

AXELL SEGUNDO BAZAN ROCA
MARCO ANTONIO JUNIOR CERNA VASQUEZ

CONCRETO IMPERMEABLE Y ADITIVOS PLASTIFICANTES:

Dosificación y comportamiento



AXELL SEGUNDO BAZAN ROCA
MARCO ANTONIO JUNIOR CERNA VASQUEZ

CONCRETO IMPERMEABLE Y ADITIVOS PLASTIFICANTES:

Dosificación y comportamiento



Conselho Editorial

Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva - UNIDAVI
Prof. Dr. Astor João Schönell Júnior - IFFAR
Prof. Dr. Alan Ricardo Costa - UFRR
Prof. Dr. Allan Diêgo Rodrigues Figueiredo - UESPI
Profa. Dra. Andréia Bulaty - UNESPAR
Profa. Dra. Carla da Conceição de Lima - UFVJM
Prof. Dr. Camilo Darsie de Souza - UNISC
Profa. Dra. Clarice Caldeira Leite - UFRGS
Profa. Dra. Cecilia Decarli - UFRGS
Prof. Dr. Carlos Adriano Martins - UNICID
Prof. Dr. Christian Dennys Monteiro de Oliveira - UFCE
Profa. Dra. Dayse Marinho Martins - UFMA
Prof. Dr. Deivid Alex dos Santos - UEL
Prof. Dr. Dioni Paulo Pastorio - UFRGS
Prof. Dr. Douglas Manoel Antonio de Abreu Pestana dos Santos - FASESP
Profa. Dra. Elane da Silva Barbosa - UERN
Profa. Dra. Elen Gomes Pereira - IFBA
Profa. Dra. Francielle Benini Agne Tybusch - UFN
Prof. Dr. Francisco Odécio Sales - IFCE
Prof. Dr. Francisco Ricardo Miranda Pinto - UFCAT
Prof. Dr. Gilvan Charles Cerqueira de Araújo - UCB
Prof. Dr. Ismar Inácio dos Santos Filho - UFAL
Prof. Dr. Leonardo Bigolin Jantsch - UFSM
Profa. Dra. Liziany Müller Medeiros - UFSM
Profa. Dra. Marcela Mary José da Silva - UFRB
Prof. Dr. Mateus Henrique Köhler - UFSM
Prof. Dr. Michel Canuto de Sena - UFMS
Profa. Dra. Mônica Aparecida Bortolotti - UNICENTRO
Prof. Nilton David Vilchez Galarza - UPLA
Prof. Dr. Olavo Barreto de Souza - UEPB
Prof. Dr. Rafael Nogueira Furtado - UFABC
Prof. Dr. Roberto Araújo da Silva Vasques Rabelo - UNISANTOS
Prof. Dr. Rodrigo Toledo - USCS
Prof. Dr. Rodolfo Rodrigues de Souza - UERJ
Prof. Dr. Sidnei Renato Silveira - UFSM
Prof. Dr. Thiago Ribeiro Rafagnin - UFOB
Prof. Dr. Tomás Raúl Gómez Hernández - UCLV

Editor Chefe: Ivania Folmer

Projeto gráfico e Diagramação: Gabriel Eldereti Machado

Imagem capa: www.canva.com

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Segundo Bazan Roca, Axell

Concreto impermeable y aditivos plastificantes

[livro eletrônico] : dosificación y comportamiento /

Axell Segundo Bazan Roca, Marco Antonio Junior Cerna Vasquez. -- Santa Maria, RS : Arco Editores, 2026.

PDF

ISBN 978-65-5417-653-8

1. Aditivos químicos 2. Concreto 3. Construção civil 4. Materiais de construção – Reaproveitamento
I. Vasquez, Marco Antonio Junior Cerna. II. Título.

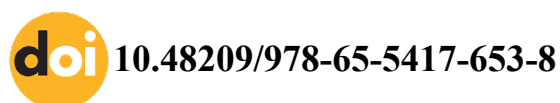
26-337623.0

CDD-624

Índices para catálogo sistemático:

1. Construção civil : Engenharia 624

Livia Dias Vaz - Bibliotecária - CRB-8/9638



Esta obra foi construída de forma coletiva, reunindo diferentes vozes, experiências e perspectivas. As opiniões expressas nos capítulos são de responsabilidade exclusiva de seus respectivos autores e não representam, necessariamente, a posição desta editora. Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e a autoria e respeitando a Licença Creative Commons indicada.



ÍNDICE

Resumen.....	6
Abstract.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. ESTADO DEL ARTE.....	11
2.1. Investigaciones internacionales y nacionales.....	11
2.2. Marco Teórico.....	15
2.2.1. Concreto impermeable.....	15
2.2.2. Resistencia a la compresión del concreto.....	16
2.2.3. Porosidad del concreto endurecido.....	17
2.2.4. Absorción capilar (sorptividad).....	18
2.2.5. Aditivos químicos para el concreto.....	19
2.2.6. Clasificación de los aditivos químicos.....	21
2.2.7. Aditivos impermeabilizantes.....	21
3. METODOLOGÍA.....	24
3.1. Tipo de investigación.....	24
3.2. Diseño de la investigación.....	24
3.3. Población y muestra.....	25
3.4. Materiales empleados.....	26
3.5. Procedimiento.....	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1. Caracterización de los agregados.....	30
4.2. Propiedades del concreto.....	32
4.2.1. Resistencia a la compresión.....	32
4.2.2. Porosidad del concreto.....	36
4.2.3. Succión capilar.....	38
4.2.4. Discusión.....	42
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
6. REFERENCIAS.....	47

RESUMEN

El concreto es el material de construcción más utilizado a nivel mundial; sin embargo, su desempeño frente a la acción del agua continúa siendo uno de los principales desafíos asociados a su durabilidad. En este contexto, el presente libro analiza el efecto de la incorporación de aditivos impermeabilizantes en las propiedades mecánicas y de transporte del concreto, con especial énfasis en la resistencia a la compresión, la porosidad y la succión capilar, parámetros directamente relacionados con el ingreso de agua y agentes agresivos.

La investigación se desarrolló a partir de un concreto simple con resistencia especificada de 210 kg/cm², diseñado bajo el método ACI, al cual se incorporaron dos tipos de aditivos impermeabilizantes comerciales en diferentes dosificaciones. Los especímenes fueron evaluados a edades extendidas de curado, lo que permitió analizar no solo el comportamiento mecánico, sino también la evolución de la microestructura del concreto y su desempeño por durabilidad.

Los resultados obtenidos evidencian que la incorporación de aditivos impermeabilizantes no genera incrementos significativos en la resistencia a la compresión, salvo en el caso del aditivo Sika-CEM con una dosificación del 4 %, el cual presentó una mejora moderada. No obstante, se observaron reducciones sustanciales en la porosidad y en la absorción capilar en todos los concretos modificados con aditivos, destacando nuevamente el mejor desempeño del aditivo Sika-CEM al 4 %, lo que confirma su eficacia en la mejora del comportamiento frente al ingreso de agua.

Desde una perspectiva de durabilidad, los resultados permiten clasificar los concretos con menor porosidad como concretos de buena calidad, de acuerdo con criterios internacionales, mientras que el concreto patrón presenta un comportamiento correspondiente a una calidad moderada. En consecuencia, este libro concluye que el principal aporte de los aditivos impermeabilizantes no se centra en el aumento de la resistencia mecánica, sino en la optimización de las propiedades de transporte del concreto, constituyéndose como una herramienta eficaz para la protección de elementos estructurales expuestos a ambientes húmedos o agresivos.

ABSTRACT

Concrete is the most widely used construction material worldwide; however, its performance when exposed to water remains one of the main challenges associated with its durability. In this context, this book analyzes the effect of incorporating waterproofing additives on the mechanical and transport properties of concrete, with special emphasis on compressive strength, porosity, and capillary suction, parameters directly related to the ingress of water and aggressive agents.

The research was based on a simple concrete with a specified strength of 210 kg/cm², designed according to the ACI method, to which two types of commercial waterproofing additives were incorporated in different dosages. The specimens were evaluated at extended curing ages, which allowed for the analysis not only of mechanical behavior, but also of the evolution of the concrete's microstructure and its durability performance.

The results obtained show that the incorporation of waterproofing additives does not generate significant increases in compressive strength, except in the case of the Sika-CEM additive with a dosage of 4%, which showed a moderate improvement. However, substantial reductions in porosity and capillary absorption were observed in all concretes modified with additives, with the 4% Sika-CEM additive once again performing best, confirming its effectiveness in improving performance against water ingress.

From a durability perspective, the results allow the concretes with lower porosity to be classified as good quality concretes, in accordance with international criteria, while the standard concrete exhibits performance corresponding to moderate quality. Consequently, this book concludes that the main contribution of waterproofing additives is not focused on increasing mechanical strength, but on optimizing the transport properties of concrete, making it an effective tool for protecting structural elements exposed to humid or aggressive environments.

1. INTRODUCCIÓN

El concreto es un material heterogéneo, económico y versátil, con costos de fabricación relativamente bajos, que presenta propiedades diferenciadas tanto en su estado fresco como en su estado endurecido. Entre estas propiedades, la resistencia a la compresión es considerada la más importante, ya que permite caracterizar el comportamiento mecánico del concreto y evaluar su desempeño estructural. No obstante, esta propiedad puede verse influenciada por diversos factores, tales como la relación agua/cemento, la calidad de los materiales, el curado y las condiciones ambientales (León Consuegra & Rodríguez García, 2022).

Con el objetivo de modificar o mejorar determinadas propiedades del concreto y del mortero, se emplean aditivos, cuyo uso es tan antiguo como el propio desarrollo de los aglomerantes hidráulicos. Diversas referencias técnicas señalan que, incluso antes del desarrollo del cemento Portland, se utilizaban sustancias orgánicas naturales en mezclas de cal y áridos con la finalidad de mejorar la trabajabilidad y cohesión de morteros y concretos rudimentarios. Estas prácticas históricas, atribuidas a civilizaciones antiguas como la romana, incluían el uso de materiales orgánicos tales como leche, sangre, grasas animales o claras de huevo, principalmente con fines reológicos (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile [ICH], 2019).

Con la invención y posterior industrialización del cemento Portland a finales del siglo XIX, el desarrollo de los aditivos químicos evolucionó de manera progresiva hacia productos diseñados específicamente para modificar la trabajabilidad, el tiempo de fraguado, la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto. En la actualidad, el uso de aditivos químicos es una práctica ampliamente extendida, y en muchos países la mayoría de los concretos producidos industrialmente incorporan al menos un tipo de aditivo, como parte de una estrategia integral de optimización del desempeño del material (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile [ICH], 2019).

Las filtraciones en estructuras de concreto es quizás el problema más común en elementos expuestos a presión hidrostática o humedad constante y

es causada por dos procesos de circulación del agua a través del concreto: El primer proceso está relacionado con la permeabilidad del concreto, ya que el agua creada por supresión o sobrepresión que, dependiendo del tamaño de las cavidades en la red capilar permite un flujo continuo a través de la masa de hormigón; El segundo proceso es la absorción capilar, que se define como un mecanismo de transporte inducido por la energía (tensión superficial) del agua que actúa sobre los capilares del concreto, es decir. todos los concretos de cierta porosidad tienden a recoger y transportar líquidos. a través de esta masa. Debido a este problema, es necesario especificar el concreto en condiciones de baja permeabilidad (Euclid Chemical Toxement, 2020).

