



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Estudio de la mejora de la resistencia a compresión del concreto empleando un curador químico y distintas formas de curado, en elementos de concreto de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR

Susanibar Andrade, David Rogelio
ORCID: 0009-0000-4618-6865

ASESOR

Huerta Campos, Carlos Alberto
ORCID: 0000-0003-3758-3126

Lima, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Susanibar Andrade, David Rogelio

DNI: 72176721

Datos de asesor

Huerta Campos, Carlos Alberto

DNI: 09313271

Datos del jurado

JURADO 1

Enriqueta Pereyra, Salardi

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

JURADO 2

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

ORCID: 0000-0002-1759-2132

JURADO 3

Delgado Contreras, Genaro Alfredo Jesus

DNI: 06621687

ORCID: 0000-0002-4612-0433

JURADO 4

Carbajal Olortigue, Luis Alberto

DNI: 09160106

ORCID: 0000-0001-5928-3971

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, David Rogelio Susanibar Andrade, con código de estudiante N° 201621134, con DNI N° 72176721, con domicilio en Urbanización Los Cipreces W-7, distrito de Huacho, provincia de Huaura y departamento de Lima, en mi condición de bachiller en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, declaro bajo juramento que:

La presente tesis titulada: Estudio de la mejora de la resistencia a compresión del concreto empleando un curador químico y distintas formas de curado, en elementos de concreto de f'c 210 kg/cm², usando cemento HS” es de mi única autoría, bajo el asesoramiento del docente Huerta Campos Carlos Alberto, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 24% de similitud final.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumo responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet. Asimismo, ratifico plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de mi conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumo toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y soy consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, me someto a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 01 de febrero del 2024



David Rogelio Susanibar Andrade

DNI N° 72176721

INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN

Estudio de la mejora de la resistencia a compresión del concreto empleando un curador químico y distintas formas de curado, en elementos de concreto de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%	24%	4%	12%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	4%
4	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
6	cybertesis.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.une.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

Dedicado con enorme aprecio a mis progenitores y a mis parientes cercanos.

David Rogelio Susanibar Andrade

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a mi familia por el apoyo durante estos años de estudio, a la universidad donde estudié y a sus destacados docentes.

David Rogelio Susanibar Andrade

ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD–TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2. Formulación del problema general y específicos	3
1.2.1. Formulación del problema general.....	3
1.2.2. Formulación de problemas específicos	3
1.3. Formulación del objetivo general y específico	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Delimitación de la investigación: temática, temporal y espacial.....	4
1.5. Justificación e importancia	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes del estudio de investigación	6
2.2. Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio	9
2.2.1. Concreto	9
2.2.1.1. Importancia del hormigón	10
2.2.1.2. Componentes del hormigón.....	11
2.2.1.3. Historia del hormigón	11
2.2.1.4. Ventajas del hormigón	12
2.2.1.5. Desventajas del hormigón	13
2.2.1.6. Patologías del hormigón	14
2.2.1.7. Aditivos para la mezcla del hormigón.....	14

2.2.1.8. Tipos de hormigón.....	15
2.2.2. Resistencia a compresión del concreto.....	16
2.2.2.1. Factores que afecta al valor de f'_c del hormigón.....	18
2.2.3. Curado del concreto.....	21
2.2.3.1. Importancia del sanado del hormigón	22
2.2.3.2. Curado Químico	23
2.2.3.3. Curado Sumergido	24
2.2.3.4. Curado con lámina de plástico film.....	25
2.3. Definición de términos básicos.....	27
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	28
3.1. Hipótesis	28
3.1.1. Hipótesis general	28
3.1.2. Hipótesis específicas	28
3.2. Variables	28
3.2.1. Variable Independiente	28
3.2.2. Variable Dependiente	28
3.3. Sistema de variables	29
3.3.1. Definición conceptual.....	29
3.3.2. Operacionalización de las variables	29
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
4.1. Tipo y nivel.....	31
4.2. Diseño de investigación.....	31
4.3. Población y muestra.....	32
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	32
4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos	32
4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos	32
4.4.3. Procedimientos para la recolección de datos.....	33
4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	43
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	45
5.1. Presentación de Resultados.....	45
5.1.1. Análisis descriptivo	45
5.1.2. Análisis inferencial.....	47
5.1.2.1. Contrastación de la hipótesis general	48

5.1.2.2. Contrastación de las hipótesis Especificas	50
DISCUSIÓN	57
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS	63
Anexo A: Galería de fotos	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de cemento en el Perú desde 1999 al 2013	10
Tabla 2. Resistencia a compresión del hormigón a una determinada edad con relación a su resistencia a los 28 días	17
Tabla 3. Operacionalización de las variables.....	29
Tabla 4. Granulometría del agregado fino.	34
Tabla 5. Granulometría del agregado grueso.	35
Tabla 6. Peso unitario suelto del agregado fino.	36
Tabla 7. Peso unitario compactado del agregado fino.	37
Tabla 8. Peso unitario suelto del agregado grueso.....	37
Tabla 9. Peso unitario compactado del agregado grueso	37
Tabla 10. Peso específico del agregado fino	38
Tabla 11. Contenido de humedad del agregado fino.....	39
Tabla 12. Contenido de humedad del agregado grueso	39
Tabla 13. Peso específico del agregado grueso.....	39
Tabla 14. Propiedades de los agregados	40
Tabla 15. Proporciones en peso de la mezcla	43
Tabla 16. Proporciones en volumen de la mezcla.....	43
Tabla 17. Prueba de normalidad general.....	47
Tabla 18. Prueba de normalidad para cada grupo.....	47
Tabla 19. Valores de resistencia a compresión de las probetas ensayadas a los 28 días para elementos sin curar y elementos con distintos métodos de sanado.....	49
Tabla 20. Prueba t para muestras sin curar y para muestras con distintos métodos de sanado suponiendo varianzas iguales.....	49
Tabla 21. Valores de resistencia a compresión de las probetas ensayadas a los 28 días para elementos sin curar y sanados con químico.	51
Tabla 22. Prueba t para muestras sin curar y para muestras con sanado químico suponiendo varianzas iguales.....	52
Tabla 23. Valores de resistencia a compresión de las probetas ensayadas a los 28 días para elementos sin curar y para elementos sumergidos.	53
Tabla 24. Prueba t para muestras sin curar y para muestras con sanado sumergido suponiendo varianzas iguales.....	54

Tabla 25. Valores de resistencia a compresión de las probetas ensayadas a los 28 días para elementos sin curar y sanados con lámina de plástico film.....	55
Tabla 26. Prueba t para muestras sin curar y curadas con lamina de plástico film suponiendo varianzas iguales.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Influencia de la relación a/c.....	19
Figura 2: Influencia de la relación a/c en la curva de resistencia.	19
Figura 3: Influencia de la madurez y el proceso de sanado en el f'c.....	20
Figura 4: Desarrollo del f'c en función del tipo de cemento.	21
Figura 5: Influencia de las condiciones del sanado en el f'c.	22
Figura 6. Gráfico de graduación del agregado fino	34
Figura 7. Gráfico de graduación del agregado grueso	36
Figura 8. Ensayo de compresión a los 7 días.....	45
Figura 9. Ensayo de compresión a los 14 días.....	46
Figura 10. Ensayo de compresión a los 28 días.....	46
Figura 11. Ensayos de resistencia a compresión a los 28 días de probetas de hormigón sin curar y curadas con varios métodos de sanado.	49
Figura 12. Ensayos de resistencia a compresión a los 28 días de probetas de hormigón sin curar y curadas con el sanador químico Sikacem Sanador.....	51
Figura 13. Ensayos de resistencia a compresión a los 28 días de probetas de hormigón sin curar y curadas con un sanado sumergido.....	53
Figura 14. Ensayos de resistencia a compresión a los 28 días de probetas de hormigón sin curar y curadas empleando una lámina de plástico film.	55

RESUMEN

En los proyectos de construcción en Lima, Perú, la actividad de curar el hormigón es esencial para garantizar su durabilidad y resistencia. Sin embargo, a menudo se descuida debido a diversas razones. Para abordar este problema, se han utilizado aditivos químicos como Sikacem curador, sanado sumergido y envolturas de plástico film, que ayudan a prevenir la pérdida de H₂O y mejoran las propiedades del hormigón. En una investigación que involucró 36 probetas divididas en cuatro grupos, se compararon diferentes métodos de sanado: sin tratamiento, sanado sumergido en agua, envuelto en plástico film y sanado con el aditivo Sikacem. Los resultados demostraron mejoras significativas del $f'c$, con un aumento promedio del 47.26% al utilizar estos métodos de sanado, un 46.85% con Sikacem solo, y un impresionante 60.70% con el sanado sumergido, la envoltura con plástico film también mostró un aumento del 34.22%. Estos resultados respaldan la importancia de aplicar estos métodos de sanado en proyectos de construcción en Lima, especialmente en un clima con variaciones de temperatura y humedad. Las recomendaciones clave incluyen el uso de Sikacem sanador, el sanado sumergido en agua en instalaciones adecuadas, el uso de láminas de plástico film con el cuidado de sellarlo correctamente evitando que la evaporación de agua y un control riguroso de la temperatura y la humedad durante el proceso de sanado. Este trabajo consta de 5 partes, abordando el problema, el marco teórico, la formulación de hipótesis y variables, el método de investigación y finalmente, la presentación y análisis de los resultados. En conjunto, estas recomendaciones y hallazgos contribuyen a mejorar la calidad y la durabilidad del hormigón en proyectos de construcción en Lima, lo que un buen impacto en las edificaciones y en la vida útil de las estructuras en nuestra ciudad, nuestro país y el mundo.

Palabras claves: Curado, aditivos, Sikacem curador, plástico film, evaporación, vida útil, hormigón.

ABSTRACT

In construction projects in Lima, Peru, the concrete curing process is essential to guarantee its durability and resistance. However, it is often neglected due to various reasons. To address this problem, chemical admixtures such as Sikacem curing, submerged curing and plastic wrap have been used, which help prevent water evaporation and improve the mechanical properties of concrete. In an investigation that involved 36 specimens divided into four groups, different curing methods were compared: without treatment, curing submerged in water, wrapped in plastic film and curing with the additive Sikacem. The results demonstrated significant improvements in compressive strength, with an average increase of 47.26% using these curing methods, 46.85% with Sikacem alone, and an impressive 60.70% with submerged curing. Wrapping with plastic film also showed an increase of 34.22%. These results support the importance of applying these curing methods in construction projects in Lima, especially in a climate with variations in temperature and humidity. Key recommendations include the use of Sikacem curative, water submerged curing in suitable facilities, the use of plastic wrap with care taken to seal it properly preventing water evaporation, and rigorous control of temperature and humidity during curing. curing process. This research is structured in five chapters, addressing the problem, the theoretical framework, the formulation of hypotheses and variables, the research method and finally, the presentation and analysis of the results. Taken together, these recommendations and findings contribute to improving the quality and durability of concrete in construction projects in Lima, which has a positive impact on the safety and useful life of structures in our city, our country, and the world.

Keywords: Curing, additives, Sikacem, curing, film, evaporation, useful life, concrete.

INTRODUCCIÓN

El proceso de sanado del hormigón es crucial para asegurar su buen comportamiento durante la construcción, pero muchas veces no se realiza correctamente por diversos motivos. Para combatir este problema, se están utilizando aditivos químicos para ayudar a evitar la pérdida de agua e incrementar la capacidad de retención de agua del hormigón. Estos aditivos también mejoran las propiedades del hormigón, como el f^c , resistencia a tracción y la resistencia a flexión.

Para esta tesis, se buscó obtener resultados de 36 probetas divididas en 4 grupos de 9 unidades: donde el primer grupo estuvo conformado por probetas que no recibirían ningún tratamiento de sanado, el segundo grupo lo conformaron aquellas probetas que fueron sumergidas en un pozo de agua, el tercer grupo estuvo dirigido para las probetas que fueron envueltas en varias capas de plástico film y el cuarto grupo fue sanado con un curador químico.

El f^c es un indicador fundamental de la calidad del hormigón, por lo tanto, esta tesis se centrará en obtener dichas resistencias de cada probeta ensayada y analizar como mejora el f^c para cada método de sanado empleado para esta investigación.

Este estudio incluye cinco partes. En la primera parte se describe el problema, objetivos, límites, base teórica, trascendencia, limitaciones y viabilidad, en la segunda parte se desarrolla el marco teórico profundizando en las definiciones, con ayuda de diversas Notas y estudios relacionados con el tema, podemos conocer más sobre estos conceptos, en la tercera parte se desarrolla las hipótesis y variables, en la cuarta parte se identifica el método de investigación, el tipo, el nivel, el diseño, la población y la recolección de datos, en la quinta parte se presentan los resultados, el análisis y los resultados de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En la construcción se tiene el hormigón como un elemento esencial que se desempeña como uno de los materiales más prevalentes a nivel mundial. Este hecho ha posicionado al hormigón como uno de los más investigados y gracias a su durabilidad, resistencia y trabajabilidad los ingenieros de todo el mundo lo eligen para dar forma a una amplia variedad de proyectos constructivos.

El hormigón tradicional es una amalgama de cemento, agregados finos y gruesos, agua, así como aditivos destinados a conferir características particulares de manejabilidad y desempeño. En esta mezcla de elementos interrelacionados que culminan en las cualidades deseadas del hormigón, sobresale la relación entre los componentes cementantes y el agua. En gran medida, el desarrollo de la resistencia y la durabilidad requeridas depende de esta relación. Dicha interactividad conlleva en el hormigón a una reacción de hidratación en la que las condiciones de humedad y temperatura deben ser meticulosamente consideradas para prevenir la aparición de problemas que puedan afectar el rendimiento estructural. Según menciona el comité ACI 308, la correcta colocación y compactación de la mezcla de hormigón deben ir acompañadas de un proceso de sanado adecuado. Este proceso de sanado implica medidas para controlar la temperatura y la humedad, asegurando así una hidratación completa y favorable del cemento.

El sanado es un proceso importante que implica controlar la temperatura y la humedad para asegurar una hidratación completa y eficaz del cemento. La hidratación del cemento con agua aumenta el $f'c$, reduce la porosidad y la permeabilidad capilar y, en última instancia, garantiza la durabilidad y las propiedades mecánicas adecuadas del hormigón.

Términos estandarizados, como los definidos por la ASTM y el ACI, establecen que el curado es una acción que consiste en mantener en un periodo de tiempo las condiciones de humedad y temperatura en la mezcla de cemento recién vertida, permitiendo la hidratación del cemento e induciendo reacciones puzolánicas encaminadas a desarrollar las propiedades potenciales de la mezcla de hormigón. Asimismo, otras propiedades, especialmente en la superficie del hormigón, pueden ser afectadas por los materiales o acciones que se aplican poco después de realizarse la mezcla.

