

Tabla 11:

Propiedades de los agregados fino y grueso empleados en la investigación.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	-	3/4"
Peso Específico de Masa (g/cm ³)	2.618	2.623
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (g/cm ³)	2.681	2.652
Peso Específico de Aparente (g/cm ³)	2.797	2.701
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1636.23	1466.17
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1755.85	1538.01
Contenido de Humedad (%)	4.68%	0.33%
Absorción (%)	1.27%	1.60%
Módulo de Finura	2.808	6.846
Porcentaje que pasa la malla N° 200	2.16%	0.31%

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Dosificación de los diseños de mezcla

Para determinar las dosificaciones del concreto tanto del tratamiento patrón AB0, como de los tratamientos de prueba (AB 1, AB 2, AB 3, AB 4 y AB 5), se utilizó el método de módulo de fineza de la combinación de agregados indicado en el ítem 3.4.3, considerado la mezcla de dos aditivos de acuerdo a las dosificaciones en porcentaje de peso del cemento indicadas en la **Tabla 12**.

Tabla 12:

Dosificaciones en porcentaje del peso del cemento para cada aditivo.

MATERIALES DE DISEÑO	AB0	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5
CONTENIDO DE SIKAMENT 290 N	0.989%	0.989%	0.989%	0.989%	0.989%	0.989%
CONTENIDO DE SIKAR® AER	0.00%	0.02%	0.04%	0.06%	0.08%	0.10%

Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla 13**, muestra las dosificaciones obtenidas del diseño de mezcla del tratamiento patrón y tratamientos de prueba. El detalle de los diseños se muestra en el **Anexo B**.

Tabla 13:

Dosificaciones de mezclas por tratamiento.

MATERIALES DE DISEÑO	AB0	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5
CEMENTO (Kg)	367.27	362.00	362.00	362.00	362.00	362.00
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO (Ltr)	161.60	144.80	144.80	144.80	144.80	144.80
AGREGADO FINO SECO (Kg)	764.14	754.79	748.91	743.04	737.16	731.29
AGREGADO GRUESO SECO PARCIAL (Kg)	940.33	928.81	921.59	914.36	907.13	899.90
AIRE TOTAL %	0.02	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
SIKAMENT® 290N (Ltr)	3.03	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98
SIKA® AER (Ltr)	0.00	0.07	0.14	0.21	0.29	0.36

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la tabla anterior fueron corregidos por humedad, cuyos resultados se muestran en la **Tabla 14**.

Tabla 14:

Dosificaciones de mezclas por tratamiento corregidas por humedad.

MATERIALES DE DISEÑO	AB0	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5
CEMENTO (Kg)	367.27	362.00	362.00	362.00	362.00	362.00
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO (Ltr)	147.43	130.81	130.92	131.03	131.13	131.24
AGREGADO FINO SECO (Kg)	799.93	790.14	783.99	777.84	771.69	765.54
AGREGADO GRUESO SECO PARCIAL (Kg)	943.48	931.92	924.68	917.42	910.17	902.91
AIRE TOTAL %	0.02	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
SIKAMENT® 290N (Ltr)	3.03	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98
SIKA® AER (Ltr)	0.00	0.07	0.14	0.21	0.29	0.36

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Consistencia de la mezcla

La consistencia de la mezcla del tratamiento patrón y tratamientos de prueba, fue determinada de acuerdo a la NTP 339.035(2015), los resultados se muestran en la **Tabla 15**.

Tabla 15:

Resultados de propiedades determinadas en estado fresco.

Propiedad	AB0	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5
Slump (pulg)	3.5"	3.7"	3.6"	3.5"	3.4"	3.8"

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Contenido de aire

Para determinar el contenido de aire se utilizó el método de presión (Método de Presión Olla de Washington) NTP 339.080 (2017), descrito en el ítem 3.4.7, cuyos resultados del promedio de tres mediciones, cuyos resultados se muestran en la **Tabla 16**. El detalle de los diseños se muestra en el **Anexo D**.

Tabla 16:

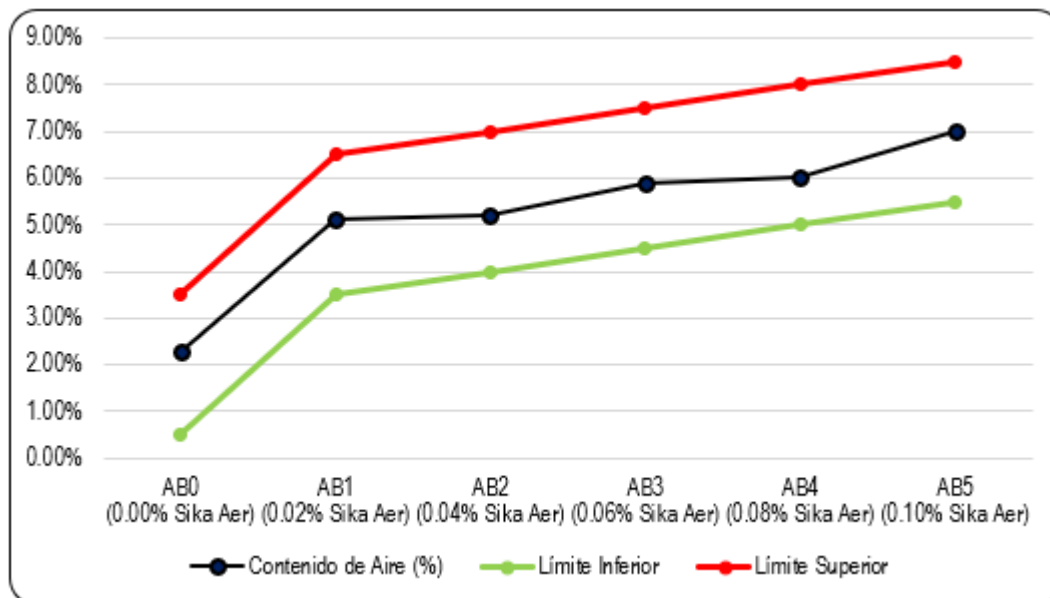
Contenidos de aire de diseño y contenidos de aire obtenidos.

Propiedad	AB0	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5
Contenido de Aire de Diseño (%)	2.00%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
Contenido total de Aire (%)	2.30%	5.10%	5.20%	5.90%	6.02%	7.00%
Contenido de Aire Incorporado (%)	0.00%	2.80%	2.90%	3.60%	3.72%	4.70%
Tolerancia	+1.5%	+1.5%	+1.5%	+1.5%	+1.5%	+1.5%
Límite Inferior	0.50%	3.50%	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%
Límite Superior	3.50%	6.50%	7.00%	7.50%	8.00%	8.50%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6:

Contenido de aire total por tratamiento (%)



Fuente: Elaboración propia.

Además, en la **Tabla 17** y en la **Figura 7**, se presenta la cantidad de aire incorporado para cada tratamiento de prueba, los cuales poseen diferentes dosificaciones de aditivo Sika Aer.

Tabla 17:

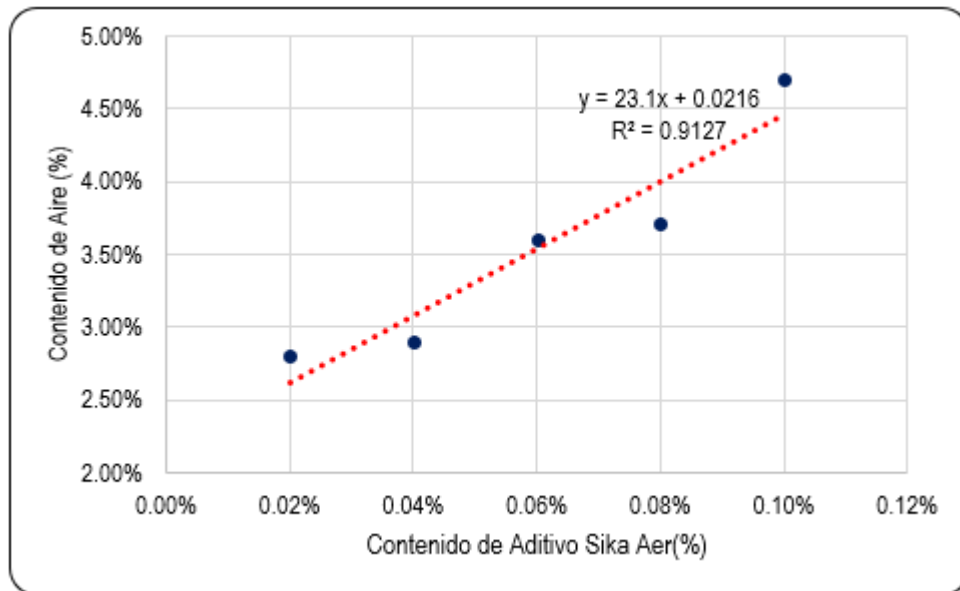
Cantidad de aire incorporado para cada tratamiento de prueba.

Propiedad	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5
Cantidad de aditivo Sika Aer	0.02%	0.04%	0.06%	0.08%	0.10%
Contenido de Aire Incorporado (%)	2.80%	2.90%	3.60%	3.72%	4.70%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7:

Contenido de aire (%) vs. cantidad de aditivo Sika Aer (%).



Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Resistencia a la compresión del concreto

Se realizó el ensayo de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para los cinco tratamientos de prueba más el tratamiento patrón, cuyos resultados se indican en la **Tabla 18**.

La resistencia a la compresión obtenida se representa en la

Figura 8.

Tabla 18:

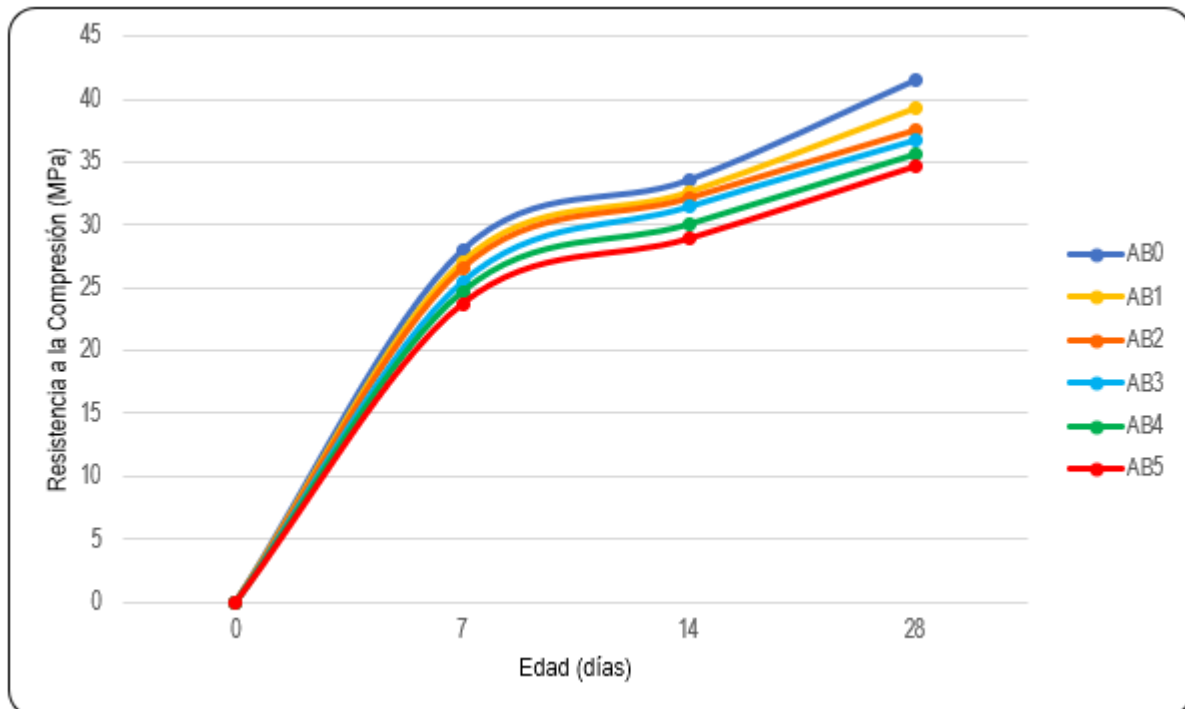
Resistencia a la compresión promedio obtenida para cada tratamiento.

Tratamiento	7 días		14 días		28 días	
	Resistencia Promedio (MPa)	Porcentaje (%)	Resistencia Promedio (MPa)	Porcentaje (%)	Resistencia Promedio (MPa)	Porcentaje (%)
AB0	27.998	93.33%	33.609	112.03%	41.556	138.52%
AB1	27.027	90.09%	32.553	108.51%	39.220	130.73%
AB2	26.542	88.47%	32.107	107.02%	37.502	125.01%
AB3	25.453	84.84%	31.448	104.83%	36.741	122.47%
AB4	24.643	82.14%	30.007	100.02%	35.558	118.53%
AB5	23.725	79.08%	28.920	96.40%	34.667	115.56%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 8:

Resistencia a la compresión del concreto vs edad del concreto.



Fuente: Elaboración propia.

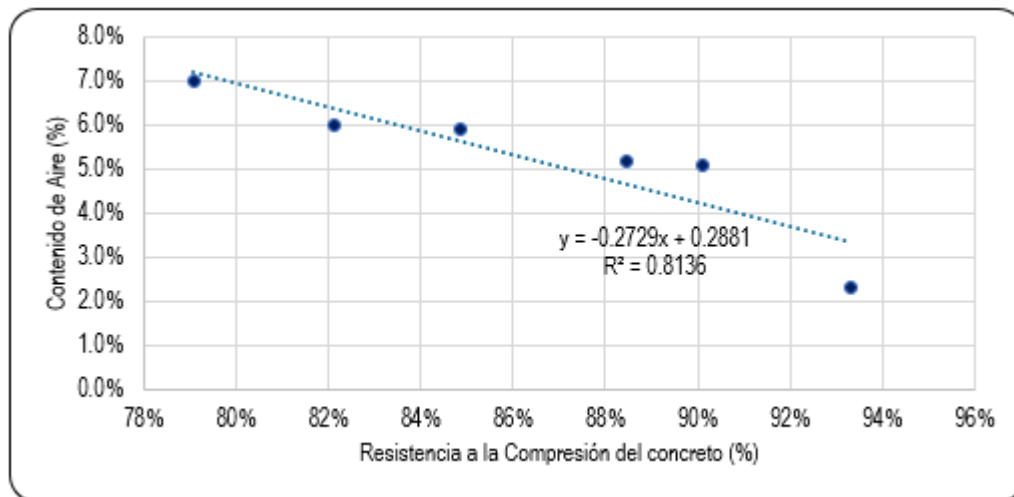
3.5.6. Variación de la resistencia en función al contenido de aire

3.5.6.1. Resistencia a los 7 días:

En la **Figura 9**, se muestra el promedio de la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días vs el contenido de aire.

Figura 9:

Resistencia a la compresión (7días) vs contenido de aire.



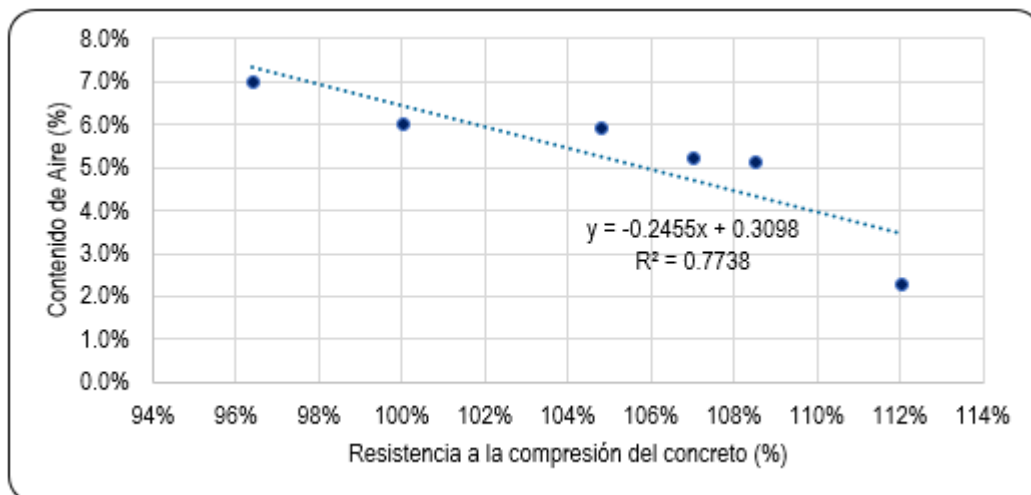
Fuente: Elaboración propia.

