

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Análisis comparativo del curado de concreto a vapor y tradicional en las propiedades mecánicas de elementos prefabricados de cerco perimétrico, Abancay - 2024

Asesor:

Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Autor

Soto Abarca, Keico Azucena

Para optar el título profesional: Ingeniero civil

Abancay - Apurímac - Perú

2025

Acta de sustentación



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 076

En la ciudad de Abancay, a los dieciséis días del mes de diciembre del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 1044-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 10 de diciembre del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. Huanca Astoquillca, Luis
Dictaminante :	Dr. Soto Palomino, Wilfredo
Replicante :	Ing. Cayo Baca, Holguer

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis comparativo del curado de concreto a vapor y tradicional en las propiedades mecánicas de elementos prefabricados de cerco perimétrico, Abancay – 2024

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

Br: Soto Abarca, Keico Azucena

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Soto Abarca, Keico Azucena	Aprobada

Siendo las 12:30m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. Huanca Astoquillca, Luis

Dictaminante: Dr. Soto Palomino, Wilfredo

Replicante: Ing. Cayo Baca, Holguer

Abancay 22 de diciembre del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 380

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

(*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud

Keico Soto

keico Soto Abarca tesis final.

Revisión-tesis-C/D

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:543055241

Fecha de entrega

24 dic 2025, 9:56 GMT-5

Fecha de descarga

24 dic 2025, 10:05 GMT-5

Nombre del archivo

kelco Soto Abarca tesis final..docx

Tamaño del archivo

32.0 MB

200 páginas

32.160 palabras

175.680 caracteres



Página 2 de 216 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::3117:543055241

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

13%  Fuentes de Internet

3%  Publicaciones

16%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de Integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Soto abarca Keico Azucena
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 70763115
URL de ORCIDE	: https://orcid.org/0009-0005-5071-6749
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Ph. D. Vásquez Ramírez Abbon Alex
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 06532658
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2024 - 2025
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 18%
URL OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía en cada paso que doy, por brindarme fortaleza en los momentos de incertidumbre y por nunca apartarse de mi camino.

A mis padres, pilares fundamentales de mi vida, por su cariño y apoyo incondicional, sacrificios silenciosos y apoyo moral y espiritual constante, sin ellos no hubiera podido lograr este gran éxito.

A mi familia, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por ser fuente de inspiración y motivación en cada etapa de mi formación profesional.

A mis docentes y compañeros, quienes, con sus enseñanzas, críticas constructivas y colaboración académica, enriquecieron el desarrollo de esta investigación.

Keico Azucena Soto Abarca

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Tecnológica de los Andes, por ofrecerme oportunidades que permitieron formarme de manera profesional y por brindar los medios requerido para la elaboración del presente estudio.

De manera especial, agradezco a mi asesor de tesis, Ph.D. Abbon Alex Vásquez Ramírez, por su orientación académica, paciencia y valiosos aportes que permitieron perfeccionar cada parte de este trabajo.

Extiendo también mi gratitud al trabajador del laboratorio de materiales de construcción, por su cooperación en la ejecución de los ensayos experimentales, y por su disposición constante para resolver inquietudes técnicas durante el proceso de recolección de datos.

Finalmente, agradezco a cada desafío superado durante este proceso, ya que fortalecieron mi carácter y reafirmaron mi vocación como futuro profesional de la ingeniería civil.

Keico Azucena Soto Abarca

Resumen

La finalidad de la presente tesis fue comparar el comportamiento del concreto prefabricado curado mediante dos métodos distintos: el curado a vapor y el curado tradicional, enfocándose en las propiedades mecánicas de resistencia a compresión y resistencia a la flexión de elementos prefabricados empleados como cercos perimétricos en la ciudad de Abancay durante el año 2024. El concreto fue diseñado para una resistencia de $f' = 210 \text{ kg/cm}^2$, con una resistencia promedio de 294 kg/cm^2 , considerando el factor de seguridad. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, de nivel explicativo y diseño experimental. Se desarrollaron ensayos normalizados de compresión y flexión a los 7, 14 y 28 días. La muestra estuvo compuesta por 30 a ensayo a compresión y 18 a flexión. Se utilizó estadística descriptiva y pruebas t de Student para la comparación de medias. Los resultados revelaron que el concreto curado con vapor a las 24, 48 y 72 horas desarrolla resistencias mecánicas más rápidamente que en edades tempranas de 7 días del concreto curado por inmersión, pero que el concreto curado tradicional por inmersión alcanza mayores niveles de resistencia a los 28 días. Además, se observó una menor variabilidad en los valores del curado tradicional, lo cual sugiere una mayor estabilidad estructural. En conclusión, aunque el curado a vapor permite acelerar los tiempos de producción, el curado tradicional demuestra un mejor desempeño mecánico superior a largo plazo. Por tanto, se recomienda considerar el uso de curado tradicional en elementos estructurales que demanden alta durabilidad, y resistencia.

Palabras clave: concreto prefabricado, curado a vapor, resistencia a compresión, resistencia a la flexión

Abstract

The purpose of this thesis was to compare the behavior of precast concrete cured by two different methods: steam curing and traditional curing, focusing on the mechanical properties of compressive strength and flexural strength of precast elements used as perimeter fences in the city of Abancay during the year 2024. The concrete was designed for a strength of $f' = 210 \text{ kg/cm}^2$, with an average strength of 294 kg/cm^2 , considering the safety factor.

The methodology used is quantitative, applied type, explanatory level and experimental design. Standardized compression and flexural tests were performed at 7, 14 and 28 days. The sample consisted of 30 compression tests and 18 flexural tests. Descriptive statistics and Student's t-tests were used to compare means.

The results revealed that steam-cured concrete developed mechanical strength more rapidly at 24, 48, and 72 hours than immersion-cured concrete at earlier ages of 7 days, but that traditional immersion-cured concrete reached higher strength levels at 28 days. Furthermore, less variability was observed in the values for traditional curing, suggesting greater structural stability.

In conclusion, although steam curing accelerates production times, traditional curing demonstrates superior long-term mechanical performance. Therefore, it is recommended to consider the use of traditional curing for structural elements that require high durability and strength.

Keywords: precast concrete, steam curing, compressive strength, flexural strength

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras.....	xv
Índice de Anexos.....	xvi
I. Introducción	17
II. Planteamiento del problema	19
2.1 Descripción y formulación del problema.....	19
2.2 Objetivos	23
2.2.1 Objetivo general.....	23
2.2.2 Objetivos específicos	24
2.3 Justificación e importancia.....	24
2.4 Hipótesis.....	25
2.5 Variables.....	26
III. Marco teórico	28
3.1 Antecedentes	28
3.2 Bases Teóricas.....	37
3.2.1. Curado del concreto	37

3.2.1.1. Curado tradicional	38
3.1.1.2 Curado con vapor.....	38
3.2.1.3. Temperatura de curado	40
3.2.1.4 Humidificación	41
3.2.2. Propiedades mecánicas	42
3.2.2.1. Resistencia a compresión.....	42
3.2.2.2. Resistencia a flexión	43
3.2.2.3. Normatividad de ensayos de concreto	44
3.2.3. Concreto prefabricado.....	45
3.2.4. Granulometría de los agregados.....	45
3.3. Definición de Términos	46
IV. Metodología	49
4.1 Tipo y nivel de investigación	49
4.2 Ámbito temporal y espacial.....	49
4.3 Población y muestra	50
4.4 Instrumentos	51
4.5 Procedimientos	52
4.6 Análisis de datos.....	52
4.7 Consideraciones éticas	53
V. Resultados y discusión	55
VI. Conclusiones	139
VII. Recomendaciones	141
VIII. Referencias.....	143
IX. Anexos	¡Error! Marcador no definido.

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de operacionalización	27
Tabla 2 Unidades muestrales	51
Tabla 3 Granulometría del agregado fino	55
Tabla 4 Granulometría del agregado grueso	57
Tabla 5 Peso Unitario suelto del agregado grueso	59
Tabla 6 Peso Unitario varillado del agregado grueso	60
Tabla 7 Peso unitario suelto agregado fino	61
Tabla 8 Peso unitario varillado del agregado fino	62
Tabla 9 Peso Específico y absorción.....	63
Tabla 10 Contenido de humedad agregado grueso	64
Tabla 11 Contenido de humedad agregado fino	65
Tabla 12 Volumen de agregado grueso.....	65
Tabla 13 Volumen de aire.....	66
Tabla 14 Cálculo de volumen absoluto de la arena	66
Tabla 15 Cálculo de pesos	67
Tabla 16 Cálculo de peso de agua.....	68
Tabla 17 Dosificación para 1 m ³	69
Tabla 18 Dosificación para una bolsa 42.5 kg	69
Tabla 19 Dosificación en proporción según diferentes cantidades.....	70
Tabla 20 Dimensiones muestra 01 a 7 días.....	71
Tabla 21 Carga máxima aplicada muestra 01 a 7 días.....	71
Tabla 22 Dimensiones muestra 02 a 7 días.....	71
Tabla 23 Carga máxima aplicada muestra 02 a 7 días.....	72

Tabla 24 Dimensiones muestra 03 a 7 días.....	72
Tabla 25 Carga máxima aplicada muestra 03 a 7 días.....	72
Tabla 26 Dimensiones muestra 01.....	73
Tabla 27 Carga máxima aplicada muestra 01.....	73
Tabla 28 Dimensiones muestra 02.....	74
Tabla 29 Carga máxima aplicada muestra 02.....	74
Tabla 30 Dimensiones muestra 03.....	74
Tabla 31 Carga máxima aplicada muestra 03.....	75
Tabla 32 Dimensiones muestra 01.....	75
Tabla 33 Carga máxima aplicada muestra 03.....	76
Tabla 34 Dimensiones muestra 01.....	76
Tabla 35 Carga máxima aplicada muestra 01.....	76
Tabla 36 Dimensiones muestra 03.....	77
Tabla 37 Carga máxima aplicada muestra 03.....	77
Tabla 38 Dimensiones muestra 01.....	78
Tabla 39 Carga máxima aplicada muestra 01.....	78
Tabla 40 Dimensiones muestra 02.....	78
Tabla 41 Carga máxima aplicada muestra.....	79
Tabla 42 Dimensiones muestra 03.....	79
Tabla 43 Carga máxima aplicada muestra 03.....	79
Tabla 44 Dimensiones muestra 01.....	80
Tabla 45 Carga máxima aplicada muestra 01.....	80
Tabla 46 Dimensiones muestra 02.....	81
Tabla 47 Carga máxima aplicada muestra 02.....	81
Tabla 48 Dimensiones muestra 03.....	81

Tabla 49 Carga máxima aplicada muestra 03	82
Tabla 50 Dimensiones muestra 01	82
Tabla 51 Carga máxima aplicada muestra 01	83
Tabla 52 Dimensiones muestra 02	83
Tabla 53 Carga máxima aplicada muestra 02	83
Tabla 54 Dimensiones muestra 03	84
Tabla 55 Carga máxima aplicada muestra 03	84
Tabla 56 Curado 24 horas medidos cada 6 horas.....	85
Tabla 57 Curado 48 horas medidos cada 6 horas.....	86
Tabla 58 Curado 72 horas medidos cada 6 horas.....	87
Tabla 59 Resultados de ensayos a flexión curados en agua a los7 días.....	89
Tabla 60 Resultados de ensayos a flexión curados en agua a los14 días.....	90
Tabla 61 Resultados de ensayos a flexión curados en agua a los 28 días.....	92
Tabla 62 Promedio de resistencias a flexión de vigas curado al agua	94
Tabla 63 Resultados de ensayos a flexión curados mediante vapor a 24 horas.....	97
Tabla 64 Resultados de ensayos a flexión curados mediante vapor a 48 horas.....	98
Tabla 65 Resultados de ensayos a flexión curados mediante vapor 72 horas.....	100
Tabla 66 Promedio de resistencia a flexión de vigas a vapor	102
Tabla 67 Resultados de ensayos a compresión a muestras curadas 7 días en agua	105
Tabla 68 Resultados de ensayos a compresión a muestras curadas 14 días en agua	106
Tabla 69 Resultados de ensayos a compresión a muestras curadas 28 días en agua	107
Tabla 70 Promedio de resistencia a compresión de briquetas patrón	109
Tabla 71 Resultados de ensayos a compresión curados con vapor por 24 horas.....	112
Tabla 72 Resultados de ensayos a compresión curados con vapor por 48 horas.....	113
Tabla 73 Resultados de ensayos a compresión curados con vapor por 72 horas.....	114

Tabla 74 Promedio de resistencia a compresión de briquetas a vapor.....	116
Tabla 75 Relación entre resistencia y temperatura	118
Tabla 76 Relación entre la resistencia y la humedad	120
Tabla 77 Estadísticos descriptivos	123
Tabla 78 Prueba de normalidad de los datos a flexión y compresión.....	125
Tabla 79 Estadísticas de grupo flexión	127
Tabla 80 Prueba de muestras independiente propiedades flexión	128
Tabla 81 Estadísticas de grupo compresión.....	129
Tabla 82 Prueba de muestras independiente compresión	130
Tabla 83 Estadísticasdegrupopropiedades mecánicas.....	131
Tabla 84 Prueba de muestras independientes de propiedades mecánicas.....	132

Índice de figuras

Figura 1 Curva granulométrica del agregado fino	56
Figura 2 Curva granulométrica de la gregado grueso.....	58
Figura 3 Promedio de resistencia a flexión de vigas	95
Figura 4 Promedio de resistencia a flexión de vigas a vapor.....	103
Figura 5 Promedio de resistencia a compresión de briquetas patrón.....	110
Figura 6 Promedio de resistencia a compresión de briquetas a vapor	117
Figura 7 Relación entre la resistencia y la temperatura	120
Figura 8 Relación entre la resistencia y la humedad	122

Índice de Anexos

Anexo N° 01: Matriz de consistencia.....;Error! Marcador no definido.

Anexo N° 02: Informes de ensayos;Error! Marcador no definido.

Anexo N° 03: Certificado de calibraciones;Error! Marcador no definido.

Anexo N° 04: Panel Fotográfico;Error! Marcador no definido.

I. Introducción

La presente tesis titulada “Análisis comparativo del curado de concreto a vapor y tradicional en las propiedades mecánicas de elementos prefabricados de cerco perimétrico, Abancay -2024” abarca el problema vigente en el ámbito de la ingeniería civil, específicamente en el campo de los sistemas constructivos prefabricados. El eje temático central de la tesis radica en evaluar y comparar el impacto de dos métodos de curado del concreto curado a vapor y curado tradicional sobre las propiedades mecánicas de elementos estructurales utilizados en cercos perimétricos prefabricados, cuya aplicación es cada vez más frecuente en edificaciones urbanas y periurbanas de la ciudad de Abancay.

El interés por desarrollar esta tesis surge a partir de la necesidad de optimizar los procesos constructivos, reducir los tiempos de ejecución y garantizar la duración y resistencia de las estructuras prefabricadas. En particular, se ha identificado una tendencia creciente en el uso del curado a vapor por su promesa de acelerar el fraguado del concreto y permitir una rápida liberación de moldes. No obstante, persiste una incertidumbre técnica sobre si esta aceleración compromete o mejora las particularidades mecánicas del concreto a mediano y largo plazo en comparación con el método tradicional. Por tanto, resulta pertinente contrastar ambos procedimientos de curado para proporcionar evidencia técnica que fundamente decisiones constructivas más eficientes y seguras.

Para lograr este propósito, se ha utilizado un enfoque cuantitativo, con un tipo de estudio aplicada, nivel explicativo y diseño experimental. La estrategia se basó en la fabricación de especímenes de concreto prefabricado para cerco perimétrico, aplicando a un grupo el curado tradicional mediante inmersión en agua durante un período estándar, y al otro grupo el curado a vapor controlado. Posteriormente, se desarrollaron ensayos de laboratorio para determinar y comparar sus particularidades mecánicas, específicamente la resistencia a la

compresión y flexión. Esta tesis permitió establecer diferencias cuantificables entre ambos métodos de curado en condiciones controladas.

La finalidad principal del estudio es identificar el método de curado que ofrezca un mejor desempeño mecánico en elementos prefabricados de concreto utilizados en cercos perimétricos, a fin de brindar recomendaciones técnicas que favorezcan una construcción más eficiente, segura y duradera en el contexto local. Asimismo, se busca aportar con información científica útil para ingenieros, constructores y entidades públicas o privadas dedicadas a la fabricación y ejecución de soluciones constructivas modulares.

En cuanto a la estructura del trabajo de tesis, este se ha organizado en seis secciones. Sección I, introducción, presenta el contexto del estudio, el problema, los objetivos, la justificación y la delimitación. Sección II, planteamiento del problema, expone la formulación del problema, las hipótesis, las variables de estudio y su operacionalización. Sección III, marco teórico, desarrolla los antecedentes nacionales e internacionales, así como las bases teóricas y conceptuales relacionadas con el concreto, sus procesos de curado y sus propiedades mecánicas. Sección IV, metodología, describe el enfoque, tipo y diseño de investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y el procedimiento experimental. Sección V, resultados, presenta el análisis de los datos obtenidos a partir de los ensayos mecánicos y la comparación de los resultados entre ambos métodos de curado. Finalmente, sección VI, conclusiones, resume los hallazgos más relevantes y propone recomendaciones relacionadas a la implementación práctica y próximos estudios en el tema.

II. Planteamiento del problema

2.1 Descripción y formulación del problema

Los elementos prefabricados de concreto son ampliamente utilizados debido a su durabilidad y resistencia. Sin embargo, la calidad de estos elementos presenta dependencia en gran magnitud del método de curado del concreto empleado durante su fabricación. Actualmente, se utilizan principalmente dos métodos de curado: el tradicional y el curado a vapor. Cada técnica posee ventajas y desventajas que impactan directamente en las propiedades mecánicas de los componentes prefabricados.

En el mundo antiguo la producción de materiales de construcción, como los prefabricados de concreto, es una actividad que ha crecido en todo el mundo. Según un informe de la Asociación Nacional de Fabricantes de Concreto de los Estados Unidos, la producción de elementos de concreto en ese país aumentó en un 3,8% en 2020 (National Concrete Masonry Association, 2020). Sin embargo, la producción de materiales de construcción también tiene una relevancia significativa en el medio ambiente.

A nivel mundial, la construcción con elementos prefabricados de concreto ha ganado terreno por su eficiencia y rapidez, especialmente en zonas urbanas y periurbanas donde la demanda de infraestructura segura y duradera es creciente. En este contexto, el curado de la concreta etapa fundamental para alcanzar el desarrollo óptimo de las particularidades mecánicas ha sido objeto de numerosos estudios e innovaciones. En particular, el curado a vapor ha sido incorporado en procesos industrializados para acelerar la resistencia inicial del concreto, reduciendo el tiempo de desencofrado y facilitando la producción en serie (Játiva y Pérez, 2022). Sin embargo, existen dudas sobre si este tipo de curado garantiza el mismo desempeño estructural que el curado tradicional a largo plazo, especialmente en aplicaciones estructurales específicas como los cercos perimétricos.

En Europa y Estados Unidos, utilizan el método del curado de concreto a vapor para acelerar la resistencia inicial del hormigón, generalmente en ambientes fríos o cuando se necesite una puesta rápida en los servicios de las estructuras. Sin embargo, presenta desafíos significativos como la necesidad de un control preciso del proceso para evitar cambios volumétricos excesivos que pueden afectar la integridad estructural (Insustry Surfer, 2023). Además, a largo plazo, el concreto curado a vapor puede ser más susceptible a fracturas y otros problemas estructurales en comparación con nuevas metodologías de curado (Spiegato, 2021).

En América Latina, la utilización de elementos prefabricados en concreto es una tendencia creciente en países como México, Brasil, Colombia y Perú, donde se busca mejorar la productividad sin comprometer la calidad. No obstante, se ha identificado que muchos procesos aún carecen de estandarización técnica, en especial en los relacionados al curado y control de calidad. Estudios recientes señalan que, en la región, el curado a vapor no siempre se realiza bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, lo que podría afectar negativamente la resistencia final del concreto (Rojas y Vargas, 2022). Esta situación adquiere mayor relevancia en componentes como los cercos perimétricos, los cuales, aunque sean considerados elementos secundarios, están expuestos a esfuerzos mecánicos y condiciones ambientales variables que exigen un desempeño estructural confiable.

En el Perú, el curado no se aplica de manera uniforme en todos los departamentos. Factores como la humedad ambiental pueden dificultar el proceso de curado, y en algunos casos, no se realiza adecuadamente, lo que puede comprometer la calidad y durabilidad del concreto (Donires et al., 2021).

En el caso del Perú, el auge de la prefabricación se ha traducido en un crecimiento sostenido de pequeñas y medianas empresas que elaboran elementos como losas, bloques, postes y cercos prefabricados. A pesar de ello, gran parte de estos procesos aún se desarrollan de forma empírica, sin validación experimental sobre los efectos del curado sobre el

rendimiento mecánico del concreto. Un estudio realizado por Alvarado (2020) en Lima reveló que más del 60 % de los productores de concreto prefabricado no controlan adecuadamente las variables de curado, priorizando la rapidez del curado a vapor sobre su eficacia técnica. Esta realidad evidencia la necesidad de investigaciones que comparen sistemáticamente los métodos de curado en condiciones reales de fabricación local.

De acuerdo al Censo Nacional realizada en el año 2017 se identificó que en los hogares el material que predomina más son los ladrillos o bloques de cementos donde se utilizó el concreto clásico en la construcción de las viviendas y actualmente se percibe un aumento y excesivo desarrollo de la población urbana, produciendo un crecimiento de la demanda de hogares en áreas periféricas, donde dichas edificaciones cercadas de componentes de concreto y/o adobe.

Particularmente en Abancay, donde las condiciones climáticas e influyen directamente en el fraguado del concreto, el uso de cercos perimétricos prefabricados ha aumentado considerablemente en los últimos años como solución para cercar viviendas, lotes agrícolas e instituciones. No obstante, se ha identificado que existe una diversidad de prácticas en cuanto al proceso de curado, siendo el curado a vapor adoptado por razones económicas y de tiempo sin evidencia de su desempeño estructural frente al curado tradicional. Según un informe técnico de la Municipalidad Provincial de Abancay 2022, algunos cercos instalados hacen menos de tres años han presentado fisuras longitudinales y pérdida de adherencia entre concreto y armadura, lo que sugiere deficiencias en su proceso de fabricación.

Las causas de esta problemática se relacionan principalmente con la falta de protocolos técnicos específicos en la fabricación local de cercos prefabricados y el escaso análisis de las particularidades mecánicas del concreto según el tipo de curado. Además, existe una brecha entre la producción acelerada impulsada por la demanda del mercado y los controles de calidad requeridos para garantizar el comportamiento estructural de los elementos. El uso del curado a

vapor, en muchos casos, se realiza sin considerar parámetros fundamentales como la temperatura de inicio, la velocidad de calentamiento o el tiempo de mantenimiento, lo cual puede generar un curado superficial que no asegure la ganancia uniforme de resistencia (Neville, 2011).

Las consecuencias derivadas de esta situación no solo comprometen la durabilidad y seguridad de los elementos de cerco perimétrico, sino que también generan costos adicionales por mantenimiento o reemplazo prematuro, reduciendo así la eficiencia de la inversión pública y privada en infraestructura básica. Asimismo, el uso inadecuado del curado puede influir negativamente en la capacidad de resistencia a compresión y flexión del concreto, aspectos fundamentales en estructuras que están sometidas a esfuerzos constantes derivados del ambiente o de acciones humanas (ACI Committee 308, 2020).

Frente a este panorama, la presente investigación tiene el aporte principal del análisis comparativo de la conducta mecánica del concreto sometido a curado a vapor y tradicional, aplicado específicamente en elementos de cerco perimétrico prefabricados en la ciudad de Abancay. El estudio busca establecer diferencias significativas en la resistencia a compresión y flexión de ambos tipos de curado, bajo condiciones experimentales controladas. Los resultados permitirán fundamentar técnicamente la elección del método de curado más adecuado para la mejora de la calidad de los bienes prefabricados en la región, promoviendo la adopción de buenas prácticas en la industria local y aportando al desarrollo sostenible de la construcción regional.

En la ciudad de Abancay, se viene utilizando los cercos perimétricos es una práctica esencial para la seguridad y delimitación de propiedades.

Se observó una variación significativa en la resistencia a la compresión y flexión de los elementos prefabricados de concreto. Esta variabilidad puede comprometer la integridad estructural de los cercos perimétricos, afectando su seguridad y durabilidad. La durabilidad de

estos elementos está estrechamente ligada a la calidad del curado. Métodos de curado inadecuados pueden resultar en una menor vida útil, aumentando la frecuencia de mantenimiento y reemplazo. El curado tradicional, aunque es el método más utilizado, puede no proporcionar condiciones óptimas para el desarrollo completo de las características mecánicas del concreto.

La tesis posee el potencial de mejorar significativamente las prácticas de construcción en Abancay, generando soluciones que podrían ser aplicables en otras regiones con condiciones similares.

Formulación del problema

2.1.1. Problema General

¿En qué medida difieren las propiedades mecánicas de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor frente a los curados por el método tradicional Abancay - 2024?

2.1.2. Problemas Específicos

PE1: ¿En qué medida difieren los resultados de resistencia a compresión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor frente a los curados por el método tradicional Abancay -2024?

PE2: ¿En qué medida difieren los resultados de resistencia a flexión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor frente a los curados por el método tradicional Abancay -2024?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Comparar las propiedades mecánicas del concreto en elementos prefabricados de cerco perimétrico sometidos a curado a vapor y curado tradicional, Abancay - 2024.

2.2.2 Objetivos específicos

OE1: Analizar los resultados de resistencia a compresión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico sometidos a curado a vapor y curado tradicional en la ciudad de Abancay - 2024.

OE2: Analizar los resultados de resistencia a flexión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico sometidos a curado a vapor y curado tradicional en la ciudad de Abancay- 2024.

2.3 Justificación e importancia

Se baso en la necesidad de evaluar las particularidades mecánicas de los elementos prefabricados de concreto en un cerco perimétrico mediante el curado al vapor y tradicional en Abancay. La evaluación de las propiedades mecánicas mediante el curado al vapor y tradicional, puede proporcionar información valiosa para mejorar el proceso de producción, calidad del producto final, la economía local, generar empleo, resistencia del producto final y a su vez contribuirá a la seguridad y duración de las construcciones.

Para realizar la evaluación de las “propiedades mecánicas”. La presente investigación propuso evaluar de manera comparativa los efectos del curado a vapor (mediante un sistema artesanal de curado a vapor adaptado) y del curado tradicional, sobre las propiedades mecánicas del concreto, por medio de pruebas de resistencia en los procesos de comprimir y flexionar se utilizó una cámara de curado a vapor tipo sauna y tradicional, lo que permitió asegurar las condiciones óptimas de temperatura y humedad requerida para la ejecución de resistencia del concreto.

Se utilizó métodos y técnicas de investigación que permitieron medir y evaluar las particularidades mecánicas. Entre los métodos y técnicas que se utilizaron se encuentran pruebas de resistencia a compresión y resistencia a flexión. La combinación de estos métodos y técnicas permitió obtener información precisa sobre las propiedades mecánicas.