El sanado natural se produce cuando el hormigón se encuentra expuesto a condiciones ambientales favorables, con una humedad relativa alta y una temperatura adecuada. Sin embargo, en la práctica, lograr y mantener estas condiciones solo es posible en entornos controlados de laboratorio. Para el hormigón en el lugar de construcción, las condiciones varían ampliamente, lo que hace que sea necesario un sanado acondicionado en la mayoría de los casos.

El propósito de esta investigación consiste en examinar el desempeño del sanador químico “Sikacem curador” aplicado en la superficie del hormigón durante el inicio del proceso de sanado y otros métodos de sanado, con el fin de mejorar el $f'c$ del hormigón.

1.2. Formulación del problema general y específicos

1.2.1. Formulación del problema general

- ¿Cómo mejora la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanador químico y distintas formas de sanado frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS?

1.2.2. Formulación de problemas específicos

- ¿Cómo mejora la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado químico frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS?
- ¿Cómo mejora la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado sumergido frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS?
- ¿Cómo mejora la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado con lámina de plástico film frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS?

1.3. Formulación del objetivo general y específico

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar como mejora la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanador químico y distintas formas de sanado frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar la mejora la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado químico frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.
- Analizar la mejora la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado sumergido frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.
- Analizar la mejora la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado con lámina de plástico film frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

1.4. Delimitación de la investigación: temática, temporal y espacial

La delimitación del presente estudio está referido a los siguientes puntos:

- Delimitación temática. En este trabajo analizaremos únicamente el $f'c$ de los elementos de hormigón elaborados en el laboratorio y sometidos a los métodos de sanado precisados en esta investigación.
- Delimitación del tiempo. El tiempo constituye como una delimitación de la investigación porque las mezclas de hormigón y los ensayos de compresión fueron realizados en el año 2023 así como la elaboración de la presente investigación.
- Delimitación de la población y espacio. Entendemos que la población de nuestro estudio circunscribe a los elementos de hormigón que son elaborados convencionalmente en Surco, Lima-Perú, se trata de una población infinita debido a que los componentes para la elaboración de ese hormigón no son precisamente del distrito, sino que provienen de lugares aledaños a Lima.

1.5. Justificación e importancia

Importancia de la investigación: El propósito central de esta investigación es expandir el conocimiento teórico y práctico sobre la mejora del $f'c$ del hormigón a $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$; se esperan condiciones óptimas al momento de su preparación, de esta manera se incentivan mejoras en aspectos técnicos a través de ensayos aplicados. En las cuales se pueden verificar el uso de sanadores químicos. Esta investigación también es importante porque sus resultados se aplican a las estructuras, lo que nos permite comprender el $f'c$ del hormigón a través de su importancia para la resistencia de las construcciones.

Justificación de la investigación: A nivel técnico con el presente estudio se plantea un correcto sanado del hormigón con mejor calidad sin burbujas en los acabados. A nivel económico, este tipo de sanado permite un rendimiento de 5 m^2 por litro y el costo resulta de aproximadamente 8 soles, además es más seguro y práctico. A nivel social, permite ahorrar tiempo para emplearlo en otras actividades. A nivel práctico, el uso de aditivos químicos en el sanado del hormigón permite que este supere el $f'c$, de esta forma se generará mayor confianza en la construcción y se evitará la presentación de fisuras, que usualmente ocurren cuando se presenta deficiencias en el sanado de hormigón.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio de investigación

Antecedentes Nacionales:

En la tesis trabajada por Durand y Salazar (2021) tuvieron la finalidad de investigar cómo ciertos aditivos químicos utilizados en el sanado pueden influir positivamente en las características mecánicas del hormigón, se realizó un estudio retrospectivo descriptivo y explicativo. Este análisis se basó en la revisión detallada de artículos científicos, tesis académicas, normativas técnicas y los resultados obtenidos en laboratorios especializados, la muestra seleccionada para este estudio comprendió tres investigaciones específicas que han sido sometidas a un exhaustivo análisis. En este trabajo Durand y Salazar (2021) concluyeron que “la resistencia a la compresión del concreto aplicando aditivos químicos para el sanado, supera al $f'c$ con un máximo de 66% y en promedio un 40% del $f'c$ a los 28 días de sanado" (p. 146).

En la tesis elaborada por Ortiz (2020), donde tuvo la finalidad de evaluar la influencia del proceso de sanado convencional del hormigón en comparación con la utilización del uso de antisol en el $f'c$ final. Llevó a cabo un estudio aplicado que combina enfoques descriptivos y explicativos, implementando un diseño experimental. La muestra de prueba consistió en 80 muestras sometidas a ensayo en un laboratorio ubicado en la provincia de Huancayo.

En el trabajo mencionado, Ortiz (2020) obtuvo las siguientes conclusiones:

Se ha demostrado que el aditivo antisol no mejora el $f'c$ del hormigón en comparación al sanado convencional, se sustenta en que el sanado en poza a los 28 días sobrepasa la resistencia de diseño con 235.76 kg/cm² y el sanado con aditivo Sika antisol varía en función al número de capas de recubrimiento, a un mayor número de capas el concreto tiene mayor resistencia llegando a 230.15 kg/cm². En la parte económica el sanado con agua es más rentable que un sanado con aditivo, pero a la misma vez resulta ser más complicado debido a que cualquier obra de concreto necesita ser humedecida por 7 días. (p. 92)

Revisando el trabajo elaborado por Aguilar y Vásquez (2019), donde se tuvo el objetivo de demostrar los beneficios del sanado del hormigón mediante el empleo de aditivos químicos. Para lograr esto, crearon una mezcla de hormigón de 210 kg/cm² y un revenimiento de 4 pulgadas, siguiendo el método ACI 211. Utilizaron nueve probetas,

algunas tratadas con sanadores químicos y otras sumergidas en agua. De los resultados obtenidos después de un período de 28 días, Aguilar y Vásquez (2019) concluyeron que “las muestras inmersas en agua obtuvieron mejores resultados debido a que el agua permite la saturación completa de las muestras, resultando en una mayor densidad interna del hormigón y alcanzando una resistencia de 301 kg/cm²” (p. 57). Por el contrario, los cilindros tratados con sanadores químicos exhibieron un $f'c$ inferior.

En la tesis realizada por Machaka (2021) se tuvo el propósito de evidenciar alteraciones en el $f'c$ en respuesta al sanado acelerado del hormigón y al proceso estándar, fue un estudio explicativo con un diseño cuasi-experimental. Este trabajo se enfocó en analizar los resultados de dos métodos en el $f'c$ y su evaluación correspondiente. La población inicialmente consistió en 54 especímenes de hormigón, y la muestra utilizada en el estudio también fue de 54 especímenes, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico. Machaka (2021) concluyó que “el método B de sanado acelerado se destaca al demostrar que los resultados para el diseño $f'c=210$ kg/cm² son equivalentes o incluso superiores a los logrados mediante el sanado convencional” (p. 55).

En la investigación elaborada por Curi (2022) donde se analizó el $f'c$ de un hormigón de $f'c=280$ kg/cm² usando 5 medidas de sanado según normas técnicas ACI 308 y sin necesidad de sanar el hormigón, en Huánuco en 2020. Fue un trabajo cuantitativo de nivel explicativo y con diseño experimental con una muestra de 72 probetas a estudiar y considerando como muestra de estudio 3 probetas para cada uno de los tipos de sanado y 3 sin sanado que se efectúan: transcurrido los 7, 14, 21 y 28 días. De este trabajo Curi (2020) concluye:

Las probetas que se han sometido a la curación por inmersión tienen la mayor resistencia inicial, con un valor medio del 110,19 %. Las probetas que no fueron tratadas con ningún tipo de curación tenían una resistencia del 85,56%, lo que demuestra las consecuencias de no tratar el hormigón con ningún tipo de tratamiento. (p. 95)

Antecedentes Internacionales:

En la investigación que fue realizada por Jiménez y Ordóñez (2021) donde tuvieron el propósito de estudiar la influencia de los métodos de sanado de los miembros estructurales que se construyen utilizando hormigón de acuerdo con su valor de $f'c$. Realizaron una investigación explicativa experimental sobre muestras preparadas en 48 cilindros, con base en lo establecido en la STC 1377, para la producción de

muestras cilíndricas diseñaron un hormigón bombeable con una presión nominal de 3,000 libras por pulgada cuadrada de tipo ART (alto $f'c$ inicial) para imitar el hormigón de uso común sin requisitos especiales. A partir de este trabajo Jiménez y Ordóñez (2021) obtuvieron el siguiente resultado:

Se evidenció que la práctica habitual de utilizar forrado en polietileno para el sanado de columnas y muros en obras resulta ser una de las opciones más efectivas al lograr el $f'c$ conforme avanza la madurez del hormigón. (p. 88)

Por otro lado, el estudio realizado por Asmal y González (2019), donde consideraron como objetivo el análisis de la influencia del proceso de sanado del hormigón sobre el $f'c$ último de elementos de diferentes formas sometidos a diferentes condiciones de sanado, es un trabajo explicativo en diseño experimental, para la muestra se utilizó la metodología recomendado por ACI 211.1, el cual proporciona diversos modelos y coeficientes a tener en cuenta en función de las cualidades de los ingredientes a utilizar en la mezcla de hormigón. Al final, Asmal y González (2019) concluyeron lo siguiente:

En lo que respecta a las probetas de hormigón, el $f'c$ alcanzado en las muestras curadas (mediante sumersión) fue de 257 kg/cm². En comparación, aquellas curadas con antisol en el lugar de la obra experimentaron una disminución del 10% en la resistencia, mientras que las sometidas a situaciones en las que se muestra expuestos al viento y a las bajas temperaturas, registraron claras reducciones del 27% y 31%, respectivamente. (p.73)

Asimismo, en la tesis realizada por Niño (2014) para diagnosticar la incidencia de las condiciones de sanado en el $f'c$ por cantidad de dosis de CUAD, se efectuó una investigación de nivel explicativa cuantitativa siguiendo el diseño experimental considerando como la muestra de la investigación se consideraron 120 cubos por cada mezcla de hormigón final, lo que produjo la elaboración de 28 litros por mezcla de hormigón final aproximadamente y se concluyó que los programas de tratamiento térmico promueven un rápido desarrollo del $f'c$ en una etapa temprana. Según Niño (2014) “con los procesos de sanado térmico, se observa un rápido mejoramiento de las propiedades del hormigón en los primeros días, seguido de un avance más gradual” (p. 65).

En la investigación desarrollada por Al-Assadi (2009) donde consideró el objetivo de examinar cómo el sanado y la incorporación de agentes aireantes afectan el comportamiento de un hormigón expuesto a condiciones climáticas desfavorables, como altas temperaturas y baja humedad, frente a los efectos adversos del hielo y el deshielo,

ejecutando un trabajo explicativo con diseño experimental, el grupo de trabajo estuvo integrado por 15 probetas de 15Ø por 30cm, las probetas de hormigón una vez preparadas se mantuvieron en sus moldes durante 24 horas en el laboratorio cubiertas con plástico, luego se desmoldaron y se introdujeron en las cámaras climáticas siguiendo su tipo de sanado. Finalmente, Al-Assidi (2009) concluyó que:

El método de sanado ya sea con o sin riego diario durante la primera semana, bajo las condiciones ambientales establecidas de humedad (37%) y temperatura (30°C), parece tener una relevancia menor en comparación con las demás variables examinadas, en lo que respecta al deterioro causado por los ciclos de hielo-deshielo. (p. 208)

En la tesis trabajada por Manobanda (2013) donde tuvo como objetivo ejecutar un estudio respecto al sanado del hormigón con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas últimas, mediante un trabajo descriptivo explicativo desde un perfil cuantitativo y con diseño experimental en un grupo de trabajo de 35 construcciones y realizando sayos en el laboratorio y en obra. Manobanda (2013) llegó a la siguiente conclusión:

Según los resultados obtenidos del trabajo, se infiere que, aunque el 97,14% de la muestra sabe sobre el procedimiento para el sanado del hormigón, solo el 88,57% lleva a cabo algún tipo de sanado. Dentro de este porcentaje, el 74,29% realiza el sanado mediante la aspersión o rocío de agua, mientras que solo el 2,86% sigue un enfoque técnico y apropiado para este procedimiento. (p. 42)

2.2. Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.2.1. Concreto

El hormigón es un material ampliamente empleado en los proyectos de construcción, está conformado por una mezcla entre cemento, arena, agua y agregados como piedra triturada o grava. Al combinar estos elementos, se forma una pasta que experimenta un proceso de endurecimiento con el tiempo, transformándose en una sustancia sólida y resistente. Debido a su versatilidad y durabilidad, el hormigón se utiliza en diversas aplicaciones constructivas, desde cimientos y muros hasta pavimentos y puentes. Esta cualidad lo convierte en una elección popular para la edificación de diversas estructuras y edificaciones.

Una de las principales ventajas del hormigón es su durabilidad y resistencia a la intemperie y a la humedad. También puede soportar grandes cargas y es resistente al fuego. Sin embargo, el hormigón puede ser susceptible a la erosión con el tiempo, especialmente en ambientes salinos o agresivos. Para obtener los mejores resultados al trabajar con hormigón, es importante seguir las instrucciones de mezcla y aplicación cuidadosamente. También es importante tener en cuenta la resistencia y las características de los diferentes tipos de hormigón y elegir el tipo de mezcla adecuado para la aplicación específica que se está llevando a cabo.

2.2.1.1. Importancia del hormigón

Este material es bastante empleado en las construcciones, su uso es empleado comúnmente en todas partes del mundo. Asimismo, en el Perú el hormigón es el material más empleado para los proyectos de construcción. En este sentido, en la tabla 1 mostrando el consumo de cemento en el Perú en algunos años desde el año 1999 al 2013.

Tabla 1

Consumo de cemento en el Perú desde 1999 al 2013

Consumo de Cemento en el Perú (millones de toneladas)	
Año	Consumo
1999	3.7
2000	3.6
2008	6.7
2009	7.1
2013	10.5

Nota: Ottazzi (2015).

Según Ottazzi (2015) “en el año 2007 en China el consumo de cemento fue de 1200 millones de toneladas y en los Estados Unidos de Norteamérica fue de 118 millones de toneladas” (p. 2). Es decir, en china usó más de 10 veces que en los Estados Unidos. En conclusión, la importancia del hormigón radica en su resistencia, durabilidad, versatilidad, bajo costo, disponibilidad, trabajabilidad y facilidad de construcción, lo que lo convierte en un material de construcción muy valioso y ampliamente utilizado.