Además, la Agencia de protección Ambiental (EPA) en Estados Unidos afirma que el exceso de humedad en los materiales de construcción puede ocasionar reacciones químicas en materiales de construcción y sus componentes, puede ser causa de, por ejemplo, corrosión en sujetadores estructurales, cables, techos de metal y serpentinas de aire acondicionado y fallas en adhesivos de pisos y techos. También puede llevar a la propagación de mohos, bacteria, mohos que pudren la madera, y plagas de insectos (termitas y hormigas carpinteras) en materiales de construcción y sistemas de aire acondicionado (U.S. Environmental Protection Agency [US EPA], 2016).

De las partes más afectadas por la humedad en la parte estructural son las cimentaciones y columnas, ya que estas comúnmente al estar expuestas al terreno natural puede llegar filtraciones de agua que en el caso más grave puede afectar las propiedades mecánicas en el proceso de curado, también si están conformadas de concreto armado y su diseño no se tomó en cuenta las posibles filtraciones de agua por las condiciones del terreno puede llegar a comprometer la vida útil de este al corroer el acero de su interior.

Un caso importante en el norte del país, es lo sucedido en el Hospital “La Noria” de la ciudad de Trujillo, que posterior a las fuertes lluvias que ocurrieron en marzo de 2023, la Subgerencia de Defensa Civil del Gobierno Regional de La Libertad declaró en riesgo muy alto a dicho establecimiento de salud, ya que después de que realizar una visita técnica al nosocomio trujillano, debido a la antigüedad y a la humedad presente por las fuertes lluvias que se dieron y el

estado no adecuado de las tuberías, que al sumarlo con el nulo mantenimiento, la erosión de los materiales, colocan a la infraestructura en muy alto riesgo, que compromete la vida del personal del sitio y a más de 600 personas que van al hospital para su atención diariamente (Exitosa Perú, 2023)

Esta investigación se **justifica** de que estudia 3 propiedades importantes en el concreto, como lo es la resistencia a la compresión, porosidad y succión capilar, los cuales son tomadas muy en cuenta para ciertos tipos de estructuras como edificaciones u obras hidráulicas, con ello siendo un aporte al conocimiento que se tiene sobre la influencia de los aditivos impermeabilizantes en la elaboración de mezclas de concreto empleando dos dosis pocas estudiadas. Además, tomando en cuenta que la resistencia a la compresión que se manejará será destinada a elementos estructurales presentes en obras con más presencia en el país como lo son las edificaciones, los cuales pueden alcanzar una gran altitud, por ello este no debe ser inferior a 17 MPa. (Norma E.060, 2019).

El objetivo general que busca la investigación es: Determinar la influencia de aditivo impermeabilizante en la resistencia a la compresión, porosidad y succión capilar de un concreto de 210 kg/cm². Los objetivos específicos son: (1) Determinar las características físicas de los agregados finos, (2) Determinar el diseño del concreto patrón y los concreto modificado con aditivo, (3) Determinar las propiedades del concreto fresco y endurecido del concreto patrón y modificado con los aditivos evaluados hasta una edad de 120 días., (4) Determinar la dosis de aditivo óptima para un diseño de concreto bajo el método del American Concrete Institute (ACI).

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Antecedentes

Diversas investigaciones han analizado la influencia de aditivos minerales y fibras en la durabilidad del concreto expuesto a ambientes marinos. En ese marco, Zhang et al. (2022) desarrollaron el estudio titulado “Effects of additives on water permeability and chloride diffusivity of concrete under marine tidal environment”, cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la ceniza volante (FA), escoria (SG), humo de sílice (SF) y fibra de basalto (BF) sobre la permeabilidad al agua y la difusividad de cloruros del concreto en función del tiempo, así como su relación con la microestructura. La investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo con diseño experimental, considerando exposiciones prolongadas de hasta 1160 días en un ambiente marino natural de tipo mareal. Los resultados evidenciaron que los aditivos reducen progresivamente la permeabilidad al agua y la difusión de cloruros, siendo la ceniza volante y el humo de sílice los más efectivos en la disminución temprana de la permeabilidad, mientras que la fibra de basalto mostró un comportamiento desfavorable en etapas iniciales, pero beneficioso a largo plazo. Asimismo, se determinó que la reducción sostenida de poros mayores a 100 nm y de la porosidad contributiva asociada constituye el principal mecanismo microestructural responsable de la mejora en la durabilidad del concreto expuesto a ambientes marinos agresivos.

Diversas investigaciones a nivel nacional han evaluado el uso de aditivos impermeabilizantes como una estrategia para mejorar el desempeño físico-mecánico del concreto y prolongar su vida útil. En ese contexto, Terán Tejada (2018) desarrolló la tesis titulada “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del concreto de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ empleando cemento Portland Tipo I y el aditivo Sika Cem Impermeable, en la provincia de Cajamarca”, cuyo objetivo fue analizar la influencia de dicho aditivo en las propiedades mecánicas y de transporte del concreto. La investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo y diseño experimental, evaluando especímenes de con-

creto patrón y concretos con adiciones de Sika Cem Impermeable en proporciones de 0,96 %, 1,92 % y 2,88 % del peso del cemento, a edades de curado de 7, 14 y 28 días. Los resultados evidenciaron una reducción significativa de la porosidad, absorción y permeabilidad del concreto, alcanzándose coeficientes de permeabilidad del orden de 10^{-10} m/s frente a valores de 10^{-9} m/s del concreto convencional, así como incrementos relevantes en la resistencia a la compresión, que pasó de 365,45 kg/cm² en el concreto patrón hasta valores cercanos a 454 kg/cm² con el mayor porcentaje de aditivo. El estudio concluye que la incorporación controlada del aditivo Sika Cem Impermeable mejora de manera simultánea las propiedades físico-mecánicas del concreto, contribuyendo a una mayor durabilidad y resistencia frente al ingreso de agentes agresivos, especialmente en estructuras expuestas a condiciones severas de humedad.

Es muy importante comprender a la succión capilar del hormigón como un parámetro clave para evaluar sus propiedades de transporte y su durabilidad frente a agentes agresivos. En este contexto, Alderete et al (2014) desarrollaron el estudio titulado *“Determinación de la velocidad de succión capilar del hormigón a partir de diferentes números de especímenes”*, cuyo objetivo fue analizar la influencia del número de especímenes ensayados en el cálculo de la velocidad y la capacidad de succión capilar del hormigón, conforme al método normalizado IRAM 1871. La investigación se desarrolló mediante un enfoque experimental y análisis estadístico, evaluando cinco pastones de hormigón convencional y realizando el ensayo de succión capilar en un total de 55 especímenes. Los resultados evidenciaron que el método de cálculo de la velocidad de succión capilar no produce distribuciones normales y que el número de especímenes utilizados influye en la representatividad del parámetro obtenido. Asimismo, se determinó que el uso de cinco especímenes constituye un compromiso adecuado entre precisión estadística y practicidad del ensayo, al lograr valores suficientemente cercanos a la velocidad de succión capilar poblacional, mientras que el uso del mínimo normativo de tres especímenes puede conducir a subestimaciones significativas del parámetro evaluado.

Comprender el uso de aditivos impermeabilizantes como estrategia para reducir los fenómenos de absorción capilar en materiales cementicios ha sido la línea de estudio de Ascate Vásquez et al. (2013) que desarrollo la investigación titulada *“Efecto de un aditivo impermeabilizante en la capilaridad de un mortero de cemento/arena en el norte de Perú”*, cuyo objetivo fue determinar la influencia de un aditivo impermeabilizante en polvo sobre la capilaridad de morteros elaborados con cemento Portland y arena de la ciudad de Trujillo. La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental, utilizando especímenes cúbicos de mortero con y sin aditivo, evaluados luego de siete días de curado mediante ensayos de absorción y capilaridad. Los resultados evidenciaron que la incorporación del aditivo impermeabilizante produjo una reducción significativa de la capilaridad, disminuyendo el coeficiente promedio de absorción capilar de 87.34 a 28.58 g·min/cm², lo que representa una reducción aproximada del 32%. Asimismo, se observó una disminución del área del fleco capilar cercana al 33%, atribuida al efecto hidrófugo del aditivo, el cual bloquea parcialmente los poros capilares del mortero, limitando el ascenso del agua y mejorando su comportamiento frente a problemas de humedad.

Diversas investigaciones han abordado la influencia de la porosidad efectiva y la absorción capilar como parámetros determinantes en la durabilidad del concreto expuesto a ambientes altamente agresivos. En ese contexto, Howland y Martín (2013) desarrollaron el estudio titulado *“Estudio de la absorción capilar y la sorptividad de hormigones con áridos calizos cubanos”*, cuyo objetivo fue evaluar la posibilidad de obtener hormigones con porosidad efectiva inferior al 10 % y valores de sorptividad menores a 5×10^{-5} m/s^{1/2}, conforme a los criterios establecidos por la Red DURAR del CYTED, utilizando áridos calizos de elevada absorción disponibles en Cuba. La investigación se desarrolló mediante un enfoque experimental en dos fases, considerando relaciones agua/cemento de 0,40 y 0,45, y aplicando tanto el método de absorción capilar de Göran Fagerlund como el ensayo de sorptividad según la norma ASTM C1585. Los resultados evidenciaron que, bajo un adecuado control tecnológico y el cumplimiento estricto de buenas prácticas constructivas, es posible alcan-

zar valores de porosidad efectiva menores al 10 % incluso con áridos de alta absorción; sin embargo, se identificaron limitaciones en la determinación de la sorptividad mediante el método de Fagerlund, recomendándose el uso del ensayo ASTM C1585 para una evaluación más representativa del transporte capilar. El estudio concluye que la porosidad efectiva y la sorptividad constituyen parámetros confiables de desempeño por durabilidad, proponiendo su incorporación como criterios de especificación para estructuras de concreto expuestas a ambientes marinos o altamente agresivos

La relación entre la porosidad y la permeabilidad del concreto como factores determinantes de su desempeño mecánico y durabilidad frente a agentes agresivos, ha sido evaluado por Vélez (2010) que desarrolló el estudio titulado *“Permeabilidad y porosidad en concreto”*, cuyo objetivo fue cuantificar la permeabilidad y la porosidad del concreto poroso y analizar su variación en función de la resistencia a la compresión y a la flexotracción. La investigación se llevó a cabo mediante un enfoque experimental, empleando diferentes dosificaciones de concreto poroso elaboradas con cemento Portland ordinario y agregados de granulometría controlada, evaluando parámetros como volumen de poros permeables, absorción total, densidad y propiedades mecánicas a los 28 días. Los resultados evidenciaron que la permeabilidad del concreto está directamente controlada por la porosidad efectiva y, en particular, por la interconectividad de los poros capilares, determinándose que es posible alcanzar un equilibrio óptimo entre permeabilidad y resistencia mecánica. En ese sentido, se obtuvo una dosificación que permitió alcanzar una permeabilidad del orden de 2,34 mm/s, con un porcentaje real de vacíos cercano al 11 %, logrando resistencias a compresión y flexotracción de aproximadamente 33 MPa y 3 MPa, respectivamente. El estudio concluye que la porosidad y la permeabilidad constituyen parámetros fundamentales para el diseño y evaluación de concretos con criterios de desempeño, especialmente en aplicaciones donde se requiere control del transporte de fluidos y durabilidad a largo plazo.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Concreto Impermeable

El concepto de concreto impermeable está directamente relacionado con el control de las propiedades de transporte que gobiernan la penetración de agua en el material, principalmente la permeabilidad y la absorción capilar. Estas propiedades dependen de la microestructura del concreto endurecido, en particular de la porosidad efectiva y de la conectividad de los poros capilares, los cuales condicionan el ingreso y desplazamiento de fluidos a través de la matriz cementicia.

Sin embargo, el comportamiento impermeable del concreto no puede evaluarse únicamente desde la perspectiva del transporte de fluidos, sino que debe complementarse con el control de los fenómenos de fisuración, dado que la presencia de fisuras incrementa significativamente la permeabilidad global del material. En este contexto, la retracción constituye uno de los mecanismos más relevantes que favorecen la formación de fisuras en el concreto, incluso en ausencia de cargas externas.