En lo concerniente a la delimitación se centra en la ciudad de Abancay, ubicada en la región de Apurímac, y el desarrollo del estudio se desarrolló durante el año 2024.

Esta presente tesis es importante porque permitió evaluar la eficiencia y efectividad de diferentes técnicas de curado en la calidad del concreto aplicado en la elaboración de cercos perimétricos. Al comparar el curado a vapor con el método tradicional, se buscó determinar cuál de los dos proporciono mejores resultados respecto a la resistencia y durabilidad del concreto, lo cual es crucial para asegurar la seguridad y longevidad de las estructuras. Este análisis no solo optimiza el proceso de construcción, sino que también puede generar ahorros en costos y tiempos de producción, mejorando la competitividad y sostenibilidad de los proyectos en la región de Abancay.

2.4 Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Existe una diferencia significativa en las propiedades mecánicas del concreto de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor respecto a los curados de manera tradicional, Abancay - 2024.

2.4.2. Hipótesis Especificas

HE1: Existe una diferencia significativa en la resistencia a compresión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor en comparación con aquellos curados por el método tradicional, en Abancay - 2024.

HE2: Existe una diferencia significativa en la resistencia a flexión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor en comparación con aquellos curados por el método tradicional, en Abancay - 2024.

2.5 Variables

Variable 1: VI- “Curado del concreto

Curado del concreto

Es el mecanismo de sostener la temperatura y humedad optima en el concreto recién considerados para facilitar que se endurezca y desarrolle su resistencia y durabilidad óptimas.

Es una etapa crítica en la fase de fabricar y colocar el concreto, ya que influye directamente en sus propiedades finales (Liu et al., 2023).

Variable 2: VD- “Propiedades mecánicas”

Propiedades del concreto

Hacen referencia a las capacidades que posee para la resistencia de las deformaciones y fuerzas bajo carga. Dichas características son importantes para analizar propiedades son fundamentales para evaluar la resistencia estructural y el comportamiento del concreto en diferentes aplicaciones de construcción (Ahn et al., 2023).

Tabla 1

Matriz de operacionalización

Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medición	Índice
Curado de concreto	Es el proceso de sostener la temperatura y humedad óptima en el concreto recién considerados para facilitar que se endurezca y desarrolle su resistencia y durabilidad óptimas. Es una etapa crítica en la fase de fabricar y colocar el concreto, ya que influye directamente en sus propiedades finales (Liu et al., 2023).	En este estudio, se realizará la preparación de dos grupos de muestras de concreto prefabricado de cerco perimétrico, uno que será sometido a curado al vapor y otro a curado tradicional. Se establecerán las condiciones específicas de curado para cada grupo de muestras, y se asegurará que las condiciones sean constantes para cada modalidad de curado: para el curado a vapor se utilizará una cámara de vapor artesanal hermético en el cual se concentrará el vapor del curado, mientras que para el curado tradicional se desarrollará mediante sumersión completa de la muestra.	D1: Curado a vapor	I1: Temperatura del vapor I2: Duración del curado I3: Tasa de humidificación	Termómetro de alta precisión Reloj digital Higrómetro	°C Hrs %
			D2: Curado tradicional	I2: Duración del curado	Reloj digital	días (intervalos de días)
Variable Dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medición	Escalas de medición
Propiedades mecánicas	Hacen referencia a las capacidades que posee para la resistencia de las deformaciones y fuerzas bajo carga. Estas características son importantes para analizar la resistencia estructural y el comportamiento del concreto en diferentes aplicaciones de construcción (Ahn et al., 2023).	Se medirá la resistencia a la compresión, flexión en diversas edades (7, 14 y 28 días) del concreto. Por lo tanto, la resistencia será determinada como el valor máximo al momento de llegar a la falla.	D1: Resistencia a compresión	I1: Resistencia a compresión a los 7 días I2: Resistencia a compresión a los 14 días I3: Resistencia a compresión a los 28 días	Ensayo de compresión Ensayo de compresión Ensayo de compresión	MPa MPa MPa
			D2: Resistencia a flexión	I1: Resistencia a flexión a los 7 días I2: Resistencia a flexión a los 14 días I3: Resistencia a flexión a los 28 días	Ensayo de flexión Ensayo de flexión Ensayo de flexión	MPa MPa MPa

Nota. Adaptado de Liu et al. (2023) y Ahn et al. (2023). La operacionalización de variables, dimensiones e indicadores fue desarrollada por la autora. Las unidades de medida se expresan en grados Celsius (°C), horas (h), días y megapascales (MPa), según el tipo de ensayo realizado.

III. Marco teórico

3.1 Antecedentes

A nivel internacional

De acuerdo a Bauju et al. (2020), el estudio titulado “Effect of different post-curing methods on properties of steam-cured concrete” abordó un problema técnico relevante en el ámbito tecnológico del concreto: los efectos adversos que puede generar el curado con vapor acerca de la microestructura y las propiedades mecánicas del material. El objetivo del artículo es analizar cómo diferentes métodos de curado aplicados posteriormente al curado con vapor influyen en la calidad final del concreto. El propósito fundamental es identificar un método de curado adecuado que minimice los daños microestructurales asociados al endurecimiento acelerado, característico del curado térmico, y que pueda preservar o ayudar en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto. La metodología experimental consistió en fabricar especímenes de concreto sometidos inicialmente a curado con vapor, para luego aplicar distintos tratamientos de curado posterior bajo condiciones de aire, agua y ambientes húmedos controlados. Se evaluaron parámetros como la resistencia a la compresión, la permeabilidad del aire, agua e iones y el contenido del agua que no evapora. Asimismo, se realizó un análisis microestructural detallado mediante procesamiento de imágenes y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados demostraron que, si bien todas las técnicas de curado favorecen el incremento de la resistencia a la compresión a lo largo del tiempo, el comportamiento frente a la permeabilidad varía considerablemente. En particular, el curado al aire mostró una evolución no lineal, mientras que el curado húmedo posterior redujo consistentemente la permeabilidad y los efectos adversos del curado con vapor. En conclusión, el estudio resalta que el curado húmedo posterior es una efectiva estrategia para la mejora de la microestructura del concreto, optimizando su desempeño mecánico y su durabilidad.

Rostami (2022), El artículo titulado “Carbonation Curing for Precast Concrete Products: Performance and Durability Assessment” presento una investigación orientada a evaluar el uso beneficioso del dióxido de carbono capturado como alternativa al curado con vapor para productos prefabricados de concreto. La finalidad general de la investigación fue analizar si el curado por carbonatación temprana puede reemplazar de manera efectiva al curado térmico convencional, particularmente en terminologías de desarrollo de resistencia y durabilidad. Con este propósito, los investigadores llevaron a cabo un procedimiento de curado por carbonatación en la etapa inicial del concreto, luego de un breve precurado en ambiente controlado. Se evaluó el desempeño del concreto carbonatado comparándolo con especímenes sometidos a curado por vapor y a curado normal por hidratación. Las variables analizadas incluyeron la absorción de carbono, el desarrollo acelerado de la resistencia y el comportamiento frente a condiciones agresivas. Los resultados mostraron que la carbonatación a corto plazo promovió significativamente el desarrollo temprano de la resistencia mecánica. No obstante, se destacó que una hidratación posterior es crucial para alcanzar propiedades adecuadas en edades más avanzadas. En cuanto a durabilidad, el concreto curado con CO₂ demostró una mayor resistencia frente a la incorporación de cloruros, migración iónica, ataques por sulfatos y ciclos de congelamiento-deshielo, en comparación con los métodos tradicionales. La investigación concluyó que el curado por carbonatación mejora notablemente la durabilidad superficial del concreto al disminuir la cuantía de hidróxido de calcio, sin comprometer la alcalinidad interna necesaria para prevenir la corrosión por carbonatación, posicionándolo como una alternativa sostenible al curado con vapor.

Zhou et al. (2022), el artículo titulado “Review on the Influence of Steam Curing Conditions on Concrete Properties and Durability” realizó un análisis integral sobre cómo las condiciones de curado con vapor influyen en las propiedades mecánicas y microestructurales del concreto, así como en su impacto ambiental. El objetivo del estudio fue examinar

críticamente los efectos del curado térmico en el rendimiento del concreto, identificando tanto sus beneficios como las limitaciones estructurales y de durabilidad que puede conllevar. El propósito principal del trabajo fue proponer estrategias técnicas para optimizar el proceso de curado con vapor, garantizando un equilibrio entre resistencia temprana, durabilidad a largo plazo y sostenibilidad ambiental. A través de una revisión de literatura técnica especializada, se recopilaron hallazgos sobre la conducta del concreto bajo diversas condiciones de curado, prestando especial atención a factores como la formación de etringita retardada (DEF), el agrietamiento por contracción y el deterioro térmico. Los resultados revelan que, si bien el curado con vapor apresura la ejecución de resistencia en las edades primeras, este mismo proceso puede generar daños térmicos y una reducción en el ritmo de ganancia de resistencia a largo plazo. Asimismo, el artículo destaca que la combinación de adiciones minerales de alta y baja reactividad, el control de la temperatura de precura y la implementación de curados secundarios pueden mitigar estos efectos. En conclusión, el estudio enfatiza la necesidad de rediseñar los parámetros de curado con vapor para mejorar la compacidad, durabilidad y sostenibilidad del concreto, promoviendo además la sustitución parcial del cemento con adiciones minerales para reducir las emisiones de CO₂.

Olufemi (2021), el artículo titulado “Comparative Study of Diverse Concrete Curing Methods”, elaborado por Olufemi Oladimeji Lawal y Oluwagbemiga Paul Agboola, expuso los resultados de un estudio experimental orientada a evaluar como las distintas técnicas de curado influyen en la resistencia a compresión del concreto. La finalidad del estudio fue identificar la técnica de curado más eficaz para asegurar la ejecución óptima de las características mecánicas del concreto, elemento clave en la construcción de infraestructuras durables y seguras. Para alcanzar este objetivo, se prepararon cuarenta cubos de concreto con una dosificación de 1:2:4, los cuales fueron sometidos a cinco métodos distintos de curado: inmersión en agua, curado por membrana, aspersion, envoltura con plástico y exposición al

aire natural. Las probetas se ensayaron a los 7, 14, 21 y 28 días, empleando herramientas estadísticas para procesar los datos obtenidos en laboratorio. Los resultados demostraron que el curado por inmersión en agua (water curing) fue el más efectivo, obteniendo los valores más altos de resistencia a compresión y densidad. Este comportamiento se atribuye a una hidratación más completa del cemento, al no haber pérdida de humedad en el proceso. En orden decreciente de efectividad, le siguieron el curado por membrana, por aspersion y con envoltura plástica. El curado al aire libre, por el contrario, evidenció un desempeño significativamente inferior, asociado a una mayor evaporación del agua interna, afectando negativamente el desarrollo de la resistencia. Como conclusión, los autores recomiendan adoptar el curado por inmersión como método preferente para asegurar la durabilidad y calidad estructural del concreto. En contextos de escasez de agua, se sugiere optar por la aspersion como alternativa viable, siempre asegurando una reposición adecuada de la humedad superficial para no comprometer el proceso de hidratación. El estudio aporta evidencia útil para orientar buenas prácticas constructivas en el ámbito del curado del concreto.

A nivel nacional

Según Zambrano et al. (2021), en su estudio denominado "Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón", cuya finalidad principal del estudio fue identificar la técnica de curado más adecuado para maximizar el nivel de resistencia al comprimir el hormigón a los 28 días. La metodología se prepararon especímenes de hormigón y se sometió a los tres métodos de curado mencionados. Los especímenes se sometieron a evaluaciones de compresión a los 7, 14 y 28 días para medir la efectividad de cada método. Los valores obtenidos de tal proceso fueron registrados y comparados para determinar cuál método proporcionaba los mejores resultados. Los hallazgos indicaron diferencias significantes en el proceso de resistir a la compresión según el método de curado utilizado. A los 7 días, el método de cubiertas húmedas produjo una resistencia de 20.46 MPa,

superior a la técnica de láminas de polietileno, que registró 18.33 MPa. A los 14 días, las cubiertas húmedas continuaron mostrando la mayor resistencia con 21.71 MPa, seguido de cerca por la hidratación permanente con 20.84 MPa y el método de láminas de polietileno con 19.86 MPa. Finalmente, a los 28 días, todos los especímenes superaron las expectativas de resistencia establecidas en sus diseños. Las cubiertas húmedas alcanzaron una resistencia máxima de 33.92 MPa (109.1% de la resistencia de diseño), la hidratación continua 22.31 MPa (106.2% de la resistencia de diseño) y las láminas de polietileno 21.81 MPa (103.9% de la resistencia de diseño). El estudio concluye que, aunque los tres métodos de curado son efectivos para aumentar la resistencia a la compresión del hormigón, las cubiertas húmedas son especialmente recomendables. Este método mantiene el hormigón adecuadamente hidratado durante más tiempo, demostrando un impacto positivo notable en la resistencia final del hormigón. Por tanto, las cubiertas húmedas se destacan como el método de curado más eficaz entre los evaluados en este estudio.

Rondón (2023), en su tesis titulada “Análisis y comparación de diferentes métodos de curado para elaborar concreto con resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en Arequipa”, tuvo como objetivo evaluar el efecto de distintos métodos de curado sobre la resistencia a la compresión del concreto, utilizando dos tipos de cemento: Tipo I y Tipo HE. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño experimental, desarrollada en los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María. Se emplearon cuatro métodos de curado: por inmersión, por bolsas húmedas, por aspersión y al aire libre, y se evaluó la resistencia a los 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos demostraron que la técnica de inmersión con cemento HE logro alcanzar la mayor resistencia a los 28 días (309.40 kg/cm^2), siendo mayor al resto de métodos. En contraste, el curado al aire libre presentó los valores menores de resistencia. Se concluye que el tipo de curado y el tipo de cemento influyeron de forma significativa en las

características mecánicas del concreto, siendo el curado por inmersión el más eficiente para garantizar el cumplimiento de la resistencia de diseño establecida.

Según Challco (2023), la investigación "Determinación de la influencia del curado a vapor frente a los diferentes tipos de curado en la resistencia de un concreto con policloruro de vinilo (PVC) y con acero, Cusco 2022" abordó la comparación de diferentes métodos de curado de concreto para mejorar su resistencia. El objetivo principal fue determinar si el curado a vapor es más eficaz que otros métodos de curado (sumergido, con arena y con membrana impermeabilizante) en términos de resistencia del concreto. También se buscó analizar la consecuencia del crecimiento de fibras de PVC y virutas de acero en la resistencia del concreto. La metodología tiene un enfoque cuantitativo, nivel de investigación descriptivo, donde realizó la preparación de muestras de concreto patrón, concreto con fibras de PVC y concreto con virutas de acero, todas sometidas a los diferentes métodos de curado. Las pruebas se realizaron a los 7, 28 y 50 días para analizar la resistencia a la compresión de cada muestra. Se emplearon cámaras de curado con aislamiento para asegurar circunstancias adecuadas de temperatura y humedad. Los resultados mostraron que el curado a vapor mejoró significativamente la resistencia a comprimir el concreto comparándolas con otras técnicas de curado. Además, la adición de virutas de acero y fibras de PVC también incrementó la resistencia, con el concreto que se modificó con virutas de acero al 10% mostrando los mejores resultados a los 50 días. Se concluyó que el curado a vapor fue el método más efectivo para la mejora de resistencia a comprimir el concreto, y que la modificación del concreto con virutas de acero y fibras de PVC puede proporcionar rendimientos positivos adicionales en terminologías de resistencia y durabilidad. Dichos resultados fueron relevantes para optimizar las prácticas de construcción y asegurar estructuras más duraderas y resistentes.

Rojas y Vásquez (2022). La tesis titulada "Determinación de la influencia del curado empleando concreto reciclado saturado y arcilla coccionada saturada en la resistencia de un

concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, frente a un curado tradicional, en la ciudad de Cajamarca -2022”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del curado interno mediante el uso de materiales alternativos con capacidad de absorción de agua. El propósito fue ofrecer una solución práctica ante la escasez de agua en obra, reemplazando parcial y estratégicamente el agregado grueso tradicional por concreto reciclado saturado (CRS) y arcilla coccionada saturada (ACS), para propiciar la hidratación interna del concreto durante su fraguado. La metodología consistió en el desarrollo de mezclas de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, en las que se sustituyó el agregado grueso en porcentajes de 10%, 20% y 30% por CRS y ACS de manera independiente. Los especímenes se sometieron a ensayos de trabajabilidad y resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, y se compararon con un concreto patrón curado por inmersión. Los resultados mostraron que el sustituir con arcilla coccionada saturada al 30% generó una resistencia superior a la del concreto curado tradicional, mientras que el concreto con CRS obtuvo resistencias menores en todos los niveles de reemplazo. Además, la trabajabilidad se mantuvo dentro de rangos aceptables en las mezclas modificadas. Se concluye que la ACS constituye una alternativa efectiva como curador interno, capaz de mejorar la resistencia del concreto, por ello, el CRS no cumple adecuadamente dicha función. Esta propuesta representa una opción sustentable y viable para el proceso de curado del concreto en zonas con limitada disponibilidad de agua.

Según Araujo (2021), "evaluación del autocurado del concreto aplicando polietilenglicol frente a un concreto con curado convencional en la ciudad de Chiclayo", investiga la eficacia del autocurado del concreto usando el aditivo Polietilenglicol 4000 en varias concentraciones (0.5%, 1%, 1.5% y 1.75% del peso del cemento). La finalidad fue evaluar la eficacia del autocurado del concreto utilizando Polietilenglicol 4000 en diferentes concentraciones y comparar sus resultados con los del concreto sometido a un curado convencional sumergido en agua. Se buscó analizar cómo estas dosificaciones afectan diversas variables. La metodología es un tipo de investigación experimental aplicada, donde se preparó

mezclas de concreto con diferentes concentraciones de Polietilenglicol 4000 (0.5%, 1%, 1.5% y 1.75% del peso del cemento). Estas combinaciones fueron sometidas a pruebas para medir todas las dosificaciones consideradas a evaluar. Los resultados obtenidos de estas mezclas fueron comparados con los de un concreto sometido a un curado convencional sumergido en agua. Los resultados revelaron que las dosis más efectivas de Polietilenglicol 4000 fueron del 1% y 1.5% del peso del cemento. Estas concentraciones lograron alcanzar el 81.5% y el 80.9% de la resistencia a la compresión de diseño prevista a los 28 días (210 kg/cm^2), respectivamente. Además, se observó que el uso de Polietilenglicol 4000 mejoró aspectos como la exudación y la permeabilidad del concreto, aunque no logró igualar completamente la resistencia a la compresión del concreto sometido a curado convencional. El estudio concluye que el autocurado con Polietilenglicol 4000 es una alternativa viable al curado convencional, especialmente en circunstancias donde el curado con agua es impráctico. Las concentraciones del 1% y 1.5% del peso del cemento demostraron ser las más eficaces, logrando una resistencia a la compresión considerablemente alta, aunque no igual a la del curado tradicional. Estos resultados destacan el potencial del Polietilenglicol 4000 para mejorar ciertas propiedades del concreto, ofreciendo una solución efectiva y económicamente viable para el autocurado en contextos específicos.

A nivel local

Según Cuellar (2017) ,en su tesis titulada "Influencia de los métodos de curado con mucílago naturales en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Abancay, 2019" busco determinar cómo los métodos de curado con mucílago naturales afectan la resistencia a la compresión del concreto con una resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 . El propósito principal del estudio fue evaluar la repercusión de las técnicas de curado utilizando mucílago naturales (sábila, nopal y linaza) en el proceso de resistir al proceso de comprimir el concreto a diversas edades (7, 14 y 28 días). Se buscó ampliar los conocimientos sobre la

efectividad de dichas técnicas de curado en comparación con el curado tradicional con agua. El proceso metodológico empleado fue cuantitativo y de diseño experimental. Se empleó el método estadístico de distribución t de Student con un grado de aceptación del 95% para analizar los datos. Se prepararon especímenes de concreto utilizando mucílagos naturales como agentes curadores aplicados mediante tres métodos: aspersión, inmersión y membrana. Se realizaron pruebas de compresión a las edades de 7, 14 y 28 días para comparar los valores de resistencia del concreto curado con mucílagos naturales frente al concreto curado tradicionalmente con agua. Los resultados indicaron que las técnicas de curado con mucílagos naturales influyeron de forma significativa en la resistencia a comprimir el concreto. Después del séptimo día, el concreto curado con mucílagos naturales mostró una resistencia inicial comparable a la del concreto curado con agua. A los 14 días, los especímenes curados con mucílagos de sábila y nopal mediante inmersión presentaron una resistencia mayor a las otras técnicas de curado, mientras que la linaza mostró resultados inferiores en comparación. Después de los 28 días, el concreto curado con mucílagos naturales mediante inmersión y aspersión alcanzó resistencias cercanas a las obtenidas con el curado tradicional, confirmando la hipótesis planteada. La investigación concluye que los métodos de curado con mucílagos naturales (sábila, nopal y linaza) son una alternativa viable al curado tradicional con agua, especialmente cuando se utilizan técnicas de inmersión y aspersión. Estos métodos no solo alcanzan resistencias a la compresión comparables, sino que también pueden ser más sostenibles y económicos. La investigación demuestra que el curado con mucílagos naturales puede mantener o incluso mejorar la resistencia a la compresión del concreto, proporcionando una alternativa efectiva para prácticas de construcción en regiones como Abancay.

3.2 Bases Teóricas

3.2.1. Curado del concreto

Es el proceso de sostener la humedad y temperatura óptimas en el concreto que se coloca recién con la finalidad de facilitar que se endurezca y desarrolle su resistencia y durabilidad óptimas. Es una etapa crítica en el proceso de fabricar y colocar el concreto, ya que influye directamente en sus propiedades finales (Liu et al., 2023).

El curado del concreto se requiere debido a la reacción química conocida como hidratación, donde el cemento es mezclado con agua para que se forme una matriz sólida y pueda resistir. Durante este proceso, el agua es esencial para mantener la humedad en el concreto, lo que permite que la hidratación se complete y la resistencia del material se desarrolle plenamente (Dai et al., 2023).

El curado adecuado del concreto ayuda a lograr los siguientes objetivos:

- **Resistencia:** Resistencia: El procedimiento de curado facilita que el concreto logre la resistencia que se desea. La humedad ayudando a que las partículas de cemento se hidraten y se puedan adherir entre sí, formando una estructura sólida y resistente.
- **Durabilidad:** El curado adecuado coopera a mejorar la duración del concreto, disminuyendo la formación de grietas y minimizando el potencial de deterioro debido a factores externos como la sequedad, la temperatura o la exposición a sustancias químicas.
- **Control de contracción:** El curado apoya al control de la contracción del concreto en el procedimiento de secado. Al sostener la humedad en el concreto, se reduce la contracción excesiva y se minimiza la posibilidad de fisuras.

El curado del concreto se puede lograr de varias formas, dependiendo del proyecto y las condiciones específicas. Algunas técnicas comunes de curado incluyen el uso de mantas

húmedas, rociado de agua, membranas de curado, productos químicos de curado y sistemas de curado por vapor. La elección del método dependerá de factores como el clima, el tamaño y la forma de la estructura, y los requisitos del proyecto (Horszczaruk & Brzozowski, 2023).

3.2.1.1. Curado tradicional

El curado tradicional del concreto se refiere a la práctica comúnmente utilizada en la industria de la construcción para curar el concreto mediante la aplicación de agua en forma de riego o mediante la colocación de mantas húmedas sobre la superficie del concreto recién colocado (Aceros Arequipa, 2020).

De tal forma, se realiza la descripción de los métodos de curado tradicional más comunes:

- **Riego:** Consiste en rociar agua sobre la superficie del concreto para mantenerla húmeda. Esto se puede hacer utilizando una manguera con un rociador o mediante la instalación de sistemas de riego automáticos. El riego se realiza regularmente en el proceso de periodo de curado para asegurar que la superficie del concreto no se seque (Alario, 2014).
- **Mantas húmedas:** Se colocan mantas de algodón, yute u otros materiales sobre el concreto para retener la humedad. Estas mantas se humedecen con agua y se mantienen en su lugar durante varios días para proporcionar un entorno húmedo y proteger el concreto de la pérdida de humedad (ReliableCure, 2022).

3.1.1.2 Curado con vapor

El curado con vapor acelera el procedimiento de hidratación del cemento al proporcionar una alta humedad y temperatura, lo que ayuda a que las reacciones químicas ocurran más rápidamente. Como resultado, el concreto puede alcanzar la resistencia que se desea en un determinado periodo de tiempo más corto en comparación con el curado tradicional. Este método es especialmente útil en climas fríos o en proyectos donde se requiere que la resistencia temprana del concreto para avanzar rápidamente con la construcción. También puede ser

utilizado en elementos prefabricados de concreto, donde se necesita un curado rápido para reducir los tiempos de producción y acelerar el proceso de construcción (KraftCuring, 2021).

Es importante tener en cuenta que el curado con vapor debe ser realizado por personal capacitado y bajo la supervisión de profesionales en ingeniería y construcción. Se deben seguir las recomendaciones del fabricante y las pautas técnicas para asegurar un curado adecuado y evitar cualquier daño o deformación en el concreto.

Norma técnica peruana 339.213

“Es una Norma Técnica Peruana que determina los métodos de ensayo para el desarrollo, curado acelerado y ensayo en compresión de prototipos de concreto. Esta norma es equivalente a la ASTM C684, y su versión más reciente fue revisada en 2014” (NTP, 2014).

Objetivo de la norma

Esta norma tiene como propósito evaluar la resistencia al estado comprimido del concreto en edades tempranas mediante técnicas de curado acelerado, lo cual es útil para:

- Control de calidad en obras con cronogramas ajustados.
- Evaluación rápida de mezclas de concreto.
- Investigaciones acerca del proceso de lograr la resistencia del concreto.

Métodos de curado acelerado establecidos

La NTP 339.213 describe cuatro métodos de curado acelerado:

1. **Método A - Agua caliente:** Curado en agua a 35 °C.
2. **Método B - Agua hirviendo:** Curado en agua a 100 °C.
3. **Método C - Curado autógeno:** Utiliza el calor de hidratación del concreto.
4. **Método D - Calor y presión externa:** Curado a 150 °C con presión adicional.

Cada método especifica condiciones como temperatura, tiempo de inicio del curado y duración, adaptándose a diferentes necesidades y recursos disponibles en el laboratorio o en obra.