2.2.1.2. Componentes del hormigón.

A lo largo del tiempo el hormigón se ha elaborado con diferentes componentes, pero siempre a base de un material cementante y agua fundamentalmente, en la actualidad los componentes básicos del hormigón son:

- **Cemento.** Es el componente principal del hormigón, el cual se mezcla con agua y otros materiales para formar una pasta que se endurece y se adhiere a otros materiales como el ladrillo, el acero, etcétera. El más empleado en la construcción es el Portland, obtenido de una mezcla de caliza y arcilla que se calienta a altas temperaturas.
- **Agua.** El agua es fundamental para hidratar el cemento, lo que permite que la mezcla se endurezca y se convierta en hormigón. La proporción de agua empleada en la mezcla de hormigón debe ser la ideal para lograr la resistencia y durabilidad requeridas. Según Arana y Salazar (2019) “el $f'c$ depende de la relación agua-cemento: cuanto mayor sea la relación agua-cemento, menor será la resistencia” (p. 11).
- **Agregados.** Se refiere a los componentes como la arena, la grava, la piedra chancada o el polvo de piedra, que se combinan con el cemento y el agua para dar paso al hormigón. Estos materiales proporcionan volumen y resistencia al hormigón, además de contribuir a la durabilidad y estabilidad de la estructura.
- **Aditivos.** Se refiere a los componentes que se combinan con la mezcla de hormigón para mejorar ciertas características de este, como la resistencia, la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia a la intemperie. Los aditivos pueden ser plastificantes, acelerantes, retardantes, impermeabilizantes, entre otros.

2.2.1.3. Historia del hormigón

La historia del hormigón inicia en la antigua civilización romana, quienes desarrollaron una mezcla de cal, arena y piedra que se endurecía con el tiempo y era utilizada para construir estructuras duraderas. Esta mezcla se conocía como opus caementicium y fue utilizada para edificar algunos de las icónicas edificaciones de la antigua Roma, como el Coliseo y el Panteón. Como menciona Ottazzi (2015) “el Panteón es un edificio de planta circular de albañilería y hormigón con acabado de ladrillo en las paredes exteriores y la cimentación es un anillo de hormigón de 4.5m de altura bajo todo el muro perimetral” (p. 5).

Sin embargo, el uso del hormigón se interrumpió después de la caída del Imperio Romano y no fue hasta el siglo XVIII que se volvió a utilizar. En 1756, el británico John Smeaton

desarrolló una mezcla de cal y arena que se endurecía con el tiempo y se utilizó para construir el faro de Eddystone en la costa sur de Inglaterra. Esta mezcla fue la precursora del moderno hormigón. A finales del siglo XIX, el ingeniero francés Joseph Monier desarrolló una técnica para reforzar el hormigón utilizando una armadura de hierro. Esta técnica permitió la construcción de estructuras más grandes y resistentes con hormigón reforzado.

En el siglo XX, el hormigón se convirtió por excelencia en el material más usado para los proyectos de construcción en el mundo. Se han desarrollado numerosas técnicas y mezclas de hormigón para mejorar su resistencia, durabilidad y capacidad de soporte de cargas. Según Harmsen (2002) “en 1850 llegaron al Perú los primeros barriles de cemento y se usó inicialmente en la construcción de cimentaciones” (p. 2). Actualmente, el hormigón es utilizado en la construcción de una amplia variedad de estructuras, desde edificios y puentes hasta represas y aeropuertos.

2.2.1.4. Ventajas del hormigón

El hormigón es el material más usado en la edificación de estructuras ya que tiene numerosas ventajas, algunas de las cuales incluyen.

- Resistencia y durabilidad. El hormigón es un material altamente resistente a la compresión, lo que lo hace ideal para soportar cargas pesadas. Adicionalmente, posee una durabilidad considerable y demanda escaso mantenimiento, lo cual lo posiciona como una alternativa económicamente viable a largo plazo. Esta característica lo convierte en una elección idónea para la edificación de infraestructuras tales como puentes, edificios y carreteras. “El término durabilidad de un material se refiere a su vida de servicio bajo ciertas condiciones ambientales” (Mehta y Monteiro, 1985, p. 10).
- Versatilidad. El hormigón se puede diseñar y moldear de muchas maneras diferentes, lo que facilita su elaboración para una gran variedad de elementos estructurales, incluyendo muros, columnas, losas, pavimentos, entre otros.
- Disponibilidad y bajo costo. El hormigón es un material ampliamente disponible y a menudo se utiliza en grandes cantidades, lo que reduce su costo a diferencia de otros materiales empleados en edificaciones.
- Aislamiento térmico. El hormigón tiene una alta capacidad de retener el calor, por lo que se le puede dar el calificativo de buen aislante térmico. Esto lo hace útil para la construcción de edificios energéticamente eficientes.

- Resistencia al fuego y al agua. El hormigón es un material no inflamable y muy resistente al agua, por lo que es el material de construcción indicado para aquellas estructuras que necesitan resistir incendios o inundaciones.
- Trabajabilidad. El hormigón es un material fácil de trabajar y puede ser vertido y moldeado en diferentes formas y tamaños. La trabajabilidad del hormigón está relacionada directamente con la construcción. Según Enriquez y Shimabukuro (2019) “si desea cambiar la trabajabilidad, pero no la resistencia, puede cambiar la relación agregado-cemento o el tipo de agregado” (p. 33).

2.2.1.5. Desventajas del hormigón

A pesar de que el hormigón es el material de construcción más empleado y valorado por sus numerosas ventajas, también tiene algunas desventajas, entre las que se incluyen:

- Peso. El hormigón es un material pesado, lo que puede requerir una estructura de soporte más robusta para soportar su peso. Además, su peso puede hacer que el transporte y la instalación sean más difíciles y costosos. “El bajo $f'c$ del hormigón por unidad de masa hace que las estructuras sean pesadas; Esto adquiere importancia en estructuras de luces largas donde el elevado peso propio del hormigón tiene un gran impacto en el momento flector” (McCormac y Brown, 2011, p. 3).
- Fragilidad. Aunque el hormigón es un material resistente a la compresión, es más susceptible a la fractura por tensión y flexión. Si se somete a cargas inesperadas o mal diseñadas, puede agrietarse y romperse. “A pesar de que el hormigón tiene un gran desempeño frente a cargas a compresión, tiene una baja resistencia a la tracción, aproximadamente $1/10$ del $f'c$ ” (Harmsen, 2002, p. 3).
- Fraguado. El hormigón requiere tiempo para endurecerse y alcanzar su resistencia máxima. Esto puede retrasar la construcción y hacer que el proyecto sea más costoso. “Se requiere el encofrado, se requiere su permiso, el vaciado se esperará hasta lograr la resistencia necesaria y se retira el encofrado, con el tiempo estas operaciones requieren” (Harmsen, 2002, p. 3).
- Impacto ambiental. La producción de hormigón requiere grandes cantidades de energía y emite una cantidad significativa de CO₂ al ambiente. También puede ser difícil reciclar y puede generar grandes cantidades de residuos.
- Cambios de Volumen. En el tiempo, el hormigón se ve afectado por cambios en su volumen por las siguientes razones: “El secado o la contracción pueden provocar el

agrietamiento de los elementos de hormigón armado, así como una mayor flexión; Las grietas ocurren en elementos con contracción limitada” (Ottazzi, 2015, p. 4). “El flujo plástico se produce a lo largo del tiempo en el hormigón, bajo cargas sostenidas, las deflexiones en los elementos se incrementan con el tiempo” (Harmsen, 2002, p. 3).

2.2.1.6. Patologías del hormigón

El hormigón puede verse afectado por una serie de patologías o problemas que pueden afectar su calidad, resistencia y durabilidad a lo largo del tiempo, para estructuras convencionales el hormigón puede tener una vida de 50 años (Riva, 2006). Algunas de las patologías más comunes del hormigón son las siguientes:

- Grietas. Las grietas pueden aparecer en el hormigón por diversas razones, como por ejemplo la contracción del hormigón durante el secado, la expansión térmica o la sobrecarga de la estructura.
- Desprendimiento de la capa superficial. Este problema se produce cuando la capa superficial del hormigón se despegas o se desprende, generalmente debido a problemas en el proceso de sanado o a la presencia de aire atrapado en el hormigón.
- Corrosión de las armaduras. Si las armaduras del hormigón (generalmente barras de acero) están expuestas a la humedad y al oxígeno, pueden corroerse con el tiempo, lo que puede debilitar la estructura del hormigón y reducir su resistencia.
- Carbonatación. La carbonatación es un proceso natural que ocurre cuando el CO₂ del aire entra en reacción con el cemento en el hormigón. A medida que el hormigón se carbonata, se vuelve más poroso y pierde resistencia.
- Erosión. La erosión del hormigón puede ocurrir cuando el material es sometido a la acción del agua o del viento, lo que puede debilitar la estructura y reducir su resistencia. Es importante tener en cuenta que estas patologías pueden ser prevenidas o minimizadas mediante una adecuada planificación, diseño y mantenimiento de las estructuras, por lo tanto, es importante contar con el asesoramiento de un profesional en caso de sospechar que el hormigón presente alguna patología.

2.2.1.7. Aditivos para la mezcla del hormigón

Los aditivos son elementos químicos que se combinan con la mezcla de hormigón para mejorar sus cualidades o para facilitar el proceso de construcción. Los aditivos se clasifican en diferentes categorías según su función, ““Existe una gran cantidad de

aditivos para una variedad de propósitos que pueden ayudar a lograr ciertas propiedades en el hormigón que no se pueden lograr por otros medios o quizás más económicos" (Lavarello y Valderrama, 2019, p. 18).

- Reductores de agua: estos aditivos logran reducir la proporción de agua necesaria para producir una mezcla de hormigón trabajable, por lo que se obtiene una mayor resistencia y durabilidad del hormigón. Ejemplos de aditivos reductores de agua son los plastificantes y los superplastificantes.
- Aditivos aceleradores: estos aditivos aceleran la velocidad de fraguado del hormigón, lo que puede ser útil para climas fríos o cuando el proyecto requiere que la estructura sea puesta en servicio lo antes posible. Los aceleradores de fraguado pueden ser a base de cloruros, nitratos o aluminatos.
- Aditivos retardantes: estos aditivos tienen el efecto contrario a los aceleradores, es decir, retardan el tiempo de fraguado del hormigón. Esto puede ser útil en climas cálidos o en situaciones en las que se necesita tiempo adicional para colocar y nivelar el hormigón. Los retardadores de fraguado pueden ser a base de ácidos, sales o azúcares.
- Aditivos de aireación: estos aditivos se utilizan para incorporar burbujas de aire en la mezcla de hormigón, lo que aumenta la resistencia del hormigón a la acción del agua y del hielo. Los aditivos de aireación son útiles en climas fríos y húmedos.
- Aditivos pigmentarios: estos aditivos se utilizan para agregar color al hormigón. Pueden ser a base de óxidos de hierro, dióxido de titanio u otros pigmentos.
- Aditivos de refuerzo: estos aditivos se utilizan con el fin de mejorar la resistencia y durabilidad del hormigón, especialmente en condiciones extremas. Ejemplos de aditivos de refuerzo son las fibras de vidrio, polipropileno y acero.

Es importante tener en cuenta que la selección de los aditivos adecuados para una mezcla de hormigón dependerá de las condiciones específicas de la obra y de los requisitos del proyecto, y es recomendable contar con la asesoría de un experto en la materia.

2.2.1.8. Tipos de hormigón

Existen varios tipos se utilizan en la construcción, cada uno con características y propiedades específicas que los hacen adecuados para diferentes aplicaciones. Algunos de los tipos de hormigón más comunes son:

- Hormigón convencional: es el tipo de hormigón más común y se compone de cemento, agua, agregados (arena y grava) y a veces, aditivos. Se utiliza en una gran variedad de aplicaciones, desde cimentaciones hasta muros de contención.
- Hormigón de alta resistencia: es un tipo de hormigón que se caracteriza por su alto valor de $f'c$. Se logra mediante la reducción de la relación a/c y el uso de agregados de alta resistencia. Se utiliza en estructuras de alta carga, como puentes y edificios de gran altura.
- Hormigón premezclado: se produce en una planta de hormigón y se entrega al sitio de construcción en camiones mezcladores. Este tipo de hormigón es ideal para proyectos grandes y complejos, ya que se garantiza la consistencia y la calidad.
- Hormigón liviano: se caracteriza por su baja densidad y su alta capacidad de aislamiento térmico y acústico. Se logra mediante el uso de agregados livianos, como arcilla expandida o perlita. Se utiliza en la construcción de techos, paredes, pisos y elementos prefabricados.
- Hormigón de poca retracción: se utiliza para minimizar la retracción que ocurre durante el proceso de sanado del hormigón, lo que puede causar grietas y dañar la estructura. Se logra mediante el uso de aditivos especiales y un cuidadoso control del agua y la temperatura durante el proceso de sanado.
- Hormigón autocompactante: se caracteriza por su gran fluidez y su capacidad de autocompactación, lo que permite llenar completamente la forma sin la necesidad de vibrar. Se utiliza en estructuras complejas y de difícil acceso.
- Hormigón coloreado: se logra mediante el uso de pigmentos que se mezclan con la mezcla de hormigón, lo que permite obtener una amplia variedad de colores. Se utiliza en aplicaciones decorativas, como pavimentos, muros y fachadas.

Estos son solo algunos de los tipos de hormigón más comunes, y existen otros tipos especializados que se utilizan en aplicaciones específicas. La elección del tipo de hormigón adecuado dependerá de las necesidades del proyecto de construcción.

2.2.2. Resistencia a compresión del concreto

Para efectos del presente estudio la variable: Resistencia a compresión del hormigón ($f'c$), queda dimensionada de la siguiente manera:

- $F'c$ del hormigón a los 07 días. Se refiere a la capacidad del hormigón de soportar fuerzas de compresión después de haber sido mezclado, colocado y sanado durante una

semana. Este parámetro es importante en los proyectos de construcción, ya que brinda información sobre la capacidad inicial de carga del hormigón. En este punto, el hormigón generalmente ha alcanzado solo un poco más de la mitad de su resistencia máxima, alrededor del 67%, pero es lo suficientemente fuerte como para soportar cargas moderadas. Los resultados a los 07 días son útiles para verificar si el hormigón analizado llega a cumplir con los requisitos mínimos de resistencia temprana para ciertas aplicaciones, como en proyectos de construcción donde se necesita una rápida habilitación de la estructura.