3.5.6.2. Resistencia a los 14 días:

En la **Figura 10**, se muestra el promedio de la resistencia a la compresión del concreto a los 14 días vs el contenido de aire.

Figura 10:

Resistencia a la compresión (14 días) vs contenido de aire.



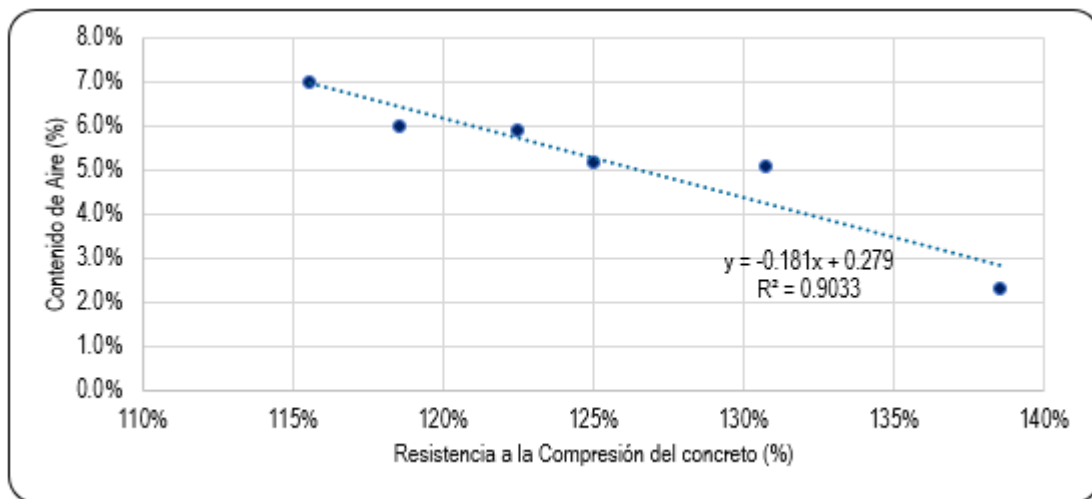
Fuente: Elaboración propia.

3.5.6.3. Resistencia a los 28 días:

En la **Figura 11**, se muestra el promedio de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días vs el contenido de aire.

Figura 11:

Resistencia a la compresión (28 días) vs contenido de aire.



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Propiedades de los agregados (fino y grueso)

Los agregados utilizados en la presente investigación cumplen con los requisitos especificados en la norma NTP 400.037 (2021), los cuales son:

- **Granulometría Agregado Grueso:** De acuerdo a los tres ensayos granulométricos realizados mostrados en las **Figuras 15, 16 y 17**, se verifica que la gradación del agregado grueso se encuentra dentro de los límites del Huso 67 de la **Tabla 7**. Además, se verifica el TMN de 3/4" y un módulo de finesa de 6.85.
- **Granulometría del agregado fino:** De acuerdo a los tres ensayos granulométricos realizados mostrados en las **Figuras 12, 13 y 14**, se verifica que la gradación del agregado fino se encuentra dentro de los límites de la **Tabla 9**. Además, se verifica un módulo de fineza de 2.81, encontrándose dentro de los límites recomendados por la norma NTP 400.037 (2021, pág. 8), es decir entre 2.3 y 3.1.
- **Resistencia a la degradación del agregado grueso:** De acuerdo a la **Tabla 40**, se encontró un valor promedio de pérdida de material del 26%, el cual es menor al valor máximo permitido de 50 % de la norma NTP 400.037.
- **Porcentaje que pasa por el tamiz N°200:** Para el agregado grueso se encontró un 2.16%, siendo el máximo porcentaje de 5%; mientras que para el agregado fino es de 0.31%, siendo el máximo porcentaje de 1%.

4.3. Propiedades del concreto fresco

4.3.1. Consistencia de la mezcla:

De acuerdo a los valores presentados en la **Tabla 15**, se concluye que la consistencia de la mezcla del tratamiento patrón y tratamientos de prueba se encuentra dentro del rango establecido de 3" a 4".

4.3.1. Contenido de Aire

Para la muestra patrón AB0, se consideró únicamente aire atrapado de 2.00%, mientras que para el resto de tratamientos (AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5), se consideró diferentes porcentajes de contenido de aire (5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%) considerando diferentes clases de exposición (F1, F2 y F3). Los porcentajes obtenidos fueron de 2.30%, 5.10%, 5.20%, 5.90%, 6.02% y 7.00% para los tratamientos de prueba AB0, AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5 respectivamente, los cuales se muestran en la

Figura 6.

Se determinó además el porcentaje de aire incorporado para cada tratamiento de prueba siendo estos valores de 2.80%, 2.90%, 3.60%, 3.72% y 4.70% para los tratamientos de prueba AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5 respectivamente. Dichos valores se muestran en la **Tabla 17** y en la **Figura 7**.

4.4. Resistencia a la compresión del concreto

De acuerdo a la **Tabla 18** y

Figura 8, se puede verificar que la resistencia a la compresión del concreto fue disminuyendo a medida que se incrementaba la cantidad de aditivo Sika ® Aer y por ende de contenido de aire en el concreto.

- A los 7 días la resistencia del concreto del tratamiento patrón AB0, el cual no posee aditivo incorporador de aire obtuvo un promedio de 27.998 MPa, mientras que del resto de tratamientos de prueba con aire incorporado (AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5) las resistencias a la compresión fueron de 27.027 MPa, 26.542 MPa, 25.453 MPa, 24.643 MPa y 23.725 respectivamente. Además, de acuerdo a la **Figura 9**, en la cual se compara la resistencia del concreto con la cantidad de aditivo incorporador de aire, se puede verificar que presenta una tendencia lineal con un coeficiente de determinación de R^2 de 0.8136.
- A los 14 días se obtuvieron resistencias a la compresión de 33.609 MPa, 32.553 MPa, 32.107 MPa, 31.448 MPa, 30.007 MPa, 28.920 MPa, para los tratamientos de prueba de AB0, AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5 respectivamente. Además, de acuerdo a la **Figura 10**, se puede verificar que presenta una tendencia lineal con un coeficiente de determinación de R^2 de 0.7738.
- A los 28 días se obtuvieron resistencias a la compresión de 41.556 MPa, 39.220 MPa, 37.502 MPa, 36.741 MPa, 35.558 MPa y 34.667 MPa para los tratamientos de prueba de AB0, AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5 respectivamente. Además, de acuerdo a la **Figura 11**, se puede verificar que presenta una tendencia lineal con un coeficiente de determinación de R^2 de 0.9033.

4.5. Contraste con la hipótesis planteada

Partiendo de la hipótesis planteada, en la cual se esperaba que por cada 1% de aire incorporado, la resistencia del concreto disminuyera en un 2%, se concluye que a los 28 días por cada 1% de aire incorporado la resistencia a la compresión del concreto disminuye un 2.54 %, notándose una disminución en la resistencia a la compresión menor al combinar el aditivo Sikament®-290N con el aditivo incorporador de aire Sika ® Aer.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La incorporación del aditivo Sika® Aer en un concreto de 30 MPa, fabricado con cemento Portland tipo MS y aditivo Sikament®-290N, genera un aumento en la resistencia a la compresión conforme disminuye el contenido de aire. Se observó que por cada 1% de aire incorporado, la resistencia a la compresión disminuyó en un 2.54%, lo que supera ligeramente la estimación inicial de la hipótesis. Las resistencias obtenidas a los 28 días fueron 138.52%, 130.73%, 125.01%, 122.47%, 118.53% y 115.56% para los tratamientos AB0, AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5, respectivamente. Estos resultados confirman la relación inversamente proporcional entre el contenido de aire incorporado y la resistencia a la compresión del concreto, validando la tendencia propuesta en la investigación.

- Se utilizó el método de presión según la norma NTP 339.080 para determinar un porcentaje de aire atrapado del 2.30% en el tratamiento patrón (AB0) y los siguientes valores de contenido de aire en los tratamientos de prueba: 5.10%, 5.20%, 5.90%, 6.02% y 7.00% para AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5, respectivamente. Además, se obtuvieron los siguientes valores de aire incorporado 2.80%, 2.90%, 3.60%, 3.72% y 4.70% para AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5, respectivamente.
- Existe una relación lineal entre la cantidad de aditivo Sika Aer (%) y el contenido de aire incorporado (%), es decir a mayor cantidad de aditivo incorporador de aire Sika® Aer, el contenido de aire aumenta. Para 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08% y 0.10% del peso del cemento de aditivo Sika® Aer, se obtuvieron 5.10%, 5.20%, 5.90%, 6.02% y 7.00% de contenido total de aire para AB1, AB2, AB3, AB4 y AB5, respectivamente. Además, se determinó que el aire de la mezcla aumenta 0.25% por cada 0.01% en peso del cemento de aditivo incorporador de aire Sika® Aer añadido a la muestra de concreto.
- La resistencia del concreto a los 28 días para para el tratamiento patrón AB0 con un contenido de aire de 2.30% fue de 138.52%, para el tratamiento de prueba AB1 con un contenido de aire de 5.10% la resistencia fue de 130.73%, para el tratamiento de prueba AB2 con un contenido de aire de 5.20% la resistencia fue de 125.01%, para el tratamiento de prueba AB3 con un contenido de aire de 5.90% la resistencia fue de 122.47%, para el tratamiento de prueba AB4 con un contenido de aire de 6.02% la resistencia fue de 118.53% y para el tratamiento de prueba AB5 con un contenido de aire de 7.00% la resistencia fue de 115.56% con respecto a la resistencia de diseño.

5.2. Recomendaciones

- Realizar investigaciones utilizando concretos con resistencias características diferentes a los 30 MPa, como concretos de menor resistencia (20 MPa) o concretos de alta resistencia (40-50 MPa), para determinar si la relación entre el contenido de aire incorporado y la resistencia a la compresión es consistente en diferentes mezclas.
- Incluir pruebas de durabilidad, como resistencia a ciclos de congelamiento y deshielo, penetración de cloruros y carbonatación, para evaluar cómo el contenido de aire incorporado afecta estas propiedades en concretos fabricados con aditivos incorporadores de aire.
- Replicar el estudio utilizando otros tipos de cemento Portland (por ejemplo, Tipo I, Tipo IP o Tipo HE) para analizar si la composición del cemento influye en la relación entre el contenido de aire incorporado y la resistencia a la compresión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2017). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO*. LIMA: San Marcos.
- Córdova Baldeón, I. (2019). *El proyecto de investigación cuantitativa*. Lima-Perú: San Marcos.
- Fernández Gálvez, I. (2019). *EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DEL ADITIVO AIR MIX 200 EN EL CONTENIDO TOTAL DE AIRE Y EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETOS RECICLADOS f_c : 210 Kg/cm²*. Cajamarca, Cajamarca, Perú: UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.
- H. Kosmatka, S., Kerkhoff, B., & C. Panarese, W. (2011). *Design and Control of Concrete Mixtures*. EEUU: Portland Cement Association.
- Institute, A. C. (2016). *Guide to Cold Weather Concreting*.
- Matallana Rodríguez, R. (2019). *EL CONCRETO: FUNDAMENTOS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS*. Colombia: Compañía Colombiana de Ceramica S.A.
- Merrit, F., Kent Loftin, M., & Ricketts, J. (2004). *Manual del Ingeniero Civil*. México: Mc Graw Hill.
- Metha, K., & Monteiro, P. (2014). *Concrete Microstructure, Properties, and Materials* (Vol. 4). EEUU: McGraw-Hill Professional.
- Morante Alva, N. E., & Arana Rivera, J. P. (2023). *Influencia del aditivo Sika-aer en la resistencia a la compresión del Concreto 320 kg/cm² en condiciones de hielo/deshielo, Huamachuco - 2023*. Trujillo, Perú.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *TÓPICOS DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO EN EL PERÚ*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional.
- Peña Torres, P. (2023). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE ELEMENTOS DE CONCRETO EN CLIMAS CON CONDICIONES ESPECIALES*. Lima: SENCICO.
- Polo Collantes, R. (2016). *Materiales de Construcción* (Primera ed.). Lima, Perú: Megabyte.
- Rivva López, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima: Aci Perú.
- Rivva López, E. (2015). *Diseño de Mezclas*. Lima: IMPRENTA WILLIAMS E.I.R.L.
- Sánchez, D. (2001). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO*. Colombia: BHANDAR EDITORES L.T.D.A.

Sika. (11 de Agosto de 2023). *Aditivo Polifuncional Sikament®-290 N 4L | Aditivos para concreto*. Obtenido de Sika Center, Pamer Perú: <https://pamerperu.com/producto/aditivo-polifuncional-sikament-290-n-4l/>

Sika. (11 de Noviembre de 2024). *Aditivo Incorporador de aire SikaAer® 4L | Aditivo para Concreto*. Obtenido de Sika Center, Pamer Perú: <https://pamerperu.com/producto/aditivo-incorporador-de-aire-sikaaer/>

Zabaleta, H. (1988). *Compendio de Tecnología del Hormigón*. Santiago, Chile: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.

Normas NTP

NTP 339.080 (2017). CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión. Norma Técnica Peruana.

NTP 400.037 (2021). AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones. Norma Técnica Peruana.

NTP 400.012 (2018). AGREGADOS. Análisis Granulométrico del agregado fino, grueso y global. Norma Técnica Peruana.

NTP 400.017 (2011). AGREGADOS. Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Masa por Unidad de Volumen o Densidad ("Peso Unitario") y los vacíos de los agregados. Norma Técnica Peruana.

NTP 334.082 (2020). CEMENTOS. Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño. Norma Técnica Peruana.

NTP 339.185 (2021). AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. Norma Técnica Peruana.

NTP 400.022 (2013). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y la absorción del agregado fino. Norma Técnica Peruana.

NTP 400.018 (2013). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N° 200) por lavado en agregados. Norma Técnica Peruana.

NTP 339.088 (2014). CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos. Norma Técnica Peruana.

NTP 339.035 (2015). CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland. Norma Técnica Peruana.

NTP 339.034 (2015). CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Norma Técnica Peruana.

Normas ASTM

ASTM C494 (2004). Especificación estándar para aditivos químicos para hormigón. American Society for Testing and Materials.

ASTM C125 (2013). Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. American Society for Testing and Materials.

Normas ACI

American Concrete Institute, ACI PRC-211.1-22 Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete—Guide, Farmington Hills, USA, 2022.

American Concrete Institute, ACI 318-2019 Building Code Requirements for Structural Concrete, Farmington Hills, USA, 2019.

American Concrete Institute, ACI 306R-2016 Guide to Cold Weather Concreting, Farmington Hills, USA, 2016.

ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

A.1. Ensayos de agregado fino

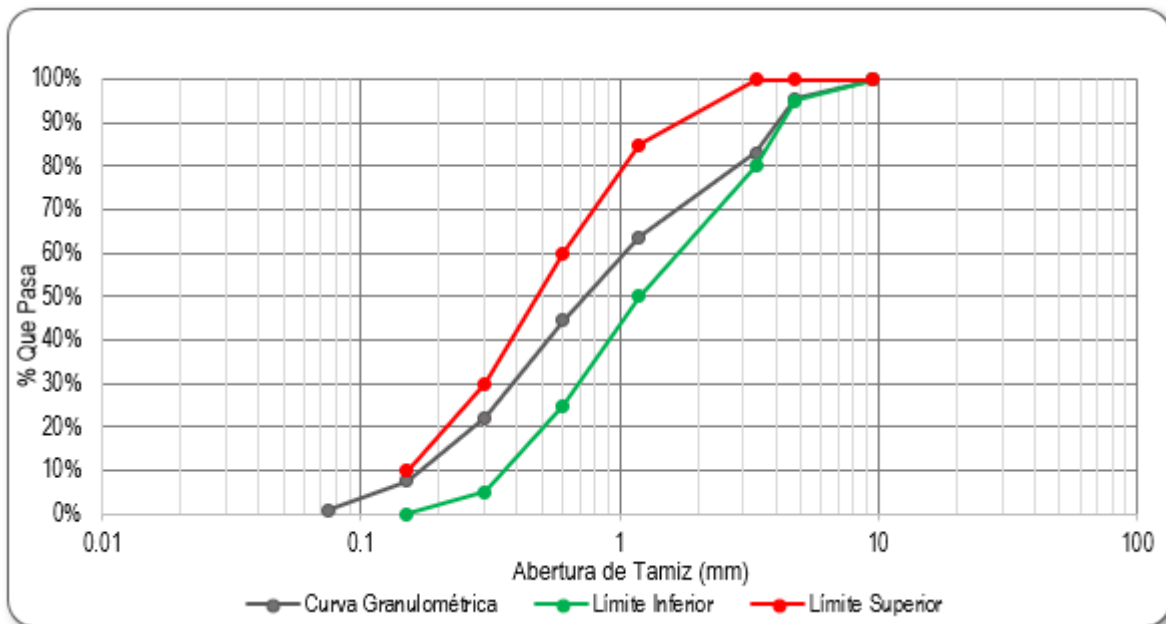
A.1.1. Análisis granulométrico

Tabla 19:
Análisis granulométrico de agregado fino (Muestra A).

Peso Seco inicial			1500		
N°	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Inicial (gr)	% Retenido Total	% Retenido Acumulado	% que Pasa
3/8"	9.525	0.00	0%	0%	100%
N°4	4.75	65.00	4%	4%	96%
N°8	3.36	187.00	12%	17%	83%
N°16	1.18	291.00	19%	36%	64%
N°30	0.6	288.00	19%	55%	45%
N°50	0.3	336.00	22%	78%	22%
N°100	0.15	218.00	15%	92%	8%
N°200	0.075	102.00	7%	99%	1%
Cazoleta	-	13.00	1%	100%	0%
TOTAL		1500			
MODULO DE FINURA				2.829	

Figura 12:

Curva granulométrica de agregado fino (Muestra A).



El análisis granulométrico cumple con la clasificación de agregado fino de la norma NTP 400.037.

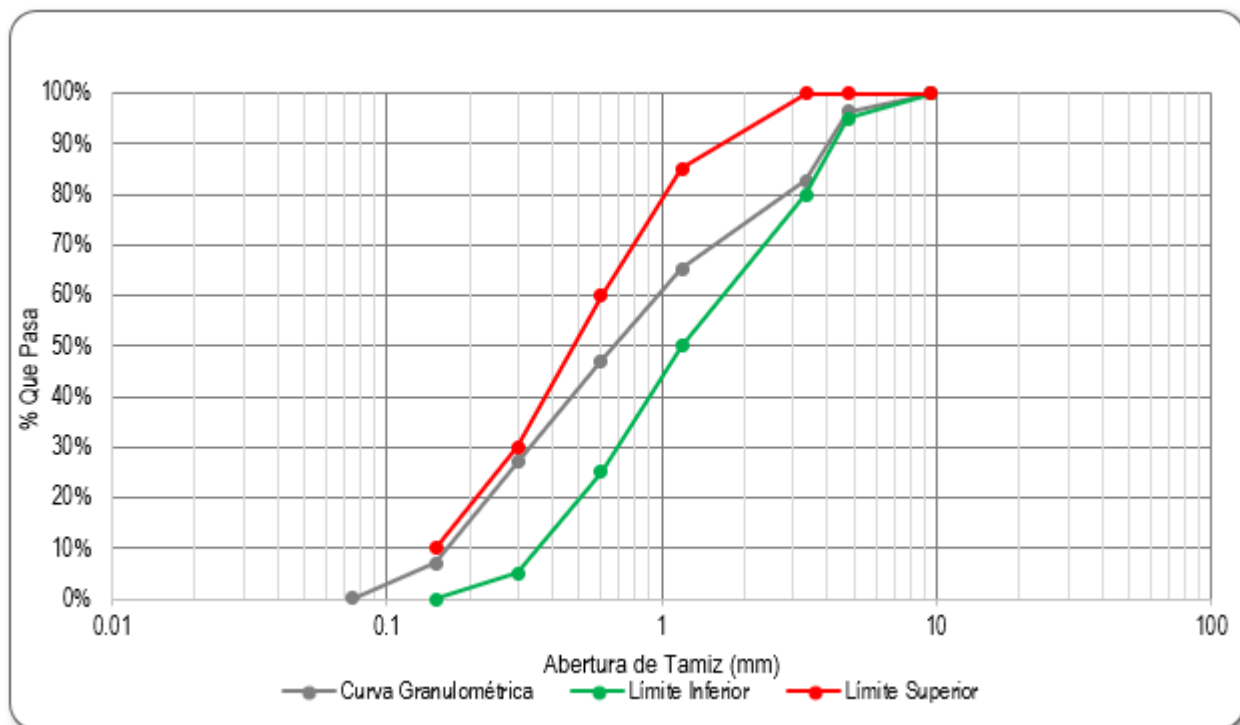
Tabla 20:

Análisis granulométrico de agregado fino (Muestra B).

Peso Seco inicial			1500		
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Inicial (gr)	% Retenido Total	% Retenido Acumulado	% Pasa que
3/8"	9.525	0.00	0%	0%	100%
N°4	4.75	56.00	4%	4%	96%
N°8	3.36	204.00	14%	17%	83%
N°16	1.18	260.00	17%	35%	65%
N°30	0.6	275.00	18%	53%	47%
N°50	0.3	298.50	20%	73%	27%
N°100	0.15	302.00	20%	93%	7%
N°200	0.075	102.20	7%	100%	0%
Cazoleta	-	2.30	0%	100%	0%
TOTAL		1500			
MODULO DE FINURA				2.747	

Figura 13:

Curva granulométrica de agregado fino (Muestra B).



El análisis granulométrico cumple con la clasificación de agregado fino de la norma NTP 400.037.

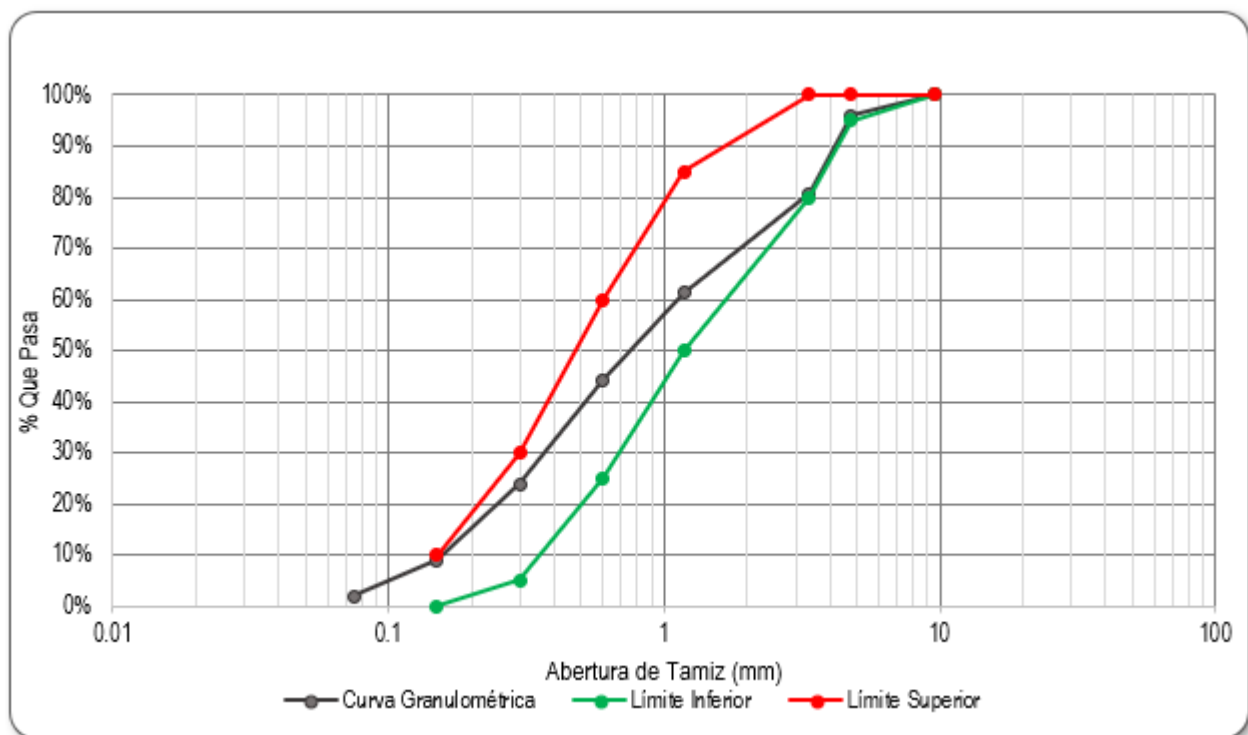
Tabla 21:

Análisis granulométrico de agregado fino (Muestra C).

Peso Seco inicial		1500			
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido Inicial (gr)	% Retenido		% que Pasa
			Total	Acumulado	
3/8"	9.525	0.00	0%	0%	100%
N°4	4.75	61.00	4%	4%	96%
N°8	3.36	227.52	15%	19%	81%
N°16	1.18	292.24	19%	39%	61%
N°30	0.6	255.42	17%	56%	44%
N°50	0.3	304.88	20%	76%	24%
N°100	0.15	225.40	15%	91%	9%
N°200	0.075	104.04	7%	98%	2%
Cazoleta	-	29.50	2%	100%	0%
TOTAL		1500			
MODULO DE FINURA				2.849	

Figura 14:

Curva granulométrica de agregado fino (Muestra C).



El análisis granulométrico cumple con la clasificación de agregado fino de la norma NTP 400.037.

A.1.2. Peso unitario del agregado fino

Tabla 22:

Determinación del peso específico del agua.

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso de la fiola en (g) =	140	140	140	
Peso de la fiola +agua (g) =	638.87	638.12	638.91	
Volumen de la fiola (cm3) =	500.00	500.00	500.00	
Peso específico (g/cm3) =	0.998	0.996	0.998	0.997
Peso específico (kg/m3) =	997.740	996.240	997.820	997.267

Tabla 23:

Determinación del factor "f"

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso del Molde (g) =	1994	1994	1994	
Peso del Molde +Agua (g) =	4870	4862.3	4875.2	
Peso Agua (kg) =	2.876	2.868	2.881	2.875
f (1/m3) =	346.919	347.328	346.321	346.856

Tabla 24:

Peso unitario suelto del agregado fino (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso del recipiente (g)	1994.00	1994.00	1994.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	6747.00	6674.00	6712.95	
Peso de la muestra suelta (g)	4753.000	4680.000	4718.950	
Factor (f) (1/m3)	346.856	346.856	346.856	
Peso Unitario Suelto (g/cm3)	1.649	1.623	1.637	1.636
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	1648.607	1623.286	1636.796	1636.230

Tabla 25:

Peso unitario compactado del agregado fino (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso del recipiente (g)	1994.00	1994.00	1994.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente (g)	7119.65	7031.40	7017.50	
Peso de la muestra Compactada (g)	5125.650	5037.400	5023.500	
Factor (f) (1/m ³)	346.856	346.856	346.856	
Peso Unitario Compactado (g/cm³)	1.778	1.747	1.742	1.756
Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1777.862	1747.252	1742.431	1755.849

A.1.3. Peso Específico y % de absorción

Tabla 26:

Peso específico por el procedimiento gravimétrico (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso de la fiola (g)	140.00	140.00	140.00	
B: Peso de la fiola +agua hasta menisco (g)	635.72	634.95	632.80	
C: Peso de la fiola +agua + muestra (g)	949.25	947.60	948.58	
S: Peso de la muestra superficialmente seca (g)	500.00	500.00	500.00	
A: Peso de la muestra secada al horno (g)	490.90	488.30	485.10	
Peso Específico de Masa (g/cm³)	2.626	2.600	2.627	2.618
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (g/cm³)	2.675	2.662	2.707	2.681
Peso Específico de Aparente (g/cm³)	2.761	2.773	2.858	2.797

Tabla 27:

Porcentaje de absorción (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso de la muestra superficialmente seca (g)	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno (g)	489.96	494.91	496.38	
Absorción (%)	2.05%	1.03%	0.73%	1.27%

A.1.4. Contenido de humedad

Tabla 28:

Ensayo de contenido de humedad (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso del Recipiente (g)	359.00	357.00	358.00	
Peso del Recipiente + muestra húmeda (g)	1664.00	1559.00	1653.00	
Peso del Recipiente + muestra seca (g)	1607.00	1504.00	1595.00	
Contenido de Humedad (%)	4.57%	4.80%	4.69%	4.68%

A.1.5. Ensayo partículas < N° 200 para el agregado fino

Tabla 29:

Ensayo partículas < N° 200 para el agregado fino (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso de Muestra Original (g)	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra Lavada (g)	489.14	489.07	489.46	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200 (g)	10.86	10.93	10.54	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	2.172%	2.186%	2.108%	2.16%

A.2. Ensayos de agregado grueso

A.2.1. Análisis granulométrico del agregado grueso

Tabla 30:

Análisis granulométrico de agregado grueso (Muestra A).

Peso Seco inicial		5000			
N°	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Inicial (gr)	% Retenido		% que Pasa
			Total	Acumulado	
3/4"	19.05	444.38	8.89%	8.89%	91%
1/2"	12.7	1660.00	33.20%	42.09%	58%
3/8"	9.525	1671.25	33.43%	75.51%	24%
N°4	4.75	1224.38	24.49%	100.00%	0%
TOTAL		5000			
MODULO DE FINURA				6.844	

Figura 15:

Curva granulométrica de agregado grueso (Muestra A).

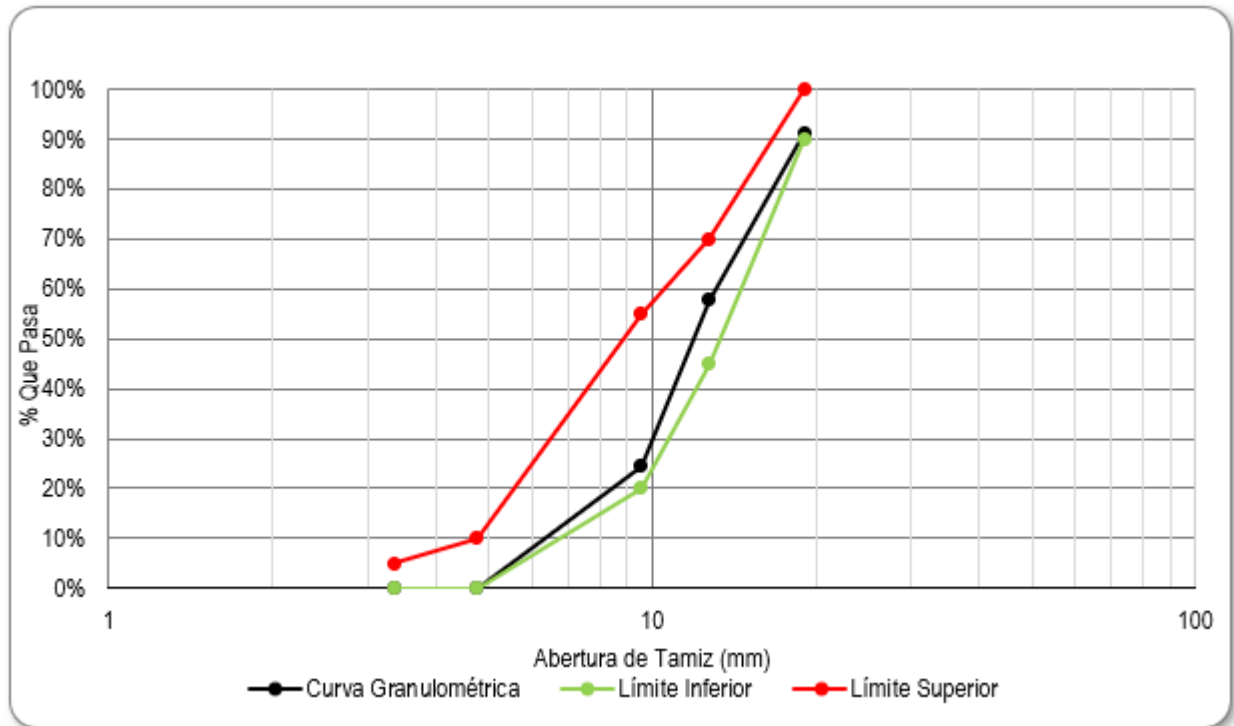


Tabla 31:

Análisis granulométrico de agregado grueso (Muestra B).