Aplicaciones prácticas

Los resultados obtenidos mediante estos métodos permiten:

- Tomar decisiones tempranas sobre el desencofrado y la carga de estructuras.
- Comparar la calidad de diferentes mezclas de concreto.
- Optimizar procesos de producción en prefabricado

3.2.1.3. Temperatura de curado

Puede variar en diferentes etapas y situaciones, y depende de varios factores. A continuación, se mencionan algunas temperaturas relacionadas con el concreto:

- Temperatura de mezclado: Durante el procedimiento de mezclado del concreto, el agua y los componentes secos, como el cemento, la arena y la grava, se combinan. La temperatura del agua utilizada para mezclar el concreto suele ser ambiente o cercana a la temperatura ambiente (Claros, 2022)
- Temperatura fresca del concreto: La temperatura del concreto recién mezclado, conocida como temperatura fresca, puede variar según varios factores, como la temperatura ambiente, la temperatura de los ingredientes utilizados y el tiempo de transporte. Por lo general, la temperatura fresca del concreto puede oscilar entre los 10 °C y los 35 °C (Claros, 2022)
- Temperatura de colocación: Cuando el concreto se vierte en el encofrado o molde, su temperatura puede llegar a ser afectada por las condiciones ambientales, como la temperatura del aire y la exposición al sol. Además, la temperatura de colocación también puede variar dependiendo de si se utiliza algún método de enfriamiento o calentamiento del concreto durante el proceso de colocación (Claros, 2022)
- Temperatura de curado: Durante el procedimiento de curado, se busca sostener una temperatura adecuada para fomentar la hidratación y la ejecución de la resistencia que debe poseer el concreto. La temperatura de curado puede variar según las

especificaciones del proyecto y las recomendaciones de diseño, pero generalmente se busca mantenerla dentro de un rango óptimo, que suele ser entre los 10 °C y los 30 °C (Claros, 2022)

Es importante tener en cuenta que el monitoreo de la temperatura en la que se encuentra el concreto es crucial para lograr un rendimiento óptimo y evitar problemas como fisuras o disminución de la resistencia. En proyectos de gran envergadura o con requerimientos especiales, se pueden utilizar técnicas como el enfriamiento o el calentamiento del concreto para sostener la temperatura dentro de los límites deseados.

3.2.1.4 Humidificación

La humidificación del concreto es un procedimiento que se basa en agregar agua adicional al concreto ya colocado o al área circundante con el fin de mantener una alta humedad en el entorno del concreto durante el procedimiento de curado. El objetivo principal de la humidificación es prevenir la pérdida excesiva de humedad por evaporación, lo cual puede ocurrir en condiciones ambientales secas o calurosas (Guo et al., 2023)

La humidificación del concreto es especialmente importante en condiciones de clima seco, caluroso o ventoso, donde la evaporación del agua puede ser rápida. También es útil en proyectos donde se requiere un curado acelerado o cuando se necesita una resistencia temprana del concreto. Es importante destacar que la humidificación debe llevarse a cabo de manera controlada y adecuada para evitar problemas como el exceso de humedad o la formación de fisuras. Se recomienda seguir las pautas y recomendaciones de profesionales en ingeniería y construcción para asegurar un curado óptimo y lograr un concreto de calidad (Chen et al., 2023).

3.2.2. Propiedades mecánicas

Hacen referencia a las capacidades para sostener fuerzas y deformaciones bajo carga. Dichas características son relevantes para analizar la resistencia estructural y el comportamiento del concreto en diferentes aplicaciones de construcción (Ahn et al., 2023).

Algunas de las características mecánicas del concreto incluyen:

- Resistencia a compresión.
- Resistencia a flexión.

3.2.2.1. Resistencia a compresión

Es una particularidad de carácter mecánico importante que se refiere a las capacidades que posee el concreto para enfrentarse a las fuerzas de compresión antes de sufrir alguna deficiencia. Se trata de la resistencia límite que llegue a soportar el concreto antes de que comience a aplastarse o romperse bajo cargas aplicadas en dirección hacia el interior (Lai et al., 2023).

Así mismo, depende de varios criterios, como la calidad y tipo de cemento utilizado, la relación que existe entre el agua y cemento, la modalidad y cantidad de añadidos, el procedimiento de mezclado y curado, la edad del concreto al momento de realizar las pruebas de resistencia. A su vez, se determina a través de compresiones uniaxiales, donde se aplican cargas de compresión gradualmente crecientes al concreto hasta que se produce la falla. Se realizan muestras cilíndricas o cubos de concreto y se aplica la carga en una máquina de ensayo específica. Los resultados de estas pruebas se utilizan para clasificar el concreto en diferentes niveles de resistencia y para asegurar que cumpla con los requisitos de diseño y las normas específicas (Liao et al., 2023)

3.2.2.2. Resistencia a Flexión

Se emplea para establecer la resistencia a las flexiones de prototipos desarrollados y curados con las NTP 339.033 o NTP 339.183. Dichos resultados son calculados y reportados como los módulos de rotura. Así mismo, cuando se determina procederá a variar si existe alguna diferencia en el tamaño de los prototipos, las condiciones en las que debe encontrarse, o si la viga fue moldeada de acuerdo al tamaño necesitado (NTP 339.078,2012).

Procedimiento del Ensayo a Flexión

Preparación de Muestras: Se preparan muestras estandarizadas de los elementos de concreto, generalmente en forma de prismas o vigas rectangulares.

Condiciones de Curado: Las muestras se curan bajo las condiciones específicas del estudio, en este caso, utilizando métodos tradicionales y curado a vapor.

Montaje en Máquina de Ensayo: Las muestras son colocadas en una máquina de ensayo de flexión, que consiste en poseer dos apoyos y cargas aplicadas en el centro.

Aplicación de Carga: Se emplear una carga incremental en el centro de la muestra hasta el instante donde falle. Por tanto, dicha carga se aplica a una velocidad controlada para asegurar condiciones de prueba uniformes.

Registro de Datos: Durante el ensayo, se realizan los registros de los datos de cargas empleadas y la deflexión (deformación) de la muestra. El punto de falla, o la carga máxima soportada, se utiliza para realizar el cálculo de la resistencia a la flexión.

Módulo de rotura (M_r)

$$M_r = \frac{P.L}{b.d^2}$$

Donde:

- M_r = módulo de rotura, en MPa.
- P = carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo en (KN)

- L = Longitud libre entre apoyos (m)
- b = Ancho promedio de la muestra en el sitio de fractura (m)
- d = Altura promedio de la muestra en el sitio de fractura (m)

3.2.2.3. Normatividad de ensayos de concreto

La normatividad de ensayos del concreto hace referencia a la serie de estándares y normas metódicas que establecen los procesos y técnicas para el desarrollo de ensayos y pruebas en el concreto, con la finalidad de evaluar y verificar sus características físicas y mecánicas. Estas normas son desarrolladas por organizaciones y comités de normalización, como ASTM International (American Society for Testing and Materials) e ISO (International Organization for Standardization), y varían según el país y la región.

La normatividad de ensayos del concreto proporciona pautas y especificaciones claras sobre los procesos de muestreo, preparar muestras, ejecutar ensayos y evaluación de resultados. Estas normas garantizan la uniformidad, la confiabilidad y la comparabilidad de los resultados adquiridos en los ensayos de concreto, lo que es relevante para el diseño y el desarrollo de estructuras seguras y duraderas.

Algunas de las normas más comunes utilizadas en los ensayos del concreto incluyen:

- ASTM C39: Técnica estándar de ensayo para la resistencia a comprimir el concreto cilíndrico.
- ASTM C78: Técnica estándar de ensayo para el establecimiento de resistencia a las flexiones del concreto.

Estas normas también pueden abordar aspectos relacionados con el curado del concreto, la preparación de mezclas, la medición de la temperatura del concreto, el muestreo de agregados y otros procedimientos y prácticas relevantes para la evaluación del concreto.

3.2.3. Concreto prefabricado

Es una modalidad de concreto que se produce en una fábrica o planta de producción en lugar de ser vertido y moldeado en el lugar de construcción. Se conforma específicamente de cemento, agregados (como arena y grava), agua y aditivos, y se fabrica en elementos estructurales, paneles, vigas, losas u otros componentes prefabricados (Cao et al., 2023)

El uso de concreto prefabricado tiene varias ventajas. En primer lugar, facilita poseer un control mayor de calidad, debido a que el procedimiento de fabricación se lleva a cabo en condiciones controladas y se pueden implementar pruebas y controles rigurosos. Además, la producción en masa y la automatización en la planta pueden resultar en una mayor eficiencia y reducción de costos. También se puede lograr una mayor precisión en las dimensiones y formas de los elementos prefabricados (Zhao et al., 2023).

3.2.4. Granulometría de los agregados

La granulometría es el estudio de la estructuración de tamaños de partículas que conforman los agregados, tanto finos como gruesos, y constituye un indicador esencial en el diseño de mezclas de concreto. Una óptima gradación mejora el compacto, reduce la cantidad de vacíos, optimiza la dosificación de la pasta de cemento y, por ende, mejora la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del concreto (Neville, 2011).

El proceso para realizar el análisis granulométrico está descrito en la Norma Técnica Peruana NTP 400.037:2016, equivalente a la norma ASTM C136, que establece el ensayo por tamizado en seco. El método consiste en tomar una muestra específica del agregado (fino o grueso), previamente secada en horno, y pasarla mediante un conjunto de tamices normalizados, con aberturas decrecientes. Los tamices comúnmente utilizados incluyen:

- Para agregado fino: 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100 y fondo.
- Para agregado grueso: 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", No. 4 y fondo.

Se pesa la fracción retenida en cada tamiz, y es calculada el valor porcentual que pasa agrupada. Con estos datos se construye la curva granulométrica, que permite observar la distribución y comparar los resultados con las bandas granulométricas especificadas en las normas NTP 400.018 (agregado fino) y NTP 400.020 (agregado grueso).

Un agregado bien graduado contiene una variedad de tamaños de partículas que se acomodan mejor entre sí, reduciendo vacíos y optimizando la compactación. Por el contrario, un agregado mal graduado (por exceso de partículas finas o gruesas) puede provocar segregación, exudación o una mayor demanda de agua.

3.3. Definición de Términos

Durabilidad

Se refiere a las capacidades que posee el concreto para resistir los procesos de deterioros y sostener su rendimiento en un determinado periodo de tiempo bajo condiciones ambientales desfavorables, como sucede con exponer la humedad, las conversiones de temperatura, los agentes químicos y la acción del desgaste (Dongo et al., 2019).

Curado acelerado

Es un método de curado del concreto que considera la aplicación de condiciones controladas, como calor o aditivos químicos, para incrementar el procedimiento de fraguado y endurecimiento. El curado acelerado se utiliza cuando se requiere un desarrollo rápido de resistencia en el concreto (Yazdani et al., 2008).

Fraguado

Es un procedimiento fundamental en la cimentación que considera la transformación del concreto fresco, que es inicialmente una mezcla plástica y manejable, en un material sólido y resistente. Este proceso ocurre a través de reacciones químicas entre el cemento y el agua, denominadas como hidratación. El fraguado es crucial para determinar las propiedades finales del concreto, incluida su resistencia y durabilidad (Neville, 2013).

Concreto

Se refiere a las mezclas de cemento Portland u otros cementos, añadidos finos, gruesos y agua, sean con o sin agregados (Norma E.060, 2019).

Microestructura

Hace referencia a la estructura a nivel microscópico del concreto, que incluye la disposición y la interacción de los elementos del material, como los granos de cemento, los agregados y los poros. La microestructura influye en las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto (Ahn et al., 2023)

Curado del concreto

El curado es el proceso que permite mantener las condiciones de humedad y temperatura adecuadas para que el concreto complete su hidratación y desarrolle sus propiedades mecánicas óptimas (Neville, 2011).

Curado a vapor

El curado a vapor consiste en exponer el concreto a una atmósfera húmeda y caliente que acelera el proceso de hidratar el cemento, permitiendo una elaboración rápida de resistir inicialmente, aunque puede comprometer propiedades a largo plazo (KraftCuring, 2021).

Curado tradicional o húmedo

El curado tradicional implica mantener el concreto en contacto con agua o en un ambiente húmedo durante un período determinado, lo cual garantiza una hidratación continua y un buen desarrollo de resistencia (ACI Committee 308, 2020).

Concreto prefabricado

Es un tipo de concreto que se moldea y endurece en un entorno controlado antes de su transporte e instalación en obra, permitiendo mayor control de calidad y eficiencia constructiva (Dongo et al., 2019).

Resistencia a la compresión

Se refiere a la capacidad que posee el concreto para resistir cargas aplicadas axialmente sin equivocarse, y es una de las propiedades más utilizadas para evaluar su calidad estructural (Neville,2011).

Elemento de cerco perimétrico

Son estructuras lineales prefabricadas, generalmente en forma de paneles o postes de concreto, utilizadas para delimitar áreas, brindar seguridad y privacidad, tanto en zonas urbanas como rurales (Sah et al., 2024).

Normatividad de ensayos de concreto

La normatividad de ensayos del concreto hace referencia a una serie de estándares y normas técnicas que establecen los procesos y técnicas para desarrollar ensayos y pruebas en el concreto, con la finalidad de evaluar y verificar las características físicas y mecánicas. Estas normas son desarrolladas por organizaciones y comités de normalización, (American Society for Testing and Materials).

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

Hernández Sampieri (2018) indica que el tipo aplicada se selecciona para este estudio debido a su objetivo de producir conocimientos prácticos y soluciones específicas para abordar problemáticas específicas en el campo de la ingeniería. El propósito fundamental de la presente tesis aplicada es utilizar los hallazgos obtenidos para solucionar problemáticas reales y mejorar la práctica profesional.

En esta tesis fue de tipo aplicada donde se utilizó las metodologías de los ensayos de compresión y flexión para establecer sus resistencias.

En esta tesis tuvo un nivel explicativo porque se pretende identificar y entender cómo el método de curado del concreto (variable independiente) afecta las características mecánicas de los elementos prefabricados de concreto utilizados en características mecánicas (variable dependiente). La tesis busca no solo describir la variabilidad de estas propiedades, sino también explicar las razones detrás de estas diferencias, proporcionando un análisis causal detallado que permita la mejora de prácticas de producción y garantizar la calidad y duración de las construcciones en Abancay.

4.2 Ámbito temporal y espacial

Ámbito temporal

El presente estudio fue desarrollado dentro de un marco temporal correspondiente al año 2024. periodo en el cual se planificó, ejecutó y analizó el estudio experimental sobre los métodos de curado del concreto. Este horizonte temporal fue determinado en función de la disponibilidad de recursos técnicos, la programación de actividades académicas y la viabilidad logística para el desarrollo y ensayo de los elementos prefabricados en condiciones controladas. Asimismo, permitió realizar un seguimiento sistemático del comportamiento mecánico del

concreto en distintos intervalos de curado, de acuerdo a los estándares determinados por el marco normativo técnico vigente.

Ámbito espacial

En cuanto al ámbito espacial, el estudio tuvo lugar en la ciudad de Abancay, capital de la región Apurímac, ubicada en la zona surandina del Perú. La elección de esta localidad responde a su creciente desarrollo urbano y a la creciente demanda de soluciones constructivas eficientes como los cercos perimétricos prefabricados, ampliamente utilizados en proyectos residenciales, institucionales y agrícolas. Además, el clima templado de Abancay y su altitud superior a los 2,300 metros sobre el nivel del mar representan factores determinantes en la velocidad de fraguado y en el comportamiento del concreto, lo cual transforma al entorno geográfico en un elemento relevante del análisis experimental. Las actividades de elaboración de las muestras, aplicación de los métodos de curado y evaluación de propiedades mecánicas se llevaron a cabo en laboratorios de ensayo locales, cumpliendo con las condiciones técnicas requeridas para garantizar la validez del estudio.

4.3 Población y muestra

Población

Según Arispe (2020) indica que es un conjunto de características en común y son halladas en un determinado ambiente. En diversos casos, no permite evaluar a toda la población en base al tiempo y recursos humanos. Por tanto, debe ser desarrollada con una parte.

La población de esta presente tesis se encontró compuesta por las briquetas de concreto que cumplen con las características y especificaciones, y que son reprimidas a pruebas de resistencia mecánica (compresión y flexión).

Muestra

Según Arispe (2020) indica que la muestra hace referencia a un subgrupo de sucesos de una determinada población en la que se recaudan informaciones. Lo cual, facilita el ahorro de

tiempo, disminuir costos y si esta seleccionada adecuada puede cooperar con las precisiones y exactitud de las informaciones.

La muestra de estudio de esta presente tesis estuvo conformada por 30 unidades muestrales para resistencia a compresión y 18 unidades muestrales para resistencia a flexión.

De tal modo serán distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 2

Unidades muestrales

Ensayo	Cantidad de muestras					
	Curado tradicional			Curado a vapor		
	7 días	14 días	28 días	24 hrs	48 hrs	72 hrs
Resistencia a compresión	5	5	5	5	5	5
Resistencia a flexión	3	3	3	3	3	3

Nota. Datos considerados para determinar la cantidad de muestras utilizadas para los ensayos de compresión y flexión. Elaboración propia

4.4 Instrumentos

Arias et al. (2022) menciona que una ficha de recaudación de información es una herramienta empleada cuando se requiere colocar las informaciones transcritas cuando se recolectan los datos, debido a que será requerida en diversas fases del estudio.

El instrumento empleado en la presente tesis es la ficha de recaudación de información acerca de la capacidad para recolectar datos de forma sistémica y estructural. Dicha ficha de recaudación de información es un instrumento que facilita realizar la organización y registro de forma precisa en los diversos aspectos importantes vinculados con las características obtenidas con el curado tradicional y el curado a vapor. (Todos los formatos o Fichas de observación están en anexos).

4.5 Procedimientos

Para llevar a cabo el análisis estadístico de los resultados adquiridos de las pruebas a compresión y flexión de los elementos prefabricados de concretos curados mediante métodos tradicionales y a vapor, se pueden utilizar las pruebas de t de Student. Primero, se debe recopilar la información de los ensayos a compresión y flexión para las muestras de concreto curadas mediante ambos métodos (tradicional y a vapor). Los datos deben incluir valores de compresión (fuerza máxima soportada antes de la falla) y valores de flexión (carga máxima antes de la ruptura).

Se organiza los datos en una tabla donde se puedan identificar claramente los dos grupos (curado tradicional y curado a vapor). Muestra (Método de Curado Compresión (MPa)) (Flexión (MPa)). Se realiza la prueba t de Student para comparar las medias de los dos grupos. La hipótesis nula (H_0) determina que no exista diferencia significativa entre las medias de los dos grupos, por otro lado, la hipótesis alternativa (H_1) indica que exista una diferencia significativa entre las medias. Se calculan la media y la desviación estándar de cada conjunto para las pruebas de compresión y flexión.

Finalmente, se interpretan los resultados. Si el valor p obtenido de la prueba t es inferior al grado de significancia (0.05), se rechaza la hipótesis nula y se llega a la conclusión que existe diferencia significativa entre los grupos. Si el valor p es mayor que el grado de significancia, no se rechaza la hipótesis nula, indicando que no hay evidencia suficiente para afirmar la existencia de una diferencia significativa entre los grupos.

4.6 Análisis de datos

Para el tratamiento de la información obtenida en la investigación, se aplicó un enfoque cuantitativo, sustentado en la recopilación y análisis de información numérica proveniente de ensayos experimentales realizados en elementos prefabricados de concreto tipo cerco perimétrico. El análisis se centró en la comparación de las características mecánicas del

concreto principalmente la resistencia a la compresión y la flexión por compresión diametral de muestras sometidas a dos métodos de curado: curado a vapor a las 24 horas, 48 horas y 72 horas y curado tradicional por inmersión.

Las muestras fueron evaluadas, siguiendo los protocolos determinados por el marco normativo técnico ASTM C39 y ASTM C 78. Los resultados obtenidos fueron sistematizados en matrices de datos, organizadas por método de curado y tiempo de ensayo. Posteriormente, se calcularon medidas de tendencia central (media aritmética) y dispersión (desviación estándar) para cada grupo experimental.

Asimismo, se desarrollaron análisis comparativos entre ambos métodos empleando gráficos de barras y líneas, a fin de visualizar las diferencias de comportamiento mecánico entre los grupos de estudio a lo largo del tiempo. Para la determinación de existir de diversas estadísticas significantes entre los métodos de curado, se emplearon pruebas de hipótesis empleando el software estadístico SPSS, concretamente la prueba t de Student para muestras independientes, con un grado de significancia del 5% ($p < 0.05$).

El tratamiento estadístico permitió identificar las variaciones en el desarrollo de la resistencia mecánica de los elementos según el método de curado empleado, así como determinar cuál de ellos garantiza un mejor desempeño estructural. De esta manera, el análisis de datos respaldó de manera objetiva las conclusiones del estudio, proporcionando evidencias empíricas acerca la eficacia de las técnicas de curado evaluados en condiciones locales de Abancay.

4.7 Consideraciones éticas

La presente tesis fue desarrollada en estricto cumplimiento de los principios éticos que rigen la práctica científica, asegurando la integridad, transparencia y responsabilidad en cada una de las fases del procedimiento investigativo. Al tratarse de un estudio experimental con

materiales inertes, no se involucró directamente a seres humanos, animales ni datos personales, lo cual minimiza los riesgos asociados a la vulneración de derechos fundamentales.

No obstante, se respetaron las normativas institucionales y los estándares técnicos aplicables a la manipulación de materiales de construcción en ambientes controlados, velando por la seguridad de los operadores y del entorno. Las actividades experimentales fueron realizadas en laboratorios autorizados, con personal capacitado y equipos calibrados, lo que asegura la confiabilidad y trazabilidad de los resultados adquiridos.

Asimismo, se garantizó la originalidad del contenido, evitando el plagio mediante el uso adecuado de fuentes bibliográficas y el reconocimiento de los aportes de otros autores, conforme al sistema de citación en estilo APA 7ma edición. En caso de utilizar documentación técnica, normativa o publicaciones previas, se procedió con el debido respeto a los derechos de autor y a las políticas de acceso abierto o licencias correspondientes.

Finalmente, los resultados de este estudio se pondrán a disposición de la comunidad académica con fines estrictamente científicos, sin tergiversación de datos ni intereses comerciales, promoviendo el desarrollo ético y sostenible de la ingeniería civil en la región de Abancay.

V. Resultados y discusión

5.1 Resultados

Ensayo de agregados y diseño de mezcla

Tabla 3

Granulometría del agregado fino

Tamiz		Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
U.S Standard	Mm	Masa (g)			
3/8"	9.5	0	0	0	100
#4	4.74	91	7.1	7.1	92.9
#8	2.36	246.2	19.3	26.4	73.6
#16	1.18	278.2	21.8	48.3	51.7
#30	0.6	157	12.3	60.6	39.4
#50	0.3	124.2	9.7	70.3	29.7
#100	0.15	198.4	15.6	85.9	14.1
#200	0.08	43.6	3.4	89.3	10.7
Pasa # 200		136.4	10.7	Cumple especificación	
Total, Tamizado (g)		1138.6	Módulo de fineza		3

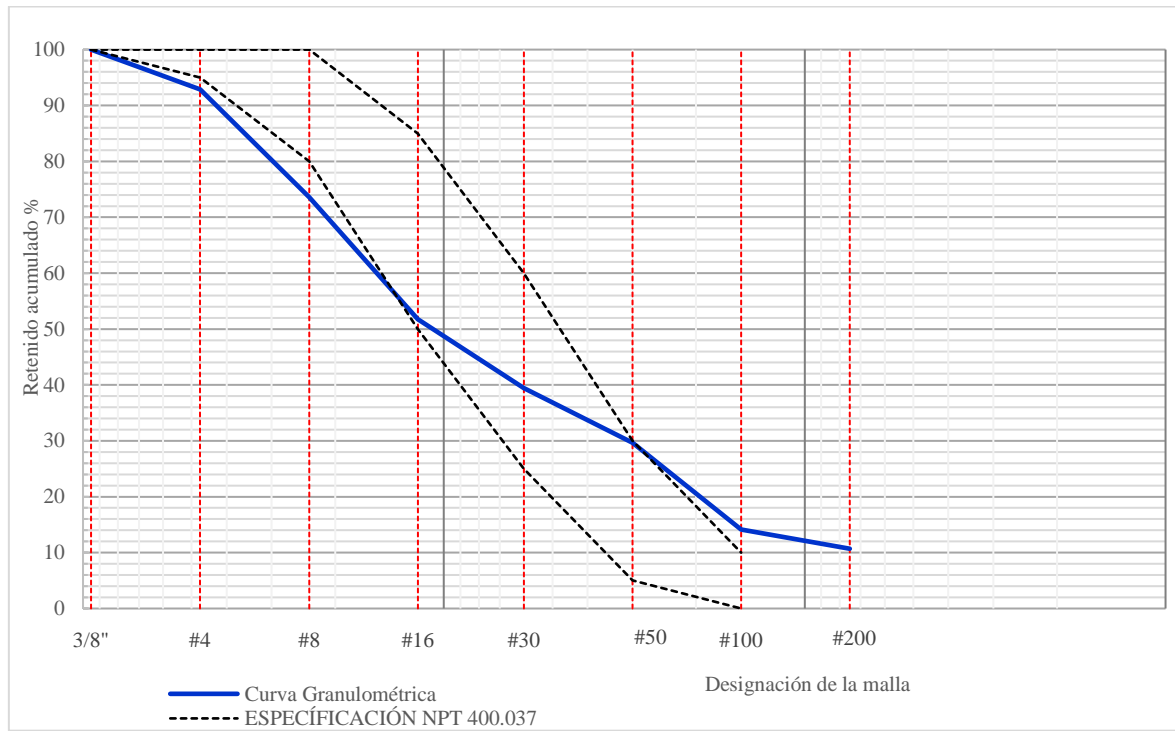
Nota. Datos tomados de los resultados del laboratorio Lunix ingeniero,2024, nos indica la granulometría del agregado fino.

En la tabla 3 se muestra el análisis granulométrico de un agregado fino, donde se observa que el 100% del material pasa el tamiz de 3/8" (9.5 mm), indicando la ausencia de partículas gruesas. La distribución granulométrica revela que el 70.3% del material es retenido en el tamiz N° 50 (0.30 mm), caracterizándolo como una arena de granulometría media. El módulo de fineza obtenido es 3.0, dentro del rango óptimo para concreto, y el porcentaje de finos que pasa el tamiz N° 200 es de 10.7%, cumpliendo con las especificaciones normativas.

Estos resultados sugieren que el agregado analizado es adecuado para su uso en mezclas de concreto y construcción.