- F'c del hormigón a los 14 días. A este punto, el hormigón generalmente ha ganado significativamente en resistencia en comparación con los 07 días, alrededor del 86% de la resistencia máxima, pero aún no ha alcanzado su resistencia máxima. Esta información es de gran importancia para los ingenieros y contratistas, ya que les brinda la posibilidad de evaluar el progreso de endurecimiento del hormigón y tomar decisiones sobre el desencofrado y la carga estructural.

- F'c del hormigón a los 28 días. A este punto, el hormigón generalmente ha alcanzado la mayor parte de su resistencia final. La información obtenida después de 28 días es extensamente empleada en el sector de la construcción con el fin de confirmar si el hormigón satisface los criterios de diseño y los requisitos establecidos por el proyecto. Asimismo, resultan fundamentales para asegurar la durabilidad a largo plazo de las estructuras, ya que ofrecen datos acerca de su capacidad para soportar cargas y resistir el deterioro a lo largo del tiempo.

Según Harmsen (2002) “la relación entre la resistencia del hormigón a una determinada edad y su resistencia a los 28 día varía según la relación mostrada en la tabla 2” (p. 22).

Tabla 2

Resistencia a compresión del hormigón a una determinada edad con relación a su resistencia a los 28 días.

Tiempo	1 semana	2 semanas	4 semanas	3 meses	6 meses	1 año	2 años	5 años
f'c(t) /f'c(28)	.67	.86	1	1.17	1.23	1.27	1.31	1.35

Nota: Harmsen (2002).

El $f'c$ del hormigón es una referencia de la capacidad del material para soportar cargas en su superficie sin romperse o deformarse permanentemente. Según Jiménez y Ordoñez (2021) “el $f'c$ es una de las propiedades más importantes del hormigón hidráulico y en su estado endurecido se define como la capacidad del hormigón para soportar cargas máximas de compresión” (p. 31). Se representa en términos de fuerza por unidad de área, comúnmente expresada en libras por pulgada cuadrada (psi), kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) o megapascales (MPa).

El $f'c$ se ve afectada por una serie de variables, entre las cuales se incluyen la calidad de los materiales empleados en la mezcla, la proporción de a/c, el método de mezclado y el proceso de sanado. En términos generales, se puede decir que el hormigón tradicional presenta un $f'c$ que oscila entre 3,000 y 4,000 psi (20 a 30 MPa), mientras que el hormigón de alto $f'c$ puede alcanzar valores superiores a 12,000 psi (80 MPa) o incluso más. El $f'c$ se emplea para evaluar la calidad del material y diseñar estructuras de hormigón capaces de soportar las cargas proyectadas. Se realizan pruebas de resistencia en muestras cilíndricas o cuboidales de hormigón, las cuales son conformadas y curadas de acuerdo con normativas específicas. Estas muestras son luego sometidas a fuerzas de compresión en una máquina de ensayo. Es importante destacar que, aunque el $f'c$ es una característica vital del hormigón, no es el único factor a tener en cuenta en el diseño y la construcción de estructuras de hormigón. Otros aspectos, como la resistencia a la flexión, la durabilidad y la resistencia a la abrasión, entre otros, también desempeñan un papel importante.

2.2.2.1. Factores que afecta al valor de $f'c$ del hormigón

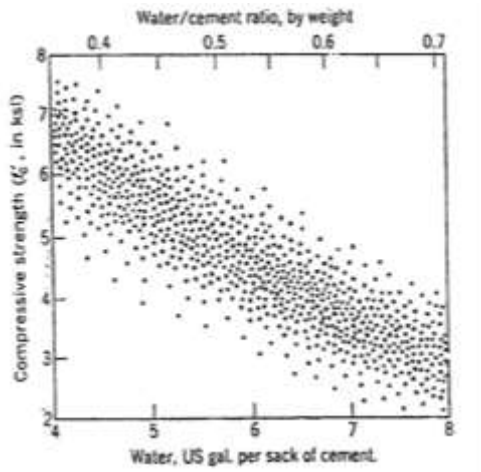
Existen varios factores que pueden afectar el $f'c$ del hormigón, algunos de los cuales se enumeran a continuación:

- Relación agua-cemento (a/c): El $f'c$ está directamente relacionada con la proporción de cemento, agua y agregados en la mezcla. Si la cantidad de cemento es baja, el $f'c$ será menor. De igual forma Ottazzi (2015) afirma que “una relación a/c baja reduce la porosidad de la pasta de cemento y mejora la unión entre los sólidos aumentando la resistencia, por lo contrario, una relación a/c alta aumenta la porosidad y reduce la resistencia (p. 24-25). Asimismo, según Jiménez y Ordoñez (2021) “el valor de $f'c$ se ve afectada por la proporción de agua y cemento, ya que la experiencia demuestra que cuanto más agua haya en la mezcla, menor será la resistencia del hormigón. (p. 31). A

continuación, se muestra en las figuras 1 y 2 como influye la relación a/c en el f'_c del concreto.

Figura 1

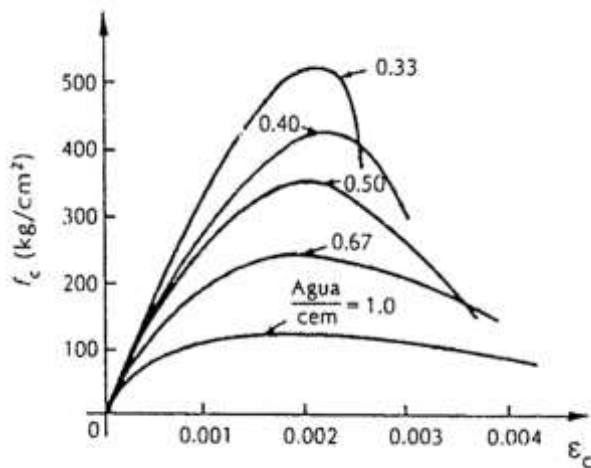
Influencia de la relación a/c.



Nota: Ottazzi (2015).

Figura 2

Influencia de la relación a/c en la curva de resistencia.



Nota: Ottazzi (2015).

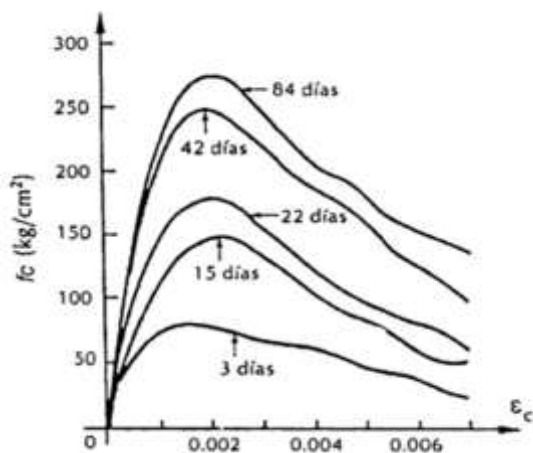
- La calidad de los materiales: La calidad de los materiales utilizados en la mezcla de hormigón, que incluyen el cemento, los agregados y el agua, representa un factor crucial para determinar el f'_c . El uso de materiales de baja calidad puede comprometer la resistencia a la compresión del hormigón. En muestras de resistencia estándar fabricados

con agregados gruesos resistentes, se puede observar un fallo asociado al agrietamiento del mortero, manifestando una curva de esfuerzo-deformación con una prolongada rama descendente. Por otro lado, Ottazzi menciona que “si el agregado falla antes que el mortero, la falla tiende a ser súbita con una rama descendente corta y muy inclinada” (p. 27).

- Sanado del hormigón: Este proceso es esencial para asegurar una hidratación adecuada del cemento, lo cual influye en el f_c . Un sanado incorrecto puede comprometer la resistencia a la compresión del hormigón.
- La edad del hormigón: La resistencia aumenta con el tiempo, ya que el proceso de hidratación del cemento continúa y el material se endurece. El hormigón que se somete a pruebas de resistencia a compresión a una edad temprana presentará un valor más bajo que el hormigón que se prueba después de un período de sanado prolongado. En la figura 3 se puede observar como la madurez y el sanado del concreto influyen en el f_c .

Figura 3

Influencia de la madurez y el proceso de sanado en el f_c .



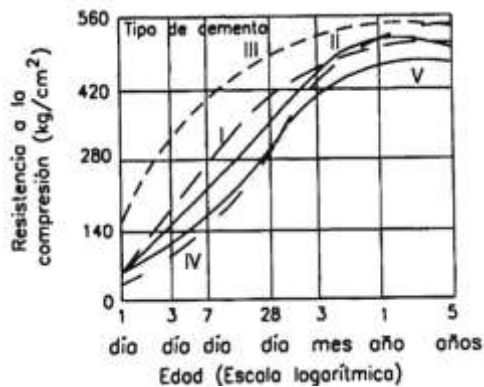
Nota: Ottazzi (2015).

- Las condiciones ambientales: Respecto a la condición ambiental como puede ser: la temperatura y la humedad, puede afectar directamente al f_c . Si el hormigón se expone a temperaturas extremas o niveles de humedad inadecuados durante el proceso de sanado, su resistencia a compresión puede verse afectada.
- Tipos de Cemento: El f_c experimenta variaciones en función del tipo de cemento utilizado a lo largo del tiempo. A partir de los dos o tres meses de edad, las muestras

elaboradas con cualquiera de los cinco tipos de cemento muestran resistencias similares. La figura 4 nos muestra como el tipo de cemento influye en el $f'c$ del concreto.

Figura 4

Desarrollo del $f'c$ en función del tipo de cemento.



Nota: Harmsen (2002).

En este trabajo la resistencia se pondrá a prueba a los 07 días, luego a los 14 días y finalmente a los 28 días en la máquina de ensayo del laboratorio.

2.2.3. Curado del concreto

Este proceso desempeña un papel fundamental en asegurar la fortaleza y longevidad del material. Se refiere a las prácticas empleadas para mantener la humedad en el hormigón recién colocado durante un periodo específico después de su colocación. Este procedimiento facilita la hidratación y el endurecimiento adecuados del hormigón, mejorando así su resistencia y durabilidad. El sanado del hormigón tiene una historia que se remonta a la época romana, donde se añadían ingredientes como sangre y clara de huevo a las construcciones de hormigón (Ortiz, 2020).

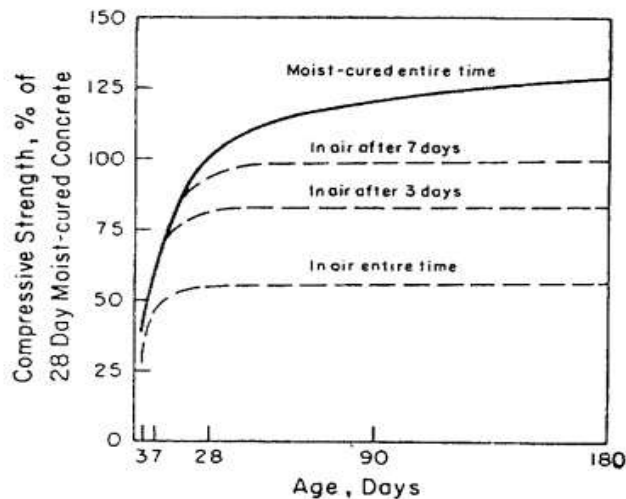
Es importante recordar que el sanado adecuado del hormigón es esencial para garantizar su resistencia y durabilidad a largo plazo. Si el hormigón se seca demasiado pronto, puede agrietarse y debilitarse con el tiempo. Por lo tanto, es importante seguir las técnicas de sanado adecuadas para cada proyecto de construcción y consultar a un profesional de la construcción para obtener asesoramiento específico sobre el sanado del hormigón.

Según Ottazzi (2015) “dado a la hidratación continua del cemento, las condiciones de humedad encontradas durante el sanado afectan significativamente la resistencia, y los períodos de sanado prolongados aumentan significativamente

la resistencia” (p. 27). En la figura 5 observamos como las condiciones de curado influyen en el $f'c$.

Figura 5

Influencia de las condiciones del sanado en el $f'c$.



Nota: Ottazzi (2015).

2.2.3.1. Importancia del sanado del hormigón

El sanado del hormigón es un procedimiento importante en la realización o construcción de las estructuras que contienen hormigón, pues ayuda a lograr las propiedades y características deseadas del material. Consiste en mantener el hormigón húmedo y a una temperatura adecuada durante un período de tiempo después de su colocación, para permitir que el proceso de hidratación del cemento tenga lugar de manera óptima. Según Hernández, Muñoz, y Rodríguez (2019) “bajo un sanado adecuado, el hormigón desarrolla, en la primera semana, al menos el 65 % de la resistencia proyectada a 28 días” (p. 8). A continuación, se detallan algunos de los motivos por los que es importante el proceso de sanado:

- Mejora la resistencia y durabilidad: El sanado adecuado mejora la resistencia y durabilidad del hormigón, permitiendo que las moléculas de agua se unan a las partículas de cemento, formando una estructura resistente y duradera. Si el hormigón se seca demasiado rápido, la hidratación del cemento se detendrá, lo que afectará la resistencia y durabilidad del material.
- Reduce el agrietamiento: El sanado adecuado del hormigón reduce la probabilidad de agrietamiento, ya que permite que el material se contraiga de manera uniforme a

medida que se seca. Si el hormigón se seca demasiado rápido, se producirán grietas y fisuras que pueden debilitar la estructura.

- Acelera el proceso de sanado: El sanado adecuado puede acelerar el proceso de sanado del hormigón, lo que permite que la estructura se utilice antes. Esto es especialmente importante en proyectos de construcción con plazos ajustados.

Para efectos del presente estudio la variable: curado del concreto queda determinada con las dimensiones siguientes:

- a. Curado químico
- b. Curado sumergido
- c. Curado con lámina de plástico film

2.2.3.2. Curado Químico

Un sanador químico de hormigón es un producto químico utilizado para acelerar el proceso de sanado del hormigón. Este tipo de producto se utiliza comúnmente en la industria de la construcción para acelerar la hidratación del cemento y lograr una resistencia adecuada del hormigón en un tiempo más corto que el sanado convencional.

El agente sanador químico se aplica directamente en la superficie del hormigón recién colocado. Este compuesto químico penetra en el material y funciona como un catalizador en la reacción de hidratación del cemento, acelerando así el proceso de fraguado y elevando la resistencia inicial del hormigón.

En este trabajo, por razones de comodidad y accesibilidad se emplea el sanador SikaCem que produce la empresa Sika y se comercializa en el Perú. SikaCem Curador es un producto químico de la compañía Sika que se utiliza como acelerador de fraguado y sanador para el hormigón. Este sanador químico se agrega a la mezcla de hormigón durante el proceso de mezclado para acelerar el proceso de sanado del hormigón y mejorar su resistencia temprana. SikaCem Sanador está diseñado para utilizarse en climas fríos o en proyectos donde se requiere una liberación temprana de las formas del hormigón. El producto acelera el proceso de hidratación del cemento, lo que permite que el hormigón alcance una resistencia adecuada en un tiempo más corto que el sanado convencional.