Peso Seco inicial			5000		
N°	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Inicial (gr)	% Retenido Total	% Retenido Acumulado	% que Pasa
3/4"	19.05	497.70	9.95%	9.95%	90%
1/2"	12.7	1577.00	31.54%	41.49%	59%
3/8"	9.525	1788.24	35.76%	77.26%	23%
N°4	4.75	1137.06	22.74%	100.00%	0%
TOTAL		5000			
MODULO DE FINURA				6.872	

Figura 16:

Curva granulométrica de agregado grueso (Muestra B).

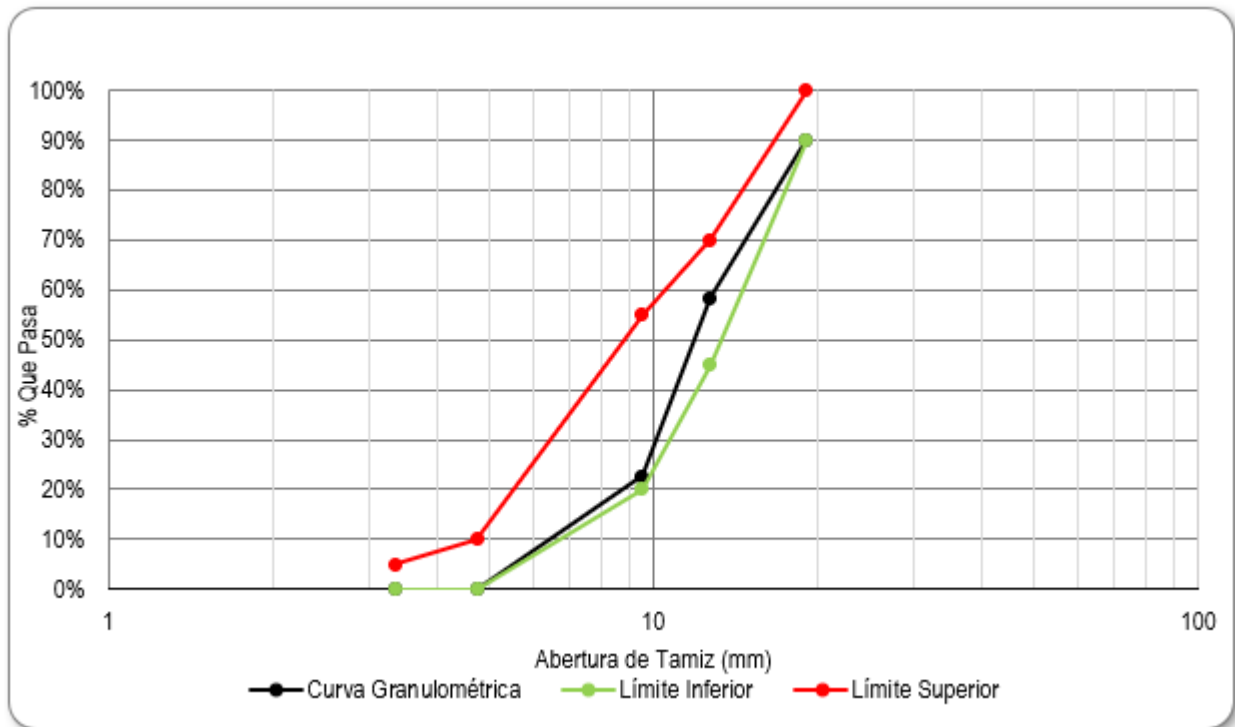


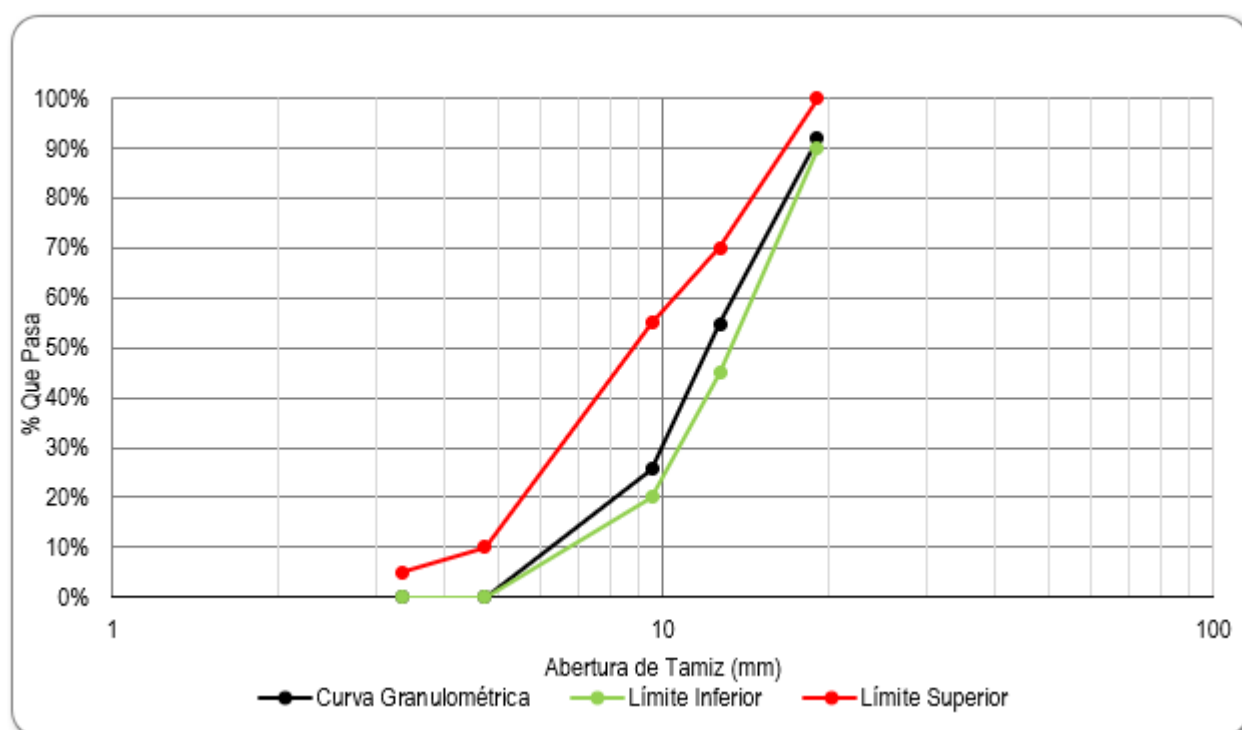
Tabla 32:

Análisis granulométrico de agregado grueso (Muestra C).

Peso Seco inicial			5000		
N°	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Inicial (gr)	% Retenido Total	% Retenido Acumulado	% que Pasa
3/4"	19.05	398.46	7.97%	7.97%	92%
1/2"	12.7	1863.02	37.26%	45.23%	55%
3/8"	9.525	1454.98	29.10%	74.33%	26%
N°4	4.75	1283.54	25.67%	100.00%	0%
TOTAL		5000			
MODULO DE FINURA				6.823	

Figura 17:

Curva granulométrica de agregado grueso (Muestra C).



A.2.2. Peso unitario del agregado grueso

Tabla 33:

Determinación del factor "f".

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso del Molde (g) =	11913.00	11913.00	11913.00	
Peso del Molde +Agua (g) =	21615.00	21612.00	21616.00	
Peso Agua (Kg) =	9.702	9.699	9.703	9.701
f (1/m3) =	102.839	102.716	102.836	102.797

Tabla 34:

Peso unitario suelto del agregado grueso (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso del recipiente (g)	11913.00	11913.00	11913.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	26196.00	26211.00	26103.00	
Peso de la muestra suelta (g)	14283.00	14298.00	14190.00	
Factor (f) (1/m3)	102.839	102.839	102.839	
Peso Unitario Suelto (g/cm3)	1.469	1.470	1.459	1.466
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1468.844	1470.386	1459.280	1466.170

Tabla 35:

Peso unitario compactado del agregado grueso (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso del recipiente (g)	11913.00	11913.00	11913.00	
Peso de muestra compactada + recipiente (g)	26868.00	26876.00	26880.00	
Peso de la muestra compactada (g)	14955.000	14963.000	14967.000	
Factor (f) (1/m ³)	102.797	102.797	102.797	
Peso Unitario Compactado (g/cm³)	1.537	1.538	1.539	1.538
Peso Unitario Compactado (Kg/m³)	1537.327	1538.149	1538.561	1538.012

A.2.3. Peso específico y % de absorción

Tabla 36:

Peso específico del agregado grueso (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida (g)	2643.80	2644.30	2642.90	
Peso de canastilla sumergida (g)	775.00	775.00	775.00	
B: Peso de la muestra superficialmente Seca (g)	3000.00	3000.00	3000.00	
A: Peso de la muestra secada al horno (g)	2967.10	2967.40	2966.70	
C: Peso de la muestra sumergida en el agua (g)	1868.80	1869.30	1867.90	
Peso Específico de Masa (g/cm³)	2.623	2.624	2.621	2.623
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (g/cm³)	2.652	2.653	2.650	2.652
Peso Específico de Aparente (g/cm³)	2.702	2.702	2.700	2.701

Tabla 37:

Porcentaje de absorción del agregado grueso (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso de la muestra superficialmente seca (g)	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno (g)	2951.00	2954.00	2953.00	
Absorción (%)	1.66%	1.56%	1.59%	1.60%

A.2.4. Contenido de Humedad

Tabla 38:

Contenido de humedad del agregado grueso (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso del Recipiente (g)	360.00	361.00	357.00	
Peso del Recipiente + muestra Húmeda (g)	1457.00	1566.00	1669.00	
Peso del Recipiente + muestra seca (g)	1453.00	1562.00	1665.00	
Contenido de Humedad (%)	0.37%	0.33%	0.31%	0.33%

A.2.5. Ensayo partículas < N° 200 para el agregado grueso

Tabla 39:

Ensayo partículas < N° 200 para el agregado grueso (Muestra A, B y C).

Descripción	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio
Peso de Muestra Original (g)	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra Lavada (g)	2990.10	2991.60	2990.70	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200 (g)	9.90	8.40	9.30	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	0.330%	0.280%	0.310%	0.31%

A.2.6. Ensayo de abrasión

Tabla 40:

Resistencia a la degradación para el agregado grueso (Muestra A, B y C).

Grad.	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./min)	N° de Revoluciones	TMN	Peso de la Muestra (g.)
B	Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
ENSAYOS				Muestra A	Muestra B	Muestra C
C: Peso Inicial de la muestra seca al horno (g)				5000	5000	5000
Y: Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				3677	3701	3692
% Desg. = ((C - Y) / C) x 100				26.46	25.98	26.16
% Desgaste Promedio				26.00		

ANEXO B: DISEÑOS DE MEZCLA

B.1. Diseño de mezcla tratamiento patrón (AB0)

B.1.1 Propiedades de los materiales:

Descripción	Tipo	Peso Específico	Cantidad
Cemento	Pacasmayo Tipo MS	2.93 gr/cm3	-
Aditivo Superplastificante	Sikament® - 290 N	1.2 gr/cm3	0.989%

CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	-	3/4"
Peso Específico de Masa (g/cm3)	2.618	2.623
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (g/cm3)	2.681	2.652
Peso Específico de Aparente (g/cm3)	2.797	2.701
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1636.23	1466.17
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)	1755.85	1538.01
Contenido de Humedad (%)	4.68%	0.33%
Absorción (%)	1.27%	1.60%
Módulo de Finura	2.808	6.846
Porcentaje que pasa la malla N° 200	2.16%	0.31%

B.1.2 Consideraciones de diseño:

Consistencia de la mezcla =	3" - 4"	
Resistencia de diseño =	30 MPa	≈ 306 Kg/cm2
Resistencia promedio requerida =	39 MPa	≈ 393 Kg/cm2 Tabla 43

B.1.3 Contenido de aire atrapado:

Aire (%) =	2.0%	Tabla 44
------------	------	-----------------

B.1.4 Cantidad de agua de mezclado:

Agua (Ltrs) =	202.00	Tabla 44
Reducción de agua por superplastificante =	20%	Ficha Técnica del fabricante
Agua (Ltrs) =	161.60	

B.1.5 Relación Agua/Cemento:

a/c (por resistencia) =	0.44	Tabla 45
a/c (por durabilidad-exposición a sulfatos) =	0.50	Tabla 46
a/c =	0.44	

B.1.6 Cantidad de Cemento:

Cemento (Kg/m3)=	367.270
Cemento (bls)=	8.64

B.1.7 Modulo de fineza de la combinación de agregados:

Vacíos =	41.3561	Tabla 51	Agregado Fino (%) =	44.880
Vacíos por corregir =	6.3561		Agregado Grueso (%) =	55.120
Factor de Corrección MC =	0.1271			
Modulo de la combinación =	5.1612			
Mc Corregido=	5.0341			

B.1.8 Volúmenes Absolutos de los componentes:

Cemento (m3) =	0.1250		
Agua (m3) =	0.2020		Agregado Fino Seco (Kg/m3) = 764.140
Aire (m3) =	0.0200		Agregado Grueso Seco (Kg/m3) = 940.330
Sikament (m3) =	0.0025		
Volumen de la Pasta (m3) =	0.3495		
Volumen de Agregados (m3) =	0.650		

B.1.9 Corrección por humedad:

Aporte de humedad Agregado Fino =	26.09	Aporte Total (%)=	14.170
Aporte de humedad Agregado Grueso =	-11.92		

B.1.10 Componentes de la mezcla:

MATERIALES DE DISEÑO		MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Cemento (Kg)=	367.27	Cemento (Kg)=	367.27
Agua de diseño (Ltrs)=	161.60	Agua efectiva (Ltrs)=	147.43
Agregado fino seco (Kg)=	764.14	Agregado fino húmedo (Kg)=	799.93
Agregado grueso seco (Kg)=	940.33	Agregado grueso húmedo (Kg)=	943.48
Aire Total (%)=	2.00%	Aire Total (%)=	2.00%
Sikament 290N (Ltrs)=	3.027	Sikament 290N (Ltrs)=	3.027
Sika Aer(Ltrs)=	0.00	Sika Aer(Ltrs)=	0.00

B.1.11 Proporciones:

EN PESO		EN VOLUMEN	
Cemento (Kg)=	1.00	Cemento (Kg)=	1.00
Agua (Ltrs/bolsa)=	17.06	Agua efectiva (Ltrs)=	17.06
Agregado fino (Kg)=	2.18	Agregado fino húmedo (Kg)=	2.00
Agregado grueso (Kg)=	2.57	Agregado grueso húmedo (Kg)=	2.63
Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00	Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00
Sika Aer(cm3/bolsa)=	0.00	Sika Aer(cm3/bolsa)=	0.00

B.2. Diseño de mezcla tratamiento de prueba (AB1)

B.2.1 Propiedades de los materiales:

Descripción	Tipo	Peso Específico	Cantidad
Cemento	Pacasmayo Tipo MS	2.93 gr/cm ³	-
Aditivo Superplastificante	Sikament® - 290 N	1.2 gr/cm ³	0.989%
Aditivo Incorporador de Aire	Sika® Aer	1.015 gr/cm ³	0.020%