Figura 1

Curva granulométrica del agregado Fino



Nota. La figura muestra la distribución granulométrica del agregado Fino. Fuente: Datos de laboratorio Lunix ingenieros, 2024

Tabla 4*Granulometría del agregado grueso*

Masa total húmeda antes del lavado (g):	2278.4	Masa seca lavada sobre el tamiz No. 200 (g):	2066.9	
Masa total seca calculada (g):	2272.0	Error (%):	0.00	
Tamiz	.	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
U.S Standard	mm			
4"	100.00	0.0	0.0	100.0
3 1/2"	90.00	0.0	0.0	100.0
3"	75.00	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.00	0.0	0.0	100.0
2"	50.00	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.00	124.8	5.5	94.5
1/2"	12.50	1279.7	56.3	38.2
3/8"	9.50	360.7	15.9	22.3
#4	4.75	299.2	13.2	9.1
#8	2.36	0.6	0.0	9.1
#16	1.18	0.9	0.0	9.1
#50	0.30	1.0	0.0	9.0
Pasa #50		205.1	9.0	Cumple con especificación:
Total, Tamizado (g)		2066.9		

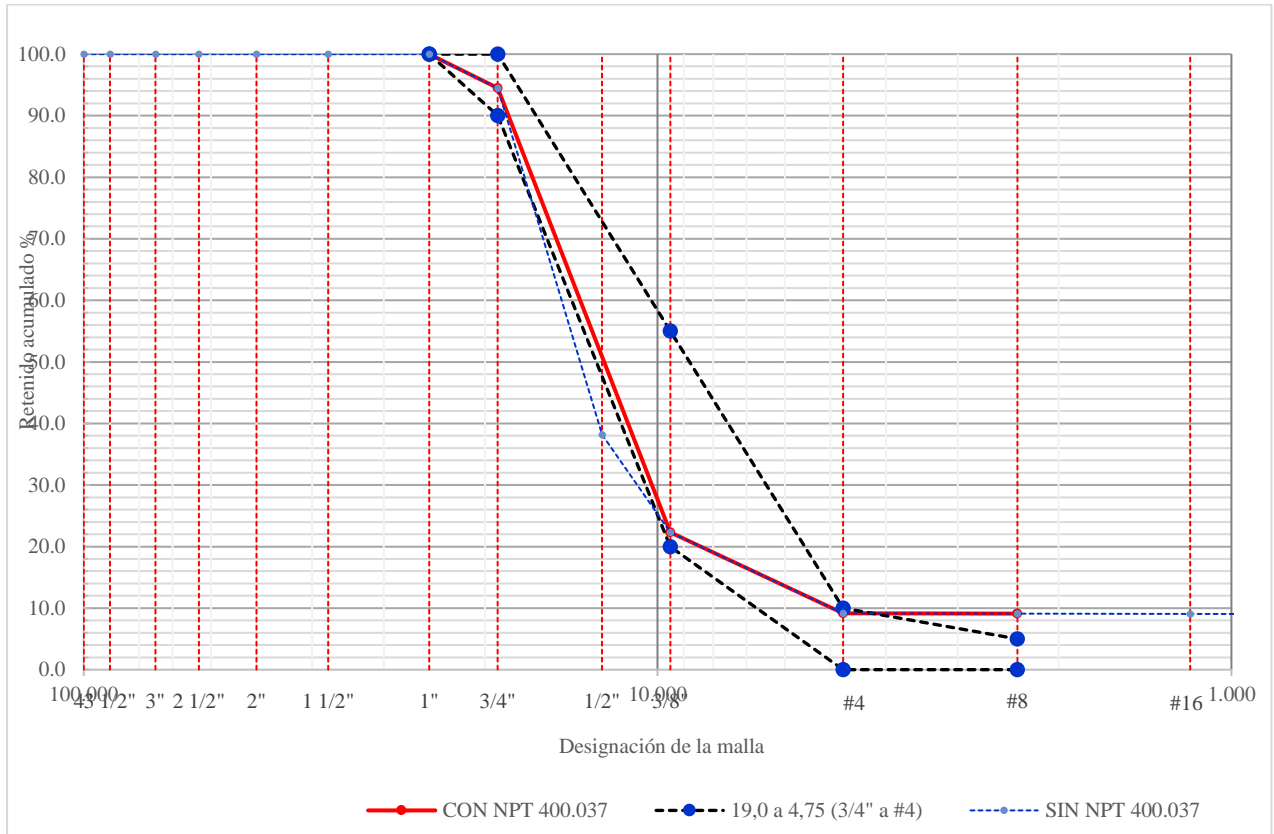
Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestra la distribución de los tamaños del agregado grueso.

En la tabla 4 se muestra el análisis granulométrico de un agregado grueso, donde se observa que el 100% del material pasa los tamices de 4" (100 mm) a 1" (25 mm), lo que indica la carencia de partículas de gran tamaño. El mayor porcentaje que se retuvo se encuentra en el tamiz de 1/2" (12.5 mm) con un 56.3%, seguido del tamiz de 3/8" (9.5 mm) con un 15.9%, lo que sugiere que el material está compuesto principalmente por partículas de tamaño medio. Además, el 9.0% del material pasa el tamiz N° 50 (0.30 mm), lo que indica un contenido controlado de finos. Estos resultados muestran que el agregado cumple con las especificaciones

normativas y es adecuado para su aplicación en concreto estructural, proporcionando una óptima gradación para mezclas de alta resistencia.

Figura 2

Curva granulométrica del agregado grueso



Nota. La figura muestra la distribución de los tamaños del agregado grueso. Fuente Datos del laboratorio Lunix ingenieros,2024.

Tabla 5*Peso Unitario suelto del agregado grueso*

Peso unitario suelto y vacíos del agregado grueso			
Datos del ensayo	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso del molde (gr)	4010	4010	4010
Peso del molde + muestra suelta (gr)	18290.0	18250.0	18590.0
Peso de la muestra suelta (gr)	14280.0	14240.0	14580
Volumen del molde (cm ³)	9438.95	9438.95	9438.95
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.513	1.509	1.545
Peso específico (kg/m ³)	2644.031	2644.031	2644.031
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1512.880	1508.642	1544.663
Porcentaje de vacíos	42.78%	42.94%	41.58%
Peso unitario suelto (kg/m ³)		1522.062	
Porcentaje de vacíos		42.43%	

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros, 2024, que muestran el peso unitario suelto del agregado grueso.

En la tabla 5 se muestra el análisis del peso unitario suelto y el porcentaje de vacíos del agregado grueso, determinado a partir de tres muestras. Los resultados indican que el peso unitario suelto varía entre 1508.642 kg/m³ y 1544.663 kg/m³, con un valor promedio de 1522.062 kg/m³, lo que refleja una adecuada uniformidad en la densidad del material. Asimismo, el porcentaje de vacíos oscila entre 41.58% y 42.94%, con un valor promedio de 42.43%, lo que sugiere que el agregado presenta una estructura relativamente porosa, influyendo en la trabajabilidad y compactación de la mezcla de concreto. Estos resultados permiten evaluar la eficiencia del agregado en términos de densidad y espacio disponible para la pasta de cemento en la mezcla.

Tabla 6*Peso Unitario varillado del agregado grueso*

Peso unitario varillado y vacíos del agregado grueso			
Datos del ensayo	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Número de capas	3	3	3
Número de golpes	25	25	25
Peso del molde (gr)	4010	4010	4010
Peso del molde + muestra varillada (gr)	19920.0	19810.0	19920.0
Peso de la muestra varillada (gr)	15910.0	15800.0	15910.0
Volumen del molde (cm ³)	9438.95	9438.95	9438.95
Peso unitario varillado (gr/cm ³)	1.686	1.674	1.686
Peso específico (kg/m ³)	2644.031	2644.031	2644.031
Peso unitario varillado (kg/m ³)	1685.57	1673.92	1685.57
Porcentaje de vacíos	36.25%	36.69%	36.25%
Peso unitario varillado (kg/m ³)		1681.68	
Porcentaje de vacíos		36.40%	

Nota. Datos tomados del laboratorio *Lunix ingenieros,2024*, que muestran el peso unitario varillado del agregado grueso.

En la tabla 6 se percibe el análisis del peso unitario varillado y el porcentaje de vacíos del agregado grueso, obtenido a partir de tres muestras compactadas en tres capas con 25 golpes cada una. Los resultados indican que el peso unitario varillado varía entre 1673.92 kg/m³ y 1685.57 kg/m³, con un valor promedio de 1681.68 kg/m³, lo que demuestra una adecuada compactación del material. Asimismo, el porcentaje de vacíos oscila entre 36.25% y 36.69%, con un valor promedio de 36.40%, reflejando una reducción en la porosidad respecto al estado suelto del agregado.

Tabla 7*Peso unitario suelto agregado del fino*

Peso unitario suelto y vacíos del agregado fino			
Datos del ensayo	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso del molde (gr)	2130	2130	2130
Peso del molde + muestra suelta (gr)	6763	6792	6825
Peso de la muestra suelta (gr)	4633	4662	4695
Volumen del molde (cm ³)	2831.68	2831.68	2831.68
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.636	1.646	1.658
Peso específico (kg/m ³)	2722.408	2722.408	2722.408
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1636.131	1646.372	1658.026
Porcentaje de vacíos	39.90%	39.53%	39.10%
Peso unitario suelto (kg/m ³)		1646.843	
Porcentaje de vacíos		39.51%	

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran el peso unitario suelto agregado del Fino.

En la tabla 7 se percibe el análisis del peso unitario suelto y el porcentaje de vacíos del agregado fino, determinado a partir de tres muestras. Los resultados indican que el peso unitario suelto varía entre 1636.131 kg/m³ y 1658.026 kg/m³, con un valor promedio de 1646.843 kg/m³, lo que refleja una distribución uniforme de la densidad del material. Asimismo, el porcentaje de vacíos oscila entre 39.10% y 39.90%, con un valor promedio de 39.51%, evidenciando una estructura relativamente porosa. Estos valores permiten evaluar la compacidad del agregado fino y su influencia en la trabajabilidad y cohesión de la mezcla de concreto, asegurando un adecuado desempeño en su aplicación en elementos.

Tabla 8*Peso unitario varillado del agregado fino*

Peso unitario varillado y vacíos del agregado fino			
Datos del ensayo	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Número de capas	3	3	3
Número de golpes	25	25	25
Peso del molde (gr)	2130	2130	2130
Peso del molde + muestra varillada (gr)	7656	7648	7605
Peso de la muestra varillada (gr)	5526	5518	5475
Volumen del molde (cm ³)	2831.68	2831.68	2831.68
Peso unitario varillado (gr/cm ³)	1.951	1.949	1.933
Peso específico (kg/m ³)	2722.408	2722.408	2722.408
Peso unitario varillado (kg/m ³)	1951.492	1948.667	1933.481
Porcentaje de vacíos	28.32%	28.42%	28.98%
Peso unitario varillado (kg/m ³)		1944.55	
Porcentaje de vacíos		28.57%	

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran el peso unitario varillado del agregado fino.

En la tabla 8 se muestra el análisis del peso unitario varillado y el porcentaje de vacíos del agregado fino, obtenido mediante la compactación en tres capas con 25 golpes cada una. Los resultados indican que el peso unitario varillado varía entre 1933.481 kg/m³ y 1951.492 kg/m³, con un valor promedio de 1944.55 kg/m³, lo que evidencia una mayor densidad en comparación con el estado suelto del material. Asimismo, el porcentaje de vacíos se encuentra entre 28.32% y 28.98%, con un valor promedio de 28.57%, reflejando una reducción significativa de la porosidad tras la compactación. Estos valores permiten evaluar la influencia del agregado fino en la densidad y trabajabilidad del concreto, asegurando una mejor cohesión y resistencia en la mezcla final.

Tabla 9*Peso Específico y absorción*

Peso específico y absorción del agregado grueso	
Datos del ensayo	Muestra 01
Peso de la canastilla sumergida (gr)	1105.3
Peso de la muestra seca (gr)	2943.6
Peso de la canastilla + muestra sumergida (gr)	2966.1
Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr)	2974.1
Peso del agua absorbida (gr)	30.5
Peso específico (gr/cm ³)	2.64
Capacidad de absorción (%)	1.04%

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran el peso específico y absorción.

En la tabla 9 se muestra el análisis del peso específico y la capacidad de absorción del agregado grueso, obtenidos a partir del ensayo de saturación y pesaje en estado seco y sumergido. El peso específico registrado es de 2.64 g/cm³, lo que indica la densidad relativa del material en comparación con el agua. Además, la capacidad de absorción es del 1.04%, reflejando la cantidad de agua que el agregado puede retener en su superficie. Estos valores son relevantes para el diseño de mezclas de concreto, ya que presenta influencia en la proporción de agua y en la trabajabilidad de la mezcla, asegurando un adecuado desempeño estructural del material.

Tabla 10*Contenido de humedad agregado grueso*

Contenido de humedad del agregado grueso	
Ensayo	1
Cápsula N°	O-3
Peso agregado húmedo + recipiente (g)	683.10
Peso agregado seco + recipiente (g)	681.40
Peso del agua (g)	1.70
Peso del recipiente (g)	72.30
Peso neto del suelo seco (g)	609.10
% de humedad	0.28
W (%) promedio = 0.28	

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran el contenido de humedad agregado grueso.

En la tabla 10 se percibe el contenido de humedad del agregado grueso obtenido mediante el secado en horno. El ensayo indica que el porcentaje de humedad promedio es de 0.28%, lo que sugiere un bajo contenido de agua en el material. Dicho valor es relevante para el diseño de mezclas de concreto, ya que un contenido de humedad elevado podría afectar la relación agua-cemento, modificando la resistencia y trabajabilidad de la mezcla.

Tabla 11*Contenido de humedad agregado fino*

Contenido de humedad del agregado fino	
Ensayo	1
Cápsula N°	M-6
Peso agregado húmedo + recipiente (g)	452.80
Peso agregado seco + recipiente (g)	437.10
Peso del agua (g)	15.70
Peso del recipiente (g)	72.70
Peso neto del suelo seco (g)	364.40
% de humedad	4.31
W (%) promedio = 4.31	

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros, 2024, que muestran el contenido de humedad agregado fino.

En la tabla 11 se percibe el contenido de humedad del agregado fino, determinado mediante el secado en horno. El ensayo arroja un porcentaje de humedad promedio de 4.31%, lo que indica una cantidad significativa de agua en el material. Este valor es crucial en el diseño de mezclas de concreto, debido a que un exceso de humedad en el agregado fino puede alterar la relación agua-cemento, afectando la resistencia, durabilidad y trabajabilidad de la mezcla.

Diseño de mezcla

Tabla 12*Volumen de agregado grueso*

Calculo volumen de agregado grueso					
T. Máx. agregado:	3/4		módulo de finura		
Módulo de fineza de la arena:	3	2.4	2.6	2.8	3
		0.66	0.64	0.62	0.6
Volumen de A°G° compactado seco:	0.6	m ³	Volumen del agregado:	0.382	m ³

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros que muestran el volumen de agregado grueso

En la tabla 12 se muestra el cálculo del volumen del agregado grueso basado en el tamaño máximo nominal de 3/4" y un módulo de finura de la arena de 3.00, según la tabla A1.5.3.6 del ACI 211.1. El volumen del agregado grueso compactado en estado seco es de 0.6 m³, lo que resulta en un volumen de agregado de 0.382 m³ en la mezcla. Estos valores son esenciales para garantizar una dosificación adecuada en el diseño de mezclas de concreto, optimizando la resistencia y trabajabilidad del material.

Tabla 13

Volumen de aire

Calculo volumen del aire			
Con aire incorporado		Sin aire incorporado	
Tamaño máximo agregado:	3/4 "	Tamaño máximo agregado:	3/4 "
Aire atrapado:	3.5 %	Aire atrapado:	2 %
Volumen del aire:	0.020 m ³		

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran el volumen de aire.

En la tabla 13 se muestra el cálculo del volumen del aire en la mezcla de concreto considerando dos condiciones: con y sin aire incorporado. Para un tamaño máximo de agregado de 3/4", el aire atrapado es del 3.5% cuando se incorpora aire y del 2% cuando no se incorpora, como resultado, el volumen del aire en la mezcla es de 0.020 m³, un factor clave en la trabajabilidad y durabilidad del concreto.

Tabla 14

Cálculo de volumen absoluto de la arena

Calculo volumen absoluto de la arena			
Volumen de agua:	0.19 m ³	Volumen de la arena:	0.319 m ³
Volumen de cemento:	0.089 m ³		
Volumen del agregado grueso:	0.382 m ³		
Volumen del aire:	0.020 m ³		
Total:	0.681 m ³		

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran el volumen de aire.

En la tabla 14 se muestra el cálculo del volumen absoluto de la arena en la dosificación del concreto, donde se considera el volumen de los diferentes componentes de la mezcla. El agua representa un volumen de 0.19 m³, mientras que la arena ocupa 0.319 m³, el cemento 0.089 m³ y el agregado grueso 0.382 m³. Además, se ha considerado un volumen de aire atrapado de 0.020 m³, lo que da un total de 0.681 m³. Estos valores permiten establecer las proporciones óptimas de materiales en la mezcla, garantizando un equilibrio entre resistencia, trabajabilidad y durabilidad del concreto.

Tabla 15

Cálculo de pesos

Cálculo de pesos						
Elemento	Volumen absoluto	Peso específico		Peso		
Agua	0.19 m ³	1000	Kg/m ³	190.0	Kg.	
Cemento	0.08927 m ³	3130	Kg/m ³	279.4	Kg.	
Agregado grueso (seca)	0.382 m ³	2640	Kg/m ³	1009.0	Kg.	
Agregado fino (seca)	0.319 m ³	2720	Kg/m ³	866.4	Kg.	
Aire	0.020 m ³	0	Kg/m ³	0.0	Kg.	
Totales	1 m ³			2345	Kg.	

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran los cálculos de pesos.

En la tabla 15 se muestra el cálculo de los pesos de los materiales que conforman la mezcla de concreto, considerando sus volúmenes absolutos y pesos específicos. El agua tiene un peso de 190.0 kg, mientras que el cemento alcanza los 279.4 kg. El agregado grueso, con un volumen de 0.382 m³ y un peso específico de 2640 kg/m³, contribuye con 1009.0 kg, mientras que el agregado fino, con 0.319 m³ y un peso específico de 2720 kg/m³, aporta 866.4 kg. Se ha considerado un volumen de aire de 0.020 m³ sin peso significativo, obteniendo un peso total de la mezcla de 2345 kg por metro cúbico, lo que permite evaluar la densidad y composición del concreto para garantizar sus propiedades estructurales.

Tabla 16*Cálculo de peso de agua*

Cálculo de peso de agua final - corrección por humedad y absorción						
		Pesará	Balance de agua	Contribución de agua		
	humedad					
Agregado grueso húmedo:	0.28	1011.8	-0.008	-7.690	Kg	
Agregado fino húmedo:	4.31	903.7	0.019	17.44	Kg	
Agua final:	180.2Kg	Peso combinado agregados	1915.6	Kg	AG/A	53 / 47
		kg:			F	

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran cálculo de pesos.

En la tabla 16 se percibe el cálculo del peso final del agua considerando la corrección por humedad y absorción de los agregados. El agregado grueso, con un contenido de humedad del 0.28%, tiene un peso húmedo de 1011.8 kg, generando un balance de agua negativo de -7.69 kg debido a su baja absorción. Por otro lado, el agregado fino, con una humedad del 4.31%, alcanza un peso de 903.7 kg, contribuyendo con 17.44 kg de agua adicional. Tras estos ajustes, el peso final del agua en la mezcla es de 180.2 kg, con un balance total de agregados de 1915.6 kg y una proporción agregados gruesos/finos de 53/47, lo que presenta influencia en la trabajabilidad y resistencia del concreto.

Para dosificación

Tabla 17

Dosificación para 1 m³

Elemento	Por peso	Por volumen suelto
Agua	180.25 Kg	0.180 m ³
Cemento	279.41 Kg	6.57 bolsas
Agregado grueso	1011.83 Kg	0.685 m ³
Agregado fino	903.75 Kg	0.541 m ³

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la dosificación para 1 m³.

En la tabla 17 se percibe la distribución de los materiales en función de su peso y volumen suelto para la dosificación del concreto. El agua tiene un peso de 180.25 kg y un volumen de 0.180 m³, mientras que el cemento alcanza los 279.41 kg, equivalente a 6.57 bolsas. El agregado grueso representa la mayor proporción, con un peso de 1011.83 kg y un volumen de 0.685 m³, seguido por el agregado fino con 903.75 kg y 0.541 m³ de volumen.

Tabla 18

Dosificación para una bolsa 42.5 kg

Elemento	Por peso	Por volumen suelto
Agua	27.4 Kg	0.027 m ³
Cemento	42.5 Kg	1.000 bolsa
Agregado grueso	153.9 Kg	0.104 m ³
Agregado fino	137.5 Kg	0.082 m ³

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la dosificación para una bolsa 42.5 kg.

En la tabla 18 se percibe la distribución de los materiales por peso y volumen suelto para una dosificación específica de concreto. El agua tiene un peso de 27.4 kg y un volumen de 0.027 m³, mientras que el cemento pesa 42.5 kg, equivalente a 1 bolsa. El agregado grueso alcanza los 153.9 kg con un volumen de 0.104 m³, y el agregado fino pesa 137.5 kg con un

volumen de 0.082 m³. Estos valores permiten establecer una correcta proporción de los materiales para lograr una mezcla homogénea y con las características deseadas en el concreto.

Tabla 19

Dosificación en proporción según diferentes cantidades

Elemento	Proporción en volumen suelto para:		
	Pie ³	Baldes de 18 litros	Baldes de 20 litros
Cemento	1 Bolsa	1 Bolsa	1 Bolsa
Agua	27.4 Litros	1.52 Baldes	1.37 Baldes
Agregado grueso	3.68 Pie ³	5.79 Baldes	5.21 Baldes
Agregado fino	2.91 Pie ³	4.58 Baldes	4.12 Baldes

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la dosificación en proporción según diferentes cantidades.

En la tabla 19 se percibe la proporción en volumen suelto de los materiales para la dosificación del concreto en diferentes unidades de medida. Se considera una bolsa de cemento como base de la mezcla. El agua requerida es de 27.4 litros, lo que equivale a 1.52 baldes de 18 litros o 1.37 baldes de 20 litros. El agregado grueso tiene un volumen de 3.68 pies³, correspondiente a 5.79 baldes de 18 litros o 5.21 baldes de 20 litros, mientras que el agregado fino ocupa 2.91 pies³, equivalentes a 4.58 baldes de 18 litros o 4.12 baldes de 20 litros. Esta información facilita la dosificación en obra cuando no se dispone de equipos de pesaje.

Dimensiones y cargas aplicadas a muestras curadas con agua de vigas

Dimensiones y cargas de muestras a 7 días

Tabla 20

Dimensiones muestra 01 a 7 días

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 1 - 07 días de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones de la muestra 01 a 7 días.

En la tabla 20 se percibe las dimensiones de la muestra N° 01 a los 7 días viga elaborada mediante un curado en pozo a 7 días.

Tabla 21

Carga máxima aplicada muestra 01 a 7 días

	3962.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	38855	N
	38.85	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima empleada muestra 01 a 7 días.

En la tabla 21 se observa la carga máxima aplicada a de la muestra N° 01 a los 7 días viga elaborada mediante un curado en pozo a 7 días.

Tabla 22

Dimensiones muestra 02 a 7 días

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 2 - 07 días de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros que muestran las dimensiones de la muestra 02 a 7 días.

En la tabla 22 se percibe las dimensiones de la muestra N° 02 a los 7 días de ser saturado viga elaborada mediante un curado en pozo a 7 días.

Tabla 23

Carga máxima aplicada Muestra 02 a 7 días

	3987.00	Kg/f
P: carga máxima aplicada	39100	N
	39.10	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 02 a 7 días.

Se observa la carga máxima empleada a de la muestra N° 02 a los 7 día viga elaborada mediante un curado en pozo a 7 días.

Tabla 24

Dimensiones muestra 03 a 7 días

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 3 - 07 días de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 03 a 7 días.

Se observa las dimensiones de la muestra N° 03 a los 7 días de ser saturado viga elaborada mediante un curado en pozo a 7 días.

Tabla 25

Carga máxima aplicada muestra 03 a 7 días

	3987.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	39100	N
	39.10	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 03 a 7 días.

Se observa la carga máxima empleada a de la muestra N° 03 a los 7 días viga elaborada mediante un curado en pozo a 7 días.

Dimensiones y cargas de muestras a 14 días

Tabla 26

Dimensiones muestra 01

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 1 - 14 días de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 01.

Se observa las dimensiones de la muestra N° 01 a los 14 días de ser saturado viga elaborada mediante un curado en pozo a 14 días.

Tabla 27

Carga máxima aplicada muestra 01

	4468.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	43817	N
	43.82	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 01.

Se observa la carga máxima empleada a la muestra N° 01 a los 14 días, viga elaborada mediante un curado en pozo a 7 días.

Tabla 28*Dimensiones Muestra 02*

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 2 - 14 días de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 02

Se observa las dimensiones de la muestra N° 02 a los 14 días de ser saturado viga elaborada mediante un curado en pozo a 14 días.

Tabla 29*Carga máxima aplicada muestra 02*

	4400.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	43150	N
	43.15	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024 que muestran la carga máxima aplicada muestra 02.

Se observa la carga máxima empleada a la muestra N° 02 a los 14 días, viga elaborada mediante un curado en pozo a 14 días.

Tabla 30*Dimensiones muestra 03*

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 3 - 14 días de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 03.

Se observa las dimensiones de la muestra N° 03 a los 14 días de ser saturado viga elaborado mediante un curado en pozo a 14 días.

Tabla 31

Carga máxima aplicada muestra 03

	4402.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	43170	N
	43.17	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 03.

Se observa la carga máxima empleada a la muestra N° 03 a los 14 días, viga elaborada mediante un curado en pozo a 14 días.

Dimensiones y cargas de muestras a 28 días

Tabla 32

Dimensiones muestra 01

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 1 - 28 días de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024 que muestran las dimensiones muestra 01.

Se observa las dimensiones de la muestra N° 01 a los 28 días de ser saturado viga elaborada mediante un curado en pozo a 28 días.

Tabla 33*Carga máxima aplicada muestra 03*

	4882.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	47877	N
	47.88	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran de la carga máxima aplicada muestra 03.

Se observa la carga máxima empleada a la muestra N° 01 a los 28 días, viga elaborada mediante un curado en pozo a 28 días.

Tabla 34*Dimensiones muestra 01*

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 2 - 28 días de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 01

Se observa las dimensiones de la muestra N° 02 a los 28 días de ser saturado viga elaborada mediante un curado en pozo a 28 días.

Tabla 35*Carga máxima aplicada muestra 01*

	4830.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	47367	N
	47.37	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las carga máxima aplicada muestra 01.

Se observa la carga máxima empleada a la muestra N° 02 a los 28 días, viga elaborada mediante un curado en pozo a 28 días.

Tabla 36

Dimensiones muestra 03

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 3 - 28 días de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 03.

Se observa las dimensiones de la muestra N° 03 a los 28 días de ser saturado viga elaborada mediante un curado en pozo a 28 días.

Tabla 37

Carga máxima aplicada muestra 03

	4811.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	47181	N
	47.18	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra.

Se observa la carga máxima empleada en los ensayos de carga de la muestra N° 03 a los 28 días, viga elaborada mediante un curado en pozo a 28 días

Dimensiones y cargas de muestras curados con vapor

Dimensiones y cargas de muestras curadas con vapor con 24 horas

Tabla 38

Dimensiones muestra 01

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 1 - 24 horas de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024 que muestran las dimensiones muestra 01.

La dimensión de la muestra N° 01 a las 24 horas de ser curado de viga elaborada mediante un curado a vapor a 24 horas

Tabla 39

Carga máxima aplicada muestra 01

	2904.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	28479	N
	28.48	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024 que muestran la carga máxima aplicada muestra 01

Se observa la carga máxima empleada en los ensayos de carga de la muestra N° 01 a las 24 horas, viga elaborada mediante un curado a vapor a 24 horas.

Tabla 40

Dimensiones muestra 02

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 2 - 24 horas de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros que muestran las dimensiones muestra 02

La dimensión de la muestra N° 02 a las 24 horas de ser curado de viga elaborada mediante un curado a Vapor a 24 horas.