Además de su capacidad para acelerar el proceso de sanado, SikaCem Sanador también tiene el potencial de elevar la trabajabilidad del hormigón y reducir la formación de fisuras en el hormigón fresco. También puede mejorar la durabilidad y resistencia a la abrasión del hormigón sanado.

Se debe tener en cuenta que el uso de SikaCem Sanador puede afectar la resistencia final y la durabilidad del hormigón si se usa en exceso. Asimismo, es de gran importancia seguir los lineamientos fabricante y trabajar con un ingeniero o especialista en hormigón para determinar la cantidad adecuada de este producto químico para un proyecto específico. La aplicación del SikaCem Sanador es relativamente sencilla y se puede seguir los siguientes pasos:

- Preparación de la superficie: La superficie del hormigón tiene que estar limpia, libre de polvo o cualquier otro material que pueda interferir con la adherencia del sanador.
- Aplicación del SikaCem Sanador: Se debe aplicar el SikaCem Sanador en el exterior del hormigón fresco de manera uniforme. La cantidad de producto que se debe aplicar estará sujeto a las condiciones del ambiente y el tipo de hormigón a curar.
- Protección de la superficie: Una vez aplicado el SikaCem Sanador, se debe proteger la superficie de la exposición a los elementos externos, como la lluvia, el sol y el viento. Esto se puede lograr utilizando una lámina de polietileno o una manta térmica.
- Se deben seguir las instrucciones del fabricante en cuanto a la cantidad de producto a utilizar y el tiempo de sanado necesario antes de retirar la protección de la superficie. También es importante considerar las condiciones climáticas al momento de aplicar el SikaCem Sanador, ya que las temperaturas extremas y la humedad pueden afectar el proceso de sanado del hormigón o mortero.

2.2.3.3. Curado Sumergido

Sumergir las probetas de hormigón en agua es una técnica habitualmente empleada para el sanado de especímenes durante las pruebas de resistencia. Este procedimiento consiste en colocar las muestras recién moldeadas en un medio acuoso durante un lapso determinado, facilitando así la hidratación completa del cemento y logrando su máximo valor de f^c .

Las muestras de hormigón se curan en condiciones de laboratorio a una temperatura constante y con una humedad controlada, lo que permite una hidratación adecuada del cemento y la formación de una matriz de hormigón sólida y duradera.

El sanado sumergido se utiliza a menudo para el sanado de probetas de hormigón porque proporciona un ambiente ideal para el endurecimiento de la mezcla. El agua ayuda a mantener una temperatura constante y a proporcionar la humedad adecuada para el endurecimiento de las probetas. Además, el sanado sumergido tiene la capacidad de

reducir el número de fisuras en la superficie de la muestra y, por lo tanto, mejorar la precisión de las pruebas de resistencia.

El tiempo de sanado sumergido depende del tamaño y la forma de la muestra de hormigón, así como de las condiciones ambientales, la mezcla de hormigón utilizada y el uso previsto del hormigón. En general, se recomienda un tiempo de sanado sumergido de al menos 7 días antes de la prueba de resistencia.

Es importante tener en cuenta que el sanado sumergido es un método de sanado específico para muestras de hormigón en el laboratorio y no es aplicable para el uso en obra. Para el sanado del hormigón en obra, se utilizan técnicas específicas como el sanado con agua y el sanado con láminas de plástico, como se mencionó anteriormente. Algunas de las condiciones importantes para el sanado sumergido de probetas de hormigón son:

- o Temperatura del agua: La temperatura del agua tiene que mantenerse constante durante todo el período de sanado, generalmente alrededor de 23 ± 2 °C, para proporcionar un ambiente ideal para la hidratación del cemento.
- o Sumergir las muestras inmediatamente después de la moldificación: Las probetas de hormigón deben sumergirse inmediatamente después de su moldificación para evitar la pérdida de humedad y asegurar que la hidratación del cemento comience de manera oportuna.
- o Proteger las muestras de corrientes de agua: Las muestras de hormigón deben protegerse de corrientes de agua que puedan afectar la hidratación adecuada del cemento. Las muestras se deben colocar en un recipiente con agua que esté quieto y no se mueva durante todo el proceso de sanado.
- o Mantener el nivel de agua: El nivel de agua debe ser suficiente para cubrir completamente las muestras de hormigón durante todo el proceso de sanado. Se recomienda mantener una profundidad de al menos 25 mm por encima de la parte superior de las muestras.

2.2.3.4. Curado con lámina de plástico film

La adecuada curación del hormigón en el lugar de la construcción es un procedimiento crítico para asegurar que el material alcance su máxima resistencia y durabilidad. Este tipo de sanado implica la implementación de prácticas destinadas a preservar la humedad en el hormigón recién vertido durante un periodo determinado posterior a su colocación, y generalmente se lleva a cabo en la misma obra de construcción donde se está empleando

el hormigón. El proceso de sanado en obra se inicia inmediatamente después de la colocación del hormigón y se prolonga durante un lapso específico, siendo la duración dependiente de factores como las condiciones ambientales, la composición de la mezcla de hormigón y la utilización proyectada del material.

Durante el sanado, se pueden utilizar varios métodos para mantener la humedad en el hormigón. Los materiales y los pasos por seguir para emplear la lámina de plástico film como método de sanado es el siguiente:

Materiales necesarios:

- Láminas de plástico film (polietileno) de tamaño adecuado para cubrir la superficie a curar.
- Material de fijación, como cinta adhesiva resistente o pesos ligeros.
- Agua para humedecer la superficie antes de aplicar el plástico film.

Pasos por seguir:

- Preparación Inicial: Antes de aplicar la lámina de plástico, asegúrate de que la superficie esté limpia y el material construido haya alcanzado un grado de endurecimiento adecuado para soportar la cobertura.
- Añadir Humedad: Rocía una cantidad moderada de agua sobre la superficie para garantizar la humedad. Esto evita que el material absorba excesiva humedad del plástico y previene la formación de manchas.
- Colocar el Plástico: Cubre la superficie con la lámina de plástico, asegurándote de que abarque toda el área necesaria. Si es necesario, superpone los bordes para crear un sello hermético.
- Asegurar la Fijación: Utiliza cinta adhesiva resistente o coloca objetos ligeros en los bordes del plástico para evitar que se mueva debido a factores externos.
- Controlar la Humedad: Durante el período de sanado, vigila que la superficie permanezca húmeda, pero no empapada. Si es preciso, rocía agua antes de volver a cerrar el plástico.
- Tiempo de Sanado: Mantén el plástico sobre la superficie durante al menos 7 días, dependiendo de la resistencia que se requiera en el proyecto, además, dependiendo de las condiciones y los materiales utilizados.
- Retirar el Plástico: Después del tiempo de sanado, retira suavemente la lámina de plástico para evitar dañar la superficie.

Es esencial recordar que estos son pasos generales y que las variaciones pueden depender de las condiciones específicas de la obra y los materiales involucrados. Siempre es recomendable contar con la orientación de profesionales en construcción para adaptar estos pasos según las necesidades del proyecto.

2.3. Definición de términos básicos

- Hormigón: Un compuesto ampliamente utilizado en construcciones, conformado por cemento, arena, agua y agregados como piedra triturada o grava. Su origen se remonta a los tiempos antiguos de los romanos, quienes lo emplearon en la construcción de sus emblemáticas estructuras.
- Resistencia a Compresión (f_c): Un parámetro que evalúa la capacidad del hormigón para resistir cargas en su superficie sin experimentar rupturas o deformaciones permanentes. Se expresa en unidades de fuerza por área como: psi, kg/cm² o MPa.
- Sanado en Obra: Un proceso crucial para asegurar que el hormigón alcance su valor de f_c máximo. Involucra la aplicación de agua sobre la superficie del hormigón recién colocado para mantener la humedad y prevenir un secado rápido. Estas prácticas se implementan para preservar la humedad durante un período específico después de la colocación.
- Sanado Sumergido: Un método frecuentemente empleado en la curación de especímenes de hormigón durante los ensayos de resistencia. Consiste en sumergir las muestras recién moldeadas en agua durante un tiempo determinado para permitir que el proceso de hidratación se complete y lograr la resistencia óptima.
- Sanado químico. El sanador químico de hormigón es un producto utilizado para acelerar el proceso de sanado, se utiliza comúnmente en la industria de la construcción para acelerar la hidratación del cemento y lograr una resistencia adecuada del hormigón en un tiempo más corto que el sanado convencional.
- Moldificación. Se trata del proceso moldear el hormigón recién preparado en probetas o formas y tamaños establecidos previamente, lo cual ofrece la ventaja de trabajabilidad del hormigón.
- SikaCem sanador. Es un producto químico de la compañía Sika que se utiliza como sanador para el hormigón. Este producto se suma al hormigón pocas horas después de ser colocado.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. *Hipótesis general*

- Existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanador químico y distintas formas de sanado frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

3.1.2. *Hipótesis específicas*

- Existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado químico frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.
- Existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado sumergido frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.
- Existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado con lámina de plástico film frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

3.2. Variables

3.2.1. *Variable Independiente*

Curado del concreto

Dimensiones:

- Sanado químico
- Sanado Sumergido
- Sanado con lámina de plástico film

3.2.2. *Variable Dependiente*

Resistencia a compresión del hormigón

Dimensiones:

- $F'c$ a los 07 días

- F'c a los 14 días
- F'c a los 28 días

3.3. Sistema de variables

3.3.1. Definición conceptual

Resistencia a compresión del hormigón

Se refiere a la resistencia a la compresión uniaxial medida mediante un ensayo de compresión de una probeta de prueba estándar, esta prueba se utiliza para monitorear el valor de f'c con fines de control de calidad o aceptación. La “prueba” de resistencia estándar es el promedio de las resistencias de dos de 6 por 12 pulgadas. cilindros o tres de 4 por 8 pulgadas. cilindros del mismo lote de hormigón probados a los 7, 14 y 28 días.

Sanado del hormigón

Este procedimiento implica mantener el hormigón saturado hasta que los espacios inicialmente ocupados por agua en el cemento fresco sean reemplazados por los productos resultantes de la hidratación del cemento. El propósito del sanado es regular el intercambio de temperatura y humedad dentro y fuera del hormigón, además de prevenir la contracción prematura hasta que el material alcance una resistencia mínima capaz de soportar las tensiones generadas por dicho proceso. Existen diversos métodos de sanado, como el sanado con agua (a través de inmersión, riego o coberturas), el uso de sellantes (como láminas de plástico, papel impermeable o compuestos químicos) y el sanado al vapor.

3.3.2. Operacionalización de las variables

En la tabla 3 se muestran las variables sus respectivas definiciones con sus dimensiones correspondientes.

Tabla 3

Operacionalización de las variables.

Estudio de la mejora de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanador químico y distintas formas de sanado, en elementos de hormigón de f'c 210 kg/cm², usando cemento HS.

Definición conceptual	Dimensiones
-----------------------	-------------

Variable 1: Resistencia a compresión del hormigón

El término $f'c$ se refiere a la resistencia a la compresión uniaxial medida mediante un ensayo de compresión de una probeta de prueba estándar, porque esta prueba se utiliza para monitorear la resistencia con fines de control de calidad o aceptación. La “prueba” de resistencia estándar es el promedio de las resistencias de dos de 6 por 12 pulgadas. cilindros o tres de 4 por 8 pulgadas. cilindros del mismo lote de hormigón probados a los 7, 14 y 28 días.

$f'c$ a los 7 días

$f'c$ a los 14 días

$f'c$ a los 28 días

Variable 2: Sanado del hormigón

El proceso de sanado implica mantener saturado el hormigón hasta que los espacios inicialmente ocupados por agua en el cemento fresco sean reemplazados por los productos resultantes de la hidratación del cemento. El propósito del sanado es regular el intercambio de temperatura y humedad dentro y fuera del hormigón. Además, busca prevenir la contracción prematura hasta que el hormigón alcance una resistencia mínima que le permita soportar las tensiones generadas durante este proceso. Se emplean diversos métodos de sanado, como el sanado sumergido (mediante inmersión, riego o coberturas), el uso de materiales sellantes (como láminas de plástico, papel impermeable o compuestos químicos) y el sanado al vapor.

Sanado químico

Sanado sumergido

Sanado con lámina de plástico film

Autor V1: J. Wight, J. MacGregor - Reinforced Concrete Mechanics and Design, sixth edition.

Autor V2: T. Harmsen – Diseño de Estructuras de Hormigón Armado, tercera edición.

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y nivel

Este trabajo de investigación es de tipo Aplicada, dado que se trata de aplicar y emplear los conocimientos de la ciencia a la solución o al mejoramiento de los problemas de la vida cotidiana, por consiguiente, se pone en práctica nuevos casos o situaciones que deben ser innovados para fortalecer los planteamientos teóricos y simplificar los trabajos en la utilización del hormigón.

Asimismo, este trabajo es descriptivo y explicativo; descriptivo porque se observarán problemas en las técnicas de sanado del hormigón y se darán soluciones determinando cuáles garantizan o contribuyen a mejores valores de compresión. Es interpretativo porque los resultados obtenidos en 36 muestras de hormigón cilíndricas se basan en el diseño de mezcla convencional y el sanado del hormigón para finalmente observar la compresión del hormigón.

4.2. Diseño de investigación

En el presente trabajo se empleó el diseño experimental puro con post prueba únicamente, con un grupo experimental y un grupo de control, en este caso los sujetos se asignan al azar a los grupos y se asegura que impere las mismas condiciones ambientales y sociales, aplicándose las respectivas mediciones simultáneamente en los grupos y luego la intervención en el grupo experimental (Hernández y Batista, 2014).

El esquema del diseño se esquematiza de la siguiente forma:

GE.	X	O1
GC.	-----	O2

Tener en cuenta que:

GE: Grupo experimental

GC: Grupo de control

X: Aplicación de a variable Sanado del hormigón.

O1: Primera medición de la variable Sanado del hormigón.

O2: Segunda medición de la variable Sanado del hormigón.

-----: Sin intervención.

4.3. Población y muestra

Entendiendo que población es el conjunto de objetos o elementos de interés para el estudio en una investigación (Robles, 2019), para esta investigación, la población está conformada por el hormigón elaborado convencionalmente en el distrito de Surco de la ciudad de Lima- Perú.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos

Técnicas:

- Obtención de las propiedades de los agregados
- Diseño de mezcla
- Mezcla de hormigón
- Sanado de probetas de hormigón
- Ensayo de compresión en el laboratorio

Instrumentos:

- Máquina de compresión
- Mezcladora
- Horno de laboratorio
- Herramientas de laboratorio
- Balanza digital
- Balanza hidrostática
- Fiola
- Secadora
- Bandejas

4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

En el laboratorio de materiales de la Universidad Ricardo Palma, la validez y la confiabilidad de los instrumentos utilizados para armar probetas de hormigón y llevar a cabo ensayos son de vital importancia para garantizar la precisión y la consistencia de los resultados. En términos de validez, los instrumentos están diseñados de manera adecuada y están calibrados correctamente para asegurarse de que midan lo que realmente se

pretende evaluar, es decir, las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. Esto implica verificar que los procedimientos de ensayo sean representativos de las condiciones reales a las que estará expuesto el hormigón en su aplicación final. Por otro lado, la confiabilidad se refiere a la capacidad de los instrumentos para producir resultados consistentes y reproducibles a lo largo del tiempo y bajo diversas condiciones de prueba. Esto se logra mediante el mantenimiento regular de los equipos, el seguimiento de estándares y protocolos establecidos, y la capacitación adecuada del personal para minimizar errores de medición. La combinación de validez y confiabilidad en los instrumentos de laboratorio asegura que los datos generados sean confiables y representativos, lo que es esencial para tomar decisiones fundamentadas en la construcción y el diseño de estructuras de hormigón seguras y duraderas.

La máquina de compresión en el laboratorio de materiales es un equipo de vanguardia diseñado para evaluar el f^c de diferentes muestras de hormigón. Este dispositivo de alta precisión está equipado con avanzados sistemas de carga y medición, que permiten aplicar fuerzas controladas de manera gradual sobre las probetas de hormigón, registrando con precisión la respuesta del material a medida que se somete a esfuerzos. Además, la máquina está conectada a un sistema de adquisición de datos que garantiza la captura y el registro de los resultados de manera confiable y en tiempo real. Esto no solo facilita la investigación y el desarrollo de materiales de construcción de alta calidad, sino que también contribuye al entrenamiento de futuros ingenieros y científicos de materiales en la Universidad Ricardo Palma, preparándolos para abordar los desafíos en la industria de la construcción de manera eficiente y segura.

4.4.3. Procedimientos para la recolección de datos

Se utilizaron técnicas de revisión bibliográfica de artículos, tesis, normas técnicas ASTM, ACI y resultados obtenidos en laboratorio. Los métodos y técnicas de observación que se considerarán en este estudio provienen de pruebas realizadas en el Laboratorio de Materiales de la Universidad de Palma de Palma, Lima, Perú, es decir, los datos se obtienen de Notas de primera mano a través de la observación de las pruebas desarrolladas en el laboratorio. La adquisición de propiedades de agregados, mezclas de hormigón y ensayos de probetas de hormigón se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Universidad entre mayo y agosto de 2023 en la siguiente secuencia:

1. A partir del 23 de abril del 2023 se realizaron las coordinaciones para disponer de los ambientes del laboratorio de materiales, enviando los correos respectivos a la escuela profesional de ingeniería civil, y coordinando con las personas encargadas del laboratorio.
2. Se adquirieron los materiales necesarios para obtener las propiedades de los agregados, tanto finos (arena gruesa) como grueso (piedra chancada).
3. El 17 de mayo del 2023 se comenzaron a realizar los ensayos respectivos para la obtención de las propiedades de los agregados, comenzando por obtener las propiedades de granulometría y peso unitario.

En la tabla 4 se muestran los resultados del análisis granulométrico del agregado fino.

Peso del recipiente: LEM 007: 174.8g

Tabla 4

Granulometría del agregado fino.

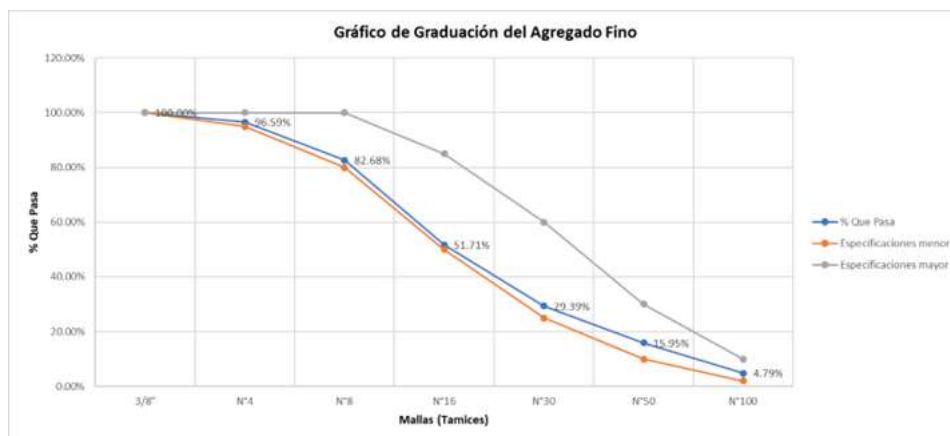
Malla	P.R.+ LEM 007	Peso Retenido (g)	% Retenid o	% Retenido Acumula do	% Que Pasa	Especificaciones	
3/8"	0	0	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
N°4	192.5	17.7	3.41%	3.41%	96.59%	95%	100%
N°8	247.1	72.3	13.91%	17.32%	82.68%	80%	100%
N°16	335.7	160.9	30.97%	48.29%	51.71%	50%	85%
N°30	290.8	116	22.32%	70.61%	29.39%	25%	60%
N°50	244.6	69.8	13.43%	84.05%	15.95%	10%	30%
N°100	232.8	58	11.16%	95.21%	4.79%	2%	10%
Fondo	199.7	24.9	4.79%	100.00%	0.00%		
Total		519.6	100.00 %				

Nota: Elaboración propia.

En la figura 6 se muestra el gráfico correspondiente a los resultados obtenidos del análisis granulométrico del agregado fino.

Figura 6

Gráfico de graduación del agregado fino.



Nota: Elaboración propia.

En la tabla 5 se muestran los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso.

Tabla 5

Granulometría del agregado grueso.

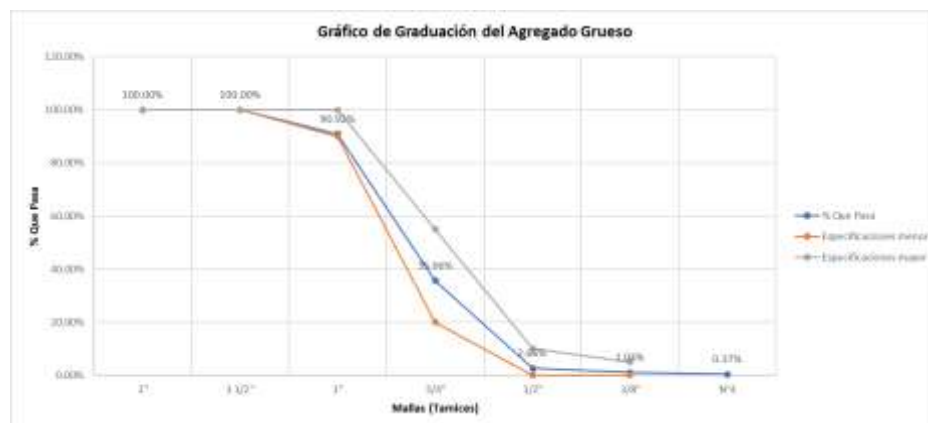
Mal la	P.R.+ LEM 007	Peso Retenido (g)	%Rete nido	%Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaci ones
2"	0	0	0.00%	0.00%	100.00 %	100 %
1 1/2"	0	0	0.00%	0.00%	100.00 %	100 %
1"	1703.4	1528.6	9.08%	9.08%	90.92%	90% 100 %
3/4"	9480.2	9305.4	55.26%	64.34%	35.66%	20% 55%
1/2"	5730.9	5556.1	33.00%	97.34%	2.66%	0% 10%
3/8"	449.1	274.3	1.63%	98.96%	1.04%	0% 5%
N°4	286.9	112.1	0.67%	99.63%	0.37%	
Fon do	237.1	62.3	0.37%	100.00%	0.00%	
Tota l	17887.6	16838.8	100.00 %			

Nota: Elaboración propia.

En la figura 7 se muestra el grafico correspondiente a los resultados obtenidos del análisis granulométrico del agregado grueso.

Figura 7

Gráfico de graduación del agregado grueso



Nota: Elaboración propia.

En la tabla 6 se muestran los valores obtenidos del ensayo respectivo para hallar el peso unitario suelto del agregado fino.

Tabla 6

Peso unitario suelto del agregado fino.

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
peso de la porción suelta más el envase	W_{s+r}	6.45	kg
peso del envase	W_r	1.75	kg
Peso de la porción suelta	W_s	4.7	kg
peso del agua más el envase	W_{a+r}	4.5	kg
peso del agua	W_a	2.75	kg
factor de calibración del envase	f	363.64	m-3
peso unitario suelto	PUS	1709.09	kg/ m3

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 7 se muestran los valores obtenidos del ensayo respectivo para hallar el peso unitario compactado del agregado fino.

Tabla 7*Peso unitario compactado del agregado fino.*

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
peso de la porción compactada más el envase	Wc+r	7.15	kg
peso del envase	Wr	1.75	kg
peso de la porción compactada	Wc	5.4	kg
peso del agua más el envase	Wa+r	4.5	kg
peso del agua	Wa	2.75	kg
factor de calibración del envase	f	363.64	m-3
peso unitario compactado	PUC	1963.64	kg/ m3

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 8 se muestran los valores obtenidos del ensayo respectivo para hallar el peso unitario suelto del agregado grueso.

Tabla 8*Peso unitario suelto del agregado grueso.*

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
peso de la porción suelta más el envase	Ws+r	18.95	kg
peso del envase	Wr	5.55	kg
peso de la porción suelta	Ws	13.4	kg
peso del agua más el envase	Wa+r	14.75	kg
peso del agua	Wa	9.2	kg
factor de calibración del envase	f	108.70	m-3
peso unitario suelto	PUS	1456.52	kg/ m3

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 9 se muestran los valores obtenidos del ensayo respectivo para hallar el peso unitario compactado del agregado grueso.

Tabla 9*Peso unitario compactado del agregado grueso*

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
peso de la porción compactada más el envase	Wc+r	20.35	kg
peso del envase	Wr	5.55	kg
peso de la porción compactada	Wc	14.8	kg
peso del agua más el envase	Wa+r	14.75	kg
peso del agua	Wa	9.2	kg
factor de calibración del envase	f	108.70	m-3
peso unitario compactado	PUC	1608.70	kg/ m3

Nota: Elaboración propia.

4. El 9 de junio se realizaron los ensayos para obtener el peso específico del agregado fino. En la tabla 10 se muestran los valores obtenidos.

Tabla 10

Peso específico del agregado fino.

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
Peso del envase (fiola).	Wf	146.7	g
Peso de la arena superficialmente seca.	Wass	500	g
Peso de la arena superficialmente seca más el peso del envase.	Wass+f	646.7	g
Peso de la arena superficialmente seca más el peso del envase más el peso del agua.	Wass+f+a	952.8	g
Peso del agua	W	306.1	g
Peso de la arena seca	A	482	g
Volumen del envase	V	500	ml

Nota: Elaboración propia.

Peso específico de masa: 2.49

Peso específico de masa saturada superficialmente seco: 2.58

Peso específico aparente: 2.74

Porcentaje de absorción: 3.73%

5. El 14, 15 y 16 de junio se realizaron los experimentos para obtener las propiedades de contenido de humedad, cuyos datos obtenidos son mostrados en las tablas 11 y 12, y peso específico del agregado grueso cuyos resultados son mostrados en la tabla 13.

Tabla 11

Contenido de humedad del agregado fino

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
peso de la porción húmeda	A	500	g
peso de la porción seca	B	494.9	g
cantidad de agua	A - B	5.1	g
contenido de humedad	H	1.03%	%

Nota: Elaboración propia.

Tabla 12

Contenido de humedad del agregado grueso.

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
peso de la porción húmeda	A	5000	g
peso de la porción seca	B	4981.3	g
cantidad de agua	A - B	18.7	g
contenido de humedad	H	0.38%	%

Nota: Elaboración propia

Tabla 13

Peso específico del agregado grueso.

Descripción	Símbolo	Cantidad	Unidad
peso de la porción saturada superficialmente seca	B	5000	g
Peso de la porción saturada superficialmente seca dentro del agua más la canastilla		4081.4	g
peso de la canastilla dentro del agua		877.7	g

peso de la porción saturada dentro del agua	C	3203.7	g
peso de la porción seca	A	4969.1	g

Nota: Elaboración propia.

Peso específico de masa: 2.77

Peso específico de masa saturado superficialmente seco: 2.78

Peso específico aparente: 2.81

Porcentaje de absorción: 0.62%

6. Con los datos obtenidos se procedió a realizar el diseño de la mezcla de hormigón de $f'c=210$ kg/cm². En la tabla 14 se muestra un resumen de las propiedades de los agregados que se usaran en la mezcla.

Tabla 14

Propiedades de los agregados.

Descripción	A. fino	A. grueso
Peso específico de masa	2.49	2.77
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1709.09	1456.52
Peso unitario compactado seco (Kg/m ³)	1963.64	1608.70
Contenido de humedad	1.03%	0.38%
Porcentaje de absorción	3.73%	0.62%

Nota: Elaboración propia.