Desde un enfoque estructural, la Portland Cement Association (PCA) establece límites máximos admisibles de ancho de fisura para garantizar la estanqueidad de estructuras hidráulicas, recomendando valores del orden de 0,20 mm para tanques circulares de concreto sin presfuerzo, criterio que se aplica principalmente al desempeño de la estructura en servicio y no exclusivamente a las propiedades intrínsecas del material (Portland Cement Association [PCA], 1995). En concordancia con ello, los manuales técnicos de Sika señalan que la impermeabilidad del concreto debe abordarse de manera integral, considerando no solo la reducción de la permeabilidad y la absorción del material, sino también el control de la fisuración, mediante un adecuado diseño de mezcla, un curado apropiado y el uso correcto de aditivos impermeabilizantes integrales, los cuales actúan reduciendo la conectividad de los poros capilares del concreto (Sika, 2017).

2.2.2. Resistencia a la compresión

Es la propiedad mecánica que expresa la capacidad máxima del concreto para resistir esfuerzos de compresión producidos por la aplicación de una carga axial, aplicada generalmente en dirección vertical. Este parámetro constituye el principal criterio de aceptación y control de calidad del concreto, y se designa mediante el símbolo $f'c$.

La resistencia a la compresión se expresa comúnmente en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) o en megapascuales (MPa), y se determina mediante un ensayo destructivo realizado en laboratorio, aplicando una carga axial creciente sobre especímenes cilíndricos hasta su falla. El ensayo se efectúa utilizando una prensa hidráulica debidamente calibrada, conforme a los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 339.034, que regula el método normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (Instituto Nacional de Calidad, 2021).

Desde el punto de vista experimental, la resistencia a la compresión se calcula mediante la relación entre la carga máxima aplicada y el área transversal del espécimen, conforme a la siguiente expresión:

$$f'c = \frac{P \text{ [Kg]}}{A \text{ [cm}^2\text{]}}$$

donde:

- $f'c$ = resistencia a la compresión del concreto (kg/cm^2 o MPa),
- P = carga axial máxima aplicada en el ensayo (kg o N),
- A = área transversal del espécimen sobre la cual actúa la carga (cm^2 o mm^2).

Si bien la edad de 28 días constituye la referencia convencional para la especificación de la resistencia del concreto, los ensayos pueden realizarse a diferentes edades de curado (por ejemplo, 1, 3, 7, 14, 56 o 90 días), dependiendo de los objetivos del control de calidad, del estudio experimental o de la evaluación del desarrollo resistente del material, sin contravenir lo dispuesto por la norma.

2.2.3. Porosidad

La porosidad del concreto hace referencia a la proporción de espacios vacíos existentes dentro de la masa del material endurecido, los cuales pueden estar ocupados por aire o agua. Esta propiedad física afecta de manera directa la resistencia mecánica y el desempeño por durabilidad del concreto, ya que una mayor porosidad facilita el ingreso de líquidos y agentes agresivos al interior del material (Solís-Carcaño & Alcocer-Fraga, 2019).

Desde un punto de vista experimental, la porosidad del concreto endurecido puede determinarse mediante el porcentaje de vacíos, el cual se obtiene a partir de mediciones de masa del espécimen en condiciones de secado, saturación y ebullición, conforme a lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 339.187. El porcentaje de vacíos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\%Vacios = \frac{(M_{ie} - M_s) * 100}{M_{ie} - M_{isa}}$$

donde:

- % Vacíos = porcentaje de vacíos o porosidad de la muestra (%)
- M_{ie} = masa del espécimen después de ser sumergido en agua en ebullición (g)
- M_s = masa del espécimen seco al horno (g)
- M_{isa} = masa aparente del espécimen saturado y sumergido en agua (g).

De acuerdo con la NTP 339.187, las muestras empleadas para este ensayo no requieren una geometría específica, pudiendo utilizarse fragmentos de cilindros, testigos extraídos (corazones) o secciones de vigas, siempre que cada espécimen tenga un volumen mínimo de 350 cm³ y se encuentre libre de fisuras, grietas visibles o bordes deteriorados, condiciones necesarias para garantizar la validez del ensayo (Instituto Nacional de Calidad, 2018).

Desde el enfoque del desempeño por durabilidad, la Red DURAR del Programa CYTED establece criterios orientativos para la evaluación de la calidad del concreto en función de su porosidad efectiva. En ese sentido, se considera que un concreto presenta buena calidad cuando el porcentaje de vacíos es

menor o igual al 10 %, calidad moderada cuando se encuentra entre 10 % y 15 %, y durabilidad no adecuada cuando el valor supera el 15 %, debido al mayor riesgo de ingreso de agua y agentes agresivos al interior del material (Red DURAR, 1998).

2.2.4. Absorción Capilar

La absorción capilar, también denominada sorptividad, es una propiedad hidráulica que describe la capacidad de un material poroso parcialmente saturado para absorber y transportar agua a través de su red capilar debido a la acción de fuerzas capilares. Este fenómeno resulta particularmente relevante en el concreto endurecido, ya que controla el ingreso inicial de agua y agentes agresivos hacia el interior del material, influyendo directamente en su durabilidad.

La norma ASTM C1585-20 define la sorptividad inicial (S_i) como la relación entre la profundidad de penetración del agua y la raíz cuadrada del tiempo, parámetro que representa la velocidad de absorción capilar en un concreto seco o parcialmente saturado. Este ensayo permite evaluar el comportamiento de absorción del concreto en condiciones controladas, reproduciendo el mecanismo de ingreso de agua dominado por fuerzas capilares (ASTM International, 2020).

Los investigadores Hall & Hoff (2012) definen la absorción capilar como un fenómeno por el cual el agua asciende dentro de un material poroso debido a la acción de las fuerzas capilares, y constituye un parámetro clave en la evaluación de la durabilidad del concreto. En términos técnicos, esta propiedad se describe a través de la sorptividad, la cual representa la velocidad a la que un material poroso absorbe y transmite agua por medio de su red de poros, especialmente en las etapas iniciales de exposición al agua.

El comportamiento de la absorción capilar se analiza generalmente mediante una gráfica de absorción acumulada en función de la raíz cuadrada del tiempo, en la cual se identifican dos etapas bien diferenciadas. La absorción inicial, correspondiente aproximadamente desde el inicio del ensayo hasta las primeras 6 horas, está dominada por el llenado rápido de los poros capilares

conectados. Posteriormente, se desarrolla una absorción secundaria o final, que se extiende desde aproximadamente 1 día hasta 8 días, asociada al ingreso más lento del agua en poros de menor tamaño y menor conectividad, tal como lo describen Hall (1989) y Neville (2011).

Desde el punto de vista experimental, la absorción acumulada se determina mediante la siguiente expresión:

$$Abs = \frac{\Delta m}{A \cdot \rho}$$

donde:

Abs = absorción acumulada de la muestra (mm),

Δm = incremento de masa acumulada durante el ensayo (g),

A = área expuesta de la muestra (mm²),

ρ = densidad del agua (g/mm³).

Este parámetro permite comparar el comportamiento de diferentes mezclas de concreto y evaluar el efecto de variables como la relación agua/cemento, el tipo de cemento, la presencia de aditivos impermeabilizantes y el régimen de curado, constituyéndose en un indicador confiable del desempeño por durabilidad del material.

2.2.5. Aditivos químicos

Los aditivos químicos son materiales distintos del agua, los agregados y los materiales cementantes, que se incorporan al concreto durante el proceso de mezclado con el objetivo de modificar una o más propiedades del concreto en estado fresco o endurecido. Su empleo permite mejorar características como la trabajabilidad, el tiempo de fraguado, la resistencia mecánica, la durabilidad y la impermeabilidad, entre otras, sin alterar de manera significativa la composición básica del concreto.

De acuerdo con la norma ASTM C494/C494M, los aditivos químicos se definen como sustancias añadidas al concreto antes o durante el mezclado, capaces de actuar en distintas etapas del proceso, tales como el mezclado, el fraguado o el endurecimiento, produciendo efectos controlados sobre el com-

portamiento del material (ASTM International, 2004). Para su correcta aplicación, es indispensable seguir las recomendaciones del fabricante, considerando el tipo de aditivo, la dosificación adecuada y su compatibilidad con los demás componentes del concreto.

Asimismo, el American Concrete Institute (ACI) establece una clasificación funcional de los aditivos químicos en función de los efectos que generan en el concreto, distinguiéndose principalmente los aditivos reductores de agua, retardantes, acelerantes, incorporadores de aire y combinaciones de estos. Esta clasificación, desarrollada en documentos como el ACI 212.3R, constituye una referencia fundamental para la selección y uso adecuado de aditivos en función de los requerimientos técnicos y condiciones de servicio de la estructura, contribuyendo al diseño de concretos con desempeño mejorado y mayor durabilidad (American Concrete Institute [ACI], 2016).

Tabla 1 – Tipos de Aditivos

Según	Tipo	Definición
NTP 339.088 / ASTM C-494	Tipo A	Reductor de agua
	Tipo B	Retardante de fraguado
	Tipo C	Acelerante de fraguado inicial
	Tipo C2	Acelerante de resistencia
	Tipo D	Reductor de agua y retardante
	Tipo E	Reductor de agua y acelerante
	Tipo F	Reductor de agua de alto rango
	Tipo F2	Superplastificante
	Tipo G	Reductor de agua de alto rango y acelerante
	Tipo G2	Superplastificante y acelerante
	Tipo AA	Inclisor de aire

Fuente: Propia

2.2.6. Aditivo impermeabilizante

Los aditivos impermeabilizantes son productos químicos incorporados al concreto o al mortero con la finalidad de reducir la penetración y transmisión del agua, ya sea bajo presión hidrostática o por acción capilar. Su mecanismo de acción se basa principalmente en la reducción de la permeabilidad del concreto, mediante la disminución de la conectividad de los poros capilares o el bloqueo parcial de estos, lo que limita el paso del agua y de agentes agresivos a través de la matriz cementicia.

Estos aditivos pueden presentarse en forma líquida, siendo incorporados directamente a la mezcla de concreto durante el vaciado, o en forma de polvo, utilizados principalmente en morteros de recubrimiento o tarrajeo con fines de protección frente a la humedad superficial. La selección de la presentación depende del tipo de aplicación, de las condiciones de exposición y del nivel de impermeabilidad requerido en la estructura.

De acuerdo con Sika Perú (2023), el uso de aditivos impermeabilizantes integrales contribuye a la obtención de concretos y morteros más densos y durables, al reducir la absorción de agua y la permeabilidad del material, mejorando su comportamiento frente a ambientes húmedos y agresivos. No obstante, la eficacia de estos productos depende de una dosificación adecuada, del cumplimiento de un correcto diseño de mezcla y de la aplicación de un curado apropiado, aspectos que deben ser considerados de manera integral para garantizar el desempeño impermeable del concreto.

2.2.7. Diseño de mezcla del concreto

El diseño de mezcla del concreto consiste en el cálculo y la dosificación de los materiales necesarios para producir un metro cúbico (1 m^3) de concreto, de manera que se cumplan simultáneamente los requisitos de resistencia mecánica, trabajabilidad, durabilidad y economía. Este procedimiento se desarrolla con base en metodologías normalizadas, siendo una de las más difundidas y aceptadas a nivel internacional la establecida por el Comité 211 del American Concrete Institute (ACI).