Tabla 41

Carga máxima aplicada muestra 02

	2995.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	29371	N
	29.37	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran carga máxima aplicada muestra 02.

Se observa la carga máxima empleada en los ensayos de carga de la muestra N° 02 a las 24 horas, viga elaborada mediante un curado a vapor a 24 horas.

Tabla 42

Dimensiones muestra 03

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 3- 24 horas de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 03.

La dimensión de la muestra N° 03 a las 24 horas de ser curado de viga elaborada mediante un curado a vapor a 24 horas.

Tabla 43

Carga máxima aplicada muestra 03

	2997.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	29391	N
	29.39	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 03.

Se observa la carga máxima empleada en los ensayos de carga de la muestra N° 03 a las 24 horas, viga elaborada mediante un curado a vapor a 24 horas.

Dimensiones y cargas de muestras curadas a 48 horas

Tabla 44

Dimensiones muestra 01

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 1- 48 horas de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 01.

La dimensión de la muestra N° 01 a las 48 horas de ser curado de viga elaborada mediante un curado a vapor a 48 horas.

Tabla 45

Carga máxima aplicada muestra 01

	3670.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	35991	N
	35.99	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 01.

Se observa la carga máxima empleada en los ensayos de carga de la muestra N° 01 a las 48 horas, viga elaborada mediante un curado a vapor a 48 horas

Tabla 46*Dimensiones muestra 02*

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 2- 48 horas de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 02

Las dimensiones de la muestra N° 02 a las 48 horas de ser curado de viga elaborada mediante un curado a vapor a 24 horas.

Tabla 47*Carga máxima aplicada muestra 02*

	3664.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	35932	N
	35.93	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 02.

Se observa la carga máxima empleada en los ensayos de carga de la muestra N° 02 a las 48 horas, viga elaborada mediante un curado a vapor a 48 horas.

Tabla 48*Dimensiones muestra 03*

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 3- 48 horas de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 03.

Las dimensiones de la muestra N° 03 a las 48 horas de ser curado de viga elaborada mediante un curado a vapor a 48 horas.

Tabla 49

Carga máxima aplicada muestra 03

	3649.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	35785	N
	35.79	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 03.

Se observa la carga máxima empleada en los ensayos de carga de la muestra N° 03 a las 48 horas, viga elaborada mediante un curado a vapor a 48 horas.

Dimensiones y cargas de muestras curadas a vapor a 72 horas

Tabla 50

Dimensiones muestra 01

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 1 - 72 horas de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 01.

Las dimensiones de la muestra N° 01 a las 48 horas de ser curado de viga elaborada mediante un curado a vapor a 72 horas.

Tabla 51*Carga máxima aplicada Muestra 01*

	4352.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	42679	N
	42.68	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 01.

Se observa la carga máxima empleada en los ensayos de carga de la muestra N° 01 a las 72 horas, viga elaborada mediante un curado a vapor a 72 horas

Tabla 52*Dimensiones muestra 02*

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 2 - 72 horas de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 02

Las dimensiones de la muestra N° 02 a las 72 horas de ser curado de viga elaborada mediante un curado a vapor a 72 horas.

Tabla 53*Carga máxima aplicada muestra 02*

	4351.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	42669	N
	42.67	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix Ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 02.

Se observa la carga máxima empleada en los ensayos de carga de la muestra N° 02 a las 72 horas, viga elaborada mediante un curado a vapor a 72 horas.

Tabla 54*Dimensiones muestra 03*

Código de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Muestra 3 - 72 horas de curado	53.34	15.24	15.24
Prom:	53.34	15.24	15.24

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran las dimensiones muestra 03.

Las dimensiones de la muestra N° 03 a las 72 horas de ser curado de viga elaborada mediante un curado a vapor a 72 horas.

Tabla 55*Carga máxima aplicada muestra 03*

	4306.00	Kgf
P: carga máxima aplicada	42228	N
	42.23	kN

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la carga máxima aplicada muestra 03.

Se observa la carga máxima aplicada en los ensayos de carga de la muestra N° 03 a las 72 horas, viga elaborada mediante un curado a vapor a 72 horas

Tabla 56*Curado 24 horas medidos cada 6 horas*

Intervalo (h)	Temp. Inicial Prom. (°C)	Temp. Final Prom. (°C)	Humedad Inicial Prom. (%)	Humedad Final Prom. (%)
1-6	53.0	62.0	66	91
7-12	61.3	64.7	87	93
13 - 18	65.5	65.6	94	97
19 - 24	63.9	64.3	97	91
Promedio	60.91	64.15	85.96	92.92

Nota. Datos tomados de la cámara de curado por vapor tipo sauna que muestran el curado 24 horas medidos cada 6 horas. Elaboración propia

Durante las 24 horas del proceso de curado, la temperatura inicial osciló entre un mínimo de 53.0°C (primer intervalo) y un máximo de 65.5 °C (horas 13-18), mientras que la temperatura final se mantuvo relativamente estable, con valores entre 62.0 °C y 65.6 °C, alcanzando un promedio general de 64.15 °C. Esto sugiere que, tras las primeras horas de calentamiento, se logró mantener un régimen térmico constante y adecuado para la hidratación del cemento, sin presentar picos extremos que pudieran inducir microfisuras en el concreto.

En cuanto a la humedad relativa, los valores iniciales comenzaron bajos, desde 66 % durante las primeras seis horas del proceso, incrementándose progresivamente hasta superar el 90 % a partir del segundo intervalo (horas 7 a 12). Este ascenso indica una saturación ambiental progresiva, favorable para evitar la pérdida prematura de agua en la mezcla. En las horas comprendidas entre la 13 y la 18, la humedad alcanzó valores máximos, con promedios de 94 % al inicio y 97 % al final del intervalo.

Durante las últimas seis horas (intervalo 19-24), la humedad relativa final se mantuvo elevada, con un promedio de 91 %, lo que confirma que las condiciones fueron estables y adecuadas para un curado eficiente. El valor promedio general de la humedad relativa durante

todo el proceso fue de 85.96 % al inicio y 92.92 % al final, lo cual coincide con las recomendaciones técnicas para el curado a vapor, que sugieren mantener la humedad relativa por encima del 90 % para favorecer la hidratación del cemento y minimizar el riesgo de microfisuración superficial.

Tabla 57

Curado 48 horas medidos cada 6 horas

Intervalo (h)	Temp. Inicial (°C)	Temp. Final (°C)	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)
1-6	45.9	68.4	88	94
6-12	69.2	67.9	91	99
12-18	68.9	68.2	92	97
18-24	70.0	69.1	93	99
24-30	70.0	68.9	94	99
30-36	68.7	68.5	92	97
36-42	68.8	69.2	91	96
42-48	68.7	68.9	90	95
Promedio	66.28	68.64	91.38	97.00

Nota. Datos tomados de la cámara de curado por vapor tipo sauna muestran el curado 48 horas medidos cada 6 horas. Elaboración propia

Durante el proceso de curado extendido a 48 horas, la temperatura inicial tuvo una variación significativa en los primeros intervalos, partiendo de 45.9 °C en las primeras 6 horas (1-6 h), alcanzando luego un rango estable entre 68.7 °C y 70.0 °C desde el intervalo 12-18 hasta el 30-36, y manteniéndose constante hasta el final, con un promedio general de 66.28 °C. En contraste, la temperatura final mostró menor variabilidad, fluctuando entre 67.9 °C y 69.2 °C, con una media de 68.64 °C, lo que refleja un control térmico eficiente durante el tratamiento.

En cuanto a la humedad relativa, se observa una tendencia generalmente alta desde el inicio. La humedad inicial aumentó rápidamente desde 88 % en las primeras horas hasta estabilizarse en valores entre 90 % y 93 %, registrando un promedio de 91.38 %. Por su parte,

la humedad final se mantuvo en niveles óptimos para el curado al vapor, con registros entre 94 % y 99 %, y un promedio elevado de 97.00 %. Esta condición indica un entorno saturado, ideal para evitar la evaporación prematura del agua en la mezcla y promover una adecuada hidratación del cemento.

Tabla 58

Curado 72 horas medidos cada 6 horas

Intervalo (h)	Temp. Inicial (°C)	Temp. Final (°C)	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)
1-6	60.8	68.4	88	98
6-12	65.7	70.0	90	96
12-18	68.9	68.4	91	98
18 - 24	65.2	70.00	92	98
24 - 30	69.1	70.0	93	99
30 - 36	59.7	68.2	98	97
36 - 42	58.3	70.00	91	96
42 - 48	68.9	70.0	90	95
48 - 54	67.8	65.9	95	99
54 - 60	70.0	70.00	90	99
60 - 66	59.7	67.9	98	99
66 - 72	69.8	70.00	99	99
Promedio	65.33	69.07	92.92	97.75

Nota. Datos tomados de la cámara por vapor tipo sauna muestran el curado 72 horas medidos cada 6 horas. Elaboración propia

La Tabla 58 documenta el comportamiento del proceso de curado al vapor durante 72 horas, con mediciones cada 6 horas. Se registran la temperatura inicial y final en grados Celsius (°C), así como la humedad relativa inicial y final en porcentaje (%), permitiendo evaluar la estabilidad de las condiciones de curado en un periodo prolongado. La interpretación narrativa de los datos es la siguiente:

Durante las 72 horas de curado, la temperatura inicial mostró una oscilación entre 58.3 °C y 70.0 °C, con una tendencia general a estabilizarse a partir del segundo día. El valor

más bajo (58.3 °C) se presentó en el intervalo 36-42 horas, mientras que los registros más altos (70.0 °C) se observaron en los intervalos 12-18, 30-36, y 60-66 horas. En promedio, la temperatura inicial fue de 65.33 °C, lo que indica un régimen térmico sostenido y favorable.

La temperatura final presentó una menor variabilidad, manteniéndose entre 65.9 °C y 70.0 °C, con un promedio general de 69.07 °C. Esta estabilidad sugiere un control eficiente de la temperatura durante todo el proceso, lo que es relevante para asegurar una hidratación progresiva del concreto sin generar tensiones térmicas que pudieran originar fisuras.

En cuanto a la humedad relativa inicial, se registraron valores desde 88 % hasta 95 %, alcanzando un promedio de 92.92 %, mientras que la humedad final se mantuvo aún más alta, variando entre 96 % y 99 %, con un promedio de 97.75 %. Estas cifras reflejan un ambiente saturado de humedad, condición ideal para evitar la evaporación prematura del agua de la mezcla y permitir una hidratación óptima del cemento.

Tabla 59*Resultados de ensayos a flexión curados en agua a los 7 días*

Código de muestra	Área de fractura	b	d	L	Fecha		Edad	P	Módulo de rotura (R)	Módulo de rotura (R)
		(mm)	(mm)	(mm)	Toma de muestra	Ensayo	(días)	(kN)	(MPa)	(kg/cm ²)
Muestra 1 - 07 días de curado	1. Dentro del tercio medio de L	152.40	152.40	450.00	28/11/2024	05/12/2024	7	38.85	4.94	50.37
Muestra 2 - 07 días de curado	1. Dentro del tercio medio de L	152.40	152.40	450.00	28/11/2024	05/12/2024	7	39.10	4.97	50.69
Muestra 3 - 07 días de curado	1. Dentro del tercio medio de L	152.40	152.40	450.00	28/11/2024	05/12/2024	7	38.28	4.87	49.62
Promedio								38.74	4.92	50.22

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran los resultados de ensayos a flexión curados en agua a los 7 días.

En la Tabla 59 se presentan los resultados adquiridos del ensayo a flexión en especímenes de concretos curados en agua durante 7 días. Las muestras, identificadas como Muestra 1, 2 y 3, fueron evaluadas bajo condiciones estandarizadas, manteniendo dimensiones constantes (b, d y L de 152.40 mm x 152.40 mm x 450.00 mm), con la zona de fractura localizada dentro del tercio medio del tramo longitudinal (L), conforme a los requerimientos determinados en el marco normativo ASTM C

Respecto a la carga máxima aplicada (P), se observaron valores de 38.85 kN, 39.10 kN y 38.28 kN para las muestras 1, 2 y 3 respectivamente, obteniendo un promedio general de 38.74 kN. Estos valores permitieron calcular el módulo de rotura a flexión (r), el cual se manifiesta tanto en megapascuales (MPa) como en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). El módulo de rotura en MPa fue de 4.94, 4.97 y 4.87 para las respectivas muestras, con un promedio de 4.92 MPa. En términos prácticos, esto representa una resistencia promedio de 50.22 kg/cm².

Tabla 60

Resultados de ensayos a flexión curados en agua a los 14 días

Código de muestra	Área de fractura	b	d	L	Fecha		Edad	P	Módulo de rotura (R)	Módulo de rotura (R)
		(mm)	(mm)	(mm)	Toma de muestra	Ensayo	(días)	(kN)	(MPa)	(kg/cm ²)
Muestra 1 - 14 días de curado	1. Dentro del tercio medio de L	152.40	152.40	450.00	28/11/2024	12/12/2024	14	43.82	5.57	56.80
Muestra 2 - 14 días de curado	1. Dentro del tercio medio de L	152.40	152.40	450.00	28/11/2024	12/12/2024	14	43.15	5.49	55.94
Muestra 3 - 14 días de curado	1. Dentro del tercio medio de L	152.40	152.40	450.00	28/11/2024	12/12/2024	14	43.17	5.49	55.96
Promedio								43.37	5.51	56.23

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran los resultados de ensayos a flexión curados en agua a los 14 días.

En la Tabla 60 muestra los resultados del ensayo a flexión realizado en especímenes de concretos curados en agua durante 14 días. Todas las muestras fueron ensayadas bajo condiciones homogéneas, con dimensiones estándar de 152.40 mm de ancho (b), altura (d) y una longitud de 450.00 mm (L), y con la zona de fractura ubicada dentro del tercio medio del vano, en conformidad con lo establecido en la norma ASTM C78.

Los valores de la carga máxima aplicada (P) fueron de 43.82 kN, 43.15 kN y 43.17 kN para las muestras 1, 2 y 3 respectivamente, resultando en un promedio de 43.37 kN. Estos datos permitieron calcular el módulo de rotura a flexión (r), que se expresó tanto en megapascuales (MPa) como en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). En términos de MPa, las muestras registraron 5.57, 5.49 y 5.49, con un promedio general de 5.51 MPa. En su equivalencia, esto representa una resistencia promedio de 56.23 kg/cm².

Tabla 61*Resultados de ensayos a flexión curados en agua a los 28 días*

Código de muestra	Área de fractura	b	d	L	Fecha		Edad	P	Módulo de rotura (R)	Módulo de rotura (R)
		(mm)	(mm)	(mm)	Toma de muestra	Ensayo	(días)	(kN)	(MPa)	(kg/cm ²)
Muestra 1 - 28 días de curado	1. Dentro del tercio medio de L	152.40	152.40	450.00	28/11/2024	26/12/2024	28	47.88	6.09	62.07
Muestra 2 - 28 días de curado	1. Dentro del tercio medio de L	152.40	152.40	450.00	28/11/2024	26/12/2024	28	47.37	6.02	61.41
Muestra 3 - 28 días de curado	1. Dentro del tercio medio de L	152.40	152.40	450.00	28/11/2024	26/12/2024	28	47.18	6.00	61.16
Promedio								47.47	6.03	61.54

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran los resultados de ensayos a flexión curados en agua a los 28 días.

En la tabla 61 presenta los resultados de los ensayos a flexión realizados en especímenes de concretos curados en agua durante 28 días. Cada una de las muestras evaluadas (Muestra 1, 2 y 3) fue elaborada con dimensiones estándar de 152.40 mm de ancho (b), 152.40 mm de alto (d) y 450.00 mm de longitud (L). La zona de fractura en todos los casos se ubicó dentro del tercio medio del tramo, de acuerdo con la normativa ASTM C78, que regula los procesos de ensayos de flexión en vigas de concreto.

Los valores de carga máxima aplicada (P) fueron de 47.88 kN, 47.37 kN y 47.18 kN, con un promedio de 47.47 kN. Estos valores permitieron calcular el módulo de rotura a flexión en dos unidades: megapascales (MPa) y kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). Los módulos de rotura obtenidos fueron de 6.09, 6.02 y 6.00 MPa, con un promedio de 6.03 MPa; mientras que en su equivalencia en kg/cm² se reportaron 62.07, 61.41 y 61.16, con un promedio de 61.54 kg/cm².

Tabla 62*Promedio de resistencias a flexión de vigas curado al agua*

Rotura de vigas patrón			
Edad del Curado (días)	Carga Promedio (kN)	Módulo de Rotura Promedio (MPa)	Módulo de Rotura Promedio (kg/cm ²)
7	38.74	4.92	50.22
14	43.37	5.51	56.23
28	47.47	6.07	61.54

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran los promedios de resistencias a flexión de vigas curado al agua.

En la tabla 62 se percibe el promedio de resistencias a la flexión obtenidas en vi de concreto sometidas a curado al agua, evaluadas a diferentes edades: 7, 14 y 28 días. Este resumen de resultados evidencia la evolución progresiva de las propiedades mecánicas del concreto en base al tiempo de curado, lo cual es fundamental para valorar el comportamiento estructural del material bajo sollicitaciones de flexión.

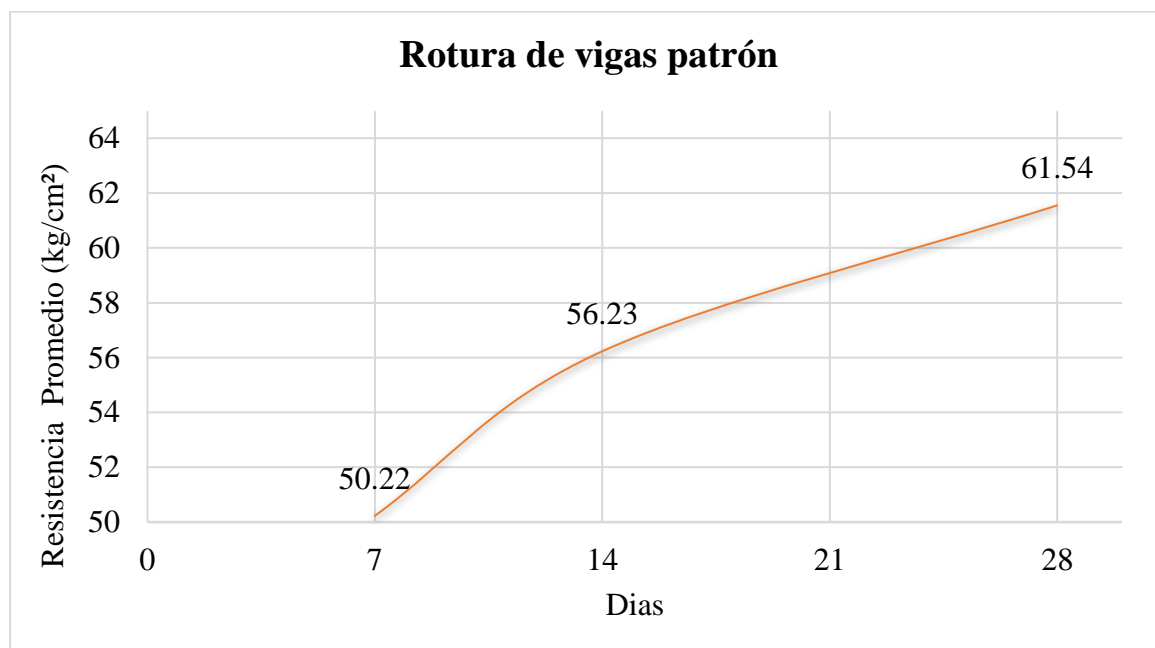
A los 7 días, las briquetas mostraron una carga promedio de rotura de 38.74 kN, correspondiente a un módulo de rotura de 4.92 MPa o 50.22 kg/cm². A los 14 días, la carga promedio se incrementó a 43.37 kN, elevando el módulo de rotura a 5.51 MPa (56.23 kg/cm²). Finalmente, a los 28 días, la carga promedio logró los 47.47 kN, con una resistencia media a la flexión de 6.07 MPa, equivalente a 61.54 kg/cm².

Estos resultados confirman que el curado a vapor, aunque acelera el desarrollo inicial de la resistencia del concreto, mantiene una evolución positiva conforme avanza el tiempo. La mejora progresiva de la resistencia a flexión entre los 7, 14 y 28 días es indicativa de una hidratación continua del cemento, favorecida por las condiciones térmicas del curado. Este comportamiento valida la eficacia del curado a vapor no solo para obtener resistencias tempranas, sino también para alcanzar valores óptimos a edades de diseño estructural. Además,

el incremento gradual y sostenido en todos los indicadores sugiere una adecuada dosificación, mezcla y uniformidad en el proceso de ensayo.

Figura 3

Promedio de Resistencia a flexión de vigas



Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix Ingenieros,2024, que muestran los promedios de resistencia a flexión de vigas.

En la Figura 3 se observa la evolución del promedio de resistencia a flexión, expresada en kg/cm², de vigas de concreto curadas mediante el método tradicional, evaluadas a diferentes edades: 7, 14 y 28 días. Dicho gráfico ilustra de forma concisa la tendencia creciente de la resistencia mecánica conforme avanza el tiempo de curado, revelando el comportamiento progresivo del concreto bajo condiciones térmicas controladas.

A los 7 días, la resistencia promedio registrada fue de 50.23 kg/cm², valor que representa un desarrollo temprano moderado, resultado del proceso inicial de hidratación del cemento. A los 14 días, la resistencia incremento de forma significativa a 56.23 kg/cm², lo que indica un avance sustancial en la formación de los productos de hidratación, esenciales para la cohesión interna del concreto.

Por último, a los 28 días, el concreto logro alcanzar una resistencia promedio de 61.55 kg/cm², consolidando el efecto positivo del curado prolongado en la mejora del desempeño estructural del material. Esta etapa representa el punto de madurez del concreto tradicionalmente aceptado para evaluar su resistencia de diseño.

Tabla 63*Resultados de ensayos a flexión curados mediante vapor a 24 horas*

Código de muestra	Área de fractura	b	d	L	Fecha		Edad	P	Módulo de rotura (R)	Módulo de rotura (R)
		(mm)	(mm)	(mm)	Toma de muestra	Ensayo	(horas)	(kN)	(MPa)	(kg/cm ²)
Muestra 1 - 24 horas de curado	1. Dentro del tercio medio de l	152.40	152.40	450.00	02/11/2024	05/11/2024	24 hrs	28.48	3.62	36.92
Muestra 2 - 24 horas de curado	1. Dentro del tercio medio de l	152.40	152.40	450.00	02/11/2024	05/11/2024	24 hrs	29.37	3.73	38.08
Muestra 3- 24 horas de curado	1. Dentro del tercio medio de l	152.40	152.40	450.00	02/11/2024	05/11/2024	24 hrs	29.39	3.74	38.10
Promedio								29.08	3.69	37.69

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran del resultado de ensayos a flexión curados mediante vapor a 24 horas.

En la tabla 63 presenta los resultados de los ensayos a flexión realizados en vigas de concreto curadas mediante vapor, con una edad de ensayo de 24 horas. Todas las muestras ensayadas (muestra 1, 2 y 3) compartieron dimensiones estándar de 152.40 mm de base (b) y altura (d), y una longitud de 450.00 mm (L). La zona de fractura se localizó dentro del tercio medio del vano, cumpliendo con los requerimientos establecidos por la norma ASTM C7.

Los valores de carga máxima aplicada (P) variaron ligeramente entre 28.48 kN, 29.37 kN y 29.39 kN, generando un promedio general de 29.08 kN. Estos resultados permitieron calcular el módulo de rotura a flexión (R), el cual se expresó tanto en megapascales (MPa) como en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). En términos de MPa, los valores oscilaron entre 3.62 y 3.73, con un promedio de 3.74 MPa. En su equivalente, las resistencias fueron de 36.92, 38.08 y 38.10 kg/cm², con un promedio de 37.69 kg/cm².

Tabla 64

Resultados de ensayos a flexión curados mediante vapor a 48 horas

Código de muestra	Área de fractura	b	d	L	Fecha		Edad	P	Módulo de rotura (R)	Módulo de rotura (R)
		(mm)	(mm)	(mm)	Toma de muestra	Ensayo	(horas)	(kN)	(MPa)	(kg/cm ²)
Muestra 1 - 48 horas de curado	1. Dentro del tercio medio de l	152.40	152.40	450.00	06/11/2024	09/11/2024	48 hrs	35.99	4.58	46.66
Muestra 2- 48 horas de curado	1. Dentro del tercio medio de l	152.40	152.40	450.00	06/11/2024	09/11/2024	48 hrs	35.93	4.57	46.58
Muestra 3- 48 horas de curado	1. Dentro del tercio medio de l	152.40	152.40	450.00	06/11/2024	09/11/2024	48 hrs	35.79	4.55	46.39
Promedio								35.90	4.56	46.54

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran los resultados de ensayos a flexión curados mediante vapor a 48 horas.

En la Tabla 64 presenta los resultados de los ensayos a flexión realizados en vigas de concreto curadas mediante vapor, evaluadas a las 48 horas de edad. Las muestras (Muestra 1, 2 y 3) mantuvieron uniformidad en cuanto a sus dimensiones: 152.40 mm de base (b), 152.40 mm de altura (d) y 450.00 mm de longitud (L), cumpliendo con los lineamientos de la norma ASTM C78. La zona de fractura en todas las muestras se ubicó dentro del tercio medio del vano, lo que garantiza la validez del procedimiento.

En cuanto a la carga máxima aplicada (P), se obtuvieron valores muy cercanos entre sí: 35.99 kN, 35.93 kN y 35.79 kN, con un promedio general de 35.90 kN. A partir de estos valores, fue calculada el módulo de rotura a flexión (R), expresado tanto en megapascales (MPa) como en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). Los módulos de rotura obtenidos fueron 4.58, 4.57 y 4.55 MPa respectivamente, con un promedio de 4.56 MPa. En su equivalente, las resistencias fueron de 46.66, 46.58 y 46.39 kg/cm², con un promedio de 46.54 kg/cm².

Tabla 65*Resultados de ensayos a flexión curados mediante vapor a 72 horas*

Código de muestra	Área de fractura	b (mm)	d (mm)	L (mm)	Fecha		Edad (Horas)	P (kN)	Módulo	Módulo
					Toma de muestra	Ensayo			de rotura (R) (MPa)	de rotura (R) (kg/cm ²)
Muestra 1 - 72 horas de curado	1. Dentro del tercio medio de l	152.40	152.40	450.00	12/11/2024	16/11/2024	72 hrs	42.68	5.43	55.33
Muestra 2 - 72 horas de curado	1. Dentro del tercio medio de l	152.40	152.40	450.00	12/11/2024	16/11/2024	72 hrs	42.67	5.42	55.32
Muestra 3 - 72 horas de curado	1. Dentro del tercio medio de l	152.40	152.40	450.00	12/11/2024	16/11/2024	72 hrs	42.23	5.37	54.74
Promedio								42.52	5.40	55.13

Nota. Datos tomados del laboratorio *Lunix ingenieros,2024*, que muestran los resultados de ensayos a flexión curados mediante vapor a 72 horas.