Diseño de hormigón de $f'c=210$ kg/cm²

Entonces: $f'cr = f'c + 85 = 295$ kg/cm²

Asentamiento: entre 7.5 y 10 cm (Consistencia plástica)

Tamaño máximo del agregado: 38.1 mm (1 1/2")

Tamaño máximo nominal del agregado: 25.4 mm (1")

a) Determinación del agua de mezclado y contenido de aire:

Hormigón para Lima (sin aire incorporado)

Agua de mezclado: 195 kg/m³

Aire atrapado: 1.50%

b) Relación agua-cemento por resistencia:

Por interpolación:

300	0.55
295	<u>0.557</u>
250	0.62

c) Hormigón expuesto a soluciones de sulfatos

Contenido moderado de sulfatos

Sulfatos presentes en el suelo: 15%

a/c: 0.5

d) Cálculo del contenido de cemento:

a/c (final): 0.5

F.C: $195/0.5 = 390 \text{ kg/m}^3$

1 bolsa de cemento pesa: 42.5 Kg

F.C: $390/42.5 = 9.18 \text{ bolsas/m}^3$

e) Diseño de mezcla por módulo de finura de la combinación de agregados

Módulos de finura:

Mg: 7.63

Mf: 3.19

Se interpoló el valor del FC para obtener módulo de finura de la combinación de agregados:

9	5.49
9.18	<u>5.50</u>
8	5.41

Se emplearon las siguientes ecuaciones para hallar los valores de zf, zg y rf, rg:

$$zf = (mg - mc) / (mg - mf) \quad zg = 1 - zf$$

Zf: 0.4786

Zg: 0.5214

$$rf = (zf / pe.f) / (zf/pe.f) + (zg/pe.g)$$

Rf: 0.505

Rg: 0.495

Cálculo del volumen absoluto del agregado total (fino + grueso)

$$\text{Vol. Ab (f+g)} = 1 - (390/2980 + 195/1000 + 1.5/100) = 0.6591$$

$$\text{Vol. Ab A. fino} = rf \times 0.6591 = 0.333$$

$$\text{Vol. Ab A. grueso} = rg \times 0.6591 = 0.326$$

$$\text{Peso A. fino (s)} = 0.333 \times 2.49 \times 1000 = 827.934 \text{ kg}$$

$$\text{Peso A. grueso (s)} = 0.326 \times 2.77 \times 1000 = 901.991 \text{ kg}$$

f) Cantidad de materiales por m³ en obra

Cemento: 390.0 kg

$$\text{Agregado fino: } 827.934 \times (1 + 1.03\%) = 836.47 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso: } 901.991 \times (1 + 0.38\%) = 905.38 \text{ kg}$$

$$\text{Agua efectiva : } 195 - (1.03\% - 3.73\%) \times 827.934 - (0.38\% - 0.62\%) \times 901.991 = 219.61$$

L o kg

Cemento: 9.18 bls o ft³

$$\text{Agregado fino: } 827.934 \times 35.315 / 1709.09 = 17.11 \text{ ft}^3$$

$$\text{Agregado grueso: } 901.991 \times 35.315 / 1456.52 = 21.87 \text{ ft}^3$$

g) Proporciones en peso

En la tabla 15 se presentan las proporciones en peso.

Tabla 15

Proporciones en peso de la mezcla.

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua
1	2.14	2.32	0.563

Nota: Elaboración propia.

h) Proporciones en volumen

En la tabla 16 se presentan las proporciones en volumen.

Tabla 16

Proporciones en volumen de la mezcla.

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua
1	1.86	2.38	23.93

Nota: Elaboración propia.

7. Del lunes 17 al miércoles 19 de julio se realizaron las mezclas de hormigón y se vaciaron en los 36 moldes de 4"x8".

8. Al día siguiente de cada vaciado se realizó el sanado respectivo, para cada grupo de 9 probetas de hormigón. 4 grupos en total (sanado sumergido, sanado químico, sanado empleando una lámina de plástico film, y 9 probetas de hormigón sin curar).

9. Se realizaron los ensayos a compresión en los días 7, 14 y 28 desde el día del vaciado. Por lo tanto, el 24 de julio se realizaron los primeros ensayos, luego el 26, el 31 de julio el 02 de agosto, el 14 de agosto y finalmente el 16 de agosto del 2023 se finalizaron los ensayos a compresión de las probetas.

4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Para el procesamiento de la información se procedió mediante dos tipos de análisis: descriptivo e inferencial.

- **Análisis descriptivo:** Presentación sintetizada de los resultados de las experiencias, los cuales se expresan porcentualmente y dan a conocer los niveles en los que se encuentra la variable dependiente y sus dimensiones antes de las experiencias de medición y después de la aplicación de estas.

- Análisis Inferencial: Para determinar si los datos presentados son paramétricos o no y en base a los resultados obtenidos se procedió a determinar si provienen de una distribución normal o no, para eso empleamos el coeficiente de Shapiro-Wilk y se determinó emplear la prueba t para las hipótesis.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Presentación de Resultados

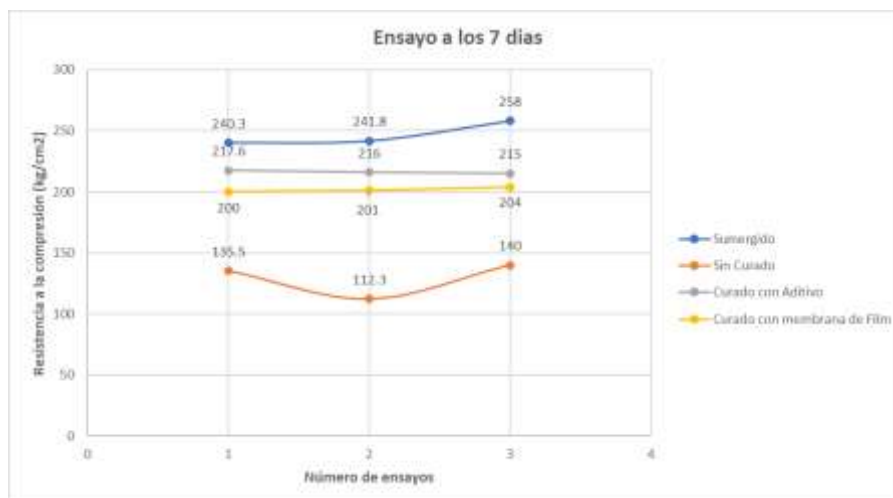
Después de haber realizado los ensayos de compresión a las 36 probetas divididas en 4 grupos de 9 unidades cada una (9 probetas que se sometieron a un sanado sumergido, 9 se dejaron sin curar, 9 fueron curadas con el sanador químico Sikacem y 9 fueron envueltas con una lámina de plástico film) se obtuvieron los resultados presentados en los siguientes puntos.

5.1.1. Análisis descriptivo

En la figura 8 podemos observar que las probetas que no recibieron ningún tratamiento de sanado obtuvieron las resistencias más bajas. Las probetas que fueron envueltas en film, alcanzaron resistencias de 200, 201 y 204 kg/cm² a los 7 días, aquellas probetas que fueron sometidas al sanado con químico y al sanado sumergido lograron superar la barrera de 210 kg/cm², se puede decir que estos dos métodos de sanado tuvieron un mejor desempeño inicial que aquellas que fueron envueltas en la lámina de plástico film, pero no por mucho, debido que los valores alcanzados por el film se encuentran cerca al objetivo.

Figura 8

Ensayo de compresión a los 7 días.



Nota: Elaboración propia.

En la figura 9, observamos las resistencias a compresión de las probetas de hormigón a los 14 días de la mezcla, todos los grupos incrementaron sus valores de resistencia, el sanado con la lámina film logró pasar la barrera de 210 kg/cm² a los 14 días, el sanado sumergido tuvo un incremento normal de resistencias, el sanado con aditivo logró una mejora razonable acercándose al sanado sumergido, estas probetas tuvieron un buen desempeño desarrollando un buen incremento de resistencias, el sanado con film, tuvo un incremento normal, pero no significativo frente a los resultados obtenidos a los 7 días.

Figura 9

Ensayo de compresión a los 14 días.



Nota. Elaboración propia.

En la figura 10, observamos las resistencias a compresión de las probetas de hormigón a los 28 días de la mezcla, el sanado sumergido mantuvo sus niveles de resistencia, a excepción de un espécimen que logro una sobre resistencia notable llegando a 319 kg/cm², el sanado químico tuvo una mejora adecuada a comparación de los otros métodos de sanado, las resistencias se incrementaron gradualmente a lo largo de los días obteniendo en esta ocasión valores casi uniformes, el sanado con film, tuvo también un buen desempeño pero no mejor que el sanado químico, ni que el sanado sumergido, aquel grupo de probeta que no recibieron ningún tratamiento de sanado arrojaron valores mayores a los esperados pero sin llegar al objetivo de 210 kg/cm².

Figura 10

Ensayo de compresión a los 28 días.



Nota. Elaboración propia.

5.1.2. Análisis inferencial

Antes de proceder con el tratamiento de la contrastación de las hipótesis, verificamos si nuestros datos se aproximan a una distribución normal, en efecto nos circunscribimos en la prueba de Shapiro-Wilk, siguiendo del procedimiento siguiente.

Hipótesis Nula (H_0): Las mediciones realizadas siguen una distribución normal.

Hipótesis Alterna (H_a): Las mediciones realizadas no siguen una distribución normal.

El nivel de significancia de la prueba es $\alpha = 5\% = 0.05$ y el estadístico de prueba será Shapiro-Wilk, puesto que el número de datos es menor a 50. En las tablas 17 y 18 se muestran los resultados de este análisis.

Tabla 17

Prueba de normalidad general.

Pruebas de normalidad						
Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Otros	0.222	9	,200*	0.874	9	0.134

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Nota: Elaboración propia

Tabla 18

Prueba de normalidad para cada grupo.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Film	0.242	3		0.973	3	0.683
Químico	0.245	3		0.971	3	0.671
Sumergido	0.369	3		0.789	3	0.089
Sin Curar	0.238	3		0.976	3	0.702

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Nota: Elaboración propia.

La regla de decisión está establecida por: cuando el valor p (Sig.) < 0.05 se cuenta con evidencias para rechazar la hipótesis de trabajo (hipótesis nula) y si el valor p (Sig.) > 0.05 no contamos con las evidencias respectivas para rechazar la hipótesis nula.

Decisión:

Dado que el p-valor (Sig) = 0.134 > 0.05 entonces no se rechaza la hipótesis nula. Es decir, las realizadas siguen una distribución normal, la prueba de la hipótesis emplea la prueba t de Student para comparar promedios. La misma suerte ocurre para el caso de las hipótesis específicas, es decir se emplea la prueba t de Student.

5.1.2.1. Contrastación de la hipótesis general

Siguiendo la rutina científica se tiene:

- Hipótesis nula (H0): No existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado sumergido frente a un elemento de hormigón sin curar de f'c 210 kg/cm², usando cemento HS.
- Hipótesis Alternativa (Ha): Existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado sumergido frente a un elemento de hormigón sin curar de f'c 210 kg/cm², usando cemento HS.

El nivel de significancia de la prueba es $\alpha = 5\% = 0.05$ y el estadístico de prueba es t de Student para comparar promedios suponiendo que las varianzas son iguales.

En la tabla 19 y en la figura 11 se muestran los valores de f'c para elementos sin curar y elementos con distintos métodos de sanado.

Tabla 19

Valores de resistencia a compresión de las probetas ensayadas a los 28 días para elementos sin curar y elementos con distintos métodos de sanado.

Sin Curar	Otros
175	273.2
179	275.6
186	319
	245
	241
	238.8
	263.7
	261.5
	267.8

Nota: elaboración propia.

Figura 11

Ensayos de resistencia a compresión a los 28 días de probetas de hormigón sin curar y curadas con distintos métodos.



Nota: Elaboración propia.

La tabla 20 nos muestra los valores obtenidos de la prueba t.

Tabla 20

Prueba t para muestras sin curar y para muestras con distintos métodos de sanado suponiendo varianzas iguales.

	Variable 1	Variable 2
Promedio	180	265.0666667
Varianza	31	597.4725
Observaciones	3	9
Varianza agrupada	484.178	
Diferencia hipotética de las Promedios	0	
Grados de libertad	10	
Estadístico t	-	
	5.798933765	
P(T<=t) una cola	8.66046E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1.812461123	
P(T<=t) dos colas	0.000173209	
Valor crítico de t (dos colas)	2.228138852	

Nota: Elaboración propia.

La regla de decisión está establecida por: cuando el valor p (Sig.) < 0.05 se cuenta con evidencias para rechazar la hipótesis de trabajo (hipótesis nula) y si el valor p (Sig.) > 0.05 no contamos con las evidencias respectivas para rechazar la hipótesis nula.

Decisión:

Dado que el p-valor (Sig) = 0.0000866046 < 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula y con una probabilidad de error del 0,00866046% nos permitimos afirmar que existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado sumergido frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

5.1.2.2. Contrastación de las hipótesis Específicas

a) Contrastación de la hipótesis Específica 1

Siguiendo la rutina científica se tiene:

○ Hipótesis nula (H0): No existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado químico frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

- Hipótesis Alternativa (Ha): Existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado químico frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

El nivel de significancia de la prueba es $\alpha = 5\% = 0.05$ y el estadístico de prueba es t de Student para comparar promedios suponiendo que las varianzas son iguales.

En la tabla 21 y en la figura 12 se muestran los valores $f'c$ para elementos sin curar y sanados con un curador químico.

Tabla 21

Valores de resistencia a compresión de las probetas ensayadas a los 28 días para elementos sin curar y sanados con un curador químico.

Sin curar	Químico
175	263.7
179	261.5
186	267.8

Nota: Elaboración propia.

Figura 12

Ensayos de resistencia a compresión a los 28 días de probetas de hormigón sin curar y curadas con el sanador químico Sikacem Sanador.



Nota: Elaboración propia.

La tabla 22 nos muestra los valores obtenidos de la prueba t para los valores correspondientes a este caso.

Tabla 22

Prueba t para muestras sin curar y para muestras con sanado químico suponiendo varianzas iguales.

	Variable 1	Variable 2
Promedio	180	264.3333333
Varianza	31	10.22333333
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	20.61166667	
Diferencia hipotética de los promedios	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-22.75036354	
P(T<=t) una cola	1.10559E-05	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	2.21118E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

Nota: Elaboración propia.

La regla de decisión está establecida por: cuando el valor p (Sig.) < 0.05 se cuenta con evidencias para rechazar la hipótesis de trabajo (hipótesis nula) y si el valor p (Sig.) > 0.05 no contamos con las evidencias respectivas para rechazar la hipótesis nula.

Decisión:

Dado que el p-valor (Sig) = 0.0000110559 < 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula y con una probabilidad de error del 0.00110559% nos permitimos afirmar que existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado químico frente a un elemento de hormigón sin curar de f'c 210 kg/cm², usando cemento HS.

b) Contrastación de la hipótesis Especifica 2

Siguiendo la rutina científica se tiene:

- Hipótesis nula (H0): No existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado sumergido frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.
- Hipótesis Alternativa (Ha): Existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado sumergido frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

El nivel de significancia de la prueba es $\alpha = 5\% = 0.05$ y el estadístico de prueba es t de Student para comparar promedios suponiendo que las varianzas son iguales.

En la tabla 23 y en la figura 13 se muestran los valores $f'c$ para elementos sin curar y aquellos que fueron sometidos a un sanado sumergido.

Tabla 23

Valores de resistencia a compresión de las probetas ensayadas a los 28 días para elementos sin curar y para elementos sumergidos.

Sin curar	Sumergido
175	273.2
179	275.6
186	319

Nota: Elaboración propia.

Figura 13

Ensayos de resistencia a compresión a los 28 días de probetas de hormigón sin curar y curadas con un sanado sumergido.



Nota: Elaboración propia.

La tabla 24 nos muestra los valores obtenidos de la prueba t para los valores correspondientes a este caso.

Tabla 24

Prueba t para muestras sin curar y para muestras con sanado sumergido suponiendo varianzas iguales.

	Variable 1	Variable 2
Promedio	180	289.2666667
Varianza	31	664.4933333
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	347.7466667	
Diferencia hipotética de los promedios	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-7.176320662	
P(T<=t) una cola	9.98E-04	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	0.001996714	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

Nota: Elaboración propia.

La regla de decisión está establecida por: cuando el valor p (Sig.) < 0.05 se cuenta con evidencias para rechazar la hipótesis de trabajo (hipótesis nula) y si el valor p (Sig.) > 0.05 no contamos con las evidencias respectivas para rechazar la hipótesis nula.

Decisión:

Dado que el p-valor (Sig) = 0.000998 < 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula y con una probabilidad de error del 0.0998% nos permitimos afirmar que existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado sumergido frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

c) Contrastación de la hipótesis Especifica 3

Siguiendo la rutina científica se tiene:

- Hipótesis nula (H0): No existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado con lámina de plástico film frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.
- Hipótesis Alterna (Ha): Existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado con lámina de plástico film frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

El nivel de significancia de la prueba es $\alpha = 5\% = 0.05$ y el estadístico de prueba es t de Student para comparar promedios suponiendo que las varianzas son iguales.

En la tabla 25 y en la figura 14 se muestran los valores $f'c$ para elementos sin curar y aquellos que fueron cubiertos con la lámina de plástico film.

Tabla 25

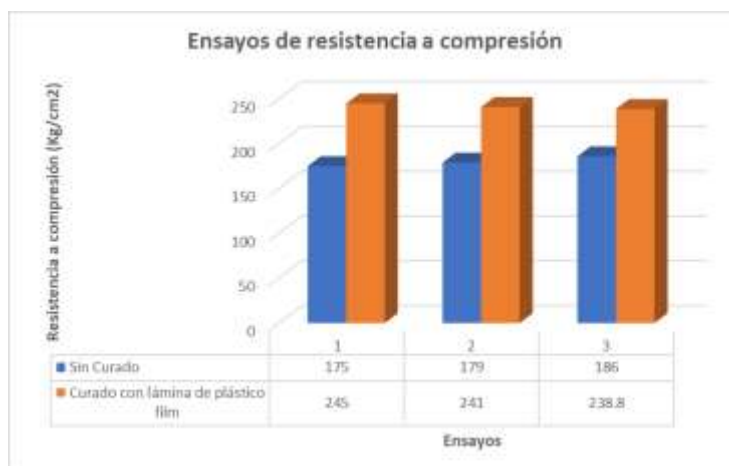
Valores de resistencia a compresión de las probetas ensayadas a los 28 días para elementos sin curar y sanados con lámina de plástico film.

Sin curar	Film
175	245
179	241
186	238.8

Nota: Elaboración propia.

Figura 14

Ensayos de resistencia a compresión a los 28 días de probetas de hormigón sin curar y curadas empleando una lámina de plástico film.



Nota: Elaboración propia.

La tabla 26 nos muestra los valores obtenidos de la prueba t para los valores correspondientes a este caso.

Tabla 26

Prueba t para muestras sin curar y curadas con lamina de plástico film suponiendo varianzas iguales.

	Variable 1	Variable 2
Promedio	180	241.6
Varianza	31	9.88
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	20.44	
Diferencia hipotética de los promedios	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-16.68729317	
P(T<=t) una cola	0.00003778	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	0.00007556	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

Nota: Elaboración propia.

La regla de decisión está establecida por: cuando el valor p (Sig.) < 0.05 se cuenta con evidencias para rechazar la hipótesis de trabajo (hipótesis nula) y si el valor p (Sig.) > 0.05 no contamos con las evidencias respectivas para rechazar la hipótesis nula.

Decisión:

Dado que el p-valor (Sig) = 0.00003778 < 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula y con una probabilidad de error del 0.003778% nos permitimos afirmar que existe una mejora significativa de la resistencia a compresión del hormigón empleando un sanado con lámina de plástico film frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS.

DISCUSIÓN

Para este trabajo se plantea el objetivo de: Evaluar como mejora el $f'c$ empleando un sanador químico y distintas formas de sanado frente a un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS; los resultados hallados experimentalmente en los laboratorios son: la mejora del aditivo con respecto al sin curar es 46.85%, la mejora del sumergido con relación al sin curar es 60.70% y la mejora de la lámina de plástico film en relación al sin curar es el 34.22%, estos hallazgos indican que el $f'c$ empleando un sanador químico y distintas formas de sanado tiene claramente un mejor promedio de resistencia que un elemento de hormigón sin curar de $f'c$ 210 kg/cm², usando cemento HS. Lo confirma nuestra prueba de hipótesis, dado que el p-valor (Sig) = 0.000173209 < 0.05 es decir con un error del 0.0173209% nos permitimos afirmar estos resultados, lo cual significa que el hormigón siempre debe ser sanado para adquirir un mejor valor de $f'c$.

Este resultado está en misma línea que los hallados por Duran y Salazar (2021) cuando concluyen que “la aplicación de aditivos químicos para el sanado tiene un $f'c$, que supera en 66% al $f'c$ a los 28 días de sanado” (p.146). De la misma forma coincide con los resultados obtenidos en los trabajos de Curi (2022) en el cual concluye que el método del sanado por Compuesto liquido son: a los 7 días tiene una resistencia de $f'c=$ 184.61Kg/cm², a los 14 días tiene una resistencia de $f'c=$ 208.56 Kg/cm², a los 21 días tiene una resistencia de $f'c=$ 283.85Kg/cm², y los 28 días tiene una resistencia de $f'c=$ 289.33 Kg/cm², obteniendo 103.33 % de la resistencia requerida. De la misma forma coincide con el trabajo de Ortiz (2021) cuando concluye que “el sanado con aditivo Sika antisol tiene dificultados en función al número de capas de recubrimiento, a un mayor número de capas el hormigón tiene mayor resistencia llegando a 230.15 kg/cm²” (p. 95). Asimismo, los resultados de este trabajo están en la misma línea con los resultados que obtiene Guichapai (2008) cuando concluye que:

El tratamiento de sanado más eficiente es el de la capa con arena húmeda, seguida por el sanado con una lámina de polietileno y por último, el menos eficiente y acercándole bastante al hormigón patrón sin curar, es el sanado con una capa de aserrín. (p. 90)

CONCLUSIONES

1. La aplicación del aditivo químico Sikacem curador para el sanado del hormigón, así como el empleo de una lámina de plástico film para envolver los elementos de hormigón, y el sanado sumergido nos permiten obtener en promedio elementos de hormigón con una resistencia, que supera en 47.26% al $f'c$ de un elemento de hormigón sin curar, a los 28 días de la mezcla empleando cemento HS.
2. La aplicación del aditivo químico Sikacem sanador para el sanado del hormigón permite obtener elementos de hormigón con una resistencia que supera en 46.85% al $f'c$ de un elemento de hormigón sin curar, a los 28 días de la mezcla empleando cemento HS.
3. La capacidad de sumergir las probetas de hormigón en un pozo de agua a temperatura del ambiente, en las instalaciones del laboratorio de materiales de la universidad Ricardo Palma, en Lima, Perú nos permite obtener en promedio un $f'c$ que supera en 60.70% al $f'c$ de un elemento de hormigón sin curar, a los 28 días de la mezcla empleando cemento HS.
4. El empleo de una lámina de plástico film para envolver los elementos de hormigón permite obtener en promedio un $f'c$ que supera en 34.22% al $f'c$ de un elemento de hormigón sin curar, a los 28 días de la mezcla empleando cemento HS.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar el aditivo químico Sikacem sanador en las construcciones tomando en cuenta el rendimiento que tiene por m² y considerando los costos respectivos para cada proyecto. Como se menciona en los primeros dos puntos de las conclusiones, el uso de este aditivo químico para el sanado del hormigón ha demostrado aumentar significativamente el valor de f^c . Es importante considerar la aplicación de este aditivo en las mezclas de hormigón utilizadas en proyectos de construcción en Lima para obtener un hormigón de mayor resistencia, además ha probado ser un método más efectivo para obtener mayores resistencias a compresión que otros métodos de sanado empleados en esta investigación.
2. Como se indica en el tercer punto de las conclusiones el sanado sumergido en agua en instalaciones adecuadas, como un pozo de agua a temperatura ambiente, puede aumentar significativamente el valor de f^c . Esta técnica es especialmente efectiva en climas cálidos y secos como Lima. Asegúrate de contar con instalaciones adecuadas para realizar el sanado sumergido correctamente.
3. Se recomienda, además, el uso de láminas de plástico film para envolver los elementos de hormigón. Esta técnica ha demostrado aumentar el f^c , aunque en menor medida que el sanado sumergido y el sanado con el químico SikaCem. Sin embargo, es una opción efectiva y más práctica en situaciones donde el sanado químico no es viable. Es importante asegurarse de sellar adecuadamente las envolturas de plástico para evitar la evaporación del agua.
4. En la ciudad de Lima, donde las temperaturas pueden variar y la humedad puede ser un desafío, es esencial monitorear y controlar las condiciones de sanado. Utiliza termómetros y medidores de humedad para asegurarte de que el hormigón se cure en las condiciones adecuadas. Puedes utilizar sistemas de nebulización o mantas térmicas para mantener la temperatura y la humedad adecuadas durante el proceso de sanado.

REFERENCIAS

- Aguilar, J. E., y Vásquez, A. R. (2019). *Influencia del curado del concreto con aditivos químicos en la resistencia a la compresión y permeabilidad de mezclas de hormigón convencional, Trujillo 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Trujillo-Perú]
- Al-Assadi, G. (2009). *Influencia de las condiciones de curado en el comportamiento del hormigón sometidos a ciclos hielo – deshielo*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid].
- Arana, Y., y Salazar, R. R. (2019). *Componente químico del agua en la resistencia del concreto armado del reservorio en el distrito de Izcuchaca - Huancavelica*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica].
- Asmal, G. A., y González, P. F. (2019). *Influencia en la resistencia final de elementos de hormigón de geometría variable sometidos a diferentes condiciones de curado*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca - Ecuador, Cuenca - Ecuador].
- Curi, K. P. (2022). *Análisis de la resistencia de hormigón $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en la aplicación de cinco tipos de curados de la norma técnica ACI 308 en Huánuco en el año 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco, Huánuco].
- Durand, N. F., y Salazar, J. G. (2021). *Aditivos químicos aplicados durante el curado para mejorar las propiedades mecánicas del concreto*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima].
- Enriquez, J. G., y Shimabukuro, K. A. (2019). *Diseño de mezcla de concreto $f'cr 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante la adición de vidrio molido reciclado en reemplazo parcial de cemento tipo I en Lima-Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima].
- Galán, M. I., y Nieto, M. A. (2021). *Propuesta de mejora de la permeabilidad del concreto expuesto a sulfatos mediante el uso de los nanotubos de carbono para obras portuarias, en la provincia constitucional del Callao, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima].
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hernández, C., y Batista, L. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill.

- Hernández, L. F., Muñoz, F., y Rodríguez, E. (2019). Resistencia a compresión versus tiempo de sanado en hormigón hidráulico a partir de cementos modificados. *Métodos y Materiales*, Universidad de Costa Rica, 1-10.
- Jiménez, Z. L., y Ordoñez, D. (2021). *Análisis de la influencia de las técnicas empleadas para el curado de cilindros de concreto hidráulico sobre la resistencia a la compresión*. [Tesis de pregrado, Universidad de la Costa, Barranquilla-Colombia].
- Lavarello, G., y Valderrama, R. E. (2019). *Factores del proceso de moldeo de probetas que influyen en la reducción de la resistencia a la compresión del concreto*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima].
- Machaca, J. K. (2021). *Evaluación de la resistencia del concreto con diferentes f_c a efectos del curado acelerado y estándar para elementos estructurales, Arequipa 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Lima].
- Manobanda, C. D. (2013). *El curado del hormigón y su incidencia en las propiedades mecánicas finales*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador].
- McCormac, J., y Brown, R. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. Alfaomega.
- Mehta, P., y Monteiro, P. (1985). *Hormigón Estructura, propiedades y materiales*. Universidad de California en Berkeley.
- Niño, P. A. (2014). *Influencia del régimen de curado sobre la resistencia a compresión de concretos de ultra alto desempeño (CUAD)*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá - Colombia].
- Ortiz, F. K. (2020). *Comparación entre el curado convencional de concreto y curado con antisol en la resistencia del concreto*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de los Andes, Huancayo- Perú].
- Ottazzi, G. (2015). *Apuntes del Curso Concreto Armado I*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ramos, K. F. (2021). *Estudio de los métodos de curado acelerado en especímenes de concreto según NTP 339.213 para las canteras Romaña y Torreblanca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú].
- Riva, E. L. (2006). *Durabilidad y Patología del Hormigón*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Robles, B. F. (2019). Población y Muestra. *Pueblo Continente*, 245-246.

- Rondón, P. A. (2018). *Análisis y comparación de diferentes métodos de curado para elaborar concreto con resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en Arequipa*. (Tesis de Grado). Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- Sika Perú. (2023). *SikaCem Curador. Curador químico para concreto y mortero*. Lima, Perú. <https://per.sika.com/es/construccion/aditivos-concreto/aditivos-concreto-premezclado/curadores-concreto/sikacem-curador.html>

ANEXOS

Anexo A: Galería de fotos



Foto 1: materiales para ensayar.



Foto 2: Agregado grueso.



Foto 3: Granulometría del agregado grueso.



Foto 4: Granulometría del agregado fino.



Foto 5: Peso del agua.



Foto 6: Peso de la muestra suelta.



Foto 7: Peso de la muestra cocompactada.



Foto 8: Peso de la muestra suelta.



Foto 9: Peso de la muestra compactada.



Foto 10: Ensayo par hallar el contenido de humedad del agregado fino.



Foto 11: Ensayo par hallar el contenido de humedad del agregado grueso.



Foto 12: Muestras para hallar peso específico.



Foto 13: Ensayo del agregado fino.



Foto 14: fiola con la muestra.



Foto 15: balanza hidrostática.



Foto 16: Preparación del espacio para la mezcla.



Foto 17: Materiales para la mezcla.



Foto 18: Ensayo de slump.



Foto 19: Probetas de hormigón.



Foto 20: Probetas sumergidas.



Foto 21: Aplicación del sanador químico.



Foto 22: Probetas con sanado químico y sin curar.



Foto 23: Probetas envueltas en plástico film.



Foto 24: ensayo de compresión.