La metodología ACI 211 se fundamenta en la selección de una resistencia a la compresión especificada (f'_c) y en la caracterización previa de las propiedades físicas de los agregados, tales como granulometría, peso específico, absorción, contenido de humedad y módulo de fineza. A partir de estos parámetros, el método emplea tablas y relaciones empíricas proporcionadas por el ACI para determinar el contenido de agua de mezclado, la relación agua/cemento, el volumen de agregado grueso y el contenido de pasta requerido para lograr la trabajabilidad deseada (American Concrete Institute, 2022).

Uno de los criterios fundamentales del método es la relación agua/cemento (a/c), la cual controla directamente la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto. El ACI establece rangos típicos de relación a/c que varían aproximadamente entre 0,35 y 0,65, dependiendo de la resistencia requerida y de las condiciones de exposición. Valores bajos de relación a/c permiten obtener concretos de mayor resistencia y menor permeabilidad, mientras que valores elevados facilitan la trabajabilidad, pero incrementan la porosidad y reducen la durabilidad del material.

El método ACI 211 permite calcular inicialmente los volúmenes absolutos de cada componente (cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y aire), verificando que la suma de estos sea igual a un metro cúbico de concreto. Posteriormente, estos volúmenes se convierten en cantidades en masa seca, las cuales deben ser corregidas por el contenido real de humedad de los agregados para obtener las cantidades finales de dosificación que se emplean en laboratorio o en obra.

Entre las principales consideraciones del método ACI 211 se encuentran:

- La selección adecuada del tamaño máximo nominal del agregado, que influye en el contenido de agua y en la trabajabilidad.
- La definición del contenido de aire, especialmente en concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo.
- La verificación de la consistencia requerida, generalmente expresada en términos de asentamiento.

Concreto Impermeable y Aditivos Plastificantes: Dosificación y comportamiento

- La necesidad de realizar mezclas de prueba, a fin de ajustar el diseño teórico y garantizar que el concreto cumpla con las propiedades especificadas.

En consecuencia, el método ACI 211 constituye una herramienta robusta y ampliamente validada para el diseño racional de mezclas de concreto, permitiendo obtener concretos con desempeño controlado y reproducible, siempre que se apliquen correctamente las recomendaciones normativas y se realicen los ajustes necesarios en función de los materiales locales y las condiciones de exposición.

3. METODOLOGIA

3.1. Tipo de Investigación

3.1.1. Por el enfoque

El método de análisis en este estudio es cuantitativo en el sentido de que intenta investigar las consecuencias de muestrear una porción de la población utilizando criterios descriptivos, observando la muestra del estudio, utilizando categorías para identificar detalles que diferencian la cobertura de toda la población (Ugalde Bilda & Balbastre Benavent, 2013).

3.1.2. Por el propósito

La investigación tiene un propósito aplicado en el sentido de que pretende aplicar o utilizar conocimientos básicos de investigación para compararlos con la investigación en curso; retrospectivo, observable (Hernández Sampieri, 2014).

3.1.3. Según el diseño

Por diseño, este estudio es de categoría experimental porque permite la manipulación de la variable independiente y el análisis de sus efectos sobre la variable dependiente (Baena Paz, 2014).

3.2. Diseño de Investigación

Para la presente investigación se realizó el planteamiento de un diseño experimental, en el que se manipulara la dosis de aditivo impermeabilizante de dos diferentes marcas que se adicionara al diseño de mezcla. Esto se llevará a cabo mediante la comparación de los especímenes en una serie de ensayos, los cuales tendrán 3 muestras por cada ensayo y dosis de cada marca de aditivo utilizado, para tener un resultado más exacto y además se realizarán los controles debidos para garantizar que los diseños cumplan con la Norma Técnica Peruana para la elaboración de los especímenes de concreto.

3.3. Población Y Muestra

3.3.1. Muestra

El método de muestreo empleado es “No Probabilístico”, del tipo “Juicio de experto”; basado en el amplio conocimiento del curso de Tecnología del concreto y del ACI 211.1, por lo que se estableció la elaboración de un total de 135 muestras para el ensayo de resistencia a la compresión, porosidad y succión capilar por el método de madurez en las edades de 7, 14, 21 y 28, 56 y 120 días.

Se optó por estos periodos para los ensayos antes mencionados en base a las investigaciones que se tomaron como antecedentes donde iban más allá de los 90 días de curado y también se consideró los periodos establecidos por la Norma Técnica Peruana (NTP) y ASTM, por parte del número total de muestras, se planteó esa cantidad para obtener un resultado más certero con 3 muestras para cada periodo y diseño que se plantea en esta investigación, de tal manera como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 2 – Muestras para el ensayo de Resistencia a la Compresión

Diseño	Edad					Sub-Total
	7 Días	14 Días	28 Días	56 Días	120 Días	
Concreto Patrón	3	3	3	3	3	15
Sika CEM Imperm. 3%	3	3	3	3	3	15
Sika CEM Imperm. 4%	3	3	3	3	3	15
Z1 Imperm. 3%	3	3	3	3	3	15
Z1 Imperm. 4%	3	3	3	3	3	15
TOTAL						75

Nota: Los especímenes son de forma cilíndrica de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura

Tabla 3 – Muestras para el ensayo de porosidad del concreto

Diseño	Edad		
	56 días	120 días	Sub-Total
Concreto Patrón	3	3	6
Sika CEM Imperm. 3%	3	3	6
Sika CEM Imperm. 4%	3	3	6
Z1 Imperm. 3%	3	3	6
Z1 Imperm. 4%	3	3	6
TOTAL			30

Nota: Los especímenes son de forma cilíndrica de 10 cm de diámetro y 5 cm de altura

Tabla 4 – Muestras para el ensayo de succión capilar del concreto

Diseño	Edad		
	56 días	120 días	Sub-Total
Concreto Patrón	3	3	6
Sika CEM Imperm. 3%	3	3	6
Sika CEM Imperm. 4%	3	3	6
Z1 Imperm. 3%	3	3	6
Z1 Imperm. 4%	3	3	6
TOTAL			30

Nota: Los especímenes son de forma cilíndrica de 10 cm de diámetro y 5 cm de altura

3.4. Materiales Empleados

A) Sika® CEM Impermeabilizante

Aditivo impermeabilizante integral de naturaleza líquida, diseñado para incorporarse en el agua de mezclado del concreto o mortero. Actúa reduciendo la permeabilidad y la absorción capilar mediante la modificación de la red porosa del material.

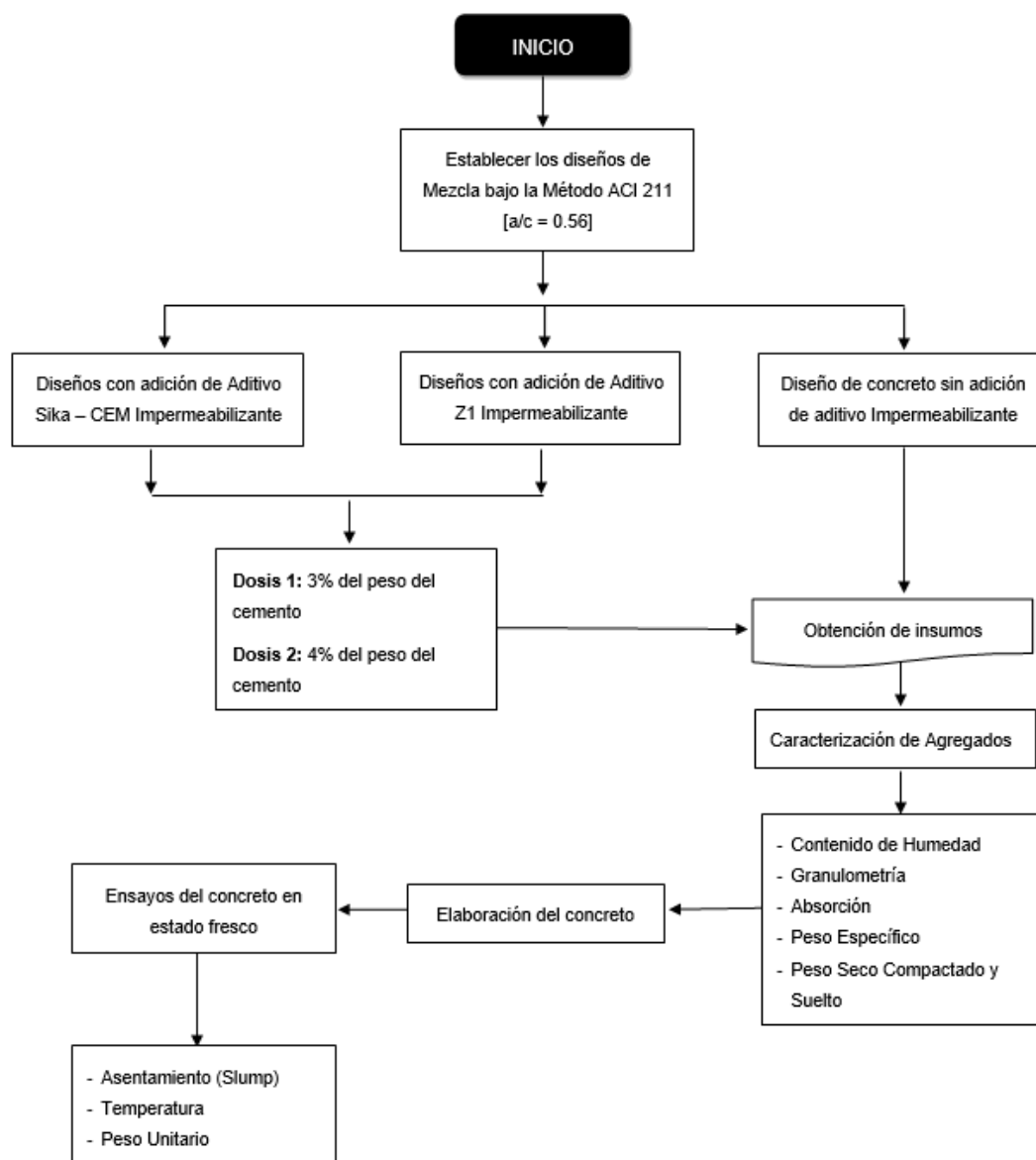
Según documentación técnica del fabricante, la dosificación típica recomendada se encuentra dentro del rango de: 2 % – 4 % respecto al peso del cemento. Entre los usos principales se tiene: a) Concretos expuestos a humedad permanente, b) Elementos en contacto con agua (cisternas, tanques, losas en contacto con suelo), c) Obras hidráulicas de pequeña y mediana escala y d) Morteros impermeables.

B) Z1 Impermeabilizante

Aditivo impermeabilizante integral destinado a disminuir la permeabilidad del concreto endurecido mediante la reducción de la conectividad capilar y la mejora de la compacidad interna. La dosificación recomendada por fabricante se expresa en porcentaje respecto al peso del cemento, usualmente dentro del rango de 2 % – 4 % del peso del cemento. Entre los usos principales se tiene: a) Elementos de concreto expuestos a humedad intermitente, b) Estructuras en contacto con suelos húmedos, c) Pavimentos o losas expuestas a infiltraciones.