En la Tabla 65 presenta los resultados de los ensayos a flexión realizados en vigas de concreto curadas mediante vapor, evaluadas a las 72 horas de edad. Las tres muestras analizadas conservaron dimensiones estandarizadas de 152.40 mm de base (b), 152.40 mm de altura (d) y 450.00 mm de longitud (L), cumpliendo con los criterios establecidos por la norma ASTM C78 para ensayos a flexión. En todos los casos, la fractura ocurrió dentro del tercio medio del vano, garantizando la validez del procedimiento.

Los valores de carga máxima aplicada (P) registrados fueron 42.68 kN, 42.67 kN y 42.23 kN, con un promedio general de 42.52 kN. A partir de estos resultados, se llegó a calcular el módulo de rotura a flexión (R), expresado tanto en megapascales (MPa) como en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). Los módulos de rotura obtenidos fueron de 5.43, 5.42 y 5.37 MPa, con un promedio de 5.40 MPa; y sus equivalentes en kg/cm² fueron 55.35, 55.32 y 54.74, mostrando un promedio general de 55.13 kg/cm².

Tabla 66*Promedio de resistencia a flexión de vigas a vapor*

Resistencia de vigas a vapor			
Edad del Curado (horas)	Carga Promedio (kN)	Módulo de Rotura Promedio (MPa)	Módulo de Rotura Promedio (kg/cm ²)
24 horas	29.08	3.68	37.69
48 horas	35.90	4.56	46.54
72 horas	42.52	5.40	55.13

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran los promedios de resistencia a flexión de vigas a vapor.

La Tabla 66 muestra el resumen del comportamiento mecánico a flexión de vigas de concreto curadas mediante vapor, evaluadas a distintas edades: 24, 48 y 72 horas. El objetivo de esta tabla es evidenciar la variación de resistencia a flexión del concreto en base al tiempo de exposición al curado a vapor.

A las 24 horas, las vigas registraron una carga promedio de rotura de 29.08 kN, con un módulo de rotura promedio de 3.68 MPa, equivalente a 37.69 kg/cm². Estos valores representan un desarrollo temprano de resistencia que, aunque es moderado, puede resultar útil en proyectos que requieren desmoldado o manipulación temprana de los elementos.

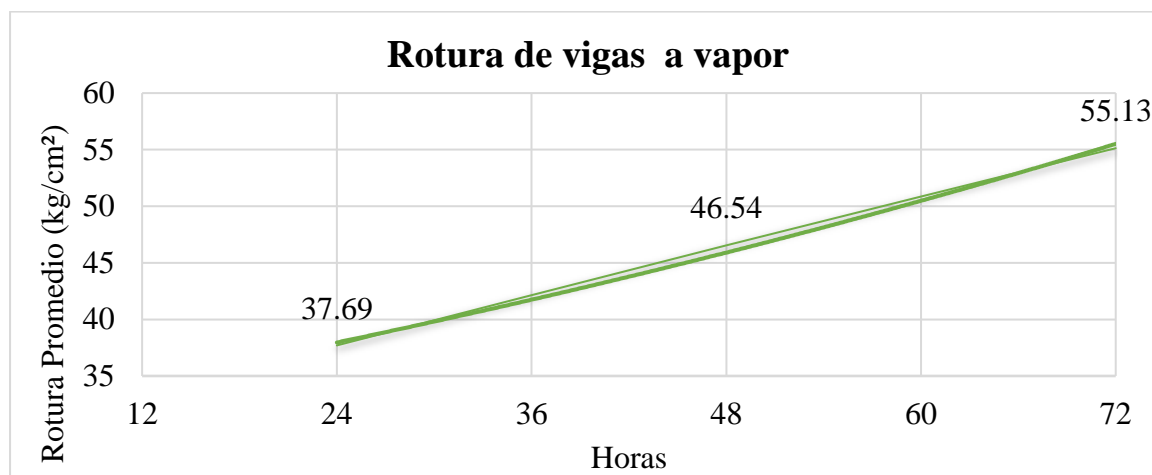
Cuando el curado se extendió a 48 horas, la resistencia a la flexión mejoró de manera significativa. La carga promedio aumentó a 35.90 kN, mientras que el módulo de rotura alcanzó los 4.56 MPa (46.54 kg/cm²). Este incremento evidencia el efecto positivo del curado prolongado sobre la hidratación del cemento y el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto.

Finalmente, a las 72 horas, se observó el mayor rendimiento. La carga promedio fue de 42.52 kN, con un módulo de rotura de 5.40 MPa, equivalente a 55.13 kg/cm². Este resultado confirma que el curado a vapor durante 72 horas no solo acelera el desarrollo de resistencia,

sino que puede igualar e incluso superar los valores obtenidos con curados tradicionales de mayor duración, como el de 28 días.

Figura 4

Promedio de resistencia a flexión de vigas a vapor



Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros, 2024, que muestran los promedios de resistencia a flexión de vigas a vapor. Elaboración propia

La Figura 4 presenta la evolución del promedio de resistencia a flexión de vigas de concreto sometidas a curado mediante vapor, evaluadas a las 24, 48 y 72 horas. La resistencia se manifiesta en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), y se observa una clara tendencia ascendente conforme se incrementa el tiempo de exposición al curado térmico.

A las 24 horas, la resistencia promedio registrada fue de 37.69 kg/cm². Este valor, aunque modesto, representa una ganancia temprana significativa en comparación con el concreto sin tratamiento térmico, y puede resultar útil en la aplicación donde se necesite desmoldado o manipulación rápida.

Con 48 horas de curado, la resistencia aumentó a 46.54 kg/cm², reflejando una mejora del 23.5 % respecto al valor obtenido a las 24 horas. Este incremento evidencia el efecto positivo del curado a vapor sobre la hidratación acelerada del cemento, lo que contribuye a una mejor cohesión y desarrollo estructural del concreto.

Finalmente, a las 72 horas se alcanza una resistencia promedio de 55.13 kg/cm², lo que representa un aumento acumulado de más del 46.2% en comparación con las vigas curadas solo 24 horas. Esta etapa evidencia un desarrollo avanzado de las propiedades mecánicas, comparable a lo que se obtendría con curados convencionales más prolongados.

Resultados de ensayos a compresión

Tabla 67

Resultados de ensayos a compresión a muestras curadas 7 días en agua

N°	Código de muestra	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad de ensayo (días)	Diámetros (cm)		Área (cm ²)	Tipo de falla	Carga (kgf)	f'c diseño	Resistencia f'c ensayo		
					D1	D2					kgf/cm ²	MPa	%
1	Muestra 1	04/11/2024	11/11/2024	7	9.97	9.92	77.68	d	17861	294	229.94	22.56	78
2	Muestra 2	04/11/2024	11/11/2024	7	9.93	9.92	77.37	d	17891	294	231.25	22.69	79
3	Muestra 3	04/11/2024	11/11/2024	7	10.05	9.92	78.30	d	17318	294	221.16	21.70	75
4	Muestra 4	04/11/2024	11/11/2024	7	9.93	9.93	77.44	b	17472	294	225.61	22.13	77
5	Muestra 5	04/11/2024	11/11/2024	7	9.94	10.01	78.15	b	17072	294	218.46	21.43	74
Promedio											225.28	22.10	76.6

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros, 2024, que muestran los resultados de ensayos a compresión a muestras curadas 7 días en agua.

La Tabla 67 presenta los resultados de los ensayos a compresión realizados en probetas cilíndricas de concreto curadas en agua durante 7 días. Cada una de las cinco muestras fue ensayada para evaluar su resistencia mecánica con el fin de contrastarla con la resistencia de diseño especificada ($f'c = 294 \text{ kgf/cm}^2$). El ensayo se realizó el 11 de noviembre de 2024, y todas las probetas fueron elaboradas el 4 de noviembre del mismo año, cumpliendo así un periodo de curado húmedo de 7 días.

La resistencia promedio obtenida fue de 225.28 kgf/cm², equivalente a 22.10 MPa, representando un 76.6 % de la resistencia de diseño. En detalle, la muestra con mayor desempeño alcanzó una resistencia de 229.94 kgf/cm² (22.56 MPa), correspondiente al 78 % del f'c diseño, mientras que la de menor desempeño obtuvo 218.46 kgf/cm² (21.43 MPa), representando el 74 % del diseño.

Tabla 68

Resultados de ensayos a compresión a muestras curadas 14 días en agua

N°	Código de muestra	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad de ensayo (días)	Diámetros (cm)		Área (cm ²)	Tipo de falla	Carga (kgf)	f'c diseño	Resistencia f'c ensayo		
					D1	D2					kgf/cm ²	MPa	%
6	Muestra 1	04/11/2024	18/11/2024	14	9.91	10.05	78.23	a	21780	294	278.42	27.31	95
7	Muestra 2	04/11/2024	18/11/2024	14	9.96	9.90	77.44	c	21257	294	274.48	26.93	93
8	Muestra 3	04/11/2024	18/11/2024	14	9.95	10.05	78.54	c	21046	294	267.97	26.29	91
9	Muestra 4	04/11/2024	18/11/2024	14	9.90	9.91	77.05	d	21109	294	273.95	26.87	93
10	Muestra 5	04/11/2024	18/11/2024	14	10.03	9.98	78.62	a	21574	294	274.41	26.92	93
Promedio											273.84	26.86	93

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran resultados de ensayos a compresión a muestras curadas 14 días en agua.

En la tabla 68 presenta los resultados obtenidos muestran que, en términos de resistencia a compresión expresada en kgf/cm², las muestras alcanzaron valores que oscilaron entre 278.42 y 274.41, con un promedio general de 273.84 kgf/cm². Esta variabilidad mínima indica una buena

uniformidad en las condiciones de elaboración y curado del concreto. Cuando se expresa la resistencia en megapascales (MPa), se observa un rango de 27.31 a 26.92 MPa, con un promedio de 26.86 MPa, lo cual corrobora la consistencia y calidad del material evaluado. Estos niveles de resistencia son indicativos de un concreto que ha alcanzado un avance significativo en su proceso de maduración estructural a los 14 días de curado.

Asimismo, en relación con la resistencia de diseño ($f'c = 294 \text{ kgf/cm}^2$), el desempeño relativo de las muestras se encuentra entre el 95 % y el 93 %, obteniéndose un promedio del 93 %. Este porcentaje evidencia que el concreto evaluado ha alcanzado una proporción elevada de su resistencia final prevista, lo cual es coherente con el comportamiento mecánico típico del concreto a los 14 días.

Tabla 69

Resultados de ensayos a compresión a muestras curadas 28 días en agua

N°	Código de muestra	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad de ensayo (días)	Diámetros (cm)		Área (cm ²)	Tipo de falla	Carga (kgf)	f'c diseño	Resistencia f'c ensayo		
					D1	D2					kgf/cm ²	MPa	%
11	Muestra 1	04/11/2024	02/12/2024	28	10.00	9.90	77.76	b	23558	294	302.97	29.72	103
12	Muestra 2	04/11/2024	02/12/2024	28	10.04	9.96	78.54	c	24695	294	314.43	30.85	107
13	Muestra 3	04/11/2024	02/12/2024	28	9.92	9.97	77.68	d	24645	294	317.27	31.12	108
14	Muestra 4	04/11/2024	02/12/2024	28	9.94	9.99	77.99	a	23927	294	306.79	30.10	104
15	Muestra 5	04/11/2024	02/12/2024	28	9.96	9.97	77.99	b	23964	294	307.27	30.14	105
Promedio											309.74	30.86	105.4

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros, que muestran los resultados de ensayos a compresión a muestras curadas 28 días en agua.

En la tabla 69 los resultados los resultados obtenidos del ensayo a compresión de concreto curado durante 28 días evidencian un comportamiento mecánico altamente satisfactorio. En términos de resistencia en kgf/cm^2 , las muestras evaluadas alcanzaron valores comprendidos entre 302.97 y 317.27, con un promedio general de 309.74 kgf/cm^2 , lo cual supera el valor de diseño establecido (294 kgf/cm^2). Cuando se expresa la resistencia en megapascales (MPa), se observa un rango de 29.72 a 30.14 MPa, con un promedio de 30.86 MPa, confirmando la solidez del material evaluado y su adecuada capacidad para resistir cargas estructurales bajo condiciones normales de servicio. Asimismo, al comparar estos resultados con la resistencia de diseño ($f'c = 294 \text{ kgf/cm}^2$), se evidencia un desempeño sobresaliente: las muestras alcanzaron entre 103 % y 105 % del valor esperado, con un promedio de cumplimiento del 105.4 %. Esto indica no solo que el concreto ha cumplido con las especificaciones técnicas, sino que las ha superado, garantizando un margen adicional de seguridad estructural.

Tabla 70*Promedio de resistencia a compresión de briquetas patrón*

Resistencia promedio a ensayos a compresión						
Edad del Ensayo (días)	Diámetro Promedio (cm)	Área Promedio (cm ²)	Carga Promedio (kgf)	Resistencia Promedio f'c (kgf/cm ²)	Resistencia Promedio f'c (MPa)	% f'c Diseño
7	9.96	77.79	17523	225.28	22.10	76.6
14	9.95	77.98	21353.2	273.84	26.86	93
28	9.97	77.99	24157.8	309.74	30.86	105.4

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros, 2024, que muestran los promedios de resistencia a compresión de briquetas patrón.

En la Tabla 70 presenta el resumen de los resultados de resistencia a compresión obtenidos en briquetas de concreto curadas en agua y ensayadas a distintas edades: 7, 14 y 28 días. Esta información permite analizar la evolución del desarrollo mecánico del concreto en base del tiempo de curado, un factor determinante en la calidad estructural del material.

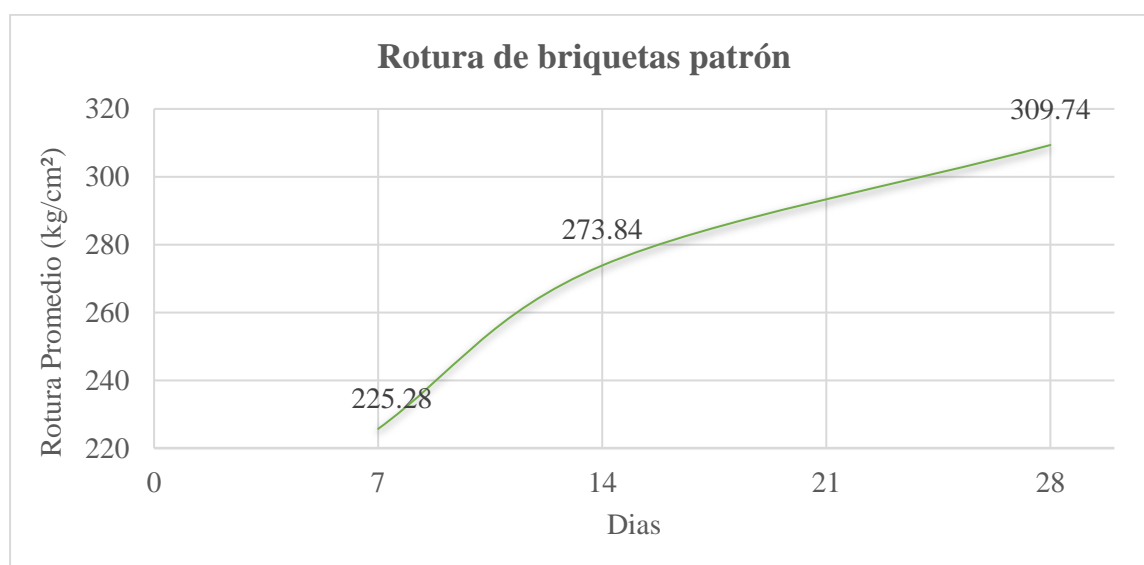
A los 7 días, las briquetas lograron alcanzar una resistencia promedio de 225.28 kgf/cm² (equivalente a 22.10 MPa), representada por el 76.6 % de la resistencia de diseño (f'c=294 kgf/cm²). Esta etapa evidencia un avance inicial significativo en el proceso de hidratación, aunque aún insuficiente para considerar al concreto en su estado óptimo de resistencia estructural.

A los 14 días, la resistencia se incrementó a 273.84 kgf/cm² (26.86 MPa), logrando un 93 % del f'c de diseño. Este valor indica un grado avanzado de maduración del concreto, y es coherente con el comportamiento típico del material, que suele alcanzar entre el 85 % y el 95 % de su resistencia total en esta etapa. A este nivel, el concreto podría ser considerado apto para soportar ciertas cargas estructurales no críticas, bajo condiciones técnicas adecuadas.

Por último, a los 28 días, las briquetas alcanzaron una resistencia promedio de 309.74 kgf/cm² (30.86 MPa), superando incluso el valor de diseño con un 105.4 % de cumplimiento. Este resultado confirma que el concreto ha alcanzado y sobrepasado su resistencia proyectada, validando tanto la dosificación como el proceso de curado y ensayo.

Figura 5

Promedio de resistencia a compresión de briquetas patrón



Nota. Datos tomados del laboratorio Linux ingenieros,2024, que muestran los promedios de resistencia a compresión de briquetas patrón.

La Figura 5 muestra de forma gráfica la evolución del promedio de resistencia a compresión de briquetas patrón de concreto, evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado.

A los 7 días, las briquetas registraron una resistencia promedio de 225.28 kg/cm², valor que representa un avance inicial significativo, aunque aún por debajo del valor de diseño. Esta etapa refleja el procedimiento temprano de hidratación del cemento, cuando el concreto empieza a desarrollar su estructura interna.

A los 14 días, la resistencia incrementa notablemente a 273.84 kg/cm², lo que indica que el concreto ha logrado cerca del 93 % de su resistencia de diseño, consolidando su capacidad estructural. Este punto marca una etapa intermedia crítica en el procedimiento de

maduración del concreto, siendo útil para decisiones constructivas anticipadas bajo condiciones técnicas controladas.

Finalmente, a los 28 días, el concreto logra una resistencia de 309.74 kg/cm^2 , superando el valor de diseño establecido (294 kg/cm^2). Este resultado confirma que el concreto ha desarrollado plenamente sus propiedades mecánicas, validando la eficacia del curado en agua y la calidad del proceso constructivo.

Tabla 71*Resultados de ensayos a compresión curados con vapor por 24 horas*

N°	Código de muestra	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad de ensayo (Horas)	Diámetros (cm)		Área (cm ²)	Tipo de falla	Carga (kgf)	f'c diseño	Resistencia f'c ensayo		
					D1	D2					kgf/cm ²	MPa	%
1	Muestra 1	18/11/2024	20/11/2024	24 hrs	9.97	9.92	77.68	a	12639	294	162.71	15.96	55
2	Muestra 2	18/11/2024	20/11/2024	24 hrs	9.93	9.92	77.37	e	12078	294	156.11	15.31	53
3	Muestra 3	18/11/2024	20/11/2024	24 hrs	10.05	9.92	78.30	b	12010	294	153.38	15.05	52
4	Muestra 4	18/11/2024	20/11/2024	24 hrs	9.93	9.93	77.44	c	12237	294	158.01	15.50	54
5	Muestra 5	18/11/2024	20/11/2024	24 hrs	9.94	10.01	78.15	d	12889	294	164.93	16.18	56
Promedio											159.02	15.6	54

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran los resultados de ensayos a compresión curados con vapor por 24 horas.

En la tabla 71 presenta los resultados de los ensayos a compresión realizados en cinco briquetas de concreto curadas con vapor y evaluadas a las 24 horas de edad. El objetivo fue determinar el desarrollo de la resistencia mecánica del concreto bajo un régimen de curado acelerado, y comparar su desempeño con respecto a la resistencia de diseño fijada en 294 kgf/cm². Los resultados del ensayo a compresión muestran que, en términos de resistencia expresada en kgf/cm², las muestras evaluadas alcanzaron valores que oscilaron entre 162.71 y 164.93, con un promedio general de 159.02 kgf/cm². Este rango indica un desarrollo moderado de la resistencia del concreto bajo las condiciones de curado aplicadas. Al

expresar estas resistencias en megapascales (MPa), se observa un comportamiento similar, con valores comprendidos entre 15.96 y 16.18 MPa, y un promedio de 15.60 MPa, lo que refleja una consolidación parcial de las propiedades mecánicas del concreto.

Respecto a la resistencia de diseño establecida ($f'c = 294 \text{ kgf/cm}^2$), el porcentaje de cumplimiento de las muestras estuvo entre 55 % y 56 %, con un promedio del 54 %, lo cual evidencia que, si bien el concreto ha comenzado a desarrollar resistencia, aún se encuentra significativamente por debajo del nivel requerido para su aplicación estructural definitiva.

Tabla 72

Resultados de ensayos a compresión curados con vapor por 48 horas

N°	Código de muestra	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad de ensayo (Horas)	Diámetros (cm)		Área (cm ²)	Tipo de falla	Carga (kgf)	f'c diseño	Resistencia f'c ensayo		
					D1	D2					kgf/cm ²	MPa	%
6	Muestra 1	21/11/2024	24/11/2024	48 hrs	9.91	10.05	78.23	d	17869	294	228.43	22.41	78
7	Muestra 2	21/11/2024	24/11/2024	48 hrs	9.96	9.90	77.44	b	17638	294	227.75	22.34	77
8	Muestra 3	21/11/2024	24/11/2024	48 hrs	9.95	10.05	78.54	b	17718	294	225.59	22.13	77
9	Muestra 4	21/11/2024	24/11/2024	48 hrs	9.90	9.91	77.05	c	17376	294	225.50	22.12	77
10	Muestra 5	21/11/2024	24/11/2024	48 hrs	10.03	9.98	78.62	a	17662	294	224.65	22.04	76
Promedio											226.38	22.20	77

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros, que muestran los resultados de ensayos a compresión curados con vapor por 48 horas.

En la Tabla 72 presenta los resultados de los ensayos a compresión realizados en briquetas de concreto curadas con vapor durante 48 horas. La finalidad de dicha prueba fue evaluar la conducta mecánica del concreto sometido a un curado acelerado, evaluando si esta técnica permite

alcanzar niveles aceptables de resistencia en el mediano plazo. Los resultados del ensayo a compresión de briquetas curadas con vapor durante 48 horas muestran un comportamiento mecánico moderadamente aceptable. En terminologías de resistencia a compresión expresada en kgf/cm², los valores obtenidos oscilaron entre 228.43 y 224.65, alcanzando un promedio general de 226.38 kgf/cm². Esta variación, aunque relativamente estrecha, refleja un nivel de resistencia aceptable para una etapa intermedia en el desarrollo del concreto. Cuando se expresan en megapascales (MPa), las resistencias fluctúan entre 22.41 y 22.04 MPa, con un promedio de 22.20 MPa, lo que menciona que el concreto ha logrado una consolidación mecánica significativa bajo condiciones de curado térmico acelerado. En relación con la resistencia de diseño, establecida en 294 kgf/cm², los resultados representan un rango de cumplimiento entre 78 % y 76 %, con un promedio de 77 %.

Tabla 73

Resultados de ensayos a compresión curados con vapor por 72 horas

N°	Código de muestra	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Edad de ensayo (Horas)	Diámetros (cm)		Área (cm ²)	Tipo de falla	Carga (kgf)	f'c diseño	Resistencia f'c ensayo		
					D1	D2					kgf/cm ²	MPa	%
11	Muestra 1	25/11/2024	29/11/2024	72 hrs	10.00	9.90	77.76	b	20315	294	261.26	25.63	89
12	Muestra 2	25/11/2024	29/11/2024	72 hrs	10.04	9.96	78.54	b	20107	294	256.01	25.11	87
13	Muestra 3	25/11/2024	29/11/2024	72 hrs	9.92	9.97	77.68	a	20576	294	264.89	25.99	90
14	Muestra 4	25/11/2024	29/11/2024	72 hrs	9.94	9.99	77.99	e	20371	294	261.20	25.62	89
15	Muestra 5	25/11/2024	29/11/2024	72 hrs	9.96	9.97	77.99	d	20569	294	263.74	25.87	90
Promedio											261.41	25.64	89

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros que muestran los resultados de ensayos a compresión curados con vapor por 72 horas.

En la Tabla 73 presenta los resultados de los ensayos a compresión realizados en briquetas de concreto curadas con vapor durante 72 horas. Esta técnica de curado acelerado busca maximizar el desarrollo temprano de la resistencia mecánica, permitiendo evaluar si este método es suficiente para acercarse o incluso alcanzar el valor de diseño estructural, fijado en 294 kgf/cm². Los resultados adquiridos del ensayo a compresión en briquetas de concreto curadas con vapor durante 72 horas muestran una conducta estructural favorable. En términos de resistencia a compresión expresada en kgf/cm², los valores registrados oscilaron entre 261.26 y 263.74 con un promedio general de 261.41 kgf/cm². Este rango evidencia una respuesta consistente del material, con variaciones mínimas entre muestras. Cuando se expresan en megapascales (MPa), las resistencias alcanzadas se sitúan entre 25.63 y 25.87 MPa, con un promedio de 25.64 MPa, lo que confirma una maduración avanzada del concreto, producto de la acción sostenida del curado térmico. En relación con la resistencia de diseño establecida ($f'_c = 294 \text{ kgf/cm}^2$), los porcentajes de cumplimiento se encuentran entre 89 % y 90 %, alcanzando en promedio un 89 % del f'_c proyectado.

Tabla 74*Promedio de resistencia a compresión de briquetas a vapor*

Resistencia promedio a ensayos a compresión						
Edad del Ensayo (horas)	Diámetro Promedio (cm)	Área Promedio (cm ²)	Carga Promedio (kgf)	Resistencia Promedio f'c (kgf/cm ²)	Resistencia Promedio f'c (MPa)	% f'c Diseño
24	9.96	77.79	12370.6	159.02	15.6	54
48	9.95	78.18	17652.6	226.34	22.20	77
72	9.97	77.99	20387.6	261.41	25.64	89

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros, 2024, que muestran los promedios de resistencia a compresión de briquetas a vapor.

En la Tabla 74 resume el comportamiento mecánico del concreto curado con vapor a distintas edades de evaluación: 24, 48 y 72 horas. A través de los promedios obtenidos en los ensayos a compresión, se puede observar cómo evoluciona la resistencia del concreto en base del tiempo de exposición al curado térmico.

A las 24 horas, la resistencia promedio alcanzada fue de 159.02 kgf/cm², equivalente a 15.6 MPa, lo que representa únicamente el 54 % de la resistencia de diseño (f'c = 294 kgf/cm²). Este resultado evidencia que, aunque el concreto comienza a desarrollar resistencia de manera acelerada, aún se encuentra en una etapa incipiente de maduración estructural.