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	-	3/4"
Peso Específico de Masa (g/cm ³)	2.618	2.623
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (g/cm ³)	2.681	2.652
Peso Específico de Aparente (g/cm ³)	2.797	2.701
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1636.23	1466.17
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1755.85	1538.01
Contenido de Humedad (%)	4.68%	0.33%
Absorción (%)	1.27%	1.60%
Módulo de Finura	2.808	6.846
Porcentaje que pasa la malla N° 200	2.16%	0.31%

B.2.2 Consideraciones de diseño:

Consistencia de la mezcla =	3" - 4"		
Resistencia de diseño =	30 MPa	≈	305.92 Kg/cm ²
Resistencia promedio requerida =	38.5 MPa	≈	392.59 Kg/cm ² Tabla 43

B.2.3 Contenido de aire:

Aire (%) =	5.0%	Tabla 46
------------	------	-----------------

B.2.4 Cantidad de agua de mezclado:

Agua (Ltrs) =	181.00	Tabla 44
Reducción de agua por superplastificante =	20%	Ficha Técnica del fabricante
Agua (Ltrs) =	144.80	

B.2.5 Relación Agua/Cemento:

a/c (por resistencia) =	0.40	Tabla 45
a/c (por durabilidad-exposición a sulfatos) =	0.50	Tabla 46
a/c (por durabilidad-exposición a congelamiento y deshielo) =	0.55	Tabla 47
a/c =	0.40	

B.2.6 Cantidad de Cemento:

Cemento (Kg/m ³)=	362.000
Cemento (bls)=	8.52

B.2.7 Modulo de fineza de la combinación de agregados:

Vacíos =	41.3561	Agregado Fino (%) =	44.880
Vacíos por corregir =	6.3561	Agregado Grueso (%) =	55.120
Factor de Corrección MC =	0.1271		
Modulo de la combinación =	5.1612		
Mc Corregido=	5.0341		

B.2.8 Volúmenes Absolutos de los componentes:

Cemento (m3) =	0.1240	Agregado Fino Seco (Kg/m3) =	754.790
Agua (m3) =	0.1810	Agregado Grueso Seco (Kg/m3) =	928.810
Aire (m3) =	0.0500		
Sikament (m3) =	0.0025		
Volumen de la Pasta (m3) =	0.3575		
Volumen de Agregados (m3) =	0.643		

B.2.9 Corrección por humedad:

Aporte de humedad Agregado Fino =	25.77	Aporte Total (%)=	13.990
Aporte de humedad Agregado Grueso =	-11.78		

B.2.10 Componentes de la mezcla:

MATERIALES DE DISEÑO	
Cemento (Kg)=	362
Agua de diseño (Ltrs)=	144.80
Agregado fino seco (Kg)=	754.79
Agregado grueso seco (Kg)=	928.81
Aire Total (%)=	5.00%
Sikament 290N (Ltrs)=	2.983
Sika Aer(Ltrs)=	0.07

MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Cemento (Kg)=	362
Agua efectiva (Ltrs)=	130.81
Agregado fino húmedo (Kg)=	790.14
Agregado grueso húmedo (Kg)=	931.92
Aire Total (%)=	5.00%
Sikament 290N (Ltrs)=	2.983
Sika Aer(Ltrs)=	0.07

B.2.11 Proporciones:

EN PESO	
Cemento (Kg)=	1.00
Agua (Ltrs/bolsa)=	15.36
Agregado fino (Kg)=	2.18
Agregado grueso (Kg)=	2.57
Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00
Sika Aer(cm3/bolsa)=	8.37

EN VOLUMEN	
Cemento (Kg)=	1.00
Agua efectiva (Ltrs)=	15.36
Agregado fino húmedo (Kg)=	2.00
Agregado grueso húmedo (Kg)=	2.63
Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00
Sika Aer(cm3/bolsa)=	8.37

B.3. Diseño de mezcla tratamiento de prueba (AB2)

B.3.1 Propiedades de los materiales:

Descripción	Tipo	Peso Específico	Cantidad
Cemento	Pacasmayo Tipo MS	2.93 gr/cm ³	-
Aditivo Superplastificante	Sikament® - 290 N	1.2 gr/cm ³	0.989%
Aditivo Incorporador de Aire	Sika® Aer	1.015 gr/cm ³	0.020%

CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	-	3/4"
Peso Específico de Masa (g/cm ³)	2.618	2.623
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (g/cm ³)	2.681	2.652
Peso Específico de Aparente (g/cm ³)	2.797	2.701
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1636.23	1466.17
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1755.85	1538.01
Contenido de Humedad (%)	4.68%	0.33%
Absorción (%)	1.27%	1.60%
Módulo de Finura	2.808	6.846
Porcentaje que pasa la malla N° 200	2.16%	0.31%

B.3.2 Consideraciones de diseño:

Consistencia de la mezcla =	3" - 4"		
Resistencia de diseño =	30 MPa	≈	305.92 Kg/cm ²
Resistencia promedio requerida =	38.5 MPa	≈	392.59 Kg/cm ²

Tabla 43

B.3.3 Contenido de aire:

Aire (%) =	5.5%	Tabla 46
------------	------	-----------------

B.3.4 Cantidad de agua de mezclado:

Agua (Ltrs) =	181.00	Tabla 44
Reducción de agua por superplastificante =	20%	Ficha Técnica del fabricante
Agua (Ltrs) =	144.80	

B.3.5 Relación Agua/Cemento:

a/c (por resistencia) =	0.40	Tabla 45
a/c (por durabilidad-exposición a sulfatos) =	0.50	Tabla 46
a/c (por durabilidad-exposición a congelamiento y deshielo) =	0.55	Tabla 47
a/c =	0.40	

B.3.6 Cantidad de Cemento:

Cemento (Kg/m ³)=	362.000
Cemento (bls)=	8.52

B.3.7 Modulo de fineza de la combinación de agregados:

Vacíos =	41.3561	Agregado Fino (%) =	44.880
Vacíos por corregir =	6.3561	Agregado Grueso (%) =	55.120
Factor de Corrección MC =	0.1271		
Modulo de la combinación =	5.1612		
Mc Corregido=	5.0341		

B.3.8 Volúmenes Absolutos de los componentes:

Cemento (m3) =	0.1240	Agregado Fino Seco (Kg/m3) =	748.910
Agua (m3) =	0.1810	Agregado Grueso Seco (Kg/m3) =	921.590
Aire (m3) =	0.0550		
Sikament (m3) =	0.0025		
Volumen de la Pasta (m3) =	0.3625		
Volumen de Agregados (m3) =	0.638		

B.3.9 Corrección por humedad:

Aporte de humedad Agregado Fino =	25.57	Aporte Total (%)=	13.880
Aporte de humedad Agregado Grueso =	-11.69		

B.3.10 Componentes de la mezcla:

MATERIALES DE DISEÑO		MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Cemento (Kg)=	362	Cemento (Kg)=	362
Agua de diseño (Ltrs)=	144.80	Agua efectiva (Ltrs)=	130.92
Agregado fino seco (Kg)=	748.91	Agregado fino húmedo (Kg)=	783.99
Agregado grueso seco (Kg)=	921.59	Agregado grueso húmedo (Kg)=	924.68
Aire Total (%)=	5.50%	Aire Total (%)=	5.50%
Sikament 290N (Ltrs)=	2.983	Sikament 290N (Ltrs)=	2.983
Sika Aer(Ltrs)=	0.14	Sika Aer(Ltrs)=	0.14

B.3.11 Proporciones:

EN PESO		EN VOLUMEN	
Cemento (Kg)=	1.00	Cemento (Kg)=	1.00
Agua (Ltrs/bolsa)=	15.37	Agua efectiva (Ltrs)=	15.37
Agregado fino (Kg)=	2.17	Agregado fino húmedo (Kg)=	2.00
Agregado grueso (Kg)=	2.55	Agregado grueso húmedo (Kg)=	2.61
Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00	Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00
Sika Aer(cm3/bolsa)=	16.75	Sika Aer(cm3/bolsa)=	16.75

B.4. Diseño de mezcla tratamiento de prueba (AB3)

B.4.1 Propiedades de los materiales:

Descripción	Tipo	Peso Específico	Cantidad
Cemento	Pacasmayo Tipo MS	2.93 gr/cm3	-
Aditivo Superplastificante	Sikament® - 290 N	1.2 gr/cm3	0.989%
Aditivo Incorporador de Aire	Sika® Aer	1.015 gr/cm3	0.020%

CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	-	3/4"
Peso Específico de Masa (g/cm3)	2.618	2.623
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (g/cm3)	2.681	2.652
Peso Específico de Aparente (g/cm3)	2.797	2.701
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1636.23	1466.17
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)	1755.85	1538.01
Contenido de Humedad (%)	4.68%	0.33%
Absorción (%)	1.27%	1.60%
Módulo de Finura	2.808	6.846
Porcentaje que pasa la malla N° 200	2.16%	0.31%

B.4.2 Consideraciones de diseño:

Consistencia de la mezcla =	3" - 4"		
Resistencia de diseño =	30 MPa	≈ 305.92 Kg/cm2	
Resistencia promedio requerida =	38.5 MPa	≈ 392.59 Kg/cm2	Tabla 43

B.4.3 Contenido de aire:

Aire (%) =	6.0%	Tabla 46
------------	------	-----------------

B.4.4 Cantidad de agua de mezclado:

Agua (Ltrs) =	181.00	Tabla 44
Reducción de agua por superplastificante =	20%	Ficha Técnica del fabricante
Agua (Ltrs) =	144.80	

B.4.5 Relación Agua/Cemento:

a/c (por resistencia) =	0.40	Tabla 45
a/c (por durabilidad-exposición a sulfatos) =	0.50	Tabla 46
a/c (por durabilidad-exposición a congelamiento y deshielo) =	0.45	Tabla 47
a/c =	0.40	

B.4.6 Cantidad de Cemento:

Cemento (Kg/m3)=	362.00
Cemento (bls)=	8.52

B.4.7 Modulo de fineza de la combinación de agregados:

Vacíos =	41.3561	Agregado Fino (%) =	44.880
Vacíos por corregir =	6.3561	Agregado Grueso (%) =	55.120
Factor de Corrección MC =	0.1271		
Modulo de la combinación =	5.1612		
Mc Corregido=	5.0341		

B.4.8 Volúmenes Absolutos de los componentes:

Cemento (m3) =	0.1240	Agregado Fino Seco (Kg/m3) =	743.040
Agua (m3) =	0.1810	Agregado Grueso Seco (Kg/m3) =	914.360
Aire (m3) =	0.0600		
Sikament (m3) =	0.0025		
Volumen de la Pasta (m3) =	0.3675		
Volumen de Agregados (m3) =	0.633		

B.4.9 Corrección por humedad:

Aporte de humedad Agregado Fino =	25.37	Aporte Total (%)=	13.770
Aporte de humedad Agregado Grueso =	-11.6		

B.4.10 Componentes de la mezcla:

MATERIALES DE DISEÑO		MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Cemento (Kg)=	362	Cemento (Kg)=	362
Agua de diseño (Ltrs)=	144.80	Agua efectiva (Ltrs)=	131.03
Agregado fino seco (Kg)=	743.04	Agregado fino húmedo (Kg)=	777.84
Agregado grueso seco (Kg)=	914.36	Agregado grueso húmedo (Kg)=	917.42
Aire Total (%)=	6.00%	Aire Total (%)=	6.00%
Sikament 290N (Ltrs)=	2.983	Sikament 290N (Ltrs)=	2.983
Sika Aer(Ltrs)=	0.21	Sika Aer(Ltrs)=	0.21

B.4.11 Proporciones:

EN PESO		EN VOLUMEN	
Cemento (Kg)=	1.00	Cemento (Kg)=	1.00
Agua (Ltrs/bolsa)=	15.38	Agua efectiva (Ltrs)=	15.38
Agregado fino (Kg)=	2.15	Agregado fino húmedo (Kg)=	2.00
Agregado grueso (Kg)=	2.53	Agregado grueso húmedo (Kg)=	2.59
Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00	Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00
Sika Aer(cm3/bolsa)=	25.12	Sika Aer(cm3/bolsa)=	25.12

B.5. Diseño de mezcla tratamiento de prueba (AB4)

B.5.1 Propiedades de los materiales:

Descripción	Tipo	Peso Específico	Cantidad
Cemento	Pacasmayo Tipo MS	2.93 gr/cm ³	-
Aditivo Superplastificante	Sikament® - 290 N	1.2 gr/cm ³	0.989%
Aditivo Incorporador de Aire	Sika® Aer	1.015 gr/cm ³	0.020%

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	-	3/4"
Peso Específico de Masa (g/cm ³)	2.618	2.623
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (g/cm ³)	2.681	2.652
Peso Específico de Aparente (g/cm ³)	2.797	2.701
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1636.23	1466.17
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1755.85	1538.01
Contenido de Humedad (%)	4.68%	0.33%
Absorción (%)	1.27%	1.60%
Módulo de Finura	2.808	6.846
Porcentaje que pasa la malla N° 200	2.16%	0.31%

B.5.2 Consideraciones de diseño:

Consistencia de la mezcla =	3" - 4"		
Resistencia de diseño =	30 MPa	≈ 305.92 Kg/cm ²	
Resistencia promedio requerida =	38.5 MPa	≈ 392.59 Kg/cm ²	Tabla 43

B.5.3 Contenido de aire:

Aire (%) =	6.5%	Tabla 46
------------	------	-----------------

B.5.4 Cantidad de agua de mezclado:

Agua (Ltrs) =	181.00	Tabla 44
Reducción de agua por superplastificante 20%		Ficha Técnica del fabricante
Agua (Ltrs) =	144.80	

B.5.5 Relación Agua/Cemento:

a/c (por resistencia) =	0.40	Tabla 45
a/c (por durabilidad-exposición a sulfatos) =	0.50	Tabla 46
a/c (por durabilidad-exposición a congelamiento y deshielo) =	0.45	Tabla 47
a/c =	0.40	

B.5.6 Cantidad de Cemento:

Cemento (Kg/m ³)=	362.000
Cemento (bls)=	8.52

B.5.7 Modulo de fineza de la combinación de agregados:

Vacíos =	41.3561	Agregado Fino (%) =	44.880
Vacíos por corregir =	6.3561	Agregado Grueso (%) =	55.120
Factor de Corrección MC =	0.1271		
Modulo de la combinación =	5.1612		
Mc Corregido=	5.0341		

B.5.8 Volúmenes Absolutos de los componentes:

Cemento (m3) =	0.1240	Agregado Fino Seco (Kg/m3) =	737.160
Agua (m3) =	0.1810	Agregado Grueso Seco (Kg/m3) =	907.130
Aire (m3) =	0.0650		
Sikament (m3) =	0.0025		
Volumen de la Pasta (m3) =	0.3725		
Volumen de Agregados (m3) :	0.628		

B.5.9 Corrección por humedad:

Aporte de humedad Agregado Fino =	25.17	Aporte Total (%)=	13.670
Aporte de humedad Agregado Grueso =	-11.5		

B.5.10 Componentes de la mezcla:

MATERIALES DE DISEÑO		MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Cemento (Kg)=	362	Cemento (Kg)=	362
Agua de diseño (Ltrs)=	144.80	Agua efectiva (Ltrs)=	131.13
Agregado fino seco (Kg)=	737.16	Agregado fino húmedo (Kg)=	771.69
Agregado grueso seco (Kg)=	907.13	Agregado grueso húmedo (Kg)=	910.17
Aire Total (%)=	6.50%	Aire Total (%)=	6.50%
Sikament 290N (Ltrs)=	2.983	Sikament 290N (Ltrs)=	2.983
Sika Aer(Ltrs)=	0.29	Sika Aer(Ltrs)=	0.29

B.5.11 Proporciones:

EN PESO		EN VOLUMEN	
Cemento (Kg)=	1.00	Cemento (Kg)=	1.00
Agua (Ltrs/bolsa)=	15.40	Agua efectiva (Ltrs)=	15.40
Agregado fino (Kg)=	2.13	Agregado fino húmedo (Kg)=	2.00
Agregado grueso (Kg)=	2.51	Agregado grueso húmedo (Kg)=	2.57
Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00	Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00
Sika Aer(cm3/bolsa)=	33.50	Sika Aer(cm3/bolsa)=	33.50

B.6. Diseño de mezcla tratamiento de prueba (AB5)

B.6.1 Propiedades de los materiales:

Descripción	Tipo	Peso Específico	Cantidad
Cemento	Pacasmayo Tipo MS	2.93 gr/cm ³	-
Aditivo Superplastificante	Sikament® - 290 N	1.2 gr/cm ³	0.989%
Aditivo Incorporador de Aire	Sika® Aer	1.015 gr/cm ³	0.020%

CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	-	3/4"
Peso Específico de Masa (g/cm ³)	2.618	2.623
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (g/cm ³)	2.681	2.652
Peso Específico de Aparente (g/cm ³)	2.797	2.701
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1636.23	1466.17
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1755.85	1538.01
Contenido de Humedad (%)	4.68%	0.33%
Absorción (%)	1.27%	1.60%
Módulo de Finura	2.808	6.846
Porcentaje que pasa la malla N° 200	2.16%	0.31%

B.6.2 Consideraciones de diseño:

Consistencia de la mezcla =	3" - 4"		
Resistencia de diseño =	30 MPa	≈ 305.92 Kg/cm ²	
Resistencia promedio requerida =	38.5 MPa	≈ 392.59 Kg/cm ²	Tabla 43

B.6.3 Contenido de aire:

Aire (%) =	7.0%	Tabla 46
------------	------	-----------------

B.6.4 Cantidad de agua de mezclado:

Agua (Ltrs) =	181.00	Tabla 44
Reducción de agua por superplastificante =	20%	Ficha Técnica del fabricante
Agua (Ltrs) =	144.80	

B.6.5 Relación Agua/Cemento:

a/c (por resistencia) =	0.40	Tabla 45
a/c (por durabilidad-exposición a sulfatos) =	0.50	Tabla 46
a/c (por durabilidad-exposición a congelamiento y deshielo) =	0.40	Tabla 47
a/c =	0.40	

B.6.6 Cantidad de Cemento:

Cemento (Kg/m ³)=	362.000
Cemento (bls)=	8.52

B.6.7 Modulo de fineza de la combinación de agregados:

Vacíos =	41.3561	Agregado Fino (%) =	44.880
Vacíos por corregir =	6.3561	Agregado Grueso (%) =	55.120
Factor de Corrección MC =	0.1271		
Modulo de la combinación =	5.1612		
Mc Corregido=	5.0341		

B.6.8 Volúmenes Absolutos de los componentes:

Cemento (m3) =	0.1240	Agregado Fino Seco (Kg/m3) =	731.290
Agua (m3) =	0.1810	Agregado Grueso Seco (Kg/m3) =	899.900
Aire (m3) =	0.0700		
Sikament (m3) =	0.0025		
Volumen de la Pasta (m3) =	0.3775		
Volumen de Agregados (m3) =	0.623		

B.6.9 Corrección por humedad:

Aporte de humedad Agregado Fino =	24.97	Aporte Total (%)=	13.560
Aporte de humedad Agregado Grueso =	-11.41		

B.6.10 Componentes de la mezcla:

MATERIALES DE DISEÑO		MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD	
Cemento (Kg)=	362	Cemento (Kg)=	362
Agua de diseño (Ltrs)=	144.80	Agua efectiva (Ltrs)=	131.24
Agregado fino seco (Kg)=	731.29	Agregado fino húmedo (Kg)=	765.54
Agregado grueso seco (Kg)=	899.9	Agregado grueso húmedo (Kg)=	902.91
Aire Total (%)=	7.00%	Aire Total (%)=	7.00%
Sikament 290N (Ltrs)=	2.983	Sikament 290N (Ltrs)=	2.983
Sika Aer(Ltrs)=	0.36	Sika Aer(Ltrs)=	0.36

B.6.11 Proporciones:

EN PESO		EN VOLUMEN	
Cemento (Kg)=	1.00	Cemento (Kg)=	1.00
Agua (Ltrs/bolsa)=	15.41	Agua efectiva (Ltrs)=	15.41
Agregado fino (Kg)=	2.11	Agregado fino húmedo (Kg)=	1.90
Agregado grueso (Kg)=	2.49	Agregado grueso húmedo (Kg)=	2.55
Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00	Sikament 290N (cm3/bolsa)=	350.00
Sika Aer(cm3/bolsa)=	41.87	Sika Aer(cm3/bolsa)=	41.87

ANEXO C: TABLAS DE DISEÑOS

C.1. Resistencia de diseño requerida

Tabla 41:

Asentamiento de la mezcla de concreto.

Resistencia Especificada a la compresión, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresión, Mpa
$f_c < 21$	$f_{cr} = f_c + 7,0$
$21 \leq f_c \leq 35$	$f_{cr} = f_c + 8,5$
$f_c > 35$	$f_{cr} = 1,1 f_c + 5,0$

Fuente: Tabla 5.3 de la norma E060 (2019)

C.2. Cantidad de agua de mezclado y contenido de aire

Tabla 42:

Cantidad de agua de mezcla para diferentes asentamientos y diferentes tamaños máximos de los agregados.

ASENTAMIENTO, Pulg *		Agua para los TMN de agregado grueso y consistencia indicados, l/m3						
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
Sin aire incorporado								
1 a 2		207	199	187	178	163	154	130
3 a 4		228	216	202	193	178	169	145
5 a 6		237	223	207	196	181	172	151
6 a 7		243	228	214	202	187	178	160
más de 7**		---	---	---	---	---	---	---
%Aire Atrapado		3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30
Con aire incorporado								
1 a 2		181	175	166	160	148	142	122
3 a 4		202	193	181	175	163	157	134
5 a 6		210	199	187	178	166	160	142
6 a 7		216	205	193	184	172	166	154
más de 7**		---	---	---	---	---	---	---
% Aire total requerido								
ACI 318	Exposición Clase	6.00	5.50	5.00	4.50	4.50	4.00	3.50
	F1							
	Exposición Clase	7.50	7.00	6.00	6.00	5.50	5.00	4.50
	F2 y F3							

*Los asentamientos son cantidades máximas para agregados angulares clasificados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.

*Los valores de asentamiento se basan en pruebas de asentamiento realizadas después de la eliminación de partículas de más de 1-1/2 pulgadas mediante tamizado húmedo.

**Los valores de asentamiento de más de 7 pulgadas generalmente se obtienen mediante el uso de aditivos reductores de agua. Cuando utilice aditivos reductores de agua, siga las recomendaciones del fabricante.

Nota: Estas cantidades de agua de mezclado se utilizan para calcular el contenido de cemento para lotes de prueba a 68 a 77 °F.

Fuente: Tabla 5.3.3 de la Norma ACI 211 (2022).

C.3. Máxima relación agua-cemento

C.3.1. Relación agua-cemento por resistencia

Tabla 43:

Relación a/c por resistencia.

Resistencia a la compresión a los 28 días (psi)	Relación a/c, en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
7000	0.82	0.74
6000	0.68	0.59
5000	0.57	0.48
4000	0.48	0.4
3000	0.41	0.33
2000	0.34	<0.33

*Los valores son resistencias promedio estimadas para hormigón que no contiene más de un 2 % de aire para hormigón sin aire incorporado y un 6 % de contenido total de aire para hormigón con aire incorporado. Para una relación agua/cm constante, la resistencia del hormigón se reduce a medida que aumenta el contenido de aire. Los valores de resistencia a los veintiocho días pueden ser conservadores y pueden cambiar cuando se utilizan diversos materiales cementicios. La velocidad a la que se desarrolla la resistencia a los 28 días también puede cambiar.

Fuente: Tabla 5.3.4 de la Norma ACI 211 (2022).

C.3.2. Relación agua-cemento por durabilidad

La máxima relación agua – cemento por durabilidad, se determinó con las consideraciones de exposición a sulfatos y concretos sometidos a ciclos de congelación y deshielo.

Tabla 44:

Relación a/c por durabilidad por exposición a sulfatos.

Clase de exposición	Máxim o a/c	Mínim o f'c, MPa	Materiales cementosos requeridos - tipos			Cloruro de calcio mezcla	
			ASTM C150/C150M	ASTM C595/C595M	ASTM C1157/C1157M		
S0	N/A	17	N/A	N/A	N/A	Sin restricciones	
S1	0.50	28	II	Tipos con designación (MS)	EM	Sin restricciones	
S2	0.45	31	V	Tipos con designación (HS)	SA	No permitido	
S3	Opción 1	0.45	31	V más puzolana o cemento de escoria	Tipos con designación (HS) más puzolana o cemento de escoria	HS más puzolana o cemento de escoria	No permitido
	Opción 2	0.40	35	V#	Tipos con designación (HS)	SA	No permitido

Fuente: Tabla 4.7.3.a de la Norma ACI 211(2022).

Tabla 45:

Relación a/c por durabilidad por exposición a congelación y descongelación.

Clase de Exposición	Máxima relación a/c	Mínimo f'c, MPa	Contenido de Aire	Requisitos adicionales
F0	NA	17	NA	
F1	0.55	24	Tabla 4.2.2.6(c) 1	NA
F2	0.45	31	Tabla 4.2.2.6(c) 1	NA
F3	0.4	35	Tabla 4.2.2.6(c) 1	Tabla 4.2.1.1(b)
F3	0.45	31	Tabla 4.2.2.6(c) 1	Tabla 4.2.1.1(b)
Concreto Plano				

La máxima relación a/c no aplica para concretos ligeros.

Fuente: Tabla 4.2.2.6(c) del ACI 301-20, página 22.

C.5. Módulo de Fineza de la Combinación de Agregado

Tabla 46:

Módulo de fineza de la combinación de agregados.

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso, pulg	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos/ metro cúbico indicados.			
	6	7	8	9
3/8	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4	4.96	5.04	5.11	5.19
1	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2	5.56	5.64	5.71	5.79
2	5.86	5.94	6.01	6.09
3	6.16	6.24	6.31	6.39

*Los valores de la tabla están referidos al agregado grueso de perfil angular y adecuado graduado, con un contenido de vacíos de orden de 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento del porcentaje de vacíos.

**Los valores de la tabla pueden dar mezclas ligeramente sobre arenosas para pavimentos estructuras ciclópeas. Para condiciones de colocación favorables pueden ser incrementados en 0.2.

Fuente: Tabla 16.3.10 de Rivva (2015), pág 123.

ANEXO D: CONTENIDO DE AIRE POR EL MÉTODO DE PRESIÓN

D.1. Ensayo A

Tabla 47:

Resultados del contenido de aire por el método de presión (Ensayo A).

Propiedad	AB0	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5
S: volumen de la muestra de concreto (m3)	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071
B: volumen del concreto producido por tanda (m3)	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037
Fb: masa total del agregado fino en la tanda, en las condiciones de humedad usadas (kg)	33.58	32.82	32.56	32.30	32.08	32.04
Cb: masa del total del agregado grueso en la tanda, en las condiciones de humedad usadas (kg)	32.63	31.89	31.67	31.41	31.15	31.89
Fs: masa del agregado fino de la muestra de concreto en ensayo (kg)	6.43	6.28	6.23	6.18	6.14	6.13
Cs: masa del agregado grueso de la muestra de concreto en ensayo (kg)	6.24	6.10	6.06	6.01	5.96	6.10
G: Factor de corrección del agregado (%)	1.00%	0.95%	1.00%	1.10%	0.94%	1.00%
A1: contenido de aire aparente en la muestra ensayada (%)	3.40%	6.00%	6.20%	7.00%	7.00%	8.00%
As: Contenido de aire final (%)	2.40%	5.05%	5.20%	5.90%	6.06%	7.00%

D.2. Ensayo B

Tabla 48:

Resultados del contenido de aire por el método de presión (Ensayo B).

Propiedad	AB0	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5
S: volumen de la muestra de concreto (m ³)	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071
B: volumen del concreto producido por tanda (m ³)	0.0370	0.0370	0.0370	0.0370	0.0370	0.0370
Fb: masa total del agregado fino en la tanda, en las condiciones de humedad usadas (kg)	33.58	32.82	32.56	32.30	32.08	32.04
Cb: masa del total del agregado grueso en la tanda, en las condiciones de humedad usadas (kg)	32.63	31.89	31.67	31.41	31.15	31.89
Fs: masa del agregado fino de la muestra de concreto en ensayo (kg)	6.43	6.28	6.23	6.18	6.14	6.13
Cs: masa del agregado grueso de la muestra de concreto en ensayo (kg)	6.24	6.10	6.06	6.01	5.96	6.10
G: Factor de corrección del agregado (%)	1.10%	0.85%	0.95%	0.90%	1.02%	0.98%
A1: contenido de aire aparente en la muestra ensayada (%)	3.40%	6.00%	6.20%	7.00%	7.00%	8.00%
As: Contenido de aire final (%)	2.30%	5.15%	5.25%	6.10%	5.98%	7.02%

D.3. Ensayo C

Tabla 49:

Resultados del contenido de aire por el método de presión (Ensayo C).

Propiedad	AB0	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5
S: volumen de la muestra de concreto (m3)	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071	0.0071
B: volumen del concreto producido por tanda (m3)	0.0370	0.0370	0.0370	0.0370	0.0370	0.0370
Fb: masa total del agregado fino en la tanda, en las condiciones de humedad usadas (kg)	33.58	32.82	32.56	32.30	32.08	32.04
Cb: masa del total del agregado grueso en la tanda, en las condiciones de humedad usadas (kg)	32.63	31.89	31.67	31.41	31.15	31.89
Fs: masa del agregado fino de la muestra de concreto en ensayo (kg)	6.43	6.28	6.23	6.18	6.14	6.13
Cs: masa del agregado grueso de la muestra de concreto en ensayo (kg)	6.24	6.10	6.06	6.01	5.96	6.10
G: Factor de corrección del agregado (%)	1.20%	0.90%	1.05%	1.30%	0.98%	1.02%
A1: contenido de aire aparente en la muestra ensayada (%)	3.40%	6.00%	6.20%	7.00%	7.00%	8.00%
As: Contenido de aire final (%)	2.20%	5.10%	5.15%	5.70%	6.02%	6.98%

ANEXO E: RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Tabla 50:

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento patrón (AB0).

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO PATRÓN (AB0)											
	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04
Edad de ensayo	7 días				14 días				28 días			
Diámetro (cm)	15.12	15.12	15.09	15.02	15.12	15.06	15.10	15.24	15.12	15.10	15.10	15.17
Longitud (cm)	30.00	30.01	30.01	30.10	30.12	30.07	30.05	30.18	30.21	30.19	30.22	30.33
Carga de Rotura (Kg)	50693.34	50426.17	52755.21	50274.24	60487.75	61964.31	62209.04	61754.24	76865.47	76507.55	75775.39	75214.55
Área (cm2)	179.49	179.55	178.84	177.19	179.61	178.07	179.02	182.35	179.61	178.96	179.02	180.68
Tipo de Falla	2.00	2.00	3.00	4.00	1.00	4.00	1.00	4.00	3.00	5.00	3.00	3.00
Resistencia a la compresión (MPa)	27.70	27.54	28.93	27.82	33.03	34.12	34.08	33.21	41.97	41.92	41.51	40.82
Resistencia a la compresión (%)	92.3%	91.8%	96.4%	92.7%	110.1%	113.7%	113.6%	110.7%	139.9%	139.7%	138.4%	136.1%
Desviación estándar	0.631				0.573				0.531			
Varianza	0.398				0.328				0.282			

Tabla 51:

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento (AB1).

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO AB1											
	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04
Edad de ensayo	7 días				14 días				28 días			
Diámetro (cm)	15.06	15.06	15.13	15.06	15.13	15.02	15.12	15.04	15.06	15.11	15.18	15.07
Longitud (cm)	30.21	30.18	30.18	30.28	30.12	30.17	30.12	30.06	30.16	30.22	30.30	22.67
Carga de Rotura (Kg)	49067.9	49780.7	48048.2	49914.3	60067.6	59758.7	58132.7	59163.1	71794.4	71468.1	70876.7	72462.3
Área (cm ²)	178.13	178.01	179.85	178.19	179.79	177.25	179.61	177.72	178.19	179.20	180.98	178.31
Tipo de Falla	2	2	3	3	2	3	3	3	1	5	4	4
Resistencia a la compresión (MPa)	27.013	27.424	26.199	27.470	32.764	33.063	31.740	32.647	39.512	39.111	38.405	39.853
Resistencia a la compresión (%)	90.04%	91.41%	87.33%	91.57%	109.2%	110.2%	105.8%	108.8%	131.7%	130.4%	128.0%	132.8%
Desviación estándar	0.589				0.570				0.622			
Varianza	0.347				0.325				0.387			

Tabla 52:

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento (AB2).

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO AB2											
	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04
Edad de ensayo	7 días				14 días				28 días			
Diámetro (cm)	15.07	15.07	15.13	15.12	15.08	15.08	15.24	15.06	15.15	15.06	15.17	15.15
Longitud (cm)	30.10	30.06	30.02	30.07	30.08	30.10	30.18	30.08	30.30	30.13	30.33	30.31
Carga de Rotura (Kg)	48338.8	49349.4	47826.9	48253.2	57598.9	60655	58105.7	58605.4	69700.9	69059.5	66684.6	69631.6
Área (cm ²)	178.31	178.43	179.73	179.49	178.55	178.66	182.35	178.19	180.21	178.19	180.62	180.33
Tipo de Falla	3	3	2	3	3	4	4	4	3	3	3	5
Resistencia a la compresión (MPa)	26.585	27.123	26.096	26.363	31.636	33.293	31.248	32.253	37.930	38.007	36.205	37.868
Resistencia a la compresión (%)	88.62%	90.41%	86.99%	87.88%	105.45%	110.98%	104.16%	107.51%	126.43%	126.69%	120.68%	126.23%
Desviación estándar	0.436				0.892				0.867			
Varianza	0.190				0.796				0.751			

Tabla 53:

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento (AB3).

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO AB3											
	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04
Edad de ensayo	7 días				14 días				28 días			
Diámetro (cm)	15.10	15.09	15.08	15.07	15.21	15.14	15.09	15.19	15.17	15.14	15.03	15.14
Longitud (cm)	29.85	30.08	29.99	30.26	30.12	30.15	30.20	30.08	30.46	30.15	30.10	30.28
Carga de Rotura (Kg)	46653.2 1	45978.1 6	47043.7 6	45826.2 2	57542.80	58782.78	57994.54	57071.69	65445.63	66491.86	68273.31	68769.92
Área (cm ²)	178.96	178.78	178.60	178.37	181.58	180.09	178.84	181.10	180.62	180.09	177.30	180.03
Tipo de Falla	2	3	2	5	0	3	0	0	0	2	0	0
Resistencia a la compresión (MPa)	25.565	25.220	25.830	25.195	31.078	32.010	31.801	30.904	35.532	36.208	37.762	37.461
Resistencia a la compresión (%)	85.22%	84.07%	86.10%	83.98%	103.59 %	106.70 %	106.00 %	103.01 %	118.44 %	120.69 %	125.87 %	124.87 %
Desviación estándar	0.303				0.539				1.050			
Varianza	0.092				0.291				1.102			

Tabla 54:

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento (AB4).

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO AB4											
	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04
Edad de ensayo	7 días				14 días				28 días			
Diámetro (cm)	14.98	15.08	15.08	15.05	15.06	15.10	15.06	15.08	15.24	15.12	15.04	15.09
Longitud (cm)	30.31	29.96	30.17	30.09	30.07	30.08	30.12	30.15	30.47	30.44	30.06	30.17
Carga de Rotura (Kg)	44775.91	43945.85	45910.85	44085.55	54186.90	56833.07	52313.68	55100.57	66050.32	66915.05	64832.78	62542.49
Área (cm ²)	176.24	178.66	178.49	177.84	178.19	179.02	178.01	178.60	182.30	179.43	177.54	178.72
Tipo de Falla	5	3	3	5	3	2	5	4	1	1	1	5
Resistencia a la compresión (MPa)	24.914	24.121	25.225	24.311	29.821	31.133	28.819	30.254	35.532	36.571	35.811	34.317
Resistencia a la compresión (%)	83.05%	80.40%	84.08%	81.04%	99.40%	103.78%	96.06%	100.85%	118.44%	121.90%	119.37%	114.39%
Desviación estándar	0.515				0.962				0.936			
Varianza	0.265				0.925				0.877			

Tabla 55:

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del tratamiento (AB5).

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO AB5											
	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04	M-01	M-02	M-03	M-04
Edad de ensayo	7 días				14 días				28 días			
Diámetro (cm)	15.12	15.08	15.11	15.09	15.11	15.05	15.12	15.05	15.03	15.12	15.07	15.17
Longitud (cm)	30.09	29.93	30.08	30.04	30.16	30.11	30.22	30.17	29.99	30.25	30.01	30.34
Carga de Rotura (Kg)	43904.04	42192.95	43398.26	43790.86	53564.87	52198.45	51164.45	53746.38	62725.02	62428.28	64337.19	63662.14
Área (cm ²)	179.49	178.60	179.32	178.84	179.26	177.78	179.61	177.78	177.36	179.61	178.43	180.74
Tipo de Falla	3	5	2	3	3	3	2	3	5	5	4	4
Resistencia a la compresión (MPa)	23.987	23.167	23.734	24.012	29.304	28.794	27.935	29.648	34.681	34.085	35.361	34.541
Resistencia a la compresión (%)	79.96%	77.22%	79.11%	80.04%	97.68%	95.98%	93.12%	98.83%	115.60%	113.62%	117.87%	115.14%
Desviación estándar	0.393				0.745				0.528			
Varianza	0.154				0.554				0.279			

ANEXO F: FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE

BUILDING TRUST 	
HOJA TÉCNICA SikaAer®	
Aditivo incorporador de aire.	
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	SikaAer® es un aditivo elaborado a base de agentes tensoactivos que adicionado al concreto genera microburbujas que se reparten uniformemente en la masa del concreto. No contiene cloruros. USOS ▪ Concreto sometido a bajas temperaturas. ▪ Concreto de subterráneos, cimientos, sobrecimientos, obras hidráulicas en general (represas, canales, etc). ▪ Concreto en carreteras, aeropuertos, entre otros. ▪ Transporte del concreto en camión tolva. ▪ Concreto a la vista, concreto bombeado. CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS En Concreto fresco: ▪ Permite un aumento en la trabajabilidad y/o una disminución en el agua de amasado. ▪ Reduce la segregación en el concreto, especialmente en las faenas de transporte. ▪ Reduce la exudación en el concreto. ▪ Incrementa la cohesión interna de la masa del concreto. ▪ Permite reducir el tiempo de vibración y colocación. ▪ Mejora el aspecto superficial del concreto. ▪ Incremento de la impermeabilidad. En Concreto endurecido: ▪ Aumento de las resistencias a la acción de aguas agresivas. ▪ Incremento de las resistencias a ciclos de hielo y deshielo. ▪ Rompe la capilaridad.
NORMA	Cumple con la Norma ASTM C 260.
DATOS BÁSICOS	
FORMA	ASPECTO Líquido. COLORES Ámbar Translucido PRESENTACIÓN ▪ Paquete x 4 envases PET x 4 L. ▪ Balde x 20 L. ▪ Cilindro x 200 L.
Hoja Técnica SikaAer® 19.11.14, Edición 1.1	
1/3	

ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL SikaAer® se puede almacenar durante 1 año en su envase original cerrado, sin deterioro y en lugar fresco y bajo techo. A temperaturas bajo 5 °C se puede producir turbidez en el aditivo, lo cual no altera su efectividad.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD 1.01 - 1.02 kg/L
INFORMACIÓN DEL SISTEMA	
DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO / DOSIS 0.02% a 0.12% del peso del cemento.
MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE APLICACIÓN Se utiliza diluido en el agua de amasado. Mayores dosis pueden ser utilizadas si así se determina en ensayos previos con los materiales a usar en la obra. La incorporación de aire en un concreto depende principalmente de: Los agregados pétreos (granulometría y forma de los granos). Razón a/c. Dosis de cemento por m ³ de concreto elaborado. Finura del cemento. Relación áridos finos/gruesos. Tipo de mezcladora y tiempo de mezclado. Temperatura, etc. La plasticidad, a menor asentamiento se necesita mayor esfuerzo para lograr la cantidad de aire deseado.
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD	
PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN	Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma naturales o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.
OBSERVACIONES	La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe
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. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. 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 .
Hoja Técnica SikaAer® 10.11.14, Edición 11 2/3 BUILDING TRUST 	

**"La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 10
la misma que deberá ser destruida"**

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE SikaAer® :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.
Concrete
Centro industrial "Las Praderas
de Lurín" s/n MZ B, Lotes 5 y
6, Lurín
Lima
Perú
www.sika.com.pe

Hoja Técnica
SikaAer®
19.11.14, Edición 11

Versión elaborada por: Sika Perú
S.A.
OG, Departamento Técnico
Telf: 618-6060
Fax: 618-6070
Mail: informacion@pe.sika.com



© 2014 Sika Perú S.A.

ANEXO G: FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

CONSTRUYENDO CONFIANZA



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sikament®-290 N

ADITIVO POLIFUNCIONAL E IMPERMEABILIZANTE PARA CONCRETO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikament®-290N es un aditivo polifuncional (plastificante o superplastificante) e impermeabilizante. Sikament®-290N no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

USOS

- Sikament®-290N está particularmente indicado para:
- Todo tipo de concretos fabricados en plantas concretas con la ventaja de poder utilizarse como plastificante o superplastificante con sólo variar la dosificación.
 - En concretos bombeados porque permite obtener consistencias adecuadas sin aumentar la relación agua/cemento.
 - Transporte a largas distancias sin pérdidas de trabajabilidad.
 - Concretos fluidos que no presentan segregación ni exudación.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Terminación superficial de alta calidad.
- Mayor adherencia a las armaduras.
- Permite obtener mayores tiempos de manejabilidad de la mezcla a cualquier temperatura.
- Permite reducir hasta el 20% del agua de la mezcla.
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.
- Proporciona una gran manejabilidad de la mezcla evitando segregación y la formación de cangrejeras.
- Reductor de agua.

CERTIFICADOS / NORMAS

Como plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C 494, tipo G.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	• Dispenser x 1000 L • Cilindro x 200 L • Balde x 20 L • PET x 4 L
Apariencia / Color	Líquido pardo oscuro
Vida Útil	1 año
Condiciones de Almacenamiento	El producto debe de ser almacenado en su envase original bien cerrado y bajo techo en lugar fresco resguardado de heladas. Para el transporte debe tomarse las precauciones normales para el manejo de un producto químico.
Densidad	1.20 +/- 0.02

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Hoja De Datos Del Producto
Sikament®-290 N
Julio 2020, Versión 03.02
021302011000000115

Dosificación Recomendada

- Como plastificante: del 0,3 % – 0,7 % del peso del cemento.
- Como superplastificante: del 0,7 % - 1,2 % del peso del cemento.

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

Como Plastificante impermeabilizante

Debe incorporarse junto con el agua de amasado.

Como Superplastificante impermeabilizante

Debe incorporarse preferentemente una vez amasado el concreto y haciendo un re-amasado de al menos 1 minuto por cada m³ de carga de la amasadora o camión concreto.

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.

Hoja De Datos Del Producto

Sikament®-290 II

Julio 2020, Versión 03.02
021302011 1000000115

2 / 2

Sikament-290II-es-PE-(07-2020)-3-2.pdf

CONSTRUYENDO CONFIANZA



ANEXO H: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO MS



Cemento Fortimax

Tipo MS (MH) - Cemento Hidráulico de moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación

Requisitos normalizados - NTP 334.082 / ASTM C1157

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Finura					
Superficie específica	-	-	cm ² /g	NTP 334.002	5150
Retenido M325	-	-	%	NTP 334.045	1.9
Densidad	-	-	g/cm ³	NTP 334.005	2.93
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	5
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.03
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	11.0 (1600)	MPa (psi)	NTP 334.051	21.7 (3150)
7 días	Mínimo	18.0 (2610)	MPa (psi)	NTP 334.051	29.7 (4310)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	41.4 (6010)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	181
Fraguado final	Máximo	420	Minutos	NTP 334.006	292
Expansión Barra de mortero a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	0.005
Expansión por sulfatos a 6 meses	Máximo	0.10	%	NTP 334.094	0.03
Calor de hidratación a 3 días	Máximo	335	kJ/kg	NTP 334.171	252

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos de la NTP 334.082 y la ASTM C1157.

ANEXO I: AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
Teléfono N° 341518, Anexo 1217-Edificio 1C-106
Cajamarca - Perú



"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

Cajamarca, 20 de noviembre de 2023.

OFICIO N° 845-2023-EAPIC-FI-UNC

Señorita:

Silvia Catalina Machuca Roncal
Bachiller en Ingeniería Civil - UNC

PRESENTE:

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted, para saludarle cordialmente y, al mismo tiempo, autorizar el uso del Laboratorio externo: "GUERSAN INGENIEROS S.R.L."; para que Usted realice sus respectivos ensayos de su tesis titulado: ***"RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO AL AÑADIR ADITIVO SIKA® AER EN UN CONCRETO DE 30 MPA FABRICADO CON SIKA MENT® - 290N Y CEMENTO PORTLAND TIPO MS"***.

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para testimoniarle las muestras de mi especial deferencia.

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil

Dra. Rosa Nayde Nigrit Mondragón
DIRECTORA

Cc.
- Archivo

ANEXO J: CONSTANCIA DEL LABORATORIO



GUERSAN INGENIEROS S.R.L.
SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA
ELABORACIÓN DE PERFILES Y EXPEDIENTES TÉCNICOS
ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
CEL. 939291809-976925133 RUC:20602101488
CORREO: guersaningenieros@gmail.com

El gerente general de la empresa GUERSAN INGENIEROS S.R.L. Deja:

CONSTANCIA:

Que la señorita SILVIA CATALINA MACHUCA RONCAL, Bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha realizado ensayos de laboratorio en agregados y concreto para complementar su trabajo de investigación de la tesis titulada: "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO AL AÑADIR ADITIVO SIKA® AER EN UN CONCRETO DE 30 MPA FABRICADO CON ADITIVO SIKAMENT®-290N Y CEMENTO PORTLAND TIPO MS". Dichos ensayos se realizaron desde el 01 de diciembre del 2023 al 24 de febrero del 2024.

Los ensayos efectuados por la tesista fueron los siguientes:

1. Ensayos de propiedades físicas y mecánicas de los agregados fino y grueso.
2. Elaboración de ensayos a la compresión de 72 especímenes de concreto (probetas cilíndricas de 6"x12").
3. Ensayos del concreto fresco.
4. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.

Cajamarca 04 de marzo del 2024


GUERSAN INGENIEROS S.R.L.
.....
Leiner Guerrero Gonzales
GERENTE GENERAL

ANEXO K: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS



SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMM - 112 - 2023

Expediente

23-0094

1. Solicitante

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

2. Dirección

Pj. Diego Ferre N° 295 Barrio San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA

3. Equipo de medición

BALANZA ELECTRÓNICA

Capacidad Máxima

30 000 g

División de escala

1 g

División de verificación

10 g

Clase de exactitud

III

Marca

OHAUS

Modelo

R31P30

Número de Serie

8339530386

Identificación

NO INDICA

Procedencia

NO INDICA

Ubicación

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

4. Fecha de Calibración

2023-07-29

5. Fecha de Emisión

2023-08-01

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Sello

Jefe de Laboratorio



Firmado digitalmente por
ELEAZAR CESAR CHAVEZ
RARAZ
Fecha: 2023.08.01
19:07:10 -05'00'

 ventasservimetrol@gmail.com
aservimetrol@gmail.com
cservimetrol@gmail.com

 938102709
938327400

 Cal.37 Mza. A-34 Lote. 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima- Lima- Santa Anita

93

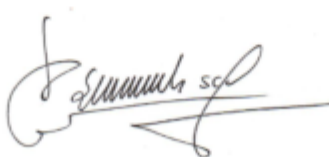
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMF - 060 - 2023

Página 1 de 3

Expediente	23-0094	Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.
1. Solicitante	GUERSAN INGENIEROS S.R.L.	
2. Dirección	Pj. Diego Ferre N° 295 Barrio San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA	Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.
3. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	
Capacidad	2000 kN	SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Marca	PyS	
Modelo	STYE-2000	Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Número de Serie	170253	
Identificación	NO INDICA	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Procedencia	CHINA	
Indicación	DIGITAL	
Marca	NO INDICA	
Modelo	LM-02	
Número de Serie	NO INDICA	
Resolución	0,01 / 0,1 kN (*)	
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO	
4. Fecha de Calibración	2023-07-29	
5. Fecha de Emisión	2023-08-08	

Sello

Jefe de Laboratorio

Firmado digitalmente por
ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ
Fecha: 2023.08.10 10:42:06 -05'00'

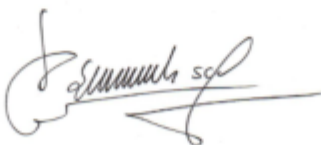
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMP - 031 - 2023

Página 1 de 3

Expediente	23-0094	Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto. Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento. SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
1. Solicitante	GUERSAN INGENIEROS S.R.L.	
2. Dirección	Pj. Diego Ferre N° 295 Barrio San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA	
3. Instrumento de Medición	OLLA WASHINGTON (PRESS-AIR METER)	
Tipo	B	
Marca	FORNEY	
Modelo	LA-0316	
Número de Serie	718	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO	
Medidor de Aire:		
Tipo de Indicación	ANALÓGICA	
Alcance de indicación	0 a 15 psi / 0 a 100 %	
4. Fecha de Calibración	2023-07-30	
5. Fecha de Emisión	2023-08-08	

Sello

Jefe de Laboratorio

Firmado digitalmente por
**ELEAZAR CESAR CHAVEZ
RARAZ**
Fecha: 2023.08.11 10:46:12
-05'00'

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMT - 044 - 2023

Página 1 de 6

Expediente 23-0094

1. Solicitante GUERSAN INGENIEROS S.R.L.

2. Dirección Pj. Diego Ferre N° 295 Barrio San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA

3. Equipo HORNO

Alcance Máximo De 0 °C a 300 °C

Marca PyS EQUIPOS

Modelo STHX-2A

Número de Serie 190334

Identificación NO INDICA

Procedencia CHINA

Ubicación LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	0 °C a 300 °C	0 °C a 300 °C
División de escala / Resolución	0,1 °C	0,1 °C
Tipo	CONTROLADOR ELECTRÓNICO	TERMÓMETRO DIGITAL

4. Fecha de Calibración 2023-07-30
5. Fecha de Emisión 2023-08-08

Sello

Jefe de Laboratorio




Firmado digitalmente por
ELEAZAR CESAR CHAVEZ
RARAZ
Fecha: 2023.08.19 14:42:10
-05'00'

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMTF - 008 - 2023

Página 1 de 3

Expediente	23-0094
1. Solicitante	GUERSAN INGENIEROS S.R.L.
2. Dirección	Pj. Diego Ferre N° 295 Barrio San Martín de Porres, Cajamarca - Cajamarca - CAJAMARCA
3. Instrumento de medición	MÁQUINA PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN TIPO LOS ÁNGELES
Fabricante	A&A INSTRUMENTS
Número de Serie	190952
Modelo	STMH-3
Alcance de Indicación	0 a 9999 Vueltas
Div. de escala / Resolución	1 Vuelta
Identificación	NO INDICA
Procedencia	PERÚ
Tipo de indicación	DIGITAL
4. Fecha de Calibración	2023-07-30
5. Fecha de Emisión	2023-08-08
6. Lugar de calibración	LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Sello

Jefe de Laboratorio



Firmado digitalmente por
ELEAZAR CESAR CHAVEZ
RARAZ
Fecha: 2023.08.12 17:38:17
-05'00'



ventasservimetrol@gmail.com
aservimetrol@gmail.com
cservimetrol@gmail.com



938102709
938327400

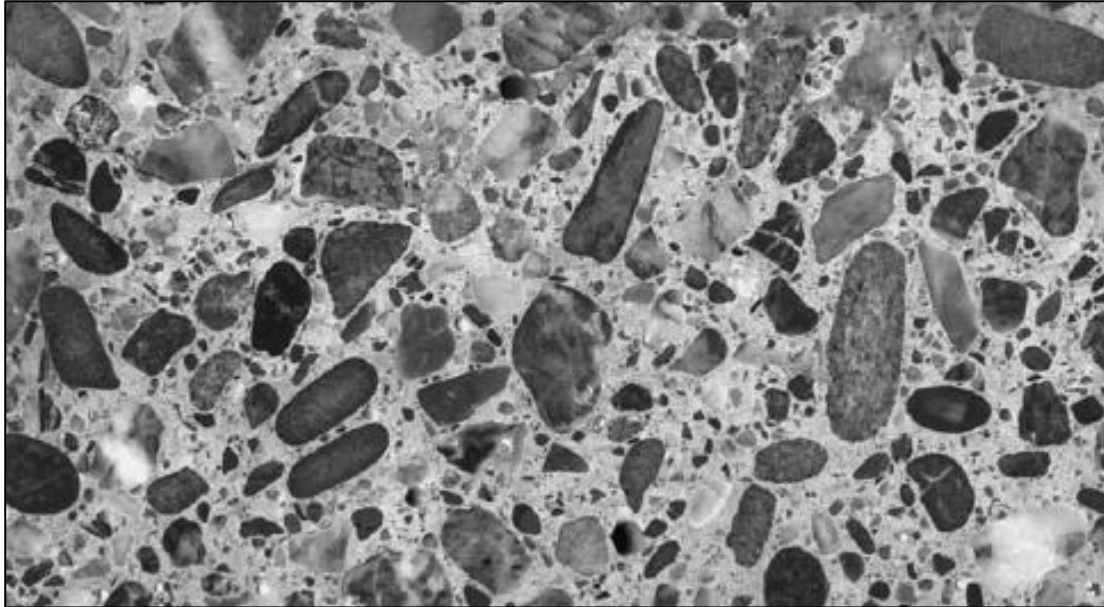


Cal.37 Mza. A-34 Lote. 29 Urb.
Cultura Peruana Moderna
Lima- Lima- Santa Anita

ANEXO L: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 18:

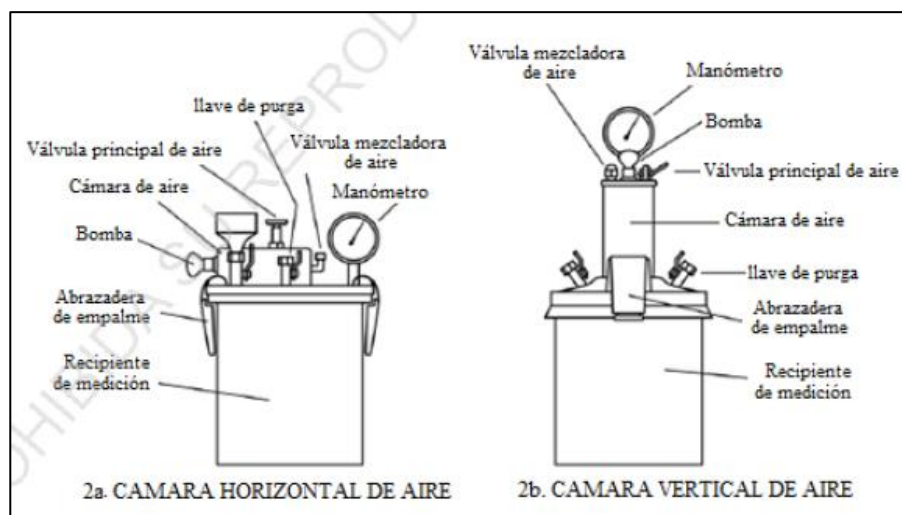
Sección de testigo de concreto pulida.



Fuente: Metha & Monteiro (2014)

Figura 19:

Aparato Medidor de contenido de aire Tipo “B”.



Fuente: Norma NTP 339.080 (2017).

Figura 20:

Agregado fino de la cantera de los “Hermanos Ayala”.



Figura 21:

Agregado grueso de la cantera de los “Hermanos Ayala”.



Figura 22:

A la izquierda aditivo Sika® Aer y a la derecha aditivo Sikament® 290N.



Figura 23:

Cemento Pacasmayo tipo MS (A.S.T.M.C -1157).

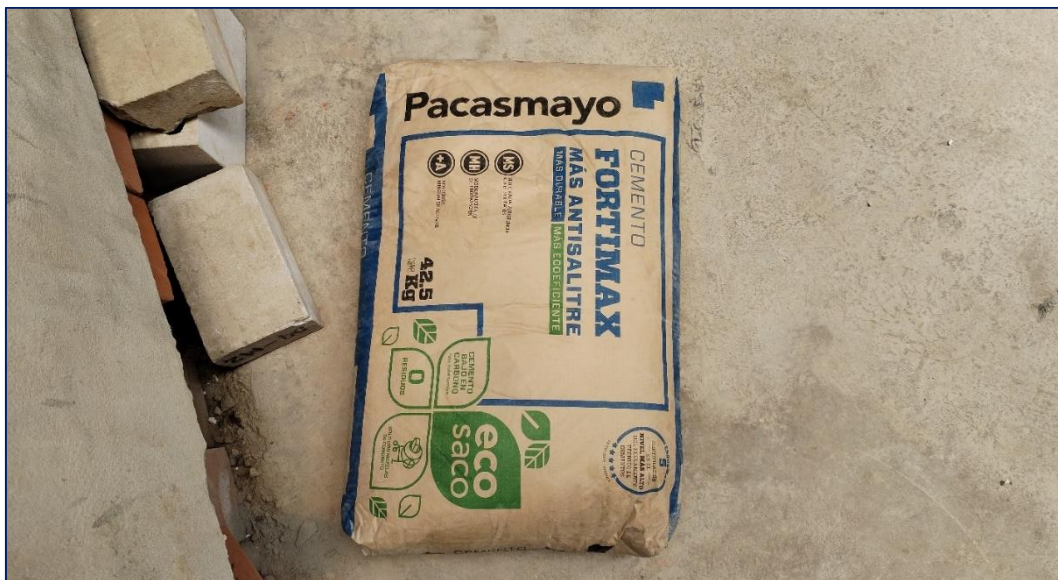


Figura 24:

Olla de Washinton o medidor tipo B de la norma NTP 339.080 (2017).



Figura 25:

Análisis granulométrico del agregado fino y grueso.



Figura 26:

Peso específico del agregado fino.



Figura 27:

Peso unitario suelto y peso unitario compactado del agregado fino.



Figura 28:

Peso específico del agregado grueso.



Figura 29:

Peso unitario suelto y peso unitario compactado del agregado grueso.



Figura 30:

Peso del aditivo Sika-Ment.



Figura 31:

Determinación del slump.



Figura 32:

Determinación del factor de corrección de agregado (método de presión).



Figura 33:

Determinación del contenido de aire.



Figura 34:

Lectura del contenido de aire total por el método de presión.



Figura 35:

Testigos de concreto de los tratamientos de prueba.



Figura 36:

Elaboración de testigos de concreto.



Figura 37:

Codificación de los testigos de concreto.

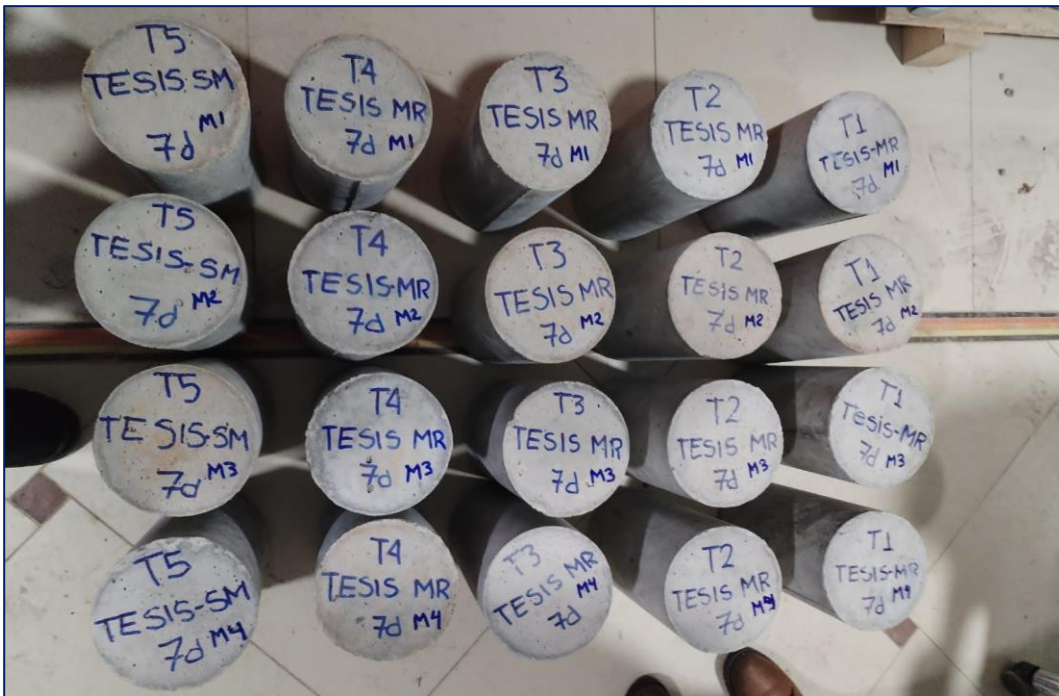


Figura 38:

Curado de testigos de concreto.

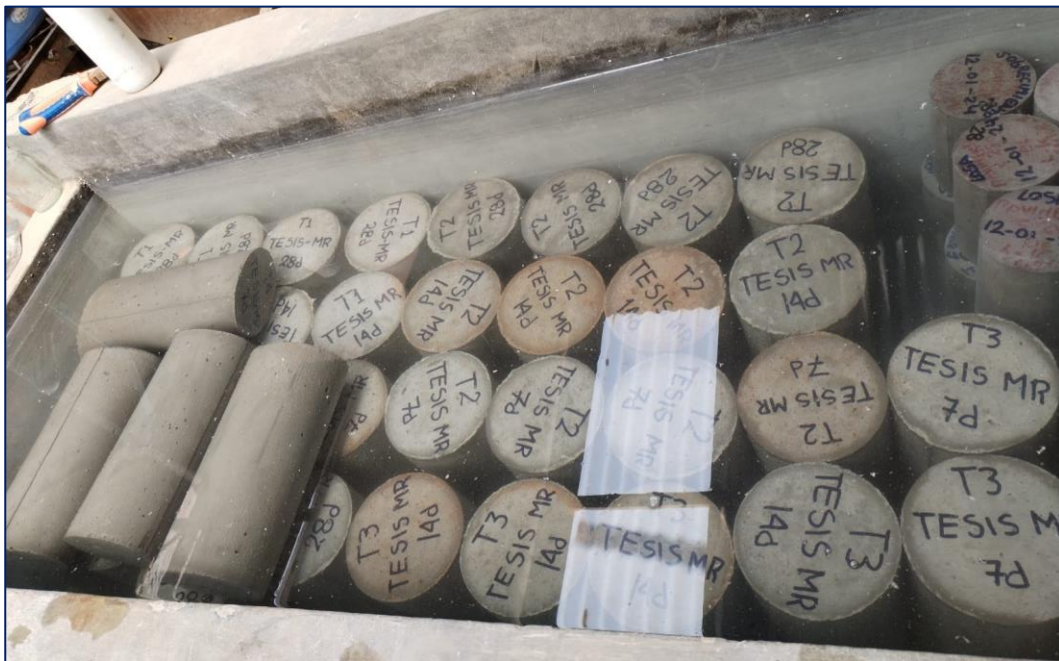


Figura 39:

Medición de diámetros de los especímenes de concreto.



Figura 40:

Peso de los testigos de concreto.



Figura 41:

Ensayo de compresión uniaxial - edad 14 días.



Figura 42:

Ensayo de compresión uniaxial - edad 28 días.