3.5. Procedimiento

Figura 1 – Proceso de Investigación



Concreto Impermeable y Aditivos Plastificantes: Dosificación y comportamiento

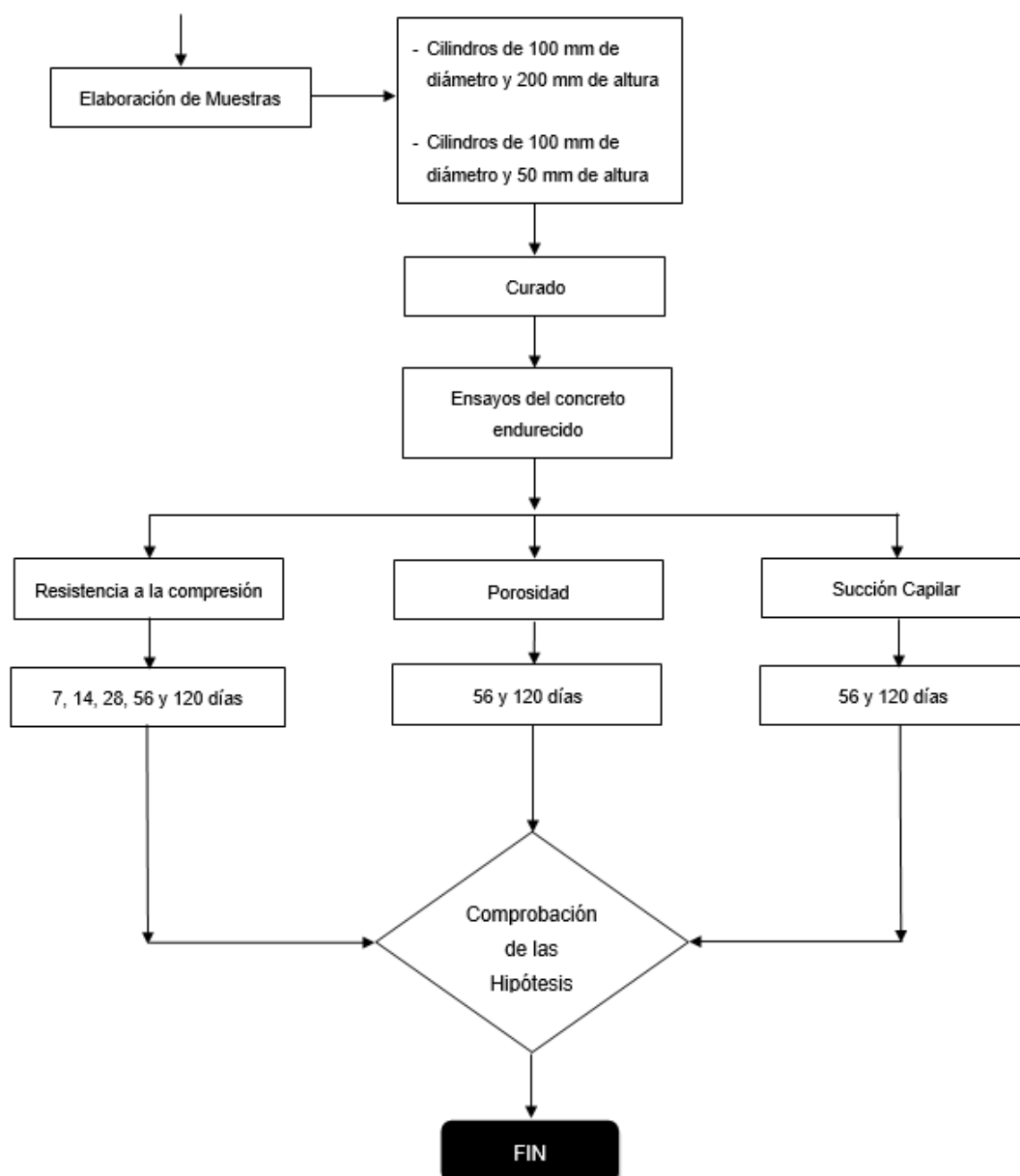


Figura 2 – Muestras cilíndricas para los ensayos de porosidad y succión capilar



Figura 3 – Medición del asentamiento del concreto en estado fresco (SLUMP)



4. RESULTADOS Y DISCUSION

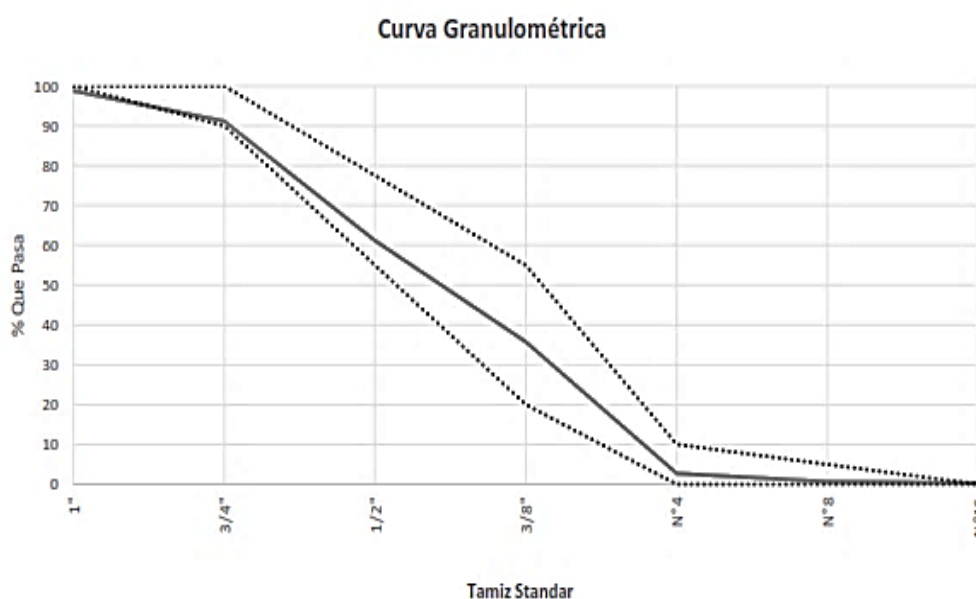
4.1. Caracterizacion de Agregados

Los agregados han sido obtenidos en una cantera ubicada en el centro poblado “El Milagro” en el distrito de Huanchaco, dicho lugar fue elegido debido a que contaba con agregados de buena calidad, ya que proveía a un gran número de ferreterías de la ciudad de Trujillo. A continuación, se presentan los ensayos normativos realizados a los agregados gruesos y finos.

Tabla 5 – Resultado de la caracterización del agregado grueso

Ensayo	Normativa	Und	Resultado
Contenido de Humedad	ASTM C-566	%	0.7
Peso Específico	ASTM C-127	g/cm ³	2.47
Absorción	ASTM C-127	%	2.1
Peso Unitario Suelto	ASTM C-29	kg/m ³	1462
Peso Unitario Compactado	ASTM C-29	kg/m ³	1555
Módulo de Finura	ASTM C-136	-	6.69
Tamaño Máximo Nominal	ASTM C-136	Pulg	3/4

Figura 2 – Curva Granulométrica del agregado grueso



Concreto Impermeable y Aditivos Plastificantes: Dosificación y comportamiento

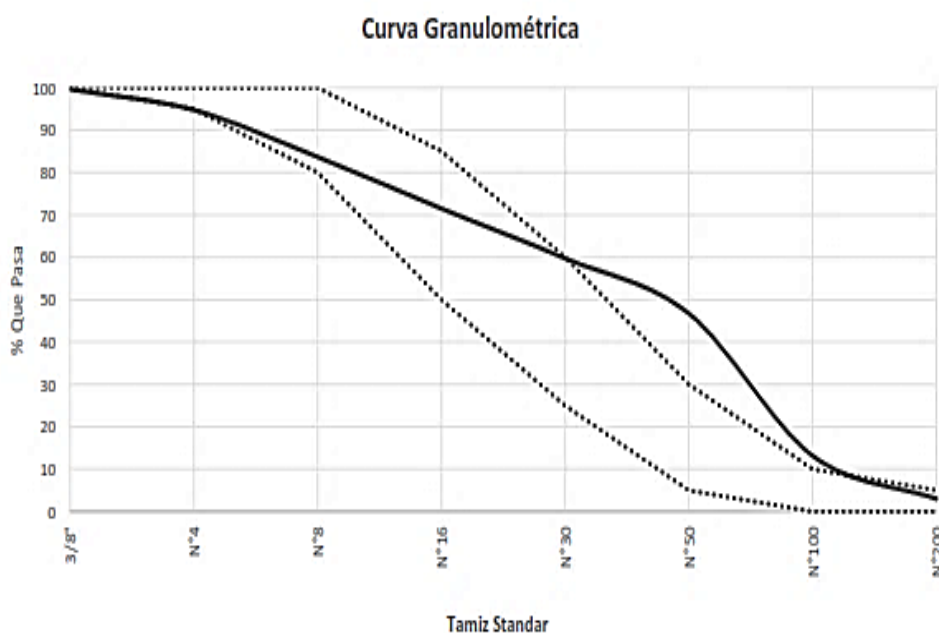
El agregado grueso presenta un contenido de humedad de 0,7 %, valor relativamente bajo que indica una condición cercana al estado seco superficialmente saturado (SSD), facilitando el control de la relación agua/cemento durante el diseño de mezcla. Los valores de peso unitario suelto (1462 kg/m^3) y compactado (1555 kg/m^3) evidencian una adecuada capacidad de acomodación de las partículas, lo cual influye positivamente en la compacidad del concreto y en la reducción de vacíos internos.

La curva granulométrica del agregado grueso muestra una distribución continua dentro de los límites recomendados, lo que contribuye a una mejor interconexión de partículas, reducción de la segregación y mejora del comportamiento mecánico del concreto endurecido.

Tabla 6 – Resultado de la caracterización del agregado fino

Ensayo	Normativa	UND	Resultado
Contenido de Humedad	ASTM C-566	%	1.2
Peso Específico	ASTM C-128	g/cm^3	2.55
Absorción	ASTM C-128	%	1.0
Peso Unitario Suelto	ASTM C-29	kg/m^3	1633
Peso Unitario Compactado	ASTM C-29	kg/m^3	1776
Módulo de Finura	ASTM C-136	-	2.31

Figura 3 – Curva Granulométrica del agregado fino



El agregado fino presenta un contenido de humedad de 1,2 %, valor que, si bien es mayor que el del agregado grueso, se mantiene dentro de rangos normales y controlables en laboratorio y obra. El peso específico de 2,55 g/cm³ es representativo de arenas naturales densas, lo cual favorece la resistencia y estabilidad volumétrica del concreto. El módulo de fineza de 2,31 clasifica al agregado fino como una arena de granulometría media a ligeramente fina. La curva granulométrica del agregado fino se mantiene dentro de los límites recomendados, lo que favorece una buena cohesión de la mezcla, mejora la trabajabilidad y reduce la exudación.

Por tanto, los agregados estudiados son **aptos para su utilización en el diseño de mezclas de concreto** destinadas a la evaluación de propiedades mecánicas y de durabilidad, constituyendo una base adecuada para el análisis posterior de la resistencia a la compresión, la porosidad y la succión capilar en el concreto endurecido.

4.2. Propiedades Del Concreto

4.2.1. Resistencia a la compresión

Los resultados respecto a la resistencia a la compresión de los 4 diseños de concreto desarrolladas bajo la metodología del American Concrete Institute (ACI) cumplieron con los estándares que establece en la Norma Técnica Peruana, un detalle a mencionar es que la metodología del American Concrete Institute (ACI) considera al diseño que se quiere obtener ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) como el mínimo que se aspira en cuanto a resistencia, por lo cual se diseña en función a la resistencia requerida ($f'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$). A continuación, se muestra los valores obtenidos para el concreto patrón, 02 tipos de concreto con aditivo CEM y 02 tipos de concreto con aditivo Z1.

Concreto Impermeable y Aditivos Plastificantes: Dosificación y comportamiento

Tabla 7 – Resultados de resistencia a la compresión a los 7 días de curado

Diseño de Mezcla	f'c [kg/cm2]	f'c Promedio
Concreto Patrón	198.36	198.92
	191.15	
	207.24	
Concreto Sika - CEM 3%	196.35	199.26
	207.67	
	193.77	
Concreto Sika - CEM 4%	203.51	203.22
	203.46	
	202.69	
Concreto Z1 3%	155.30	149.19
	133.70	
	158.55	
Concreto Z1 4%	158.59	161.03
	168.62	
	155.89	

Tabla 8 – Resultados de resistencia a la compresión a los 14 días de curado

Diseño de Mezcla	f'c [kg/cm2]	f'c Promedio
Concreto Patrón	239.79	240.40
	249.99	
	231.43	
Concreto Sika - CEM 3%	246.53	235.95
	226.00	
	235.33	
Concreto Sika - CEM 4%	252.52	246.19
	240.49	
	245.55	
Concreto Z1 3%	208.40	190.51
	173.27	
	189.85	
Concreto Z1 4%	182.92	198.21
	206.81	
	204.91	

Concreto Impermeable y Aditivos Plastificantes: Dosificación y comportamiento

Tabla 9 – Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de curado

Diseño de Mezcla	f _c [kg/cm ²]	f _c Promedio
Concreto Patrón	252.19	263.89
	268.77	
	270.70	
Concreto Sika - CEM 3%	264.15	260.21
	260.69	
	255.79	
Concreto Sika - CEM 4%	270.98	272.06
	270.39	
	274.82	
Concreto Z1 3%	223.92	211.21
	205.72	
	203.99	
Concreto Z1 4%	218.65	216.11
	224.41	
	205.26	

Tabla 10 – Resultados de resistencia a la compresión a los 56 días de curado

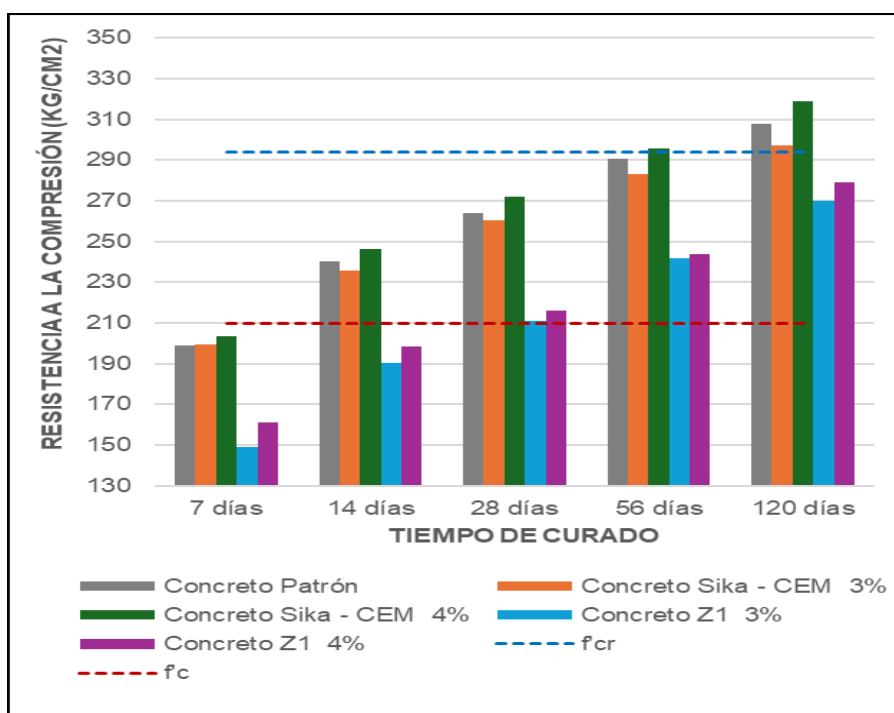
Diseño de Mezcla	f _c [kg/cm ²]	f _c Promedio
Concreto Patrón	297.79	290.49
	290.22	
	283.45	
Concreto Sika - CEM 3%	287.31	283.06
	293.64	
	268.22	
Concreto Sika - CEM 4%	295.96	295.58
	297.44	
	293.34	
Concreto Z1 3%	249.31	241.56
	254.84	
	220.52	
Concreto Z1 4%	243.26	243.95
	250.50	
	238.08	

Tabla 11 – Resultados de resistencia a la compresión a los 120 días de curado

Diseño de Mezcla	f'c [kg/cm2]	f'c Promedio
Concreto Patrón	302.46	308.16
	303.78	
	318.24	
Concreto Sika - CEM 3%	290.36	298.13
	301.38	
	302.66	
Concreto Sika - CEM 4%	326.50	319.05
	311.42	
	319.22	
Concreto Z1 3%	275.41	270.30
	273.69	
	261.80	
Concreto Z1 4%	273.16	278.93
	287.28	
	276.35	

Como se puede observar en la figura 4, los diseños muestran un avance constante en los tiempos de curados establecidos, donde los aditivos de ambas marcas se diferencian considerablemente del concreto patrón. A los 28 días de curado la dosis de 4% con el aditivo Sika-CEM impermeabilizante mejoro en un 3.12% (272.06 kg/cm²) y el 3% del mismo aditivo obtuvo una disminución del 1.37% (260.21 kg/cm²), mientras que la dosis 4% con Z1 tuvo una disminución del 18.09% y el diseño con 3% del mismo aditivo tuvo una disminución del 19.94% con respecto al concreto patrón. Por otro lado, al comparar los resultados a los 120 días de curado, el aditivo Sika – CEM al 4% tuvo el mejor desempeño del resto de diseños con un aumento del 3.57% (319 kg/cm²), mientras que el diseño con el desempeño más bajo fue con el aditivo Z1 al 3% con una disminución del 12.34% (270 kg/cm²) con respecto al concreto patrón; que al comparar ambos resultados se observa una diferencia del 15.36%.

Figura 4 – Resistencia a la compresión en función al aditivo y tiempo de curado de concreto



4.2.2. Porosidad

Este ensayo se desarrolló bajo las condiciones de la norma ASTM C-642 para obtener resultados más precisos en función de los diseños que se pondrán a prueba en esta investigación. Los especímenes se evaluaron a 56 y 120 días, debido a que el concreto alcanza su resistencia a la compresión máxima a partir de los 28 días, por ello se eligió las edades antes mencionadas para evaluar la porosidad del concreto endurecido.

Tabla 12 – Resultados de porosidad del concreto a los 56 días de curado

Diseño de Mezcla	Muestra	Porosidad [%]	Porosidad Promedio
Concreto Patrón	CP-M01	11.28	12.02
	CP-M02	13.32	
	CP-M03	11.46	
Concreto Sika - CEM 3%	CS3-M01	7.18	7.20
	CS3-M02	7.45	
	CS3-M03	6.96	

Concreto Impermeable y Aditivos Plastificantes: Dosificación y comportamiento

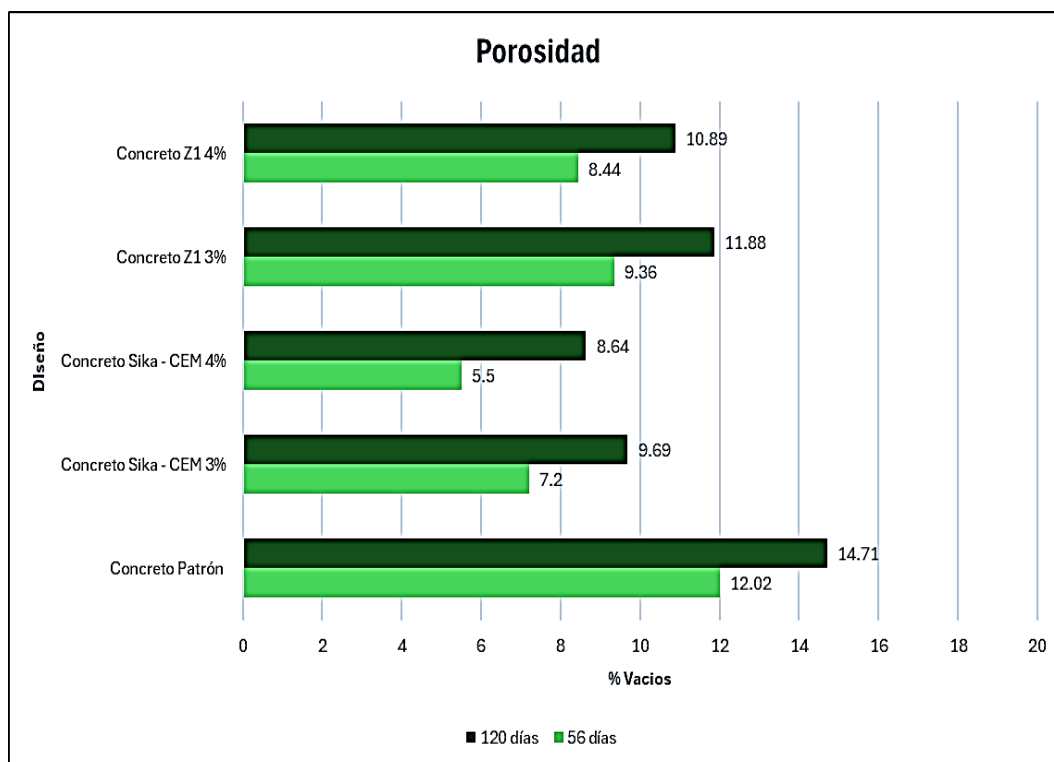
Concreto Sika - CEM 4%	CS4-M01	5.59	5.50
	CS4-M02	5.47	
	CS4-M03	5.435	
Concreto Z1 3%	CZ3-M01	8.43	9.36
	CZ3-M02	10.32	
	CZ3-M03	9.32	
Concreto Z1 4%	CZ4-M01	8.64	8.44
	CZ4-M02	8.10	
	CZ4-M03	8.575	

Tabla 13 – Resultados de porosidad del concreto a los 120 días de curado

Diseño de Mezcla	Muestra	Porosidad [%]	Porosidad Promedio
Concreto Patrón	CP-M01	14.87	14.71
	CP-M02	14.55	
	CP-M03	14.69	
Concreto Sika - CEM 3%	CS3-M01	9.89	9.69
	CS3-M02	9.60	
	CS3-M03	9.58	
Concreto Sika - CEM 4%	CS4-M01	8.81	8.64
	CS4-M02	8.43	
	CS4-M03	8.68	
Concreto Z1 3%	CZ3-M01	11.70	11.88
	CZ3-M02	11.99	
	CZ3-M03	11.93	
Concreto Z1 4%	CZ4-M01	10.86	10.89
	CZ4-M02	10.85	
	CZ4-M03	10.95	

En la figura 5 se muestra el porcentaje de vacíos que se obtuvieron en los especímenes de cada diseño propuesto, en el que se puede apreciar que el diseño con Sika – CEM en la dosis del 4% tuvo un mejor desempeño a los 56 y 120 días de curado en comparación al concreto patrón, con una disminución del 54.24% y 41.26% respectivamente. Por otro lado, se muestra un comportamiento superior a los diseños puestos a prueba a los 120 días de curado, como es el caso del diseño con Sika CEM al 3% de dosis con 40.10%, Z1 al 3% con 19.24% y Z1 al 4% con 25.71% de disminución en su porosidad con respecto al concreto patrón.

Figura 5 – Porosidad del concreto en función al aditivo y tiempo de curado de concreto



4.2.3. Succión Capilar

Para llevar a cabo este ensayo se siguieron los lineamientos de la norma ASTM C-1585 para asegurar resultados más precisos para los distintos diseños que se propusieron en esta investigación. Al igual que el ensayo de porosidad los especímenes se evaluaron a 56 y 120 días de curado ya que a esas edades se tendría el 100% de la resistencia a la compresión del concreto.

Concreto Impermeable y Aditivos Plastificantes: Dosificación y comportamiento

Tabla 14 – Resultados de Succión Capilar del concreto a los 56 días de curado

Tiempo	Absorción [mm]									
	Concreto Patrón		Sika-CEM Impermeable				Z1 Impermeable			
			3%		4%		3%		4%	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 min	0.207	0.242	0.165	0.187	0.132	0.127	0.219	0.204	0.168	0.239
5 min	0.272	0.308	0.186	0.229	0.182	0.171	0.262	0.262	0.215	0.259
10 min	0.317	0.334	0.222	0.261	0.205	0.184	0.297	0.297	0.281	0.278
20 min	0.394	0.404	0.257	0.299	0.25	0.237	0.348	0.355	0.296	0.365
30 min	0.426	0.432	0.286	0.302	0.267	0.244	0.407	0.395	0.349	0.401
1 hora	0.537	0.471	0.339	0.36	0.332	0.287	0.503	0.459	0.404	0.474
2 horas	0.65	0.62	0.428	0.448	0.418	0.375	0.637	0.578	0.494	0.601
3 horas	0.739	0.754	0.476	0.525	0.504	0.432	0.731	0.687	0.584	0.685
4 horas	0.824	0.776	0.527	0.565	0.558	0.476	0.801	0.733	0.644	0.729
5 horas	0.898	0.815	0.585	0.612	0.615	0.529	0.876	0.766	0.707	0.797
6 horas	0.939	0.875	0.625	0.656	0.659	0.562	0.898	0.812	0.777	0.843
1 día	1.378	1.349	1.052	1.049	1.092	0.892	1.298	1.2	1.212	1.188
2 días	1.592	1.535	1.216	1.185	1.231	1.01	1.406	1.32	1.323	1.294
3 días	1.727	1.635	1.329	1.263	1.284	1.13	1.498	1.408	1.404	1.365
4 días	1.822	1.733	1.396	1.345	1.361	1.195	1.554	1.481	1.451	1.45
5 días	1.925	1.828	1.458	1.41	1.432	1.251	1.625	1.533	1.513	1.488
6 días	1.972	1.91	1.51	1.453	1.505	1.278	1.665	1.62	1.552	1.52
7 días	2.025	1.99	1.533	1.5	1.524	1.306	1.72	1.652	1.581	1.549
8 días	2.044	2.011	1.555	1.508	1.567	1.337	1.783	1.695	1.609	1.573

Concreto Impermeable y Aditivos Plastificantes: Dosificación y comportamiento

Tabla 15 – Resultados de Succión Capilar del concreto a los 120 días de curado

Tiempo	Absorción [mm]									
	Concreto Patrón		Sika-CEM Impermeable				Z1 Impermeable			
			3%		4%		3%		4%	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 min	0.210	0.222	0.133	0.165	0.153	0.154	0.203	0.179	0.163	0.184
5 min	0.255	0.284	0.159	0.215	0.171	0.198	0.256	0.23	0.22	0.217
10 min	0.304	0.325	0.178	0.255	0.208	0.209	0.314	0.263	0.267	0.257
20 min	0.335	0.374	0.235	0.291	0.23	0.269	0.355	0.287	0.314	0.305
30 min	0.368	0.429	0.261	0.341	0.27	0.315	0.415	0.323	0.345	0.327
1 hora	0.452	0.475	0.353	0.427	0.326	0.423	0.484	0.385	0.416	0.378
2 horas	0.558	0.563	0.424	0.509	0.409	0.536	0.576	0.464	0.503	0.466
3 horas	0.572	0.672	0.478	0.568	0.465	0.597	0.66	0.543	0.582	0.521
4 horas	0.612	0.731	0.515	0.638	0.508	0.662	0.707	0.586	0.633	0.585
5 horas	0.68	0.776	0.595	0.693	0.553	0.723	0.748	0.624	0.676	0.616
6 horas	0.734	0.81	0.651	0.745	0.609	0.764	0.832	0.686	0.729	0.676
1 día	1.059	1.154	0.969	1.033	0.964	0.977	1.111	1.051	1.052	1.03
2 días	1.214	1.295	1.06	1.158	1.088	1.048	1.245	1.202	1.191	1.109
3 días	1.29	1.426	1.124	1.248	1.172	1.106	1.319	1.302	1.265	1.207
4 días	1.339	1.492	1.187	1.313	1.219	1.177	1.378	1.371	1.366	1.254
5 días	1.379	1.564	1.248	1.347	1.275	1.203	1.431	1.421	1.432	1.313
6 días	1.42	1.62	1.302	1.396	1.297	1.249	1.486	1.487	1.48	1.38
7 días	1.497	1.662	1.329	1.429	1.314	1.268	1.531	1.517	1.532	1.41
8 días	1.531	1.693	1.352	1.458	1.322	1.286	1.560	1.548	1.553	1.429

Figura 6 – Comparativo de succión capilar del concreto con aditivos al 3% a los 120 días de curado

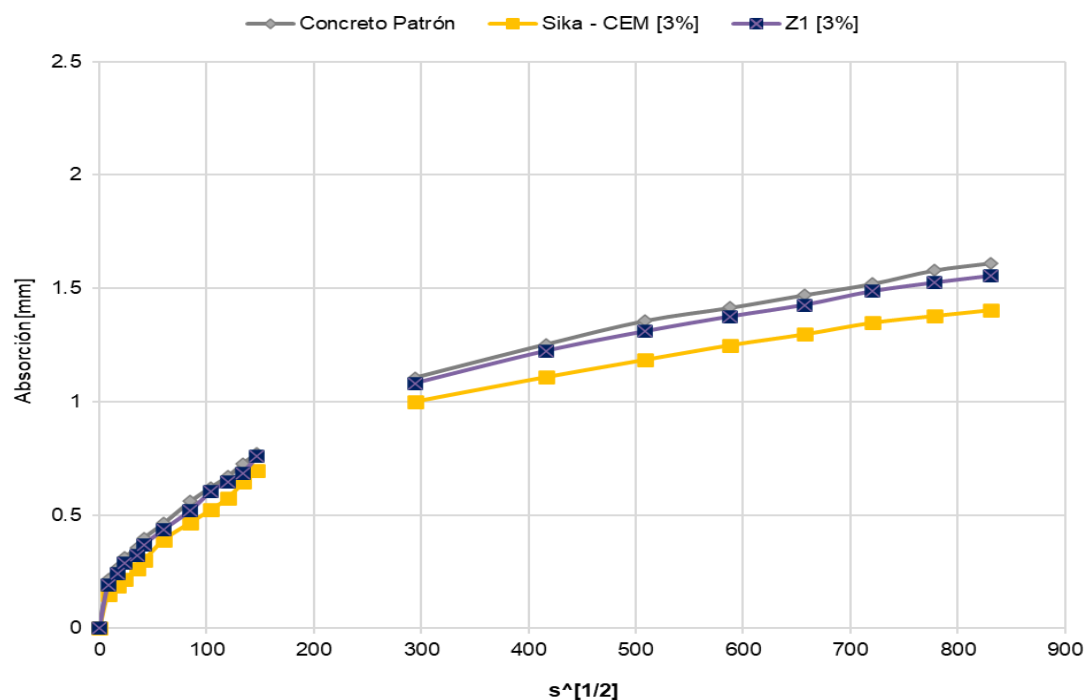
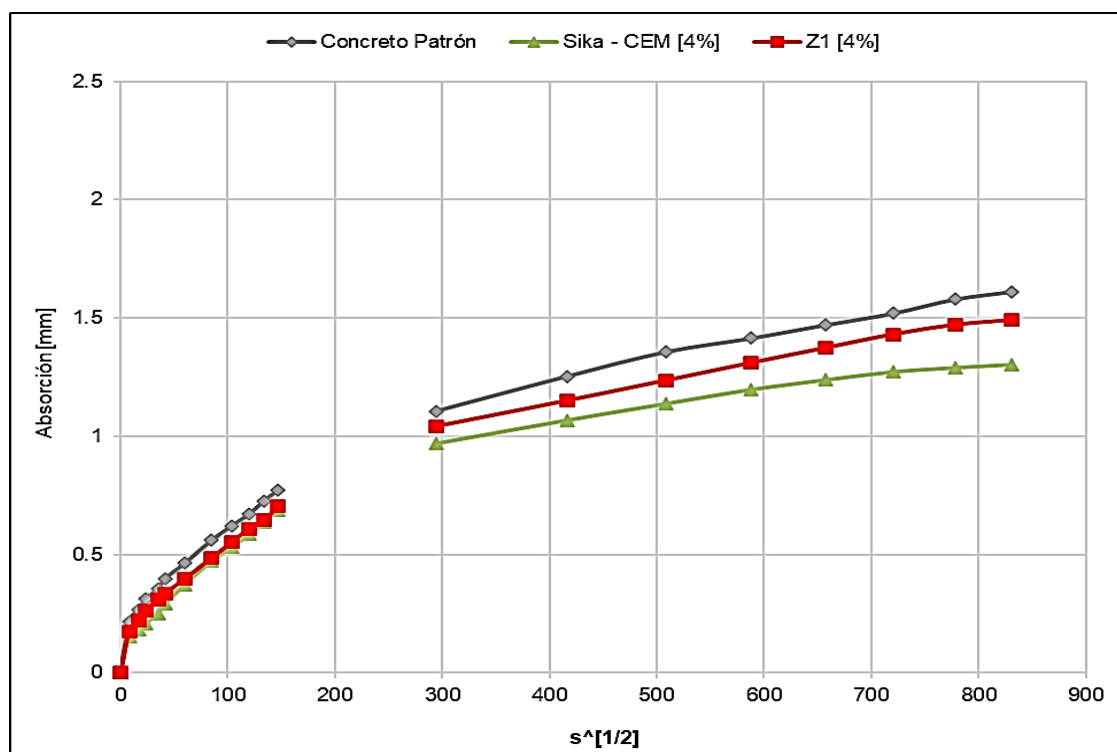


Figura 7 – Comparativo de succión capilar del concreto con aditivos al 4% a los 120 días de curado



En la figura 5 se puede apreciar que el aditivo Sika – CEM posee la absorción más baja a lo largo del ensayo, mientras que el desempeño del aditivo Z1 cuenta con unos valores muy cercanos al concreto patrón. En la figura 6 se puede apreciar que, la absorción ha disminuido de manera general si lo comparamos con el periodo de 56 días, además, el margen de diferencia entre los diseños propuestos y el concreto patrón son muy cercanos, pero de igual como se vio en el anterior periodo, el 4% del aditivo Sika – CEM presentó la absorción más baja en comparación al resto de concretos modificados, lo cual ha establecido una disminución del 19.11% con respecto al concreto patrón.

4.2.4. Discusión

a. Resistencia a la compresión

Al comparar los resultados de la presente investigación con los reportados por Ahmet et al. (2016), se evidencian diferencias significativas en el efecto del aditivo impermeabilizante sobre la resistencia a la compresión del concreto. En el estudio citado, las muestras elaboradas con una dosificación de 1,0 % de aditivo presentaron un incremento del 13,7 % en la resistencia a la compresión, mientras que aquellas con una dosificación de 1,5 % alcanzaron aumentos cercanos al 20,0 %, lo que demuestra una mejora sustancial de esta propiedad mecánica.

En contraste, los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que la influencia del aditivo impermeabilizante sobre la resistencia a la compresión fue limitada. De los diseños evaluados, únicamente el concreto que incorporó 4 % de aditivo Sika-CEM presentó un incremento de resistencia, el cual fue del orden del 3,57 %, mientras que las demás dosificaciones no evidenciaron mejoras significativas respecto al concreto patrón. Esta diferencia puede atribuirse principalmente a la relación agua/cemento empleado en cada estudio, dado que Ahmet et al. (2016) utilizaron una relación $a/c = 0,40$, favorable para el desarrollo de una matriz cementicia más densa, mientras que en la presente investigación se empleó una relación $a/c = 0,56$, la cual incrementa la porosidad capilar y limita el desarrollo de la resistencia a la compresión.

En términos generales, los resultados permiten afirmar que, para un concreto de 210 kg/cm², la incorporación de aditivos impermeabilizantes no genera incrementos significativos en la resistencia a la compresión, confirmando que su principal aporte no se encuentra asociado a esta propiedad mecánica.

b. Porosidad

Al comparar los resultados con la investigación desarrollada por Terán (2018), en la cual se evaluó el mismo tipo de aditivo impermeabilizante en dosificaciones de 0,96 %, 1,92 % y 2,88 % en un concreto de 300 kg/cm², se observa que dicho estudio reportó una reducción aproximada del 50 % en la porosidad del concreto para todas las dosificaciones a los 28 días de curado.

En la presente investigación, las dosificaciones propuestas de los dos aditivos evaluados produjeron una disminución de la porosidad comprendida entre el 22 % y el 54 % con respecto al concreto patrón, a una edad de 56 días de curado. Si bien las reducciones obtenidas son comparables en magnitud, el estudio de Terán (2018) muestra un mejor desempeño a edades más tempranas; sin embargo, esta diferencia debe analizarse considerando que ambos estudios emplearon resistencias a la compresión especificadas distintas, lo cual influye directamente en la evolución de la microestructura del concreto.

Desde el enfoque de durabilidad, y de acuerdo con los criterios establecidos por la Red DURAR (1998), el concreto que presentó el menor valor de porosidad en esta investigación puede clasificarse como un concreto de buena calidad, mientras que el concreto patrón, al presentar el mayor porcentaje de vacíos, se clasifica como un concreto de calidad moderada, evidenciando una mayor susceptibilidad al ingreso de agua y agentes agresivos.

c. Succión capilar

En relación con la succión capilar, los resultados obtenidos muestran coherencia con estudios previos. En la investigación realizada por Azañedo (2014), los especímenes de mortero elaborados con una adición del 10 % de aditivo hidrófugo (Sika® 1) presentaron un grado de absorción de 11,67 %, lo que representó una reducción del 12,44 % respecto a la mezcla patrón sin aditivo. En la presente investigación, el diseño que mostró el mejor desempeño fue

el concreto con 4 % de Sika-CEM, el cual presentó una disminución del 28,37 % en la absorción capilar con respecto al concreto patrón.

La diferencia entre ambos resultados puede atribuirse a que el estudio de Azañedo (2014) se desarrolló sobre morteros, mientras que la presente investigación evaluó concreto, materiales que presentan comportamientos distintos debido a la presencia del agregado grueso. No obstante, ambos estudios confirman que el uso de aditivos impermeabilizantes cumple eficazmente su función principal de reducir la absorción de agua.

Asimismo, Ahmet et al. (2016) reportaron que, al incorporar 2 % de aditivo impermeabilizante, la absorción de agua del concreto disminuyó aproximadamente en 32,2 % respecto a la mezcla sin aditivo. Estos resultados sugieren que no necesariamente mayores dosificaciones generan mejores desempeños, sino que la naturaleza y densidad del aditivo, así como su compatibilidad con el diseño de mezcla, constituyen factores determinantes en la reducción de la succión capilar.

En términos generales, los resultados obtenidos permiten concluir que el aditivo impermeabilizante influye de manera positiva en la reducción de la succión capilar del concreto, contribuyendo significativamente a la mejora de su comportamiento frente a la penetración de agua y, por ende, a su durabilidad.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión, se confirma que el diseño de concreto que incorporó 4 % de aditivo Sika-CEM impermeabilizante, respecto al peso del cemento, presentó el mejor desempeño mecánico, superando tanto al concreto patrón como al resto de los diseños evaluados. En este sentido, dicha dosificación se identifica como la alternativa más favorable en términos de resistencia a la compresión para un concreto de 210 kg/cm².

5.2. En relación con la porosidad del concreto, los resultados evidencian que el uso de aditivos impermeabilizantes contribuyó de manera efectiva a la reducción del volumen de vacíos en todos los diseños modificados, en comparación con el concreto patrón. En particular, el concreto con 4 % de Sika-CEM presentó los menores valores de porosidad, seguido por los diseños con aditivo Z1, confirmando que ambos productos cumplieron su función de mejorar la microestructura del concreto endurecido.

5.3. La disminución de la porosidad observada en los concretos con aditivos impermeabilizantes se reflejó directamente en una reducción de la succión capilar, evidenciando una menor capacidad del material para absorber y transportar agua por acción capilar. En este aspecto, el aditivo Sika-CEM al 4 % mostró nuevamente el mejor desempeño, siendo el más eficaz en la reducción de la absorción de agua respecto al concreto patrón.

5.4. De manera global, puede afirmarse que la dosificación del 4 % de aditivo Sika-CEM impermeabilizante influyó de forma positiva en las principales propiedades evaluadas del concreto de 210 kg/cm², mejorando simultáneamente la resistencia a la compresión, la porosidad y la succión capilar. Por el contrario, las dosificaciones evaluadas con el aditivo Z1 impermeabilizante y con 3 % de Sika-CEM no generaron incrementos en la resistencia a la compresión, aunque sí aportaron mejoras significativas en términos de durabilidad, al reducir la porosidad y la absorción capilar del concreto.

5.5. Los resultados obtenidos confirman que el principal aporte de los aditivos impermeabilizantes no radica en el incremento de la resistencia

mecánica, sino en la mejora del desempeño por durabilidad del concreto, especialmente en lo que respecta al control del ingreso de agua y la reducción de las propiedades de transporte.

5.6. Se sugiere que futuros estudios evalúen el comportamiento de los aditivos impermeabilizantes en concretos de mayor resistencia y con diferentes tipos de cemento, a fin de analizar la interacción entre la microestructura del concreto y la efectividad del aditivo en distintas condiciones de diseño.

6. REFERENCIAS

Ahmet Celal, A., Ercan, Ö., Tahsin, T., & Kevser, A. (2016). Investigation and modelling the effects of water proofing and water repellent admixtures dosage on the permeability and compressive strengths of concrete. *Construction and Building Materials*, 113, 698-711. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.03.110

American Concrete Institute. (2002). *Diseño de mezclas de concreto - Norma ACI 211*. Estados Unidos.

American Concrete Institute. (2016). ACI 212.3R: Report on chemical admixtures for concrete. ACI.

American Concrete Institute. (2022). ACI 211.1: Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. ACI. Obtenido de <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=211102>

ASTM International. (2004). ASTM C494/C494M-04: Standard specification for chemical admixtures for concrete. ASTM International. Obtenido de https://store.astm.org/c0494_c0494m-04.html

ASTM International. (2020). ASTM C1585: Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes. ASTM International.

ASTM, International. (2004). *Especificación estándar para los aditivos químicos para hormigón - ASTM C 494/C 494M-04*.

Azañedo Medina, W. H. (2014). *Efecto de un Aditivo Hidrófugo en la Permeabilidad de un Mortero de Cemento/Arena, 2014* (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca). Repositorio Institucional, Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1638>

Baena Paz, G. (2014). *Metodología de la Investigación*. Editorial Patria.

Euclid Chemical Toxement. (2020). *Concreto de baja permeabilidad*. En EU-CONCRETO (pág. 2). Recuperado el 27 de abril de 2024, de https://www.toxement.com.co/media/4331/eucoconcreto_junio_2020-comprimido.pdf

Exitosa Perú. (20 de Mayo de 2023). Trujillo: Recomiendan demolición y construcción total de hospital La Noria. Exitosa. Obtenido de <https://www.exitosa-noticias.pe/exitosa-peru/trujillo-recomiendan-demolicion-construccion-total-hospital-noria-n99466>

Hall, C. (1989). Water sorptivity of mortars and concretes: A review. Magazine of Concrete Research, 41(147). doi:<https://doi.org/10.1680/mac.1989.41.147.51>

Hall, C., & Hoff, W. (2012). Water transport in brick, stone and concrete. London and New York: Taylor and Francis.

Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación Sexta Edición. McGraw Hill.

INDECOPI (2015). NTP 339.034: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Comités Técnicos de Normalización. Obtenido de <http://www.bvindecopi.gob.pe>.

INDECOPI (2018). NTP 339.187: Metodo de ensayo para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en concreto endurecido. Comités Técnicos de Normalización. Obtenido de <http://www.bvindecopi.gob.pe>.

Instituto del Cemento y del Hormigon de Chile (2019). Aditivos para hormigón: Una historia de éxito. Hormigon al Dia, Edición 74 - GCP Applied Technologies, 15-16. Obtenido de Hormigon al Dia - Edición 74, GCP Applied Technologies: <https://hormigonaldia.ich.cl/tecnirreportaje/aditivos-para-hormigon-una-historia-de-exito/#>

Instituto Nacional de Calidad. (2018). NTP 339.187: Método de ensayo para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en concreto endurecido. Lima.

Instituto Nacional de Calidad. (2021). NTP 339.034: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.

León Consuegra, L., & Rodríguez García, C. (2022). Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte. Revista de Arquitectura e Ingeniería, 16(3), 1-11. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/1939/193972950003/html/>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019). Norma E.060 CONCRETO ARMADO. En SENCICO. Lima.

Neville, A. (2011). Properties of concrete (5th ed.). Pearson Education.

Portland Cement Association (1995). Circular concrete tanks without prestressing. Obtenido de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/b0696bd9-2e1d-400f-9786-118af2a8c7d0/content>

Red DURAR (1998). Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. Barcelona, España: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

Sika Perú S.A. (2020). Sika Informaciones - Concreto Impermeable: Una mirada reciente. Recuperado el 27 de abril de 2024, de <https://per.sika.com/dms/getdocument.get/2a4c9422-120b-358c-9436-9672bf915150/BROCHURE%20CONCRETO%20IMPERMEABLE%20LATAM.pdf>

Solís-Carcaño, R., & Alcocer-Fraga, M. (2019). Durabilidad del concreto con agregados de alta absorción. Ingeniería, investigación y tecnología. doi:<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n4.039>

Terán Tejada, W. (2018). EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO, 2018 [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Cajamarca. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1985>

U.S. Environmental Protection Agency. (2016). Moisture Control Guidance for Building Design, Construction and Maintenance. Estados Unidos . Obtenido de https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2016-07/documents/moisture_control_guidance_spanish_april_2016_508_final.pdf

Ugalde Bilda, N., & Balbastre Benavent, F. (2013). Investigación cuantitativa e investigación cualitativa: buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación. Dialnet Plus, 179-187.

SOBRE LOS AUTORES

Axell Segundo Bazán Roca

Ingeniero civil por la Universidad Privada del Norte (UPN). Con experiencia en producción de obra, supervisión de proyectos viales y gestión técnica de proyectos de construcción. Sus intereses incluyen la tecnología del concreto, comportamiento mecánico de materiales y desempeño de estructuras. De igual forma, en la actualidad ha participado en estudios experimentales y de campo, desarrollando competencias en planificación, control y evaluación de procesos constructivos.

Afiliación: Universidad Privada del Norte

Correo: N00173922@upn.pe

Marco Antonio Junior Cerna Vasquez

Profesor Auxiliar de departamento académico de ingeniería civil y sistemas de la Universidad Nacional del Santa (UNS). Especialista en patologías de la construcción por la Universidad Santo Tomas de Tunja (USTA) y Doctor en ingeniería civil por la Universidad Nacional del Santa (UNS). Investigador Renacyt con mas de 40 conferencias internacionales en la rama de materiales y construcción. En la actualidad es adjudicador de obra en proyectos hospitalarios.

Afiliación: Universidad Nacional del Santa

Correo: mcerna@uns.edu.pe

www.arcoeditores.com
contato@arcoeditores.com
(55)99723-4952

CONCRETO IMPERMEABLE Y ADITIVOS PLASTIFICANTES:

Dosificación y comportamiento