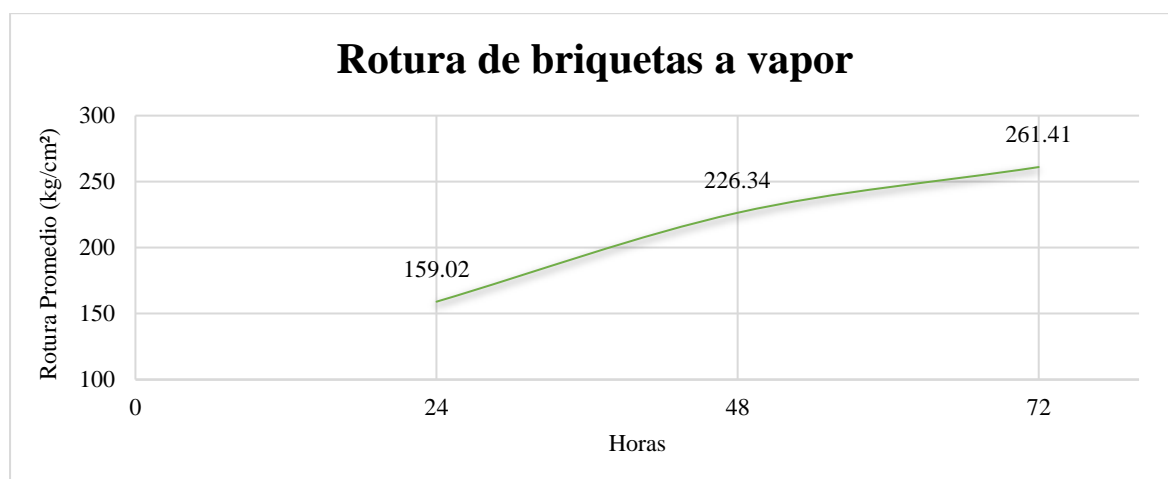
Tras 48 horas de curado a vapor, la resistencia se incrementa considerablemente, alcanzando un promedio de 226.34 kgf/cm² o 22.20 MPa, lo que equivale al 77 % del f'c diseño. Este incremento representa un avance sustancial en la hidratación del cemento, lo que permite anticipar aplicaciones constructivas de bajo riesgo estructural, como el desmoldeo o traslado de elementos.

Finalmente, a las 72 horas, el concreto logra una resistencia promedio de 261.41 kgf/cm², equivalente a 25.64 MPa, alcanzando el 89 % de la resistencia de diseño. Este

resultado demuestra que el curado a vapor durante tres días permite una maduración avanzada del concreto, suficiente para aplicaciones estructurales intermedias y, en algunos casos, definitivas si se justifica técnicamente.

Figura 6

Promedio de resistencia a compresión de briquetas a vapor



Nota. Datos tomados del laboratorio Linux ingenieros, 2024, que muestran los promedios de resistencia a compresión de briquetas a vapor.

La Figura 6 percibe la evolución del promedio de resistencia a compresión en briquetas de concreto curadas con vapor, evaluadas a las 24, 48 y 72 horas. Esta gráfica ilustra de manera clara y progresiva cómo el concreto desarrolla sus propiedades mecánicas bajo condiciones de curado acelerado, permitiendo visualizar el comportamiento estructural del material en función del tiempo. A las 24 horas, la resistencia promedio registrada fue de 159.02 kg/cm², lo que evidencia una ganancia temprana de resistencia, aunque aún insuficiente para usos estructurales exigentes. Esta etapa representa el inicio del proceso de hidratación del cemento, inducido por el calor y la humedad del curado a vapor.

Posteriormente, a las 48 horas, la resistencia incrementa significativamente hasta 226.34 kg/cm², lo que supone un aumento de aproximadamente 42 % respecto al valor anterior. Este crecimiento refleja una consolidación importante de la microestructura del concreto, lo

cual puede ser suficiente para permitir operaciones constructivas como el desencofrado o manipulación de elementos.

Finalmente, a las 72 horas, el concreto logro alcanzar una resistencia de 261.41 kg/cm², que representa una maduración avanzada del material, muy cercana al valor de diseño estructural. Este resultado sugiere que el curado a vapor por 72 horas puede ser una alternativa viable al curado convencional de 28 días en términos de resistencia temprana, siempre que se mantengan las condiciones controladas de temperatura, humedad y tiempo.

Tabla 75

Relación entre resistencia y temperatura

Temperatura(°C) 24horas	Resistencia a flexión (kg/cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
62.53	37.69	159.02
Temperatura(°C) 48 horas	Resistencia a flexión (kg/cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
67.46	46.54	226.34
Temperatura(°C) 72 horas	Resistencia a flexión (kg/cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
67.20	55.13	261.41

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix Ingenieros,2024, que muestran la relación entre resistencia y temperatura.

La Tabla 75 presenta la relación entre la temperatura promedio de curado y las resistencias mecánicas del concreto a la flexión y a la compresión, evaluadas tras 24, 48 y 72 horas de tratamiento con curado al vapor. Esta información permite interpretar cómo influye la duración del curado térmico en el desarrollo temprano de la resistencia del material.

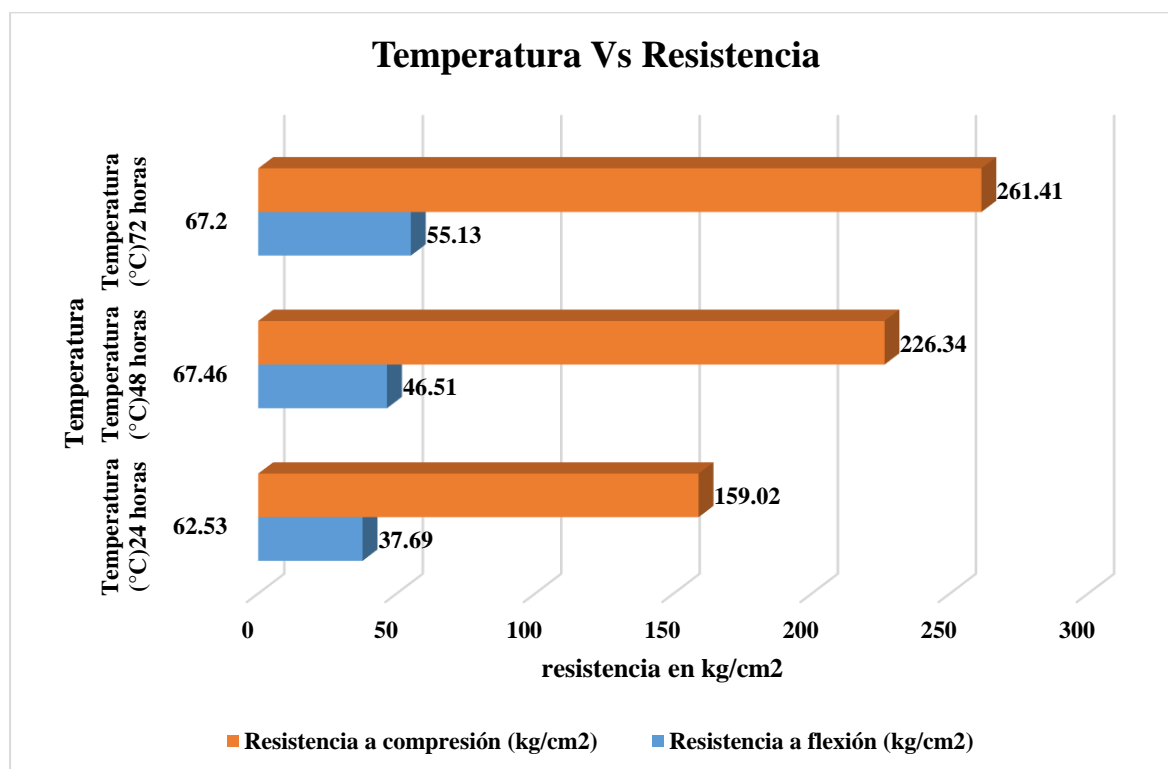
A las 24 horas, con una temperatura promedio de 62.53 °C, el concreto logro alcanzar una resistencia a la flexión de 37.69 kg/cm² y una resistencia a la compresión de 159.02 kg/cm².

Estos valores reflejan el desarrollo inicial de las propiedades mecánicas, aunque aún por debajo de lo esperado para elementos sometidos a exigencias estructurales.

Tras 48 horas de curado, con una temperatura promedio ligeramente superior ($67.46\text{ }^{\circ}\text{C}$), la resistencia a la flexión aumentó a 46.54 kg/cm^2 , mientras que la resistencia a compresión se elevó a 226.34 kg/cm^2 . Este incremento evidencia que un mayor tiempo de exposición al calor y a la humedad favorece una hidratación más completa del cemento, mejorando significativamente el desempeño del concreto.

Finalmente, con 72 horas de curado y una temperatura promedio de $67.20\text{ }^{\circ}\text{C}$, se alcanzaron las máximas resistencias registradas: 55.13 kg/cm^2 a la flexión y 261.41 kg/cm^2 a la compresión. Esto representa un incremento acumulado de 46.2% en flexión y 64.4% en compresión respecto a los valores de 24 horas, consolidando la importancia del tiempo de curado prolongado en el desarrollo de resistencia.

La tabla muestra una relación directa y positiva entre el tiempo de curado al vapor y el aumento de las resistencias mecánicas del concreto. Aunque las temperaturas entre 48 y 72 horas son similares, el mayor tiempo de exposición permite una hidratación más uniforme y continua, resultando en mejoras considerables tanto en flexión como en compresión. Este comportamiento valida la eficacia del curado al vapor prolongado para optimizar las propiedades estructurales del concreto, especialmente en elementos prefabricados donde se necesita resistencia temprana sin comprometer la durabilidad.

Figura 7*Relación entre la resistencia y la temperatura*

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la relación entre la resistencia y la temperatura.

Tabla 76*Relación entre la resistencia y la humedad*

Humedad (%)	Resistencia a flexión (kg/cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
Humedad (%) 24horas		
89.44	37.69	159.02
Humedad (%) 48 horas		
94.19	46.54	226.34
Humedad (%) 72 horas		
95.33	55.13	261.41

Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros,2024, que muestran la relación entre la resistencia y la humedad.

La Tabla 76 presenta la relación entre el porcentaje de humedad relativa durante el proceso de curado al vapor y el desarrollo de las resistencias mecánicas del concreto, tanto a la flexión como a la compresión, evaluadas a las 24, 48 y 72 horas. Este análisis permite identificar el impacto de las condiciones higrotérmicas en la evolución del desempeño estructural del material.

A las 24 horas, con una humedad promedio de 89.44 %, el concreto alcanzó una resistencia a la flexión de 37.69 kg/cm² y una resistencia a compresión de 159.02 kg/cm². Estos valores reflejan el inicio del proceso de ganancia de resistencia, aunque aún distantes de los niveles requeridos para aplicaciones estructurales exigentes.

Al extender el curado a 48 horas, y con un incremento de la humedad al 94.19 %, se produjo un aumento notable en ambas propiedades: la resistencia a la flexión subió a 46.54 kg/cm² y la compresión alcanzó 226.34 kg/cm². Este salto en la resistencia puede atribuirse a una hidratación más eficiente del cemento, promovida por un entorno más saturado de vapor.

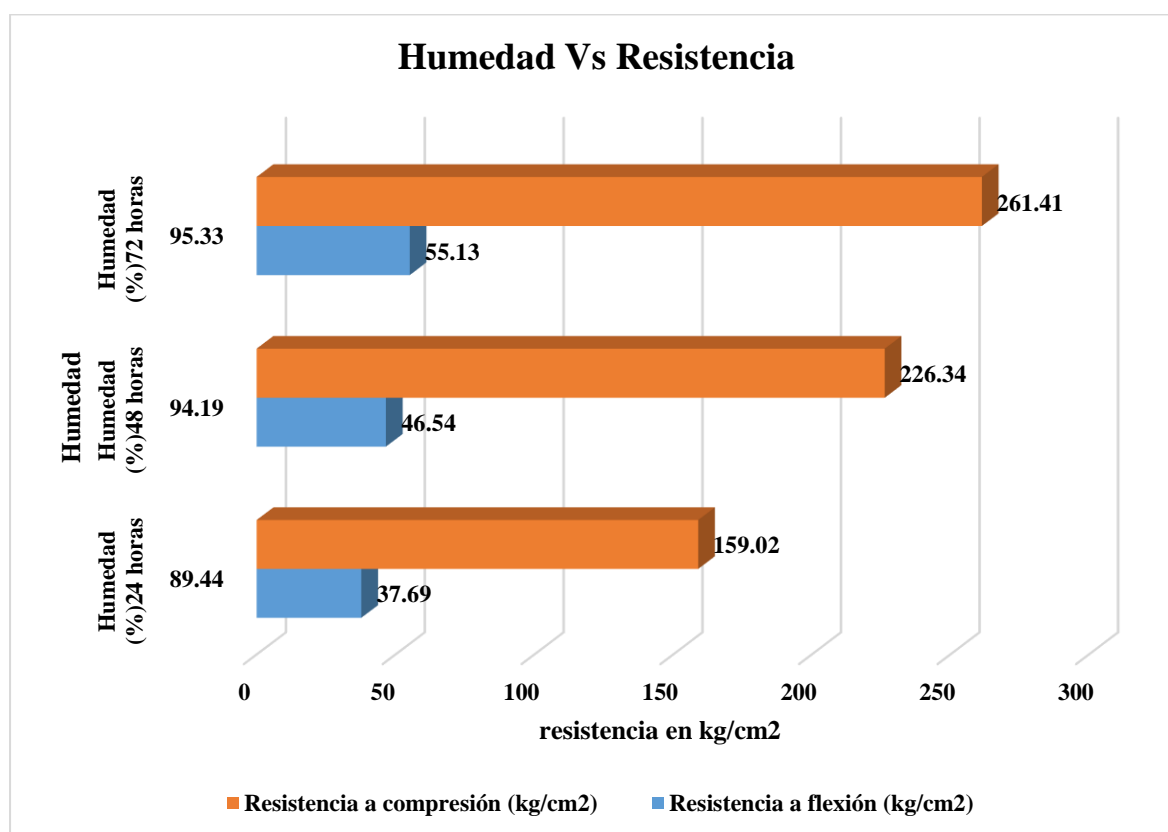
Finalmente, con 72 horas de curado y una humedad aún mayor de 95.33 %, se obtuvo el rendimiento máximo, con 55.13 kg/cm² de resistencia a la flexión y 261.41 kg/cm² a la compresión. Esto representa un incremento de aproximadamente 46.2 % en flexión y 64.4 % en compresión respecto a los valores obtenidos a las 24 horas.

Los resultados evidenciaron una correlación positiva entre la humedad relativa durante el curado al vapor y el desarrollo de resistencia del concreto. A medida que se incrementa la humedad, especialmente por encima del 90 %, el procedimiento de hidratación del cemento se mantiene activo y continuo, evitando la pérdida prematura de agua en la mezcla y favoreciendo la formación de productos de hidratación que otorgan cohesión y solidez a la matriz del concreto.

Este comportamiento confirma que condiciones de alta humedad son esenciales para un curado efectivo, particularmente en procesos acelerados como el curado al vapor. Por tanto, mantener una humedad elevada durante el curado es tan crucial como controlar la temperatura, especialmente si se busca maximizar la resistencia mecánica de los elementos prefabricados en el menor tiempo posible.

Figura 8

Relación entre la resistencia y la humedad



Nota. Datos tomados del laboratorio Lunix ingenieros, 2024, que muestran la relación entre la resistencia y la humedad.

Prueba de normalidad y descriptivos

Tabla 77

Estadísticos descriptivos

Descriptivos			Estadístico	Error estándar
Flexión	Media		58,34	1,443
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	54,63	
		Límite superior	62,05	
	Media recortada al 5%		58,33	
	Mediana		58,25	
	Varianza		12,486	
	Desviación estándar		3,534	
	Mínimo		55	
	Máximo		62	
	Rango		7	
	Rango intercuartil		6	
	Asimetría		,014	,845
	Curtosis		-3,202	1,741
	Compresión	Media		301,67
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	280,17	
		Límite superior	323,16	
Media recortada al 5%			303,04	
Mediana			307,03	
Varianza			419,682	
Desviación estándar			20,486	
Mínimo			261	
Máximo		317		

Rango	56	
Rango intercuartil	23	
Asimetría	-2,086	,845
Curtosis	4,690	1,741

Nota. Datos consignados de la estadística inferencial.

La Tabla 77 presenta los estadísticos descriptivos correspondientes a las propiedades mecánicas del concreto evaluadas en términos de resistencia a la flexión y a la compresión. En el caso de la resistencia a la flexión, se observó una media de 58,34 kg/cm² y una mediana de 58,25 kg/cm², lo que evidenció una distribución bastante simétrica en los valores registrados. Este comportamiento es respaldado por un coeficiente de asimetría muy cercano a cero (,014), indicando que los datos no presentan sesgo significativo. Además, se identificó una desviación estándar de 3,534, lo que implica una baja dispersión respecto al promedio. El valor mínimo registrado fue de 55 kg/cm² y el máximo de 62 kg/cm², generando un rango total de 7 unidades. Asimismo, el rango intercuartil fue de 6 unidades, lo que demuestra una concentración moderada de datos en el centro de la distribución. Sin embargo, la curtosis negativa (-3,202) sugiere una distribución más achatada que la normal, lo cual implica menor presencia de valores extremos.

Respecto a la resistencia a la compresión, los resultados muestran una media de 301,67 kg/cm² y una mediana de 307,03 kg/cm², existiendo una ligera diferencia que evidencia una leve asimetría negativa en los datos, reflejada en el valor de -2,086. La desviación estándar fue considerablemente más alta (20,486), indicando una mayor dispersión de los datos en comparación con la flexión. El mínimo observado fue de 261 kg/cm² y el máximo de 317 kg/cm², generando un amplio rango de 56 unidades. El rango intercuartil fue de 23, lo cual también indica una alta variabilidad en los datos centrales. Además, la curtosis positiva (4,690) revela una distribución leptocúrtica, es decir, más apuntada que la normal, con mayor concentración de datos alrededor de la media, pero con posibles valores extremos.

Prueba de normalidad**Planteamos la hipótesis**

H_0 = Los datos de la muestra presentan distribución normal

H_a = Los datos de la muestra no presentan distribución normal

Nivel de significancia

confianza=95% entonces $\alpha = 0.05$

Error =5%

Prueba estadística

Shapiro-Wilk

Tabla 78

Prueba de normalidad de los datos a flexión y compresión

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Flexión	.771	6	.032
Compresión	.735	10	.014

Nota. Datos consignados de la estadística inferencial.

Si $p < 0.05$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_0

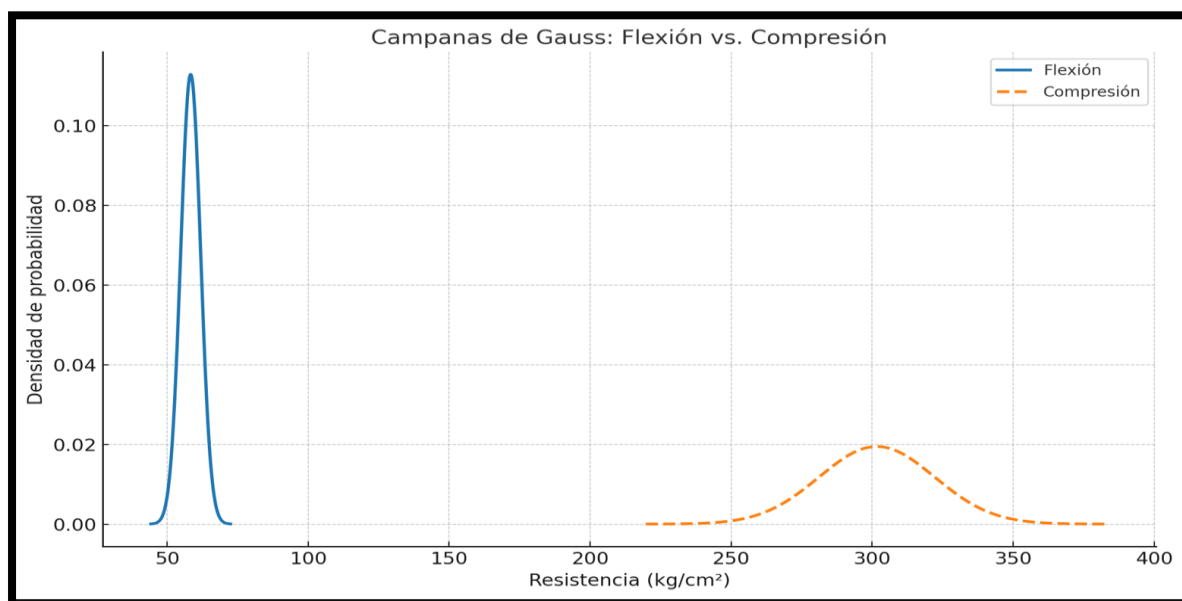
Si $p \geq 0.05$ rechazamos la H_a y aceptamos la H_0

Resultados y conclusiones

El valor de significancia es 0.032 y 0.014 por lo tanto se acepta la hipótesis alterna que indica que los datos de la muestra no presentan distribución normal (se usara para las pruebas de relación T student)

Figura 9

Campanas de gauss Jordán para la interpretación de resultados



Nota. La figura muestra los datos consignados de la estadística inferencial. Fuente: Datos proporcionados por el laboratorio Lunix ingenieros,2024.

La Figura 9 representa las distribuciones de probabilidad de los datos de resistencia a la flexión y compresión de elementos prefabricados de concreto, curados mediante dos métodos distintos. En el gráfico se observan dos curvas de densidad: una curva azul continua para la resistencia a la flexión y una curva naranja discontinua para la resistencia a la compresión.

La campana correspondiente a la flexión muestra una distribución muy concentrada alrededor de una media de aproximadamente 58 kg/cm², lo cual está en concordancia con los resultados descriptivos, donde se reporta una desviación estándar baja (3.534). Esto indica baja dispersión de los datos y una mayor consistencia en los valores obtenidos.

Por otro lado, la campana de compresión exhibe una mayor amplitud, centrada en torno a los 301.67 kg/cm², pero con una desviación estándar considerablemente mayor (20.486). Esta forma más achatada de la curva sugiere una mayor variabilidad en los resultados de compresión, lo que puede estar asociado a factores de heterogeneidad del material, el método de curado o incluso el comportamiento del concreto frente a las cargas.

5.2 Contrastación de hipótesis

Hipótesis específica 01

H₀: No existe una diferencia significativa en la resistencia a flexión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor en comparación con aquellos curados por el método tradicional, en Abancay - 2024.

H₁: Existe una diferencia significativa en la resistencia a flexión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor en comparación con aquellos curados por el método tradicional, en Abancay - 2024.

1. Nivel de significancia (α)

Se adopta un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, valor comúnmente aceptado para pruebas de hipótesis en investigaciones experimentales.

2. Estadístico de prueba

Se emplea la prueba **t de Student para muestras independientes**, ya que se comparan dos grupos distintos (curado a vapor vs. curado tradicional) con respecto a su resistencia a la flexión.

3. Datos estadísticos de grupo

Tabla 79

Estadísticas de grupo flexión

Estadísticas de grupo flexión					
Curado		N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
flexión	Tradicional	3	61,5467	,47014	,27144
	A vapor	3	55,1300	,33779	,19502

Nota. Datos procesados en el SPSS.

4. Cálculo del estadístico t

Tabla 80

Prueba de muestras independiente propiedades flexión

Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias								
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
								Inferior	Superior	
flexión	Se asumen varianzas iguales	,463	,533	19,198	4	,000	6,41667	,33423	5,48869	7,34464
	No se asumen varianzas iguales			19,198	3,630	,000	6,41667	,33423	5,45022	7,38312

Nota. Datos procesados en el SPSS.

5. Valor crítico de decisión

Valor crítico t ($\alpha=0.05$, unilateral, $gl=4$) ≈ 2.1318

Estadístico calculado: $t = 19.198$

Como t calculado $>$ t crítico, se rechaza la hipótesis nula (H_0). y se acepta la hipótesis alterna (H_1)

6. Conclusión

Dado que el valor t calculado es mayor que el valor crítico para un nivel de significancia del 5 %, se concluye la existencia de una diferencia significativa en la resistencia a flexión entre los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados por el método tradicional presentan una mayor resistencia a flexión que aquellos curados a vapor, en Abancay- 2024.

Hipótesis específica 02

H₀: No existe una diferencia significativa en la resistencia a compresión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor en comparación con aquellos curados por el método tradicional, en Abancay - 2024.

H₁: Existe una diferencia significativa en la resistencia a compresión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor en comparación con aquellos curados por el método tradicional, en Abancay - 2024.

1. Nivel de significancia (α)

Se adopta un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, valor comúnmente aceptado para pruebas de hipótesis en investigaciones experimentales.

2. Estadístico de prueba

Se emplea la prueba **t de Student para muestras independientes**, ya que se comparan dos grupos distintos (curado a vapor vs. curado tradicional) con respecto a su resistencia a la Compresión.

3. Datos estadísticos de grupo

Tabla 81

Estadísticas de grupo compresión

Estadísticas de grupo compresión					
Curado		N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Compresión	Tradicional	5	309,7460	5,90197	2,63944
	A vapor	5	261,4100	3,41926	1,52914

Nota. Datos procesados en el SPSS.

4. Cálculo del estadístico t

Tabla 82

Prueba de muestras independiente compresión

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Compresión	Se asumen varianzas iguales	3,291	,107	15,843	8	,000	48,32600	3,05040	41,29177	55,36023
	No se asumen varianzas iguales			15,843	6,413	,000	48,32600	3,05040	40,97699	55,67501

Nota. Datos procesados en el SPSS.

5. Valor crítico de decisión

Valor crítico t ($\alpha=0.05$, unilateral, $gl=8$) ≈ 1.8585

Estadístico calculado: $t = 15.1843$

Como t calculado $>$ t crítico, se rechaza la hipótesis nula (H_0). y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

6. Conclusión

Dado que el valor t calculado es mayor que el valor crítico para un nivel de significancia del 5 %, se concluye la existencia de una diferencia significativa en la resistencia a compresión de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados por el método tradicional y aquellos curados a vapor.

Hipótesis General

H₀: No existe una diferencia significativa en las propiedades mecánicas del concreto de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor respecto a los curados de manera tradicional, Abancay - 2024.

H₁: Existe una diferencia significativa en las propiedades mecánicas del concreto de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor respecto a los curados de manera tradicional, Abancay - 2024.

1. Nivel de significancia (α)

Se adopta un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, valor comúnmente aceptado para pruebas de hipótesis en investigaciones experimentales.

2. Estadístico de prueba

Se emplea la prueba **t de Student para muestras independientes**, ya que se comparan dos grupos distintos (curado a vapor vs. curado tradicional) con respecto a su resistencia a la flexión y compresión.

3. Datos estadísticos de grupo

Tabla 83

Estadísticas de grupo propiedades mecánicas

Estadísticas de grupo propiedades mecánicas					
Curado		N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Propiedades mecánicas(tradicional)	Flexión	3	61,5467	,47014	,27144
	Compresión	5	309,7460	5,90197	2,63944
Propiedades mecánicas (vapor)	Flexión	3	55,13	,33779	,19502
	Compresión	5	261,41	3,41926	1,52914

Nota. Datos procesados en el SPSS.

4. Cálculo del estadístico t

Tabla 84

Prueba de muestras independientes de propiedades mecánicas

Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Se asumen varianzas iguales	11,461	,015	70,414	6	,000	-248,19933	3,52483	256,82429	239,57437
Propiedades mecánicas No se asumen varianzas iguales (welch)			93,541	4,084	,000	-248,19933	2,65336	255,50678	240,89189

Nota. Prueba de muestras independiente propiedades mecánicas.

5. Valor crítico de decisión

Valor crítico t ($\alpha=0.05$, unilateral, $gl=4,084$) ≈ 2.1318

Estadístico calculado: $t = 93,541$

Como t calculado $>$ t crítico, se rechaza la hipótesis nula (H_0). y se acepta la hipótesis alterna (H_1)

6. Conclusión

Dado que el valor t calculado es mayor que el valor crítico para un nivel de significancia del 5 %, se concluye que existe una diferencia significativa en las características mecánicas del concreto de los elementos prefabricados de cerco perimétrico curados a vapor y los curados por el método tradicional, siendo estos últimos los que presentan mejores propiedades mecánicas, en Abancay - 2024.

5.3 Discusiones

En primer lugar, el estudio realizado por **Bauju et al. (2020)** abordó el análisis del impacto de diversos métodos de curado posteriores al curado con vapor sobre la microestructura y propiedades mecánicas del concreto. Los autores aplicaron tratamientos en aire, agua y ambientes húmedos a especímenes previamente sometidos a curado térmico, evaluando resistencia a la compresión, permeabilidad y características microestructurales. A través de esta metodología, concluyeron que el curado húmedo posterior mejora notablemente la resistencia a compresión y reduce la permeabilidad, mitigando así los efectos negativos asociados al curado a vapor. En relación con la investigación desarrollada en Abancay, ambas investigaciones coincidieron donde el curado térmico beneficia el fraguado temprano del concreto. Sin embargo, mientras Bauju destaca la necesidad de un tratamiento complementario, en el caso de Abancay se demuestra que, sin una inmersión posterior, el curado a vapor no alcanza los niveles óptimos de resistencia frente al curado tradicional. La evidencia local muestra que, a los 28 días, el curado a vapor por 72 horas alcanza 5.41 MPa frente a los 6.04 MPa del método convencional, y valores de compresión de 25.64 MPa(vapor) frente a 30.38 MPa(tradicional) Esta comparación respalda la tesis de Bauju sobre la importancia del curado complementario para garantizar durabilidad y desempeño estructural.

Seguidamente, **Rostami (2022)** propuso una alternativa innovadora al curado con vapor a través del uso de CO₂ en un proceso de curado por carbonatación, aplicado tras un breve precurado. Su estudio, centrado en concreto prefabricado, analiza tanto la resistencia mecánica como la durabilidad frente a agentes agresivos como cloruros y sulfatos. Según sus resultados, la carbonatación acelera el desarrollo de resistencia y mejora la durabilidad sin comprometer la alcalinidad del concreto, consolidándose como una opción sostenible y eficaz. Al contrastar estos hallazgos con la investigación llevada a cabo en Abancay, se observa una convergencia en la búsqueda de técnicas que aceleren la resistencia inicial. No obstante, mientras el estudio

local prioriza la resistencia (logrando 5.41 MPa a las 72 horas con curado térmico), Rostami dirige su atención hacia la protección química del concreto. Si bien ambos enfoques logran resistencias comparables, la propuesta de Rostami exige infraestructura específica, a diferencia del curado con vapor, más accesible en contextos como el peruano. En definitiva, ambas investigaciones destacan la importancia de complementar los métodos acelerados con estrategias que aseguren la integridad estructural a largo plazo.

Asimismo, **Zhou et al. (2022)** realizaron una revisión exhaustiva sobre los efectos del curado con vapor en las propiedades del concreto, abordando aspectos mecánicos, microestructurales y ambientales. Su trabajo destaca que, si bien el curado térmico permite acelerar el desarrollo de resistencia en etapas tempranas, puede conllevar riesgos como agrietamientos, formación de etringita retardada y daños térmicos si no se aplican controles adecuados. Frente a estos hallazgos, la tesis desarrollada en Abancay evidencia que un curado a vapor de 24 horas resulta insuficiente, obteniendo un módulo de rotura de solo 3.70 MPa a los 7 días. Sin embargo, al extenderse el curado a 72 horas, se logra 5.41 MPa a los 28 días, sin superar al curado tradicional. Aunque no se efectuaron análisis microestructurales en el estudio local, los resultados mecánicos coinciden con las advertencias de Zhou respecto al riesgo de limitaciones en la ganancia de resistencia si no se optimizan las condiciones térmicas. Ambos estudios coinciden en recomendar la inclusión de curados complementarios o el uso de adiciones minerales para mitigar los efectos adversos del vapor.

Por otro lado, el trabajo experimental desarrollado por **Olufemi y Agboola (2021)** se centró en comparar distintos métodos de curado, tales como inmersión, membrana, aspersión, uso de plástico y exposición al aire, utilizando especímenes cúbicos de concreto evaluados a los 7, 14, 21 y 28 días. Los autores concluyen que el curado por inmersión proporciona los mejores resultados en resistencia a compresión, mientras que el curado al aire es el menos efectivo. En comparación con el estudio en Abancay, ambos coinciden en la efectividad del

curado con agua como el método más adecuado para potenciar la resistencia del concreto. En el caso local, el curado tradicional permitió alcanzar 6.04 MPa a los 28 días, frente a los 5.41 MPa del curado térmico, lo cual respalda la superioridad del método de inmersión observado por Olufemi. Este paralelismo resalta que, si bien los métodos acelerados como el curado a vapor son útiles para procesos constructivos rápidos, estos deben ser complementados o evaluados cuidadosamente para garantizar resultados estructurales equivalentes.

Finalmente, **Zambrano et al. (2021)** realizaron un estudio aplicado a concreto con resistencia $f'_c=210$ kg/cm², con el objetivo de comparar métodos de curado como cubiertas húmedas, láminas de polietileno e hidratación continua, evaluando la resistencia a los 7, 14 y 28 días. Los autores evidencian que el uso de cubiertas húmedas permite alcanzar una resistencia de 33.92 MPa a los 28 días, superando ampliamente a los otros métodos, siendo especialmente recomendables en climas adversos. En relación con el estudio realizado en Abancay, se identifica una similitud importante: ambos coinciden en que los métodos que aseguran una hidratación continua y controlada ofrecen mejores resultados mecánicos. Si bien en el estudio local no se usaron cubiertas húmedas, el curado tradicional (mediante inmersión o aspersión controlada) logró un desempeño superior al curado con vapor, confirmando la hipótesis de Zambrano sobre la importancia del mantenimiento constante de la humedad. Aunque los contextos difieren, ambos trabajos refuerzan la idea de que los métodos pasivos y continuos siguen siendo fundamentales para garantizar una adecuada evolución de la resistencia del concreto, incluso frente a tecnologías más rápidas.

A nivel nacional tenemos en primer lugar, se revisa el estudio efectuado por **Choque (2023)**, quien investigó la eficiencia de diversos métodos de curado sobre concreto $f'_c = 210$ kg/cm² en Arequipa. Su trabajo consideró métodos como inmersión, costales de yute, membrana, aspersión y la ausencia de curado, evaluando la resistencia a compresión en distintas edades. Los hallazgos destacaron al curado por inmersión como el más eficiente,

mientras que la ausencia de curado generó los resultados más deficientes. Al confrontar estos resultados con los obtenidos en la investigación de Abancay, se observa una coincidencia clara: el curado tradicional por inmersión permitió alcanzar un módulo de rotura promedio de 6.04 MPa en flexión y 30.38MPa en compresión a los 28 días, superior al curado con vapor (5.41 MPa; 25.64MPa compresión) Choque también reportó valores superiores a 33 MPa en concreto curado con métodos húmedos, corroborando que la hidratación continua es esencial para maximizar el desarrollo mecánica del concreto. Si bien el estudio en Abancay introduce el curado a vapor como técnica acelerada, ambos coinciden en que, sin un proceso complementario, dicho método no iguala la efectividad del curado convencional, resaltando la eficacia del curado por inmersión bajo condiciones andinas.

A continuación, se incorpora el trabajo de **Challco Ccapa (2023)**, quien abordó la eficacia del curado a vapor en concreto con aditivos como PVC y virutas de acero. Su metodología incluyó comparaciones entre curado a vapor, inmersión, arena húmeda y membrana, con y sin aditivos, y midió la resistencia a largo plazo. Challco concluye que el curado a vapor incrementa significativamente la resistencia, especialmente cuando se combina con virutas de acero al 10%, alcanzando valores óptimos a los 50 días. En comparación, la investigación en Abancay evaluó concreto sin aditivos y obtuvo, a los 28 días, un módulo de rotura de 5.41 MPa para el curado a vapor, frente a los 6.04 MPa del curado tradicional. La diferencia en resultados puede atribuirse al uso de aditivos en el estudio de Challco, lo que evidencia que el curado térmico requiere ser potenciado con componentes que optimicen la microestructura del concreto. Ambos estudios coinciden en que el curado a vapor puede ser funcional para concreto prefabricado, pero su efectividad depende del contexto de aplicación y de la combinación con otras tecnologías que garanticen una ganancia progresiva de resistencia.

Por otro lado, se presenta el estudio de **Rojas (2022)**, quien introdujo una propuesta innovadora de curado interno mediante materiales saturados, específicamente concreto reciclado saturado (CRS) y arcilla coccionada saturada (ACS), evaluando su eficiencia frente al curado convencional por inmersión. A través de ensayos realizados a 7, 14 y 28 días, Rojas determinó que el uso de ACS al 30% supera incluso al curado convencional en resistencia a compresión, mientras que el CRS resultó menos efectivo. Al comparar estos resultados con el estudio realizado en Abancay, se evidencia una diferencia metodológica relevante: mientras Rojas plantea un autocurado desde el interior del concreto, el proyecto en Abancay se orienta a métodos externos, como el curado con vapor. No obstante, ambas investigaciones coinciden en que una hidratación sostenida, ya sea interna o externa, mejora sustancialmente las propiedades mecánicas. En Abancay, el curado tradicional alcanzó 6.04 MPa frente a los 5.41 MPa del curado a vapor, lo cual respalda la importancia de mantener la humedad en el proceso de fraguado. En zonas con limitaciones hídricas, la técnica de Rojas se presenta como una alternativa sostenible y funcional.

Posteriormente, se considera la investigación de **Araujo Huamán (2021)**, quien evaluó el autocurado del concreto mediante el uso de Polietilenglicol 4000 (PEG 4000), comparándolo con el curado convencional. El estudio aplicó distintas concentraciones de PEG (0.5% a 1.75%) y analizó su impacto en resistencia a compresión, permeabilidad y fisuración. Los resultados demostraron que las mejores concentraciones (1% y 1.5%) lograron entre el 80.9% y 81.5% de la resistencia de diseño, sin llegar a superar al curado tradicional. En la investigación de Abancay, el curado con vapor alcanzó aproximadamente el 89.6% de la resistencia obtenida con inmersión, lo que indica un mejor desempeño que el autocurado químico, aunque aún insuficiente frente al método convencional. Ambos estudios concluyen que los métodos alternativos ya sean químicos como el PEG o térmicos como el vapor pueden ofrecer soluciones viables cuando el curado con agua no es posible, pero su efectividad depende de las

condiciones específicas de aplicación. Además, resaltan la necesidad de seguir perfeccionando estas técnicas para equiparar el rendimiento mecánico del curado tradicional en contextos adversos.

Finalmente, se examina la propuesta de **Cuéllar Loayza (2017)**, quien evaluó el uso de mucílago naturales (sábila, nopal y linaza) como sustitutos sostenibles del agua en el proceso de curado del concreto. El estudio empleó métodos de aplicación por aspersión, inmersión y membrana, evaluando la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días. Los mejores resultados se lograron mediante inmersión en mucílago de sábila y nopal, alcanzando resistencias cercanas a las del curado convencional. Este hallazgo presenta paralelismos importantes con la investigación desarrollada en Abancay, donde el curado por inmersión logró el mayor módulo de rotura (6.04 MPa), superando al curado térmico (5.41 MPa). Aunque Cuéllar no emplea técnicas de aceleración como el vapor, su enfoque comunitario y ecológico ofrece una alternativa viable en zonas rurales o con escasez hídrica. Ambos estudios subrayan que el mantenimiento de la humedad durante el fraguado es crucial para el desarrollo mecánico del concreto, y que métodos adaptados a contextos locales ya sean naturales, térmicos o químicos pueden ser eficaces si se gestionan adecuadamente. La investigación de Cuéllar, en particular, destaca el potencial de soluciones sostenibles con impacto social y ambiental positivo.

VI. Conclusiones

- ✓ Al comparar los resultados obtenidos, el curado tradicional por inmersión en agua brinda mejores resultados en las propiedades mecánicas que el concreto por curado a vapor en elementos prefabricados de cerco perimétrico en Abancay. A los 28 días de curado tradicional, las muestras sometidas a este método alcanzaron resistencias superiores tanto a la compresión (promedio de 309.74 kg/cm²) como a la flexión (promedio de 61.54 kg/cm²), superando incluso el diseño original. En cambio, aunque el curado a vapor permitió una aceleración del desarrollo de resistencia, especialmente a edades tempranas (48 a 72 horas), sus valores finales fueron inferiores: 261.41 Kg/cm² en compresión y 55.13 Kg/cm² en flexión a las 72 horas. Esta diferencia evidencia que, pese a las ventajas del curado térmico en tiempos de producción reducidos, el método convencional proporciona un desarrollo más completo y duradero de las propiedades mecánicas, haciéndolo más adecuado para asegurar la integridad estructural y el desempeño a largo plazo en cercos prefabricados.
- ✓ Al analizar los datos indica que el curado tradicional por inmersión en agua proporciona la mejor resistencia a la compresión en los elementos prefabricados de concreto. A los 28 días, las muestras curadas bajo este método alcanzaron una resistencia promedio de 30.39 MPa, lo que representa el 105.4% de la resistencia de diseño (294 kgf/cm²), superando los estándares esperados. En contraste, el curado a vapor durante 72 horas, a pesar de su efectividad en el desarrollo rápido de resistencia temprana, sólo alcanzó una resistencia promedio de 25.64 MPa (89% del diseño), mostrando un rendimiento inferior. Si bien el curado a vapor es útil para acelerar procesos productivos, no logró igualar la capacidad del método tradicional en la adquisición de la resistencia máxima del concreto. Por tanto, para aplicaciones estructurales que requieren una alta capacidad portante, como es el caso de los cercos perimétricos, el curado convencional resulta más eficaz para asegurar la duración y

resistencia mecánica del material.

- ✓ Al analizar los resultados experimentales, la mejor resistencia a la flexión en los elementos prefabricados se logró mediante el curado tradicional por inmersión en agua. A los 28 días, las muestras sometidas a este tratamiento lograron un módulo de rotura promedio de 6.03 MPa, con cargas de fractura que superaron los 47.47 KN, reflejando un comportamiento mecánico óptimo en la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de flexión. En cambio, las vigas curadas a vapor durante 72 horas alcanzaron un módulo de rotura promedio de 5.40 MPa, es decir, un valor inferior en aproximadamente un 11.03% respecto al curado convencional. Aunque el curado a vapor mostró un crecimiento progresivo en la resistencia entre las 48 y 72 horas, no alcanzó los niveles máximos proporcionados por la inmersión continua en agua. Este resultado evidencia que el mantenimiento de una humedad constante y prolongada, como ocurre en el curado convencional, permite un desarrollo más completo de la microestructura del concreto, optimizando su comportamiento ante cargas de flexión típicas en elementos estructurales como los cercos prefabricados.

VII.Recomendaciones

- ✓ Se recomienda priorizar el uso del curado tradicional por inmersión en agua en la fabricación de elementos prefabricados de concreto destinados a cercos perimétricos, dado que este método ha demostrado generar un desarrollo mecánico más completo y duradero en comparación con el curado a vapor. Los valores superiores de resistencia obtenidos tanto a compresión como a flexión indican que la inmersión prolongada permite una hidratación más uniforme y profunda del cemento, favoreciendo la integridad estructural a largo plazo. Esta recomendación es especialmente pertinente en contextos donde se requiere asegurar una vida útil prolongada del componente prefabricado y donde los tiempos de producción pueden ser compatibles con periodos de curado extendidos.
- ✓ Se recomienda implementar como estándar el curado por inmersión en agua cuando se requiera optimizar la resistencia a la compresión del concreto en elementos estructurales, especialmente en cercos prefabricados expuestos a cargas estáticas o dinámicas. El rendimiento superior alcanzado a los 28 días evidencia que este método garantiza el cumplimiento y la superación de los requisitos de diseño estructural, lo cual es fundamental en construcciones donde la capacidad portante es un criterio crítico. Por tanto, se desaconseja el uso exclusivo del curado a vapor en condiciones donde la resistencia a la compresión sea determinante para la seguridad y funcionalidad del sistema constructivo.
- ✓ Se recomienda optar por el curado tradicional por inmersión en agua para asegurar una resistencia óptima en elementos prefabricados de concreto, como los utilizados en cercos perimétricos. Los resultados experimentales revelan que este método permite alcanzar módulos de rotura superiores, lo que refleja una mayor capacidad del concreto para resistir esfuerzos de flexión sin comprometer su estabilidad. Esta recomendación cobra especial relevancia en zonas donde los cercos están expuestos a cargas laterales, vibraciones o impactos ocasionales, ya que una mayor resistencia garantiza un mejor comportamiento

frente a estas sollicitaciones. En este sentido, el curado prolongado con agua contribuye a consolidar una microestructura interna más homogénea y resistente.

VIII. Referencias

Aceros Arequipa. (2020). *Manual de construcción para maestros de obra*.

<https://www.acerosarequipa.com/manuales/manual-de-construccion-para-maestros-de-obra/curado#:~:text=El%20curado%20es%20un%20proceso,para%20evitar%20proba bles%20rajaduras%20superficiales>

Ahn, J., Moon, J., Pae, J. y Kim, H. (2023). Microplastics as lightweight aggregates for ultra-high-performance concrete: Mechanical properties and autoignition at elevated temperatures. *Composite Structures*, 321, 117333. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.117333>

Alario, E. (2014). *Cuidados del hormigón. Curado de hormigón*. Ejecución de Obras. <https://enriquealario.com/curado-hormigon>

Alvarado, J. (2020). *Variación de la resistencia a compresión del concreto 210, 245, 280 kg/cm² frente a diferentes métodos de curado, Lima-2019* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional de la Universidad Cesar Vallejo <https://hdl.handle.net/20.500.12692/56063>

American Concrete Institute. (2016). *Guide to external curing of concrete (ACI 308R-16)*. American Concrete Institute. https://www.concrete.org/portals/0/files/pdf/previews/308r_16_preview.pdf

Araujo, G. (2021). *Evaluación del autocurado del concreto aplicando polietilenglicol frente a un concreto con curado convencional en la ciudad de Chiclayo*. [tesis pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo] Repositorio Institucional. UCSTM. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4162>

Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6.^a ed.). Episteme.

https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf?utm_source

Arispe Alburqueque, C. M., Yangali Vicente, J. S., Guerrero Bejarano, M. A., Acuña Gamboa, L. A. & Sacramento, C. A. (2020). *La investigación científica: una aproximación para los estudios de posgrado*. Editorial UIDE. <https://elibro.net/es/ereader/ucuaudemoc/171469?page=56>

ASTM International. (2021). *Annual Book of ASTM Standards: Volume 04.02 Concrete and Aggregates*. American Society for Testing and Materials. <https://www.astm.org>

Bauju, liu, Jiang, J., Shen, S., He, Z. y Xie, Y. (2020). Effects of curing methods of concrete after steam curing on mechanical strength and permeability. *Construction and Building Materials*, 262, 120135. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120135>

Cao, X.-Y., Feng, D.-C., Wang, C.-L., Shen, D. y Wu, G. (2023). A stochastic CSM-based displacement-oriented design strategy for the novel precast SRC-UHPC composite braced-frame in the externally attached seismic retrofitting. *Composite Structures*, 321, 117308. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.117308>

Chen, C., Wang, L., Liu, R., Yu, J., Liu, H. y Wu, J. (2023). Chloride Penetration of Recycled Fine Aggregate Concrete under Drying–Wetting Cycles. *Materials*, 16(3), 1306. <https://doi.org/10.3390/ma16031306>

Challco, S (2023). *Determinación de la influencia del curado a vapor frente a los diferentes tipos de curado en la resistencia de un concreto con policloruro de vinilo (PVC) y con acero, Cusco 2022*. [Tesis pregrado, Universidad andina del Cusco]. Repositorio Universidad andina del Cusco. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/6007>

Claros. (2022). *¿Cuál debe ser la temperatura máxima del concreto fresco?* 360 en Concreto. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/cual-debe-ser-la-temperatura-maxima-del-concreto-fresco/>

- Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI. (2007). *NTP 339.213:2007. Hormigón (concreto). Método de ensayo normalizado para elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto* (1ª ed.). INDECOPI. Adoptado de la norma ASTM C 684:1999(2003). <https://www.indecopi.gob.pe/normas>
- Cuellar, J (2017). *Influencia de los métodos de curado con mucílagos naturales en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Abancay, 2019*. [tesis pre grado, Universidad Tecnológica de los andes]. Repositorio Institucional UTEA. <https://hdl.handle.net/20.500.14512/106>
- Dai, J., Wang, Q. y Zhang, B. (2023). Frost resistance and life prediction of equal strength concrete under negative temperature curing. *Construction and Building Materials*, 396, 132278. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132278>
- Dongo, P., Saavedra, O. y Espinoza, D. (2019). Comparación entre la normativa peruana y la normativa Extranjera relacionada a la durabilidad del concreto. *Veritas*, 20(1), 65. <https://doi.org/10.35286/veritas.v20i1.228>
- Donires, B., Vidal, P., Palomino, D., Llanos, L., Molina, D. y Talavera, W. (2021). *Técnicas de curado de concreto en diferentes departamentos del Perú*. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-peruana-de-ciencias-aplicadas/tecnologia-del-concreto/tecnicas-de-curado-del-concreto-en-el-peru-grupo-05/40093781>
- Gobierno del Perú. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma técnica E.060 - Concreto armado*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda>
- Guo, J., Xia, X., Wang, K. y Xu, Y. (2023). Multi-scale model investigating the effects of pore structure and drying-wetting cycles on diffusion in concrete. *Cement and Concrete Composites*, 140, 105086. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105086>

- Hernandez, R., Fernandez, C. y Baptista, M. del P. (2018). *Metodología de la Investigación* (7.^a ed.). McGraw-Hill Education
- Horszczaruk, E. y Brzozowski, P. (2023). Abrasion resistance and mechanical strength of underwater repair concrete curing under hydrostatic pressure. *Construction and Building Materials*, 394, 132256.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132256>
- INACAL. (2016). *NTP 400.037:2016. Concreto. Método de ensayo estándar para análisis por tamizado de agregados finos y gruesos (equivalente a ASTM C136)*. Instituto Nacional de Calidad.
<https://www.inacal.gob.pe/norma/NTP-400.037-201>
- INACAL. (2014). *NTP 400.018:2014. Agregados. Requisitos para los agregados finos para concreto*. Instituto Nacional de Calidad.
<https://www.inacal.gob.pe/norma/NTP-400.018-2014>
- Insustry Surfer. (2023). *Curado al Vapor del Concreto: Métodos y Beneficios*.
<https://industrysurfer.com/blog-industrial/construccion/curado-al-vapor-del-concreto-metodos-y-beneficios/>
- Játiva, C., y Pérez, D. (2022). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Revista Científica Multidisciplinaria Sembrando*, 4(3), 120-135. <https://www.researchgate.net/publication/358230974>
- KraftCuring. (2021). *Curado con vapor*.
<https://www.kraftcuring.com/es/productos/curado-con-vapor-iii/>
- Lai, Z., Yan, J., Wang, Y., Dong, C., y Weng, X. (2023). Axial compressive behavior and design of high-strength square concrete-filled steel tube short columns with embedded GFRP tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 207, 107955.
<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2023.107955>

- Liao, L., Wu, S., Hao, R., Zhou, Y., y Xie, P. (2023). The compressive strength and damage mechanisms of pervious concrete based on 2D mesoscale pore characteristics. *Construction and Building Materials*, 386, 131561. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131561>
- Liu, B., Tang, J., Xie, M., y Li, F. (2023). Monitoring of curing process of concrete based on modulus and internal friction measurement using a quantitative electromechanical impedance method. *Acta Mechanica Sinica*, 39(10), 423025. <https://doi.org/10.1007/s10409-023-23025-x>
- National Concrete Masonry Association. (2020). *Mason Contractors stand with the concrete block industry*. NCA Industry Report. <https://ncma.org/wp-content/uploads/2020/12/2020-NCMA-Industry-Report.pdf>
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5.^a ed.). Pearson Educación. <https://archive.org/details/PropertiesOfConcreteNeville5thEd>
- Olufemi, O., y Agboola, O. P. (2021). Comparative study of diverse concrete curing methods. *International Multilingual Journal of Science and Technology*, 6(10). <https://www.imjst.org/wpcontent/uploads/2021/10/IMJSTP29120573.pdf>
- ReliableCure. (2022). *Mantas de Curado Húmedo de un solo uso para Losas en Aplicaciones de Grado*. https://cdn2.hubspot.net/hubfs/297775/RCA_PDF_Downloads/SOG-data-sheets-Spanish.pdf
- Rondón Rodríguez, P. A. (2023). *Análisis y comparación de diferentes métodos de curado para elaborar concreto con resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en Arequipa* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/7591>

- Rojas, C. (2022). *Determinación de la influencia del curado empleando...* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12345/>
- Rostami, V., Shao, Y. y Boyd, A. J. (2012). Carbonation curing versus steam curing for precast concrete production. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24, 1221-1229. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000462](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000462)
- Sah, T. P., Lacey, A. W., Hao, H. y Chen, W. (2024). Prefabricated concrete sandwich and other lightweight wall panels for sustainable building construction: State-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.105598>
- Spiegato. (2021). *¿Qué es el curado con vapor?*
<https://spiegato.com/es/que-es-el-curado-con-vapor>
- Yazdani, N., Filsaime, M. y Islam, S. (2008). Accelerated Curing of Silica-Fume Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(8), 521-529. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2008\)20:8\(521\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:8(521))
- Zambrano Navarrete, L. D., Álava Santos, R. J., Ruíz Párraga, W. E. y Menéndez Menéndez, E. A. (2022). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta Técnica*, 23(1), 35-47. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.4>
- Zhang, D., Ma, G., Guan, J., Wang, L. y Wang, Q. (2023). Cyclic behavior of unbonded post-tensioned precast segmental concrete columns fabricated by 3D printed concrete permanent formwork. *Engineering Structures*, 292, 116436. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116436>
- Zhao, F., Xiong, F., Cai, G., Ge, Q. y Si Larbi, A. (2023). Seismic behavior and simplified hysteretic model of precast concrete wall panels with bolted connections under cyclic loading. *Engineering Structures*, 292, 116562.

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116562>

Zhou, Y., Zhan, Y., Zhu, M., Wang, S., Liu, J., & Ning, N. (2022). A review of the effects of raw material compositions and steam curing regimes on the performance and microstructure of precast concrete. *Materials*, 15(8), 2859.

<https://doi.org/10.3390/ma15082859>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes