

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



**Comportamiento mecánico de concreto reforzado $f'_c =$
210kg/cm² con fibra de bambú-2022**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Minaya Romero, Erick Javier

Asesor:

Castañeda Gamboa, Rogelio Fermin

Código ORCID: 0000-002-6961-7418

Chimbote - Perú

2025

Índice general

Índice general	i
Índice de tablas	ii
Índice de figuras	iii
Palabras clave	iv
Constancia de originalidad	v
Título	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Introducción	1
Metodología	39
Resultados	50
Análisis y Discusión	64
Conclusiones	67
Recomendaciones	69
Referencias bibliográficas	71
Anexos	

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Componentes químicos del cemento Portland tipo I</i>	7
Tabla 2	<i>Requisitos para el agua de mezcla</i>	9
Tabla 3	<i>Requisitos granulométricos para el agregado fino</i>	10
Tabla 4	<i>Características principales de los agregados</i>	11
Tabla 5	<i>Tolerancia permisible por edad de ensayo</i>	20
Tabla 6	<i>Propiedades y valores para la obtención de un concreto “impermeable”</i>	23
Tabla 7	<i>Relación agua/cemento por resistencia</i>	28
Tabla 8	<i>Cantidad de probetas cilíndricas para la prueba de resistencia a compresión</i>	41
Tabla 9	<i>Resumen de la elaboración de probetas a ensayar</i>	41
Tabla 10	<i>Resultados de propiedades físicas del bambú</i>	54
Tabla 11	<i>Resultados de tracción de las fibras del bambú</i>	55
Tabla 12	<i>Composición química de las cenizas de la fibra de Bambú</i>	55
Tabla 13	<i>Análisis de alcalinidad</i>	56
Tabla 14	<i>Comparación entre diseño patrón y diseño experimental</i>	60

Índice figuras

Figura 1	<i>Representación visual del ensayo de compresión</i>	19
Figura 2	<i>Concreto impermeable</i>	26
Figura 3	<i>Coeficiente de permeabilidad al agua en función de la relación a/c</i>	27
Figura 4	<i>Cambio en el coeficiente de permeabilidad según la relación a/c en concretos de diferentes TM, así como en mortero y pasta de cemento</i>	29
Figura 5	<i>Bambú seco</i>	32
Figura 6	<i>Resultados de la resistencia a la compresión de la muestra patrón</i>	56
Figura 7	<i>Resultados de resistencia a la compresión de la muestra experimental adicionando 1.7 de fibra de bambú</i>	57
Figura 8	<i>Resultados de resistencia a la compresión de la muestra patrón</i>	58
Figura 9	<i>Resultados de resistencia a la compresión de la muestra patrón</i>	59
Figura 10	<i>Muestras pasantes del tamizaje del agregado fino y grueso</i>	69
Figura 11	<i>Humedeciendo el agregado</i>	69
Figura 12	<i>Agregados en el horno para hacer el ensayo</i>	70
Figura 13	<i>Peso específico del agregado fino</i>	70
Figura 14	<i>Extracción de vacíos del agregado fino</i>	71
Figura 15	<i>Peso unitario suelto y seco del agregado fino</i>	71
Figura 16	<i>Peso unitario suelto y seco del agregado grueso</i>	72
Figura 17	<i>Cuarteo del agregado fino para hacer el ensayo de P.U. compactado y seco</i>	72
Figura 18	<i>Muestras del agregado fino en la tara</i>	73
Figura 19	<i>Vaciado del agregado fino al trompo</i>	73
Figura 20	<i>Vaciado de concreto a las probetas</i>	74
Figura 21	<i>Chuseado del concreto para el concreto</i>	74
Figura 22	<i>Probetas terminadas lista para su tiempo de fragua</i>	75
Figura 23	<i>Curado de testigos</i>	75
Figura 24	<i>Rotura de testigo</i>	76

Palabras clave:

Tema	Resistencia a compresión del concreto
Especialidad	Tecnología del concreto

Keywords:

Theme	Compressive strength of concrete
Speciality	Concrete technology

Línea de investigación:

Línea de investigación	Construcción y Gestión de la construcción
Área	Ingeniería, Tecnología de Concreto
Subárea	Ingeniería Civil
Disciplina	Ingeniería Civil

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Vicerrector de Investigación de la Universidad San Pedro:

HACE CONSTAR

Que, de la revisión del trabajo titulado "**Comportamiento mecánico de concreto reforzado $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con fibra de bambú-2022**" del (a) estudiante: **MINAYA ROMERO ERICK JAVIER**, identificado(a) con Código N° **1414100248**, se ha verificado un porcentaje de similitud del **19%**, el cual se encuentra dentro del parámetro establecido por la Universidad San Pedro mediante resolución de Consejo Universitario N° 5037-2019-USP/CU para la obtención de grados y títulos académicos de pre y posgrado, así como proyectos de investigación anual Docente.

Se expide la presente constancia para los fines pertinentes.

Chimbote, 14 de marzo de 2026

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Dr. JAVIER MARTÍNEZ CARRIÓN
VICERRECTOR



NOTA: Este documento carece de valor si no tiene adjunta el reporte del Software TURNITIN.

Título:

**Comportamiento mecánico de concreto reforzado $f'_c =$
210kg/cm² con fibra de bambú-2022**

Resumen

En el presente trabajo de investigación se tuvo como objetivo principal determinar la influencia del uso de fibra de bambú como aditivo en la resistencia a la compresión de un concreto de diseño convencional con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con nivel explicativo y diseño experimental; para la recolección de datos se emplearon la observación directa, el análisis documental y ensayos de laboratorio. Se elaboraron probetas de concreto convencional ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) en las que, en estado fresco, se incorporaron porcentajes de 1,7 % y 2,7 % de fibra de bambú, aplicando previamente una activación física y mecánica considerada adecuada para garantizar su desempeño durante los ensayos. Los resultados mostraron que la dosificación con 1,7 % de fibra de bambú obtuvo el mejor comportamiento mecánico, al registrar un incremento de la resistencia a la compresión de 7,00 % a los 28 días respecto al concreto convencional; no obstante, dichas diferencias no alcanzaron significancia estadística en el análisis efectuado.

Abstract

In the present research work, the main objective was to determine the influence of the use of bamboo fiber as an additive on the compressive strength of a conventional design concrete with $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. The study was developed under a quantitative approach, of an applied type, with an explanatory level and experimental design; Direct observation, documentary analysis and laboratory tests were used for data collection. Conventional concrete specimens ($f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) were made in which, in the fresh state, percentages of 1.7% and 2.7% bamboo fiber were incorporated, previously applying a physical and mechanical activation considered adequate to guarantee their performance during the tests. The results showed that dosing with 1.7% bamboo fiber obtained the best mechanical behavior, registering an increase in compressive strength of 7.00% at 28 days compared to conventional concrete; however, these differences did not reach statistical significance in the analysis carried out.

Introducción

La presente investigación se enmarca en la búsqueda de alternativas sostenibles que contribuyan al mejoramiento del desempeño mecánico y la durabilidad del concreto, uno de los materiales más empleados en la industria de la construcción. En el contexto actual, la necesidad de optimizar los recursos, reducir el impacto ambiental y aprovechar materiales de origen natural ha impulsado el interés por el uso de fibras vegetales como refuerzo en mezclas de concreto. Entre estas, la fibra de bambú destaca por su abundancia, bajo costo y propiedades físico-mecánicas favorables, lo que la convierte en una opción potencialmente viable para el diseño de concretos de mejor desempeño. En ese sentido, el estudio se orienta a evaluar el efecto de la incorporación de fibra de bambú en un concreto de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con el propósito de analizar su influencia en la resistencia a la compresión y aportar evidencia científica que apoye su uso como aditivo natural.

En el contexto internacional, se han realizado diversos estudios sobre el uso de concreto y el bambú en las construcciones. Osmi et al. (2024) publicaron el artículo “Performance of Bamboo Fibre on Modifying Mechanical Properties of Concrete” con el objetivo de investigar las propiedades mecánicas del hormigón con la adición de fibra de bambú (BF) de la especie *Bambusa Vulgaris*, centrándose específicamente en la resistencia a la compresión y a la tracción. Se eligió la fibra de bambú por su amplia distribución en Malasia Peninsular y su alta resistencia a la tracción, como lo sugerían investigadores anteriores. Para lograr esto, se añadieron tres porcentajes de BF (0,5 %, 1 % y 1,25 %) al hormigón grado M20. El hormigón simple (0 % de BF) se preparó como muestra de control. Se examinó el comportamiento del BF en la modificación de las propiedades mecánicas del hormigón, tanto en estado fresco (*ensayo* de asentamiento) como endurecido (*ensayos* de compresión y tracción parcial) tras 7 a 28 días de curado. Los resultados indicaron la eficacia del BF para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón de grado M20. Se observó que el 0,5 % de BF fue el porcentaje óptimo, ya que permitió aumentar la resistencia a la compresión y a la tracción del hormigón de grado M20, a los 28 días de curado. La adición de BF aumentó con éxito la resistencia a la compresión de las muestras en aproximadamente 7,33% y 8,33% para 7 y 28 días de muestras de concreto M20, respectivamente. Se

registró un incremento insignificante de la resistencia a la tracción del concreto para la resistencia a la tracción del concreto. Sin embargo, se experimentó una tendencia similar de disminución de la resistencia cuando se agregó 0.5 - 1% de BF en el concreto

Cordero et al. (2016), en su tesis *Resistencia del bambú Guadua Amplexifolia para propósitos constructivo*) afirman que el bambú está destinado a ser utilizado como material de construcción debido a sus múltiples beneficios. Por ello, se han realizado numerosas pruebas sobre su resistencia a diversas cargas. Por sus cualidades, el bambú, o *Guadua Amplexifolia*, es reconocido como un material apropiado para la industria de la construcción. Se emplea en el sector de la construcción en todo el mundo. Con un módulo de elasticidad de 130560 kg/cm² en compresión y 11487,7 kg/cm² en tracción. Este tipo de material exhibe una resistencia considerable paralela a la de sus fibras. En consecuencia, puede considerarse un material con un alto índice de rigidez. Con base en la investigación realizada, los valores admisibles para el área de construcción son 101,4 y 123,4 kg/cm² para la tensión admisible de compresión y 18,8 kg/cm² para la tensión admisible de corte.

Sánchez et al. (2016), en el artículo “El bambú como elemento estructural: la especie *Guadua amplexifolia*”, reportan los resultados del análisis del comportamiento físico y mecánico del bambú de dicha especie, que crece de forma endémica en la zona norte del estado de Veracruz, México. Para ello, trabajaron con 100 culmos de longitud promedio de 5,5 m, respetando los métodos tradicionales de corte y sazonado. El estudio se fundamentó en metodologías descritas en la literatura especializada y en las propuestas de normas de la Red Internacional del Bambú y del Ratán, aplicadas tanto a la determinación de propiedades físicas como mecánicas, mediante ensayos de compresión, tensión, cortante paralelo a la fibra y flexión. Como referencia comparativa, se consideraron los resultados obtenidos para la misma especie en Monte Blanco, Veracruz, en la investigación de Ordoñez (1999). Los autores determinaron valores promedio de esfuerzos últimos de falla en compresión, cortante y tensión paralela a la fibra, así como en flexión perpendicular a la fibra, los cuales resultaron semejantes a los del baremo, registrándose solo ligeras variaciones atribuibles, probablemente, a la anisotropía del material, la localización geográfica y la edad de

los culmos. En el ensayo de compresión paralela a la fibra, se observaron principalmente fallas por cortante longitudinal, asociadas a la disposición de las fibras, además de fallas por tensión diagonal y, en menor proporción, aplastamiento de las caras y paredes de las probetas. En la prueba de cortante se presentaron predominantemente fallas por cortante longitudinal, con desplazamientos significativos de las paredes de las probetas, y en menor medida, fallas por cortante diagonal y por aplastamiento. En conjunto, los resultados evidencian que la especie *Guadua amplexifolia* posee propiedades mecánicas comparables a otras especies sudamericanas empleadas en la construcción de viviendas, por lo que se concluye que constituye una alternativa viable como material estructural en edificaciones.

En el contexto nacional, Mendoza (2025) desarrolló la tesis *Propiedades mecánicas del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de fibra de bambú en diferentes porcentajes*, Lima, 2025, con el propósito de analizar el efecto de incorporar fibra de bambú en proporciones de 0,5 %, 1,0 % y 1,5 % sobre las propiedades mecánicas de un concreto con resistencia especificada $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. La investigación fue de tipo experimental, con enfoque cuantitativo, para lo cual se emplearon 72 probetas cilíndricas y 36 vigas moldeadas, todas elaboradas conforme a las normas de laboratorio vigentes. Se siguieron procedimientos estandarizados y se utilizó Microsoft Excel para organizar y procesar los datos de manera precisa. Los ensayos mostraron un incremento de la resistencia a la compresión en comparación con la muestra patrón, destacando la dosificación con 0,5 % de fibra de bambú como la de mejor desempeño; la mezcla con 1,0 % evidenció resultados favorables hasta los 14 días, aunque a los 28 días presentó una ligera disminución, mientras que la mezcla con 1,5 % no arrojó beneficios significativos. En la contrastación de hipótesis, se determinó que las proporciones de 0,5 % y 1,0 % de fibra de bambú mejoran las propiedades de compresión y tracción aproximadamente en un 5 %, sin alcanzar el 30 % esperado. En función de estos resultados, se concluyó que la adición de fibra de bambú constituye una alternativa potencialmente favorable para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto.

Vargas Vásquez et al. (2020) publicaron el artículo “Adherencia en el concreto reforzado con bambú”, en el que se plantearon como objetivo proponer tratamientos alternativos para la superficie del bambú con el fin de mejorar los esfuerzos de adherencia con el concreto. En una primera etapa, realizaron ensayos físicos y mecánicos para caracterizar el bambú empleado. Posteriormente, ejecutaron ensayos de adherencia mediante la elaboración de especímenes conformados por probetas de concreto de 4”×8” en cuyo interior se embebieron, a distintas profundidades, tablillas de bambú impermeabilizadas con asfalto líquido RC-250, tanto lisas como acanaladas y estas últimas con adición de arena media. A partir de estos ensayos se determinaron los esfuerzos de adherencia. Finalmente, se construyeron vigas reforzadas con bambú que fueron sometidas a ensayos de flexión. Los resultados evidenciaron un desempeño superior de las tablillas acanaladas e impermeabilizadas con asfalto y arena media, alcanzando un esfuerzo de adherencia de 6,7 kg/cm². Concluyeron que las vigas reforzadas con bambú incrementan aproximadamente 2,5 veces la resistencia a la tracción respecto de una viga sin refuerzo.

Huamán (2025) desarrolló la tesis *Influencia de las fibras de bambú en las propiedades mecánicas del concreto* con el propósito de evaluar las características particulares del bambú y su efecto en el comportamiento del concreto, considerando propiedades como la resistencia a la compresión, flexión, tracción y el módulo elástico. Llevó a cabo una revisión sistemática de 37 artículos científicos sobre el impacto de las fibras de bambú en el concreto. Los hallazgos evidencian una tendencia favorable en la mejora de las resistencias a flexión y tracción cuando se incorporan fibras de bambú, especialmente en dosificaciones moderadas. No obstante, se observó que su influencia en la resistencia a la compresión es variable, registrándose una ligera disminución en contenidos superiores al 1,5 %. Asimismo, se reportó que la adición de fibras de bambú contribuye a mejorar la trabajabilidad del concreto, aunque dosificaciones elevadas afectaron la estabilidad volumétrica. En función de estos resultados, se concluye que el bambú constituye un refuerzo con potencial para optimizar las propiedades mecánicas del concreto, en particular en aplicaciones donde se priorizan la flexión y la tracción, además de representar una alternativa más sostenible en el ámbito de la construcción.

Barrios y Llerena (2023) desarrollaron la tesis *Concreto simple con incorporación de ceniza de bambú para mejorar las propiedades físico-mecánicas* cuyo objetivo general fue determinar el efecto de la incorporación de ceniza de bambú en un concreto simple a fin de mejorar sus propiedades físico-mecánicas, y como objetivos específicos establecer el porcentaje óptimo de ceniza que permita mejorar el asentamiento e incrementar la resistencia a la compresión, a la flexión y la densidad. La investigación se planteó como documental, bibliográfica y descriptiva, con método deductivo, enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y de tipo explicativo y correlacional, tomando como base estudios experimentales reportados en la literatura. De acuerdo con la mayoría de autores revisados, una incorporación óptima del 5 % de ceniza de bambú genera una disminución mínima de la resistencia a la compresión, en un rango de 4,09 % a 15,25 %, asociada al bajo contenido de óxido de calcio; en contraste, la resistencia a la flexión se incrementa en aproximadamente 10,80 %. Asimismo, se observó que la adición de ceniza de bambú reduce el asentamiento entre 3,13 % y 22,22 %, también vinculada al bajo contenido de óxido de calcio, y que la densidad del concreto disminuye entre 0,21 % y 4,47 %, debido a que la gravedad específica del cemento es mayor que la de la ceniza de bambú.

Fundamentación científica

Como complemento al desarrollo de los antecedentes, se presenta a continuación la fundamentación científica, en la cual se integran las revisiones de informes, artículos científicos, trabajos de investigación y otros documentos especializados, con la finalidad de obtener información relevante sobre el tema de estudio: *Comportamiento mecánico de concreto reforzado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con fibra de bambú.*

Concreto

El concreto es un material compuesto formado principalmente por partículas o fragmentos de agregados (finos y gruesos) suspendidos en un medio aglutinante. En el concreto de cemento Portland, este medio corresponde a la pasta constituida por la mezcla de cemento Portland y agua, a la cual pueden incorporarse aditivos con el propósito de mejorar o modificar determinadas propiedades en estado fresco o

endurecido. Abanto (2009) señala que el concreto está conformado por cemento Portland, agua, aire, agregado grueso y agregado fino, en proporciones adecuadas para alcanzar propiedades específicas, entre ellas, la resistencia mecánica. Al combinar el cemento con el agua se forma una pasta que aglutina los agregados, generando un material heterogéneo. De manera complementaria, el concreto puede entenderse como un material compuesto constituido por una fase ligante (pasta de cemento y agua) en la que se encuentran embebidas partículas sólidas (agregados). A partir de ello se distinguen dos fases:

- **Pasta:** representa la fase continua del concreto, pues se encuentra presente a lo largo de todo el volumen del material (Rivva, 1992).
- **Agregado:** constituye la fase discontinua, debido a que sus partículas se encuentran distribuidas dentro de la pasta sin formar un medio continuo.

Tipos de concreto

- **Concreto estructural:** concreto utilizado con fines estructurales, armado o no armado, con una resistencia mínima de aproximadamente 170 kg/cm².
- **Concreto arquitectónico:** concreto diseñado para ofrecer acabados y colores estéticamente agradables, de acuerdo con los requerimientos del proyecto.
- **Concreto autocompactable:** concreto capaz de fluir y rellenar el encofrado sin necesidad de vibrado mecánico.
- **Concreto ligero:** empleado en elementos no estructurales o secundarios, donde se busca reducir cargas muertas mediante el uso de agregados ligeros.
- **Concreto de alta resistencia:** diseñado para alcanzar resistencias del orden de 500 a 1000 kg/cm².
- **Concreto no estructural:** utilizado en elementos como rellenos, bordillos y aceras, con una resistencia mínima del orden de 150 kg/cm².

Composición del concreto

El concreto se compone, en términos generales, de tres ingredientes principales: cemento, agua y agregados; a estos suele añadirse un cuarto componente, los aditivos.

a) Cemento Portland

Un agente cementante es una sustancia adhesiva capaz de unir partículas o piezas sólidas para formar un conjunto monolítico. En el caso de los cementos inorgánicos, se trata de materiales en polvo que, al reaccionar con una fase líquida, desarrollan procesos químicos que generan una estructura sólida. El cemento Portland es un aglomerante hidráulico obtenido a partir de la molienda del clínker.

Tabla 1

Componentes químicos del cemento Portland tipo I

Óxidos	Contenido (%)
Óxido de calcio (CaO)	60-67
Óxido de sílice (SiO ₂)	17-25
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	3-8
Óxido de fierro (Fe ₂ O ₃)	0.5-6
Óxido de magnesio (MgO)	0.1-4.0
Álcalis	0.2-1.3
Óxido de sílice(SO ₃)	1-3

Habitualmente se le añade sulfato de calcio como regulador del fraguado. A diferencia de los aglutinantes no hidráulicos, que solo endurecen en contacto con el aire, los cementos hidráulicos endurecen y desarrollan resistencia en presencia de agua, mediante el proceso de hidratación.

Clasificación del cemento Portland

De acuerdo con las normas ASTM, el cemento Portland se clasifica, entre otros, en:

- **Tipo I:** uso general, para la mayoría de las obras de concreto.
- **Tipo II:** para estructuras que requieren un moderado calor de hidratación y resistencia a la acción leve de sulfatos.
- **Tipo III:** cemento de alta resistencia inicial.
- **Tipo IV:** utilizado cuando se requiere bajo calor de hidratación.
- **Tipo V:** diseñado para alta resistencia a la acción de sulfatos, típico en estructuras hidráulicas expuestas a agua de mar o ambientes agresivos.

b) Agua

El agua es el segundo componente esencial del concreto, y su calidad es determinante para evitar efectos adversos en la hidratación del cemento, manchas superficiales, retrasos en el fraguado, pérdidas de resistencia o degradación prematura. Por ello, debe verificarse su idoneidad conforme a la NTP 339.088, siendo preferible el uso de agua potable. Además de participar en la hidratación, el agua aporta la fluidez necesaria para garantizar la trabajabilidad del concreto. En una mezcla típica, el agua representa aproximadamente entre el 14 % y el 18 % del volumen. En la pasta hidratada se distingue entre agua evaporable y agua de hidratación (Torre, 2004). Se consideran aptos para el concreto, entre otros:

- Agua potable.
- Agua de lluvia adecuadamente almacenada.
- Agua recuperada de procesos de producción de concreto, siempre que cumpla los límites normativos.
- Combinaciones de las anteriores, cumpliendo especificaciones técnicas.

Tabla 2*Requisitos para el agua de mezcla*

Sustancias disueltas	Alor máximo admisible (partes por millón)
Cloruros	300
Sulfatos	300
Sales de Magnesio	150
Sales solubles	150
PH	Mayor a 7
Sólidos en suspensión	1500
Materia orgánica	10

c) Agregados

Los agregados (áridos) son materiales granulares de origen natural o artificial que conforman entre el 59 % y el 76 % del volumen del concreto. Tradicionalmente se consideraban inertes; sin embargo, sus propiedades físicas, térmicas y, en algunos casos, químicas pueden influir significativamente en la resistencia y durabilidad del concreto (Neville & Brooks, 1998). Una buena gradación y un tamaño máximo adecuado reducen los vacíos y, por tanto, la demanda de agua y cemento para una consistencia determinada (Torre, 2004). En términos generales, el tamaño máximo del agregado debe ser el mayor posible, siempre que sea compatible con las dimensiones de los elementos y las limitaciones de colocación. Según su tamaño, se clasifican en:

- **Agregado fino:** Se define como la arena que pasa por el tamiz de 3/8" (9,5 mm) y cumple las especificaciones de la NTP 400.037 o de la ASTM C33, presentando una distribución granulométrica continua y un contenido de finos dentro de los límites establecidos. De acuerdo con el *Manual de Ensayo de Materiales* del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), basado en la norma ASTM C136, cuando una muestra contenga una combinación de agregados gruesos y finos, esta debe fraccionarse en dos grupos utilizando el tamiz de 4,75 mm (N.º 4).

El agregado fino no debe presentar concentraciones excesivas de polvo, terrones, pizarras, esquistos, álcalis, materiales orgánicos, sales u otras sustancias perjudiciales. Es recomendable considerar lo siguiente:

- El tamaño de las partículas debe ser continuo, de modo que el material pase por la malla N.º 4 (4,75 mm) y quede retenido en las mallas posteriores hasta la N.º 200 (0,075 mm), conforme a la ASTM C33 y la NTP 400.037.
- No debe retenerse más del 45 % del agregado en dos tamices consecutivos.
- En términos generales, la dimensión de las partículas debe encontrarse dentro de los intervalos granulométricos establecidos por la normativa vigente.

Tabla 3

Requisitos granulométricos para el agregado fino

Tamiz estándar	Límites
mm (3/8 pulg)	100
5 mm (Nº 4)	95 a 100
6 mm (Nº 8)	80 a 100
8 mm (Nº 16)	50 a 85
0µm (Nº 30)	25 a 60
0µm (Nº 50)	05 a 30
0µm (Nº 100)	0 a 10

Nota. Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto (NTP 400.037, 2014).

- **Agregado grueso.** Se denomina así al material que queda retenido en el tamiz N.º 4 (4,75 mm) y que procede de rocas descompuestas de manera natural o mediante procesos mecánicos, cumpliendo las especificaciones de las normas ASTM C33 y NTP 400.037. Según la NTP 400.037 (2014), las partículas deben presentar estabilidad química y estar libres de componentes perjudiciales, tales como materia orgánica, sales, limo, polvo, humus, tierra e incrustaciones.

El tamaño de malla inmediatamente superior se define como aquel en el que se retiene, como mínimo, el 15 % del agregado grueso cribado, y su elección responde, en buena medida, a criterios técnicos y económicos. La granulometría seleccionada debe garantizar que no más del 5 % del material quede retenido en el tamiz de 1 ½” y que no más del 6 % del total pase a través del tamiz de ¼”.

Asimismo, la dimensión máxima del agregado no debe superar:

- El 20 % de la menor distancia libre entre caras del encofrado.
- El 33 % del espesor de las losas.
- El 75 % del espaciamiento libre entre barras individuales, conjuntos de barras, cables o conductos de presfuerzo.

Las propiedades fundamentales de los agregados y su comportamiento tanto en el concreto fresco como en el concreto endurecido se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 4

Características principales de los agregados

Características de los agregados	Concreto fresco	Concreto endurecido
Granulometría	Manejabilidad Requerimiento de agua Curado	Resistencia mecánica Cambios volumétricos Economía
Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables)	Requerimientos de agua Contracción plástica	Durabilidad Resistencia mecánica Cambios volumétricos
Densidad	Peso Unitario	Peso unitario
Sanidad	Requerimiento de agua	Durabilidad
Absorción y porosidad	Pérdida de revenimiento Contracción plástica	Durabilidad Permeabilidad
Forma de partículas	Manejabilidad Trabajabilidad Requerimiento de agua Curado	Resistencia mecánica Cambios volumétricos Economía
Textura superficial	Manejabilidad Requerimiento de agua	Durabilidad Resistencia al desgaste
Tamaño máximo	Segregación Peso unitario Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Cambios volumétricos Peso unitario Peso específico Durabilidad
Reactividad con los álcalis		Durabilidad
Módulo de flexibilidad		Módulo de flexibilidad Cambios volumétricos
Resistencia a la abrasión		Resistencia a la abrasión Durabilidad
Resistencia mecánica (por aplastamiento)		Resistencia mecánica
Partículas friables y terrones de arcillas	Contracción plástica	Resistencia a la abrasión Durabilidad
Coeficiente de expansión		Propiedades térmicas

Nota. Tomado de Abanto (2009).

Ensayos de laboratorio de los agregados

- **Ensayo de granulometría.** Consiste en tamizar el material mediante una serie de mallas con aberturas normalizadas, para luego pesar las fracciones retenidas en cada tamiz y expresarlas como porcentaje del peso total de la muestra. La distribución resultante, en función del tamaño de las partículas, se denomina análisis granulométrico (NTP 400.012, 2013).
- **Tamaño máximo nominal.** Se define como el tamaño del tamiz de la serie normalizada en el cual se obtiene la primera retención significativa del agregado, generalmente entre el 5 % y el 10 % del peso total (NTP 400.012, 2013).
- **Contenido de humedad.** Corresponde a la cantidad de agua presente en la superficie y en los poros accesibles de las partículas del agregado en un momento determinado. Es una propiedad fundamental, ya que influye directamente en el volumen de agua efectiva de la mezcla de concreto; por ello, debe considerarse, junto con la absorción, al realizar los ajustes de la dosificación (NTP 339.185, 2013).
- **Peso unitario.** Es el peso del agregado que ocupa una unidad de volumen, incluyendo los vacíos entre partículas. Este valor depende del tamaño, la granulometría y la forma de las partículas. La determinación del peso unitario es esencial para calcular las cantidades de materiales requeridos en el diseño de mezclas y para efectuar conversiones entre peso y volumen (NTP 400.017, 2011).
- **Peso específico (gravedad específica).** Es un indicador de la calidad del agregado: valores bajos suelen asociarse a agregados débiles y altamente absorbentes, mientras que valores altos corresponden a materiales más densos y resistentes. Se define como la razón entre la masa de un volumen dado de agregado y la masa de un volumen igual de agua libre de aire, a una temperatura determinada (NTP 400.022, 2013).
- **Porcentaje de absorción.** Cantidad de agua que el agregado puede absorber, expresada como porcentaje respecto a su peso seco. Esta propiedad afecta la trabajabilidad y resistencia del concreto, ya que incide en el contenido efectivo de agua de la mezcla. Por ello se debe considerar al ajustar la dosificación (NTP 400.022, 2013).

- **Módulo de fineza.** Es un índice que caracteriza la finura relativa del agregado, obtenido a partir de la suma de los porcentajes acumulados retenidos en una serie de tamices normalizados. A mayor módulo de fineza, mayor es la proporción de partículas gruesas dentro del agregado (NTP 400.012, 2013).

d) Aditivos

Según el ACI 212 (2010), se denomina aditivo a toda sustancia incorporada a la mezcla de concreto inmediatamente antes o durante el mezclado, distinta del agua, los agregados o el cemento hidráulico. Su empleo responde tanto a criterios de economía como a la necesidad de modificar o mejorar determinadas propiedades del hormigón en estado fresco o endurecido, por ejemplo, reducir el calor de hidratación o incrementar la resistencia inicial o final. De acuerdo con el ACI 212 (2010), los aditivos se clasifican en:

- **Acelerantes.** Tienen como finalidad acelerar de manera significativa el desarrollo de la resistencia inicial y/o acortar el tiempo de fraguado del concreto. Deben cumplir los requisitos establecidos en las normas NTP 339.086 y NTP 339.087.
- **Incorporadores de aire.** Están destinados a mejorar el comportamiento del hormigón frente a los ciclos de congelación y descongelación, mediante la formación de microburbujas de aire en la matriz de cemento. Estos aditivos se emplean, especialmente, cuando el concreto estará expuesto a temperaturas inferiores a 0 °C y deben satisfacer las especificaciones de la NTP 339.086.
- **Reductores de agua y reguladores de fragua.** Se utilizan para disminuir el contenido de agua de la mezcla, manteniendo un asentamiento determinado, o para modificar la relación agua/cemento. Los reductores de agua convencionales permiten reducir entre un 5 % y 10 % el contenido de agua, mientras que los reductores de alta gama o superplastificantes logran reducciones del 12 % al 30 %. Estos aditivos deben cumplir con la NTP 339.086.
- **Aditivos minerales.** De naturaleza puzolánica o cementicia, se incorporan con el propósito de incrementar la resistencia final del concreto en ciertas condiciones y mejorar el desempeño de mezclas con escaso contenido de finos en estado fresco. Las

cenizas y puzolanas deben ajustarse a la norma ASTM C618, mientras que la escoria granulada de alto horno finamente molida y la microsílíce deben cumplir la ASTM C989.

- **Impermeabilizantes.** Tienen como objetivo reducir la permeabilidad del concreto, controlando la filtración de agua a través de los poros y grietas. Estos productos disminuyen el paso del agua bajo presión y contribuyen a mejorar la durabilidad. Complementariamente, una menor relación agua/cemento (inferior a 0,50) y un mayor contenido de cemento favorecen las condiciones de impermeabilidad.

- **Ligantes (aditivos poliméricos).** Su función principal es mejorar las propiedades aglutinantes y de adherencia de las mezclas mediante el uso de polímeros orgánicos. Se emplean, entre otros, emulsiones acuosas de cloruro de vinilo, resinas acrílicas, copolímeros estireno-butadieno y otros polímeros sintéticos.

Diseño de mezcla de concreto 210 kg/cm² propuesto por ACI

El diseño del concreto, también denominado diseño de mezcla, es el proceso mediante el cual se seleccionan los materiales más adecuados y se definen sus proporciones, de forma técnica y económicamente eficiente, para obtener un concreto con las propiedades requeridas. Este procedimiento consiste en determinar las cantidades de los componentes que conforman una unidad cúbica de concreto, de modo que el material presente, en estado fresco, la trabajabilidad y consistencia apropiadas, y en estado endurecido cumpla con las exigencias de resistencia y desempeño establecidas por el proyectista o especificadas en los planos y documentos técnicos de la obra (Abanto, 2009).

La determinación de la mezcla depende fundamentalmente de:

- Las propiedades que debe alcanzar el concreto endurecido, conforme al pliego de especificaciones o a los requerimientos del proyectista.
- Las características del concreto fresco, que varían según la naturaleza y condiciones de la obra, así como los procedimientos de colocación y compactación empleados.

- El costo del concreto por metro cúbico, buscando siempre una solución técnicamente adecuada y económicamente viable.

A partir de estos factores, es posible realizar una estimación inicial de las proporciones de los materiales por unidad de volumen de concreto. Sin embargo, independientemente del método de cálculo empleado, dichas proporciones deben ser verificadas y ajustadas con base en los resultados de los ensayos de laboratorio y, posteriormente, en las condiciones reales de obra.

Procedimiento de diseño de mezclas de concreto – ACI 211

En esta investigación, se adopta la metodología propuesta por el comité ACI 211, cuyo procedimiento puede resumirse en los siguientes pasos:

- ✓ Seleccionar la resistencia media dependiendo de lo establecido, que en esta investigación será de 210 Kg/cm².
- ✓ Elección del tamaño nominal.
- ✓ Determinación del asentamiento o slump (en pulgadas).
- ✓ Definición del diseño y la cantidad del dispositivo.
- ✓ Agua-CMent.
- ✓ Cálculo del factor de cemento.
- ✓ Estimación total grueso.
- ✓ Cálculo de la cantidad de volúmenes.
- ✓ Volumen absoluto de compilación fina.
- ✓ Cálculo peso seco de un agregado fino.
- ✓ Establecimiento de los criterios de diseño del cemento.
- ✓ Ajuste de los valores de diseño considerando la humedad y absorción del agregado.
- ✓ Cálculo de la proporción en peso.

Curado del concreto

Darwin et al. (2016), en *Design of Concrete Structures*, define el curado como el proceso de conservar la humedad del concreto hasta que los productos de hidratación del cemento ocupan los espacios previamente llenos de agua. El curado permite regular la transferencia de calor y el contenido de humedad tanto en el interior como en la superficie del elemento de concreto, y tiene por finalidad evitar la fisuración y pérdida de material antes de que el concreto desarrolle la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos asociados a la retracción del fraguado. Una deficiente práctica de curado puede reducir de manera significativa la resistencia final del concreto.

Es fundamental iniciar el curado inmediatamente después del fraguado. En este sentido, Loya (2017) señala que el curado consiste en mantener condiciones adecuadas de humedad y temperatura durante las primeras edades, de modo que el concreto logre las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. De acuerdo con Eye-308 (2010), siempre que el concreto corra el riesgo de secarse con demasiada rapidez, y cuando dicho secado prematuro pueda afectar su integridad o impedir que alcance las propiedades requeridas, deben implementarse procedimientos de curado apropiados.

Neville y Brooks (1998) subrayan que el objetivo principal del curado es favorecer el desarrollo de la resistencia y, simultáneamente, mantener el concreto en condiciones de suficiente humedad. Dado que la hidratación del cemento tiene lugar únicamente en capilares saturados de agua, es imprescindible evitar la evaporación excesiva. Ensayos de laboratorio han demostrado que el concreto expuesto a ambientes secos puede perder hasta el 50 % de su resistencia potencial en comparación con aquel que se mantiene en condiciones de humedad. En la aplicación de los métodos de curado, el agua utilizada no debe estar excesivamente caliente, ya que podría inducir choques térmicos y fisuración. Se recomienda que la temperatura del agua de curado no difiera en más de 11 °C respecto a la temperatura del concreto.

Normas relacionadas con el curado

Las principales normas técnicas que regulan la elaboración y curado de probetas y elementos de concreto son:

- ASTM C31/C31M-03 (2003): Práctica estándar para la elaboración y curado de especímenes de concreto en obra.
- ASTM (2003): Práctica estándar para la elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio.
- ASTM C156-02 (2002): Método estándar para el curado de concreto mediante almacenamiento en agua y control de la humedad superficial.

Propiedades principales del concreto fresco

Rivva (1992) identifica entre las características fundamentales del concreto fresco la uniformidad, trabajabilidad, cohesividad, contenido de aire, tendencia a la segregación, exudación, tiempo de fraguado, calor de hidratación y peso unitario.

a. Consistencia

La consistencia se relaciona con el grado de fluidez de la mezcla. En términos prácticos, un concreto más húmedo presenta mayor facilidad de colocación, es decir, fluiría con mayor facilidad durante el vaciado (Rivva, 1992). El Instituto del Concreto (1997) la define como la capacidad del concreto recién mezclado para adaptarse a la forma del encofrado que lo contiene.

b. Trabajabilidad

La trabajabilidad es la propiedad del concreto fresco que determina su facilidad para ser manipulado, transportado, colocado, compactado y acabado, sin que se produzca segregación y manteniendo la homogeneidad de la mezcla. De acuerdo con Rivva (1992), la trabajabilidad puede clasificarse como baja, media o alta, en función del asentamiento (slump) medido en el ensayo correspondiente.

Propiedades principales del concreto endurecido

Según Rivva (1992), las propiedades más relevantes del concreto endurecido incluyen: resistencia mecánica, durabilidad, comportamiento elástico, cambios volumétricos, impermeabilidad, resistencia al desgaste y a la cavitación, así como su comportamiento acústico, térmico y su apariencia superficial.

A. Resistencia

Suele considerarse su atributo más valioso porque es la propiedad más importante para cumplir los requisitos estructurales. Sin embargo, no debemos olvidar que otras cualidades, como la durabilidad y la permeabilidad, suelen ser más significativas (Estrada & Paéz, 2014).

El hormigón es un material que puede soportar esfuerzos de tracción, flexión y compresión. De ellos, su resistencia a los esfuerzos de compresión es la mayor, casi 10 veces más que la de los esfuerzos de tracción. Esto hace que su determinación sea la más intrigante, ya que la mayoría de las aplicaciones. Por el contrario, la resistencia a la compresión del hormigón sirve como indicador muy conveniente de la magnitud de muchas otras propiedades del hormigón, razón por la que se utiliza la resistencia del material. Por lo general, las especificaciones del hormigón exigen una resistencia a la compresión de 28 días, que puede obtenerse fácilmente realizando un ensayo de compresión.

Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión es la propiedad que se utiliza con mayor frecuencia para evaluar la calidad del concreto endurecido. Dependiendo de las cargas y de la función estructural del elemento o de la estructura, pueden existir otros indicadores de importancia; sin embargo, numerosas propiedades mecánicas, como la adherencia, la resistencia a la tracción, la resistencia al corte y el módulo de elasticidad, se encuentran correlacionadas con el valor de f'_c según lo establecido en normas y códigos de diseño.

La resistencia a la compresión se determina mediante probetas estándar cargadas axialmente en laboratorio. Este ensayo se emplea tanto para el control de calidad como para la aceptación del concreto producido. La preparación de las probetas y los procedimientos de ensayo se rigen por normas ASTM (Ottazzi, 2004).

Tal como se muestra en la Figura 1, el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión consiste en someter las muestras de concreto a carga axial creciente hasta la falla, generalmente a una velocidad de carga del orden de 25 t/min.

Las probetas pueden tener forma cilíndrica –donde la altura es igual al doble del diámetro– o cúbica, esta última de uso extendido en varios países europeos (Morales, 2015).

En la práctica, el tamaño usual de las probetas cilíndricas es de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura. Dado que la probeta se encuentra sometida a carga axial, las caras de apoyo deben ser paralelas entre sí y perpendiculares al eje de aplicación de la carga, a fin de garantizar una distribución uniforme de esfuerzos.

Las edades normalizadas para la evaluación de la resistencia son 7, 14, 28, 91 y 180 días. Para cada una de estas edades se establece una ventana de tiempo específica en la que deben realizarse los ensayos. Las pruebas se efectúan de acuerdo con lo dispuesto en la norma ASTM C39/C39M (2010).

Para el cálculo de la resistencia a la compresión f'_c , se emplea la siguiente expresión:

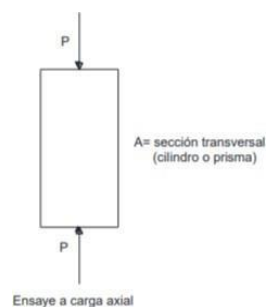
$$f_c = \frac{P}{A}$$

donde:

- f_c : esfuerzo máximo de compresión (kg/cm²)
- P : carga máxima aplicada (kg)
- A : área de la sección transversal de la probeta (cm²)

Figura 1

Representación visual del ensayo de compresión (ASTM C39/C39M, 2010)



La siguiente tabla indica los márgenes de tolerancia aceptables para la ruptura de especímenes de concreto en distintas edades.

Tabla 5

Tolerancia permisible por edad de ensayo

Edad del ensayo	Tolerancia permisible
1	+/- 0,5h
3	+/- 2h
7	+/- 6h
28	+/- 20h
90	+/- 48h

Nota. Método de prueba estandarizado determinar la f_c en muestras cilíndricas (NTP 339.034, 2008).

Evolución de la resistencia a compresión del concreto

El incremento de la resistencia a la compresión f'_c es más acelerado en las primeras edades del concreto, para luego ralentizarse progresivamente hasta alcanzar un valor prácticamente estable. Usualmente, la resistencia a los 28 días se adopta como valor de referencia o patrón para la evaluación del concreto endurecido (Valcuende et al., 2009).

De acuerdo con Valcuende et al. (2009), la evolución de la resistencia está influenciada de manera notable por el procedimiento de curado, el empleo de aditivos y las características del cemento, así como por la rapidez de secado del concreto.

El Código Modelo AF Euro-International Concrete (CEB-FIP, 1993) propone una expresión aproximada para describir el desarrollo de la resistencia a compresión en función del tiempo. La resistencia a una edad d días puede estimarse mediante:

$$f'_c(d) = K(d) f'_{c,28}$$

donde:

$$K(d) = e^{\left(\frac{s(1-\sqrt{\frac{28}{d}})}{d}\right)}$$

Siendo:

$f'c(d)$ = Capacidad de resistencia a la compresión del concreto a la edad “d”.

$f'c28$ = Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de edad.

S = Coeficiente determinado por el tipo de cemento, con los siguientes valores:

0,2 para cementos de fraguado rápido y alta resistencia.

0,25 para cementos de fraguado normal o rápido.

0,38 para cementos de fraguado lento.

D = Edad teórica o equivalente del concreto cuando se mantiene a una temperatura de 20°C.

Dado que funciona el hormigón depende igualmente de la temperatura de almacenamiento, cambiando más rápidamente a temperaturas más elevadas. Para relacionar el desarrollo de la resistencia en función de la temperatura se aplica lo siguiente: Dos concretos, pero de distinta edad tienen en el caso de que sus niveles de madurez sean iguales. La madurez “m” se calcula multiplicando la temperatura por la misma. Así lo indica la fórmula siguiente.

$$m = \sum_{i=1}^t [(T_i + 10)t_i]$$

Donde:

T_i = Temperatura a la que se conserva el concreto.

t_i = Período en días durante el cual la temperatura T_i actúa sobre el material.

Para el caso específico de concretos mantenidos a una temperatura constante de 20°C durante “d” días, la ecuación se expresa como:

$$m = 30 d$$

Al igualar ambas ecuaciones y despejar “d”, se obtiene:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n [(T_i + 10)t_i]}{30}$$

La edad “d” la edad del concreto. Expresa que el material debe estar en el estándar de 20 °C para alcanzar un grado de madurez y resistencia equivalente al que lograría en otras condiciones pasado varios días reales a esa temperatura.

B. Durabilidad

La capacidad del hormigón para seguir funcionando mientras dure la construcción de la que forma parte está vinculada a la idea de durabilidad del hormigón. Antes se pensaba que el hormigón tenía una gran durabilidad, pero ahora se sabe que ésta se ve limitada por factores ambientales (heladas, ataques de sulfatos del suelo) o internos (interacción álcali-agregado). Cuando el hormigón puede soportar suficientemente las consecuencias de las circunstancias de servicio a las que está sometido, se considera duradero (Rivva, 1992).

C. Impermeabilidad

Se considera que un elemento de concreto es impermeable cuando, estando expuesto al contacto con un fluido —como el agua— en una de sus caras, no permite su paso hacia la cara opuesta. En sentido estricto, el concreto no es totalmente impenetrable; sin embargo, puede presentar una permeabilidad tan baja que, aun en presencia de una presión hidráulica significativa, la cara opuesta al flujo se mantenga seca. Así, una pared de gran espesor puede producir prácticamente el mismo efecto que un caudal de agua nulo o extremadamente reducido atravesando una pared delgada de concreto de baja permeabilidad (Hermida, 2014).

En este mismo sentido, de acuerdo con la zona expuesta y la presión del agua, dos elementos de concreto con igual geometría y calidad pueden permitir, o no, el paso del agua. De ello se desprende que factores como la geometría de la estructura, la magnitud de la presión hidrostática y el área de contacto con el fluido corresponden a condiciones de servicio y entorno, y no a propiedades intrínsecas del material.

Al definir el concreto impermeable, la atención se centra únicamente en las características del material, sin considerar las condiciones estructurales ni la presencia o ausencia de agua al otro lado del elemento constructivo. La definición de concreto de alta resistencia y la de concreto “impermeable” son, en este sentido, comparables: en ambos casos se caracteriza una propiedad intrínseca del material, y no su desempeño dentro de la estructura. Así, se considera concreto de alta resistencia aquel que presenta una resistencia a la compresión superior a 60 MPa (independientemente de la edad); sin embargo, una columna elaborada con este tipo de concreto puede fallar si está sobrecargada o si su sección es insuficiente, sin que ello implique que el material haya perdido su alta resistencia.

De manera análoga, sería más preciso referirse al llamado “hormigón impermeable” como hormigón de baja permeabilidad, dado que los términos “impermeable” e “irrompible” pueden asociarse erróneamente como conceptos equivalentes. Incluso en hormigones denominados “impermeables”, si el espesor del elemento o la presión del agua no son los adecuados, el paso del agua puede producirse (Hermida, 2014). Pese a ello, la expresión “hormigón impermeable” (o “indestructible”) es difícil de erradicar del vocabulario de la construcción, por lo que puede seguir utilizándose, siempre que se comprenda que hace referencia a una propiedad del material y no a un comportamiento garantizado de la estructura.

Tabla 6

Propiedades y valores para la obtención de un concreto “impermeable”

CRITERIOS DE DESEMPEÑO PARA UN CONCRETO IMPERMEABLE		
Ensayo	Valor	Norma
Absorción capilar (qw)	< 6 g/m²/h	SIA 262/1 Anexo A
Penetración de agua	< 30 mm	EN 12390 Parte 8
Retracción por secado	< 0.07 %	ASTM C157

Nota. Datos obtenidos de Hermida (2014).

Aditivos para concreto impermeable

Los aditivos empleados para la producción de concreto impermeable no solo tienen como finalidad impedir el ingreso o escape de agua a través de la masa del concreto. Además, se utilizan para reducir la probabilidad de carbonatación, mitigar los efectos de los ciclos de congelación y descongelación, disminuir el riesgo de corrosión del acero de refuerzo y prevenir o minimizar la aparición de eflorescencias.

Los aditivos específicamente diseñados con fines de impermeabilización se incorporan al concreto destinado a estar en contacto con el agua, como en el caso de depósitos, túneles, puentes, presas, muros de contención e instalaciones en centros acuáticos, entre otros. Estos materiales contribuyen a que el agua se mantenga dentro o fuera del sistema según se requiera, a la vez que prolongan la vida útil de los elementos de concreto armado frente a la acción del medio.

De acuerdo con el comité ACI 212-10 “Concrete Admixtures”, los aditivos destinados a reducir la permeabilidad del concreto se agrupan en dos subcategorías principales:

1. **Aditivos para reducir la penetración de agua sin presión**, asociados a la lluvia, humedad, capilaridad u otras formas de ingreso de agua no sometida a presiones significativas.
2. **Aditivos para reducir la infiltración de agua bajo presión**, utilizados en estructuras sometidas a diferencias de presión hidráulica, donde se busca limitar el flujo de agua a través del concreto, en gran medida compensando o reduciendo la absorción capilar del material.

Permeabilidad al agua

La permeabilidad del concreto está condicionada por la permeabilidad de sus componentes, principalmente la pasta de cemento y los áridos. En términos sencillos, la permeabilidad es el grado en que un líquido o gas puede atravesar una sustancia sólida. En el caso del concreto, esta propiedad está directamente relacionada con la presencia, continuidad y tamaño de los poros y microfisuras internos.

En el presente estudio, los ensayos de permeabilidad se realizaron en cilindros de concreto de tamaño estándar (150 mm x 300 mm), cortados transversalmente por la mitad, aplicándose la presión hidráulica sobre la superficie resultante del corte. Para cada combinación de mezcla se efectuó cuatro ensayos, utilizando dos probetas cilíndricas (Morales, 2015).

Para calcular la permeabilidad y, por ende, el flujo de penetración de agua en la probeta, se empleó la siguiente fórmula (Morales, 2015):

- q = Flujo de penetración del agua (mm/s)
- B = Área del tornillo micrométrico (mm²)
- g_1, g_2 = Lecturas inicial y final del micrómetro (mm)
- A = Área superficial sometida a presión de agua (mm²)
- t = Tiempo de ensayo (s)

Permeabilidad del concreto

a) Definición

Según Mattio (2014), la permeabilidad se refiere a la rapidez con la que el agua y otros líquidos atraviesan el concreto a través de sus poros. La velocidad con la que el agua, otros líquidos o gases se desplazan o son absorbidos por el concreto, así como el tiempo que permanecen en sus poros, depende del volumen, tamaño, distribución y características de dichos poros.

Diversos autores señalan que el concreto con una estructura porosa más abierta tiene mayor probabilidad de desintegrarse, debido a que el agua que ingresa en sus poros se expande al congelarse, generando tensiones internas que el material no puede soportar. De manera semejante, sulfatos, ácidos y otros agentes químicos agresivos pueden penetrar con facilidad, acelerando la degradación tanto del concreto como de las barras de acero en elementos de hormigón armado.

Hermida (2014) define la permeabilidad como el desplazamiento de un líquido bajo la influencia de un gradiente de presión, análogo al que se presenta en estructuras de almacenamiento de agua. Esta propiedad se estudia en medios saturados, como el concreto. Es importante considerar que la durabilidad del concreto está fuertemente

condicionada por la penetración de gases y líquidos en su interior. El ingreso, redistribución o eliminación de compuestos potencialmente dañinos (sulfatos, cloruros, álcalis lixiviados, agua de mar, entre otros) en el concreto, en la armadura o en ambos, está directamente relacionada con la penetración del agua. Solo en el caso de concretos diseñados para actuar como filtros o elementos de drenaje, la penetración de agua puede considerarse una condición deseable.

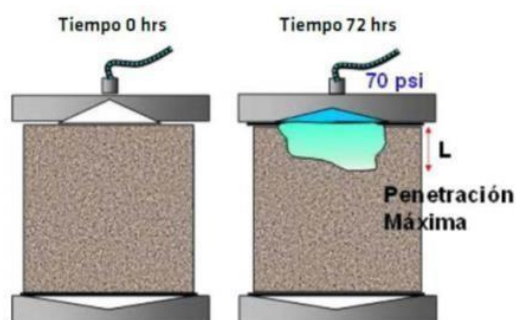
La reducción de la permeabilidad constituye, por tanto, una estrategia fundamental para incrementar la durabilidad del concreto, ya que limita la infiltración de agua y, con ello, el avance de procesos que podrían comprometer la resistencia y vida útil de la estructura.

Prueba de permeabilidad (infiltración de agua): UNE-EN 12390-8

La penetración de agua a presión en el concreto endurecido puede evaluarse mediante el método establecido en la norma UNE-EN 12390-8. Este ensayo consiste en someter una probeta de concreto endurecido a la acción de una columna de agua a presión aplicada sobre una de sus caras durante un período de tres días. Transcurrido este tiempo, la probeta se secciona y se observa la zona afectada por la infiltración del agua, identificable visualmente por el cambio de color o apariencia del material. La profundidad máxima de penetración medida se toma como el valor representativo del nivel de infiltración de agua en el concreto ensayado, constituyendo un indicador directo de su permeabilidad.

Figura 2

Concreto impermeable



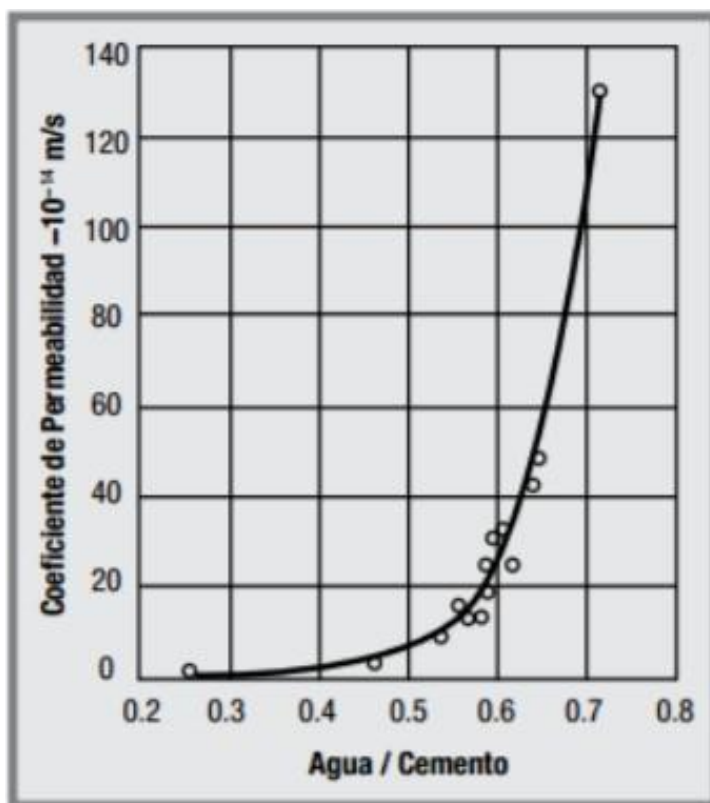
Nota. Tomado de Hermida (2013).

b) Factores que afectan la permeabilidad

Influencia de la relación a/c: Mattio (2014) afirma que, cuando los granos de cemento se empaquetan más estrechamente entre sí a menores relaciones peso-cemento, queda menos espacio disponible entre ellos para que lo ocupe el agua. Inicialmente, los poros capilares crean una red continua de espacios llenos de agua entre los granos de cemento. El hormigón pierde parte de su penetrabilidad a medida que los granos de cemento se hidratan y forman cristales que obstruyen los poros. El hormigón con poros más pequeños tiende a ser más impermeable que el que tiene poros más grandes. Este fenómeno se ve agravado por una menor relación agua/cemento (relación a/c), lo que se traduce en un mayor grado de obstrucción y una mayor durabilidad.

Figura 3

Coefficiente de permeabilidad al agua en función de la relación a/c



Nota. Tomado de Mattio (2014).

La relación agua/cemento apropiado se determina en función del tamaño máximo del agregado empleado, su granulometría, el tipo de cemento y el uso de adiciones minerales o químicas. Si bien se recomienda utilizar relaciones agua/cemento cercanas a 0,30 para obtener concretos de baja permeabilidad, dicho valor puede variar según las características de los materiales y las condiciones específicas de diseño y puesta en obra.

Proporción agua/cemento basado en la resistencia a la compresión (f'_c)

Tabla 7

Relación agua/cemento por resistencia

f'_c (28 días)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

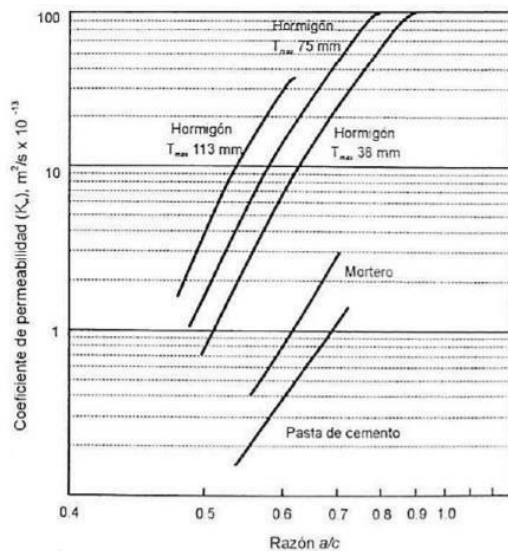
Fuente. (ACI 212, 2010)

Impacto de la interfaz entre la pasta y el agregado. Según Mattio (2014), la zona de contacto entre la pasta de cemento y el agregado presenta de manera consistente una mayor porosidad, como resultado de las condiciones de hidratación, del agua exudada y de factores vinculados al tamaño del agregado. Durante las primeras etapas de hidratación, las tensiones que se generan entre la pasta y el agregado –producto de

la contracción por secado, la retracción térmica y las fuerzas externas aplicadas– hacen que esta zona sea especialmente susceptible al agrietamiento. Las fisuras originadas pueden conformar vías preferenciales de paso para los fluidos, formando un sistema de permeabilidad significativamente mayor que el asociado a los poros capilares de la matriz. Esta situación se ilustra en diversos tipos de concreto, destacándose la diferencia entre el comportamiento de las pastas de cemento y el de los hormigones.

Figura 4

Cambio en el coeficiente de permeabilidad según la relación a/c en concretos de diferentes TM, así como en mortero y pasta de cemento



Nota. Tomado de Mattio (2014).

Impacto de los agregados

Los agregados constituyen aproximadamente el 75 % del volumen total del concreto. Por ello, según Mattio (2014), ejercen una influencia determinante en las propiedades mecánicas y de durabilidad del material. Con frecuencia, los agregados limitan la resistencia del concreto; sin embargo, sus características físicas y granulométricas también condicionan su comportamiento a lo largo de la vida útil de la estructura.

El concreto se vuelve más vulnerable a la penetración de sustancias agresivas cuando la granulometría de los agregados exige un mayor contenido de agua en la mezcla, lo que incrementa la relación a/c efectiva y reduce la durabilidad. Asimismo, el aumento del tamaño máximo de los agregados repercute en la permeabilidad, ya que la falta de compatibilidad mecánica y reológica con la pasta de cemento modifica y amplifica la zona de interfaz pasta-agregado, favoreciendo la formación de microfisuras y vías de paso para el ingreso de agentes externos.

Una adecuada gradación de los agregados permite obtener un concreto más denso y menos poroso. En cambio, una distribución granulométrica deficiente, con partículas de tamaño relativamente uniforme, genera un mayor volumen de vacíos, demanda más agua de mezclado y se traduce en un concreto con mayor permeabilidad y menor resistencia (Niño, 2010).

Efecto del agua de curado

El régimen de curado también tiene un efecto directo sobre la permeabilidad del concreto. Cuando el curado se realiza de forma continua e ininterrumpida, el concreto desarrolla una microestructura más densa, con poros de menor tamaño y menor interconexión. Ello se debe a que se limita la evaporación temprana del agua contenida en la pasta, evitando la formación de redes capilares abiertas y fisuras que faciliten el paso de agua, sulfatos y compuestos ácidos.

Por otro lado, un secado parcial del concreto antes de su exposición puede favorecer la formación de carbonato de calcio en la superficie de los poros, lo que contribuye a obstruirlos y reducir la permeabilidad. No obstante, este efecto beneficioso es limitado y no sustituye a un adecuado curado inicial, que sigue siendo fundamental para garantizar una baja permeabilidad y, por ende, una mayor durabilidad del concreto (Niño, 2010).

Influencia del tipo de cemento

El tipo de cemento empleado también incide en la capacidad de permeabilidad del concreto. Diversos autores señalan que el uso de cementos adicionados con cenizas volantes, escoria granulada de alto horno finamente molida o puzolana natural tiende

a reducir la permeabilidad del concreto adecuadamente compactado y curado. Estos materiales suplementarios refinan la microestructura de la pasta, disminuyen la porosidad capilar y mejoran la resistencia del concreto frente al ingreso de agentes agresivos (Niño, 2010). De igual modo, se ha observado que, en términos generales, a medida que el cemento presenta una mayor finura, la pasta resultante tiende a ser menos permeable, siempre que se controle adecuadamente la relación agua/cemento y se asegure una correcta compactación y curado.

Bambú

Los bambúes son plantas perennes pertenecientes a la familia *Poaceae*, subfamilia *Bambusoideae*. Se les conoce comúnmente como bambúes y comprenden tanto especies de gran porte como formas de menor tamaño: algunos bambúes gigantes pueden alcanzar varios metros de altura, mientras que muchas especies no sobrepasan el metro y presentan tallos de apenas medio centímetro de diámetro. Dentro del grupo se encuentran especies **cespitosas**, trepadoras y de crecimiento rizomatoso más expansivo, así como formas **herbáceas y leñosas**. Las plantas de la subfamilia *Bambusoideae* se distribuyen de manera natural en todos los continentes, con excepción de Europa y la Antártida, y abarcan desde regiones tropicales hasta zonas templadas. Presentan dos tipos principales de hojas:

- a) hojas verdes, pseudopeciadas, ubicadas en las ramas, y
- b) hojas basales, coriáceas y de tonalidad parda, insertas en el tallo.

Las flores poseen tres lodículas y un androceo generalmente conformado por seis estambres, aunque en algunos casos el número puede variar de dos hasta catorce. El ovario suele presentar uno o dos estigmas. En las plántulas no se desarrolla una lámina foliar evidente.

Citogenéticamente, las cifras básicas de cromosomas reportadas para el grupo son $x = 7$ y $x = 9-12$. En conjunto, la subfamilia *Bambusoideae* comprende alrededor de **126 géneros** y entre **970 y 1200 especies**, que se distribuyen desde ambientes tropicales hasta regiones templadas.

Figura 5

Bambú seco



Diversificación y usos del bambú

Dentro de la subfamilia *Bambusoideae*, la diversificación de los bambúes ocurrió hace aproximadamente 30 a 40 millones de años. El clado que agrupa a los bambúes leñosos incluye especies que pueden alcanzar hasta 25 metros de altura y que presentan características reproductivas singulares. Entre ellas destaca la floración gregaria, un fenómeno en el que todos los tallos de una misma población florecen simultáneamente, incluso cuando los individuos tienen una vida relativamente corta (unas pocas décadas o menos). Se considera que este comportamiento está regulado por un “reloj genético”, y los intervalos de floración pueden variar ampliamente: algunas especies florecen cada 120 años, mientras que otras lo hacen en ciclos irregulares o de manera esporádica.

El bambú ha mantenido una relación estrecha con diversas culturas, especialmente en Asia, donde ha desempeñado un papel fundamental en la vida cotidiana y en el desarrollo tecnológico tradicional. Sus aplicaciones abarcan múltiples ámbitos:

- Nutrición
- Salud y medicina tradicional
- Edificación y construcción

- Industria textil
- Elaboración de papel e impresión
- Fabricación de instrumentos acústicos
- Energía renovable
- Navegación
- Documentación y escritura

Debido a su versatilidad, rápida renovación y enorme diversidad de especies, el bambú ha sido introducido en regiones donde su crecimiento no era habitual como alternativa sostenible frente a la creciente demanda de recursos renovables. En la actualidad, existen plantaciones a gran escala en países como Australia y Estados Unidos, entre otros.

Asimismo, su ligereza, resistencia y flexibilidad han motivado su incorporación en la industria moderna. Empresas como Apple, Lexus y Toyota han incorporado componentes de bambú en algunos de sus productos para aprovechar sus propiedades naturales. En ciertos tipos de embarcaciones, por ejemplo, se emplean tallos huecos de bambú como parte de la estructura interna, aprovechando su resistencia y bajo peso.

Definición de términos

Agregados para el concreto

Los agregados se definen como un conjunto de partículas inorgánicas, naturales o artificiales, reguladas según la norma NTP 400.011. Estos se encuentran inmersos en la pasta de cemento y representan aproximadamente el 75 % del volumen del concreto (Torre, 2004).

Agregado

De acuerdo con la Norma E.060 (2009), se denomina agregado al conjunto de materiales como arena, grava, piedra triturada y escoria de alto horno, naturales o

artificiales, que al combinarse con el cemento y el agua permiten la formación del mortero hidráulico o del concreto.

Agregado fino

El agregado fino es el material que resulta de procesos de desintegración natural o artificial y que pasa por un tamiz de 9,5 mm (3/8") (Norma E.060, 2009).

Agregado grueso

El agregado grueso está constituido por fragmentos de roca descompuestos de manera natural o mecánica, que quedan retenidos en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4) (Norma E.060, 2009).

Testigos de concreto

Los testigos de concreto se emplean habitualmente para evaluar la resistencia mecánica del hormigón y realizar labores de supervisión y control de calidad (Absalón & Salas, 2008).

Relación agua/cemento

La relación agua/cemento (a/c) es una de las variables más determinantes en el comportamiento del concreto. Según Cabello et al. (2015), esta relación se ve afectada por la cantidad, el tipo y la granulometría del cemento. Como criterio práctico, suele calcularse en función de la cantidad de agua necesaria para proporcionar a la pasta una consistencia adecuada para el acabado, con valores que generalmente oscilan entre 0,30 y 0,60.

Pasta

La pasta se define como la mezcla de cemento y agua, sin considerar aún la incorporación de los agregados (Norma E.060, 2009).

Diseño de mezclas

El diseño de mezclas corresponde a la selección y proporción de los componentes que constituyen una unidad cúbica de hormigón, de modo que se alcancen las propiedades requeridas en estado fresco y endurecido (Absalón & Salas, 2008).

Cemento Portland

El cemento Portland es un producto resultante de la molienda del clinker, al cual se le adiciona posteriormente una cantidad regulada de sulfato de calcio, con el fin de controlar el tiempo de fraguado.

American Concrete Institute (ACI)

El American Concrete Institute (ACI), conocido en español como Instituto Americano del Concreto, es una organización estadounidense fundada en 1904 con el propósito de establecer directrices técnicas, normas y estándares para el diseño, construcción y evaluación de estructuras de hormigón armado y de concreto en general. Su sede se encuentra en Farmington Hills, Michigan (EE. UU.).

American Society for Testing and Materials (ASTM)

La American Society for Testing and Materials (ASTM) es una organización internacional dedicada a la elaboración de normas técnicas para materiales, productos, sistemas y servicios. Su sede se ubica en West Conshohocken, Pensilvania, EE. UU.

La presente investigación se justifica en los aspectos técnico, teórico, social y ambiental. En lo técnico, tuvo el propósito de obtener un hormigón de mayor desempeño que el hormigón convencional, evaluando el comportamiento de la resistencia a la compresión cuando se sustituye parcialmente el cemento por ceniza de bambú en la mezcla. Los elementos estructurales principales –como vigas, columnas y losas– deben diseñarse y construirse para una resistencia característica $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica E.060. En consecuencia, para el desarrollo de esta investigación se han elaborado diseños de mezcla tomando como patrón una resistencia de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Asimismo, la ejecución de este estudio permitió determinar el impacto de la incorporación de ceniza de bambú al concreto, analizando si la sustitución parcial del cemento, en porcentajes en peso, incrementó o no la resistencia a la compresión del material y si los resultados coincidían o contradecían estudios previos.

En cuanto a la justificación teórica, esta investigación aporta nuevos conocimientos sobre la tecnología del concreto y el uso de aditivos naturales,

específicamente la ceniza de bambú, un recurso abundante en la región en su estado natural. Los resultados servirán como referencia y respaldo para trabajos futuros asociados al comportamiento del concreto con $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, así como a la incorporación de materiales alternativos en el cemento. Las conclusiones generadas podrán utilizarse para formular, desarrollar y contrastar nuevas hipótesis y modelos teóricos en investigaciones posteriores.

En el ámbito social, esta investigación busca contribuir al mejoramiento de la tecnología del concreto, dado que un adecuado diseño de mezclas se traduce en mejores diseños de pavimentos y elementos estructurales, favoreciendo la modernización de las tecnologías de construcción. Por otro lado, los profesionales y actores del sector construcción podrán identificar las ventajas de la ceniza de bambú como aditivo natural, lo que abre la posibilidad de reducir el consumo de aditivos químicos tradicionales, muchos de los cuales son altamente contaminantes.

Desde la perspectiva ambiental, el uso de ceniza de bambú como sustituto parcial del cemento representa una alternativa más sostenible, aprovechando un residuo o subproducto natural y disminuyendo potencialmente la huella ambiental asociada a la producción de cemento. Además, este estudio permitirá explorar nuevas oportunidades de investigación sobre la resistencia a la compresión (f'_c) y otras propiedades físicas y químicas del concreto modificado, contribuyendo a identificar la metodología más adecuada para la aplicación de este aditivo natural en el diseño de mezclas.

Problema

La resistencia del hormigón ha experimentado un notable progreso debido al avance tecnológico; sin embargo, para que sea funcionalmente aceptable, deben considerarse tres factores fundamentales: el costo de construcción y de los materiales, la durabilidad y el desempeño ambiental. En este sentido, Hernández y Mendoza (2005) señalan que, en la práctica, muchas empresas constructoras confunden un hormigón económico con un hormigón barato, ya que este último puede soportar cargas, pero no siempre es duradero frente a agentes externos como el agua o los sulfatos, lo que incrementa los costos de mantenimiento a largo plazo; por el contrario,

un hormigón durable y resistente puede exigir una inversión inicial mayor, pero permite ahorros significativos en el tiempo. De manera concordante, Sanjuán y Castro (2001) sostienen que la inadecuada selección de materiales, que suele comprometer la f_c y la capacidad resistente de los elementos, constituye uno de los principales factores que elevan los costos de reparación de las estructuras de hormigón en España. Cuando el concreto presenta deficiencias en su composición, tiende a incrementar su porosidad y, por ende, su permeabilidad, lo que agrava los problemas en el caso de estructuras de hormigón armado. En Francia, Mathieu y Sari (1994) reportan que el 12 % de los tanques elevados en edificaciones presenta problemas de permeabilidad del hormigón, y solo el 58 % de los usuarios manifiesta estar satisfecho con su desempeño.

La tecnología del hormigón ha avanzado hasta el punto de exigir mejoras continuas para responder a la creciente demanda de servicios, lo que ha motivado la incorporación de los aditivos como un nuevo componente de la mezcla. Estos son útiles e incluso necesarios en múltiples circunstancias; por ejemplo, añadir agua a la mezcla mejora la trabajabilidad, pero a costa de reducir la resistencia mecánica, incrementar la contracción por secado y disminuir la resistencia frente a agentes agresivos (Vidaud, 2014). En la actualidad, muchos de los aditivos empleados en el concreto son de naturaleza química, han sido industrialmente procesados y su utilización puede resultar costosa, además de no constituir siempre la opción más adecuada desde una perspectiva ecológica y económica. En este contexto, se han explorado fibras naturales y otros aditivos orgánicos de origen vegetal como alternativas para la construcción de infraestructuras y viviendas de bajo costo; cuando estos materiales se insertan en entornos industriales, abren nuevas oportunidades de comercialización y agregan valor a la cadena productiva.

En esta línea, el presente estudio se orienta a la búsqueda de un aditivo natural que responda a las exigencias técnicas, económicas y ambientales descritas, proponiendo el empleo de la fibra de bambú como aditivo de origen natural en el concreto, a fin de evaluar, en función de los resultados, su potencial como reemplazo parcial de aditivos químicos. Para ello, se analizará específicamente su efecto sobre la resistencia a la compresión de un concreto convencional.

Formulación del problema

¿Qué efecto tiene la adición de fibra de bambú en la resistencia a la compresión de un concreto convencional con diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$?

Conceptualización y operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Fibra de bambú	Planta de rápido crecimiento. Su uso en la construcción tiene gran relevancia debido a su bajo costo y su contribución al cuidado del medio ambiente. (Osorio & Pulgarín, 2015).	Las características físicas y mecánicas de las fibras vegetales de bambú definen su idoneidad como aditivo para el concreto.	Propiedades de las fibras de bambú	Físicas Humedad Contenido de humedad Densidad Contracción Kg/cm ²
Variable dependiente: Resistencia a compresión del concreto.	La resistencia de la carga axial de especímenes de concreto. La $f'c$ depende directamente con los materiales de la mezcla, del porcentaje de vacíos del esfuerzo de compactación. Se determina de acuerdo con la norma ASTM C39. (Asociación del Cemento y el Concreto, A.C., 2008).	La $f'c$ se determina al fracturar probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión y se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que soporta la carga, expresándose en unidades de kg/cm ² (Unidades del SI).	Esfuerzo a la compresión Curado	Kg/cm ²

La hipótesis de la presente investigación plantea que la adición de fibra de bambú como aditivo natural incrementará la resistencia a la compresión ($f'c$) de un

concreto convencional diseñado para una resistencia característica de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

El objetivo general de la investigación es determinar el comportamiento de un concreto reforzado con resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al adicionar 1,7 % y 2,7 % de fibra de bambú en la mezcla. De este objetivo general se derivan los siguientes objetivos específicos: determinar el diseño de mezcla de un concreto de 210 kg/cm^2 en su condición convencional y con la adición de 1,7 % y 2,7 % de fibra de bambú; analizar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la fibra de bambú que se incorporará al concreto en los porcentajes de 1,7 % y 2,7 %; medir el pH de la ceniza de fibra que se adicionará al concreto de 210 kg/cm^2 ; evaluar la resistencia a la compresión ($f'c$) de la muestra estándar y de las mezclas experimentales con 1,7 % y 2,7 % de fibra de bambú a los 7, 14 y 28 días de curado; y analizar comparativamente la $f'c$ de la muestra estándar y de las mezclas experimentales utilizando criterios de validez estadística.

Metodología

En cuanto al enfoque, la presente investigación es de naturaleza cuantitativa. Según Hernández et al. (2014), el enfoque cuantitativo se sustenta en la medición numérica y en la recolección de datos para probar hipótesis previamente formuladas y dar respuesta a problemas de investigación. En este estudio, se emplearán técnicas estadísticas para analizar los datos obtenidos en laboratorio, vinculados a la modificación de las variables de dosificación del concreto mediante la incorporación de fibra de bambú, por lo que se confirma su carácter cuantitativo.

De acuerdo con la orientación, la investigación se centra en la comparación de la resistencia a la compresión de un concreto convencional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y de concretos con adición de un aditivo natural (fibra de bambú), así como en la generación de nuevos conocimientos sobre los efectos del uso de esta fibra en diferentes porcentajes. En este sentido, el estudio tiene una orientación aplicada, en la medida en que busca evaluar una alternativa tecnológica concreta para mejorar el desempeño del material.

Según el nivel, la investigación es de tipo explicativo. Hernández et al. (2014) señalan que los estudios explicativos buscan determinar las causas de los fenómenos y las condiciones en las que estos ocurren, así como las relaciones entre las variables involucradas. En este caso, se pretende establecer la relación de causa-efecto entre la adición de fibra de bambú como aditivo natural (variable independiente) y la resistencia a la compresión del concreto f'_c (variable dependiente), determinando en qué medida dicha incorporación influye en el comportamiento mecánico del material.

En cuanto al diseño, se adopta un diseño de investigación experimental. Este tipo de diseño implica la modificación intencional de una o más variables independientes para observar sus efectos sobre una o más variables dependientes, bajo condiciones controladas que permiten establecer comparaciones válidas. En este estudio, la variable independiente es el contenido de fibra de bambú incorporado al concreto, mientras que la variable dependiente es la resistencia a la compresión f'_c . El trabajo se desarrollará en un laboratorio especializado, donde se elaborarán las probetas, se aplicarán las dosificaciones establecidas y se realizarán los ensayos correspondientes, a fin de analizar y discutir los resultados obtenidos.

Respecto a la población, siguiendo a Hernández et al. (2014), quien la define como el conjunto de elementos que comparten características comunes y sobre los cuales se desea extraer conclusiones. En esta investigación, la población estuvo constituida por todas las probetas cilíndricas de concreto elaboradas conforme a la normativa vigente para un concreto de diseño $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Estas probetas representan el universo de unidades experimentales sobre las que se evaluó el efecto de la fibra de bambú.

En relación con la muestra, Hernández et al. (2014) la describen como la parte de la población que se selecciona para el desarrollo del estudio, la cual puede abarcar la totalidad de los elementos cuando el tamaño es manejable. En este caso, la muestra estuvo conformada por 27 probetas cilíndricas de concreto, con dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, elaboradas de acuerdo con lo establecido en la Norma E.060 (2009). Cada ensayo de resistencia a la compresión (f'_c) corresponde al promedio de tres probetas de la misma mezcla, ensayadas a los 7, 14 y 28 días de

curado, según lo dispuesto por la norma. Se fabricaron nueve probetas para cada tipo de concreto (concreto convencional y concretos con porcentajes variables de fibra de bambú), distribuidas en función del tipo de material y de los periodos de ensayo, garantizando así la validez estadística de los resultados.

Tabla 8

Cantidad de probetas cilíndricas para la prueba de resistencia a compresión

Edad de concreto	Concreto Patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Con adición de 1,7% de fibra de bambú	Con adición de 2,7% de fibra de bambú
7 días			
14 días			
28 días			

Tabla 9

Resumen de la elaboración de probetas a ensayar

Dosificación	Ensayo Resistencia a compresión	Número de especímenes
Concreto patrón 210 Kg/cm^2	9	11
Concreto patrón 210 $\text{Kg/cm}^2 + 1.7\%$ de fibra de bambú	9	11
Concreto patrón 210 $\text{Kg/cm}^2 + 2.7\%$ de fibra de bambú	9	11
Probetas cilíndricas en total		33

Técnicas e instrumentos de investigación

El estudio incluyó el análisis de documentación y la ejecución de ensayos de laboratorio. Se evaluó en tiempo real los resultados de las pruebas realizadas, manteniendo los mismos criterios y procedimientos a lo largo de todo el estudio, de acuerdo con los estándares definidos por el ACI y las NTP.

En cuanto a la revisión de documentos, se emplearon diversas fuentes, tales como libros, artículos científicos, tesis a nivel internacional, nacional y local, así como normas técnicas (ACI, NTP y ASTM C). Las referencias a estas fuentes se consignaron en la bibliografía de la investigación.

Respecto a los ensayos de laboratorio, se llevaron a cabo ensayos a los agregados finos y gruesos de acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas (NTP). Para las probetas de concreto, se ensayó la resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días de curado, conforme a lo establecido en la NTP.

Instrumentos

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el instrumento de medición fue el medio mediante el cual el investigador obtuvo información o datos sobre las variables de interés (p. 199). En esta investigación se utilizaron como instrumentos los siguientes equipos: un equipo para la medición del pH de la sábila, un equipo de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y una máquina de compresión para la verificación de la resistencia del concreto.

En cuanto a la validez, la estandarización de los procedimientos y documentos según las normas ASTM, así como la intervención de especialistas con formación y experiencia en la materia, aseguraron que los resultados fueran confiables y no requirieran procesos adicionales de validación.

Procedimientos

Para el análisis de la información, en primer lugar, se elaboró la mezcla de concreto estándar ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) siguiendo la norma ACI 211.1. Esto implicó la selección y caracterización de los componentes, la determinación de la relación agua/cemento y la dosificación adecuada de los agregados, de modo que el concreto

producido cumpliera con las especificaciones mínimas establecidas.

Se fabricaron 27 probetas cilíndricas de 10 cm x 30 cm: 9 correspondieron al concreto patrón y las 18 restantes se destinaron a las mezclas con los porcentajes de adición de fibra de bambú de 1,7 % y 2,7 %.

Posteriormente, se aplicaron métodos de análisis estadístico y se elaboraron gráficos para procesar y examinar los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio. Los gráficos de evolución de la resistencia a la compresión sirvieron como base para el análisis del efecto del uso de fibra de bambú en el concreto.

Evaluación granulométrica del agregado fino y grueso (NTP 400.012, 2013)

Equipos

Balanzas: Las balanzas empleadas en los ensayos de agregados finos y gruesos debieron cumplir los siguientes requisitos de precisión y aproximación: para el agregado fino, dentro del rango de uso, una aproximación de 0,1 g y una precisión de 0,1 g o 0,1 % de la masa de la muestra, considerando el valor mayor; para el agregado grueso, dentro del rango de uso, una precisión de 0,5 g o 0,1 % de la masa de la muestra, según cuál fuera el valor más alto.

Tamices: Los tamices utilizados cumplieron la norma NTP 350.001. Se emplearon los siguientes tamaños: para el agregado grueso, tamices de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N.º 4; y para el agregado fino, tamices N.º 4, N.º 8, N.º 16, N.º 30, N.º 50, N.º 100 y N.º 200.

Horno: Se utilizó un horno de capacidad adecuada, capaz de mantener de forma constante una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento

- La muestra se secó a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se pesó la cantidad requerida de muestra, entre 300 y 400g.
- La muestra se colocó en la malla superior del conjunto de tamices, organizados en orden decreciente según el tamaño de la abertura.

- Se aplicaron distintos movimientos de vaivén sin ejercer presión sobre las partículas.
- Si en el transcurso de un minuto no pasaba más del 1% del peso del material retenido en el tamiz, la operación de tamizado se consideró finalizada.
- Para el agregado fino, se determinó según:

$$M.F. = \frac{\sum \%Acum.Ret.(1^1, 3^3, 3^n, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100, 248)}{100}$$

Contenido de humedad del agregado fino y grueso (NTP 339.185, 2013)

Equipos

- **Balanza:** Cumplió con las especificaciones de precisión establecidas en la NTP 339.185.
- **Horno:** Que mantuvo una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Contenedor de muestra:** Recipiente resistente al calor, capaz de contener la muestra sin riesgo, con dimensiones tales que el espesor de la capa de agregado no excediera la quinta parte del lado menor del recipiente.
- **Utensilios de manipulación:** balde metálico o espátula de tamaño adecuado para el manejo de la muestra.

Procedimiento

- Se seleccionó la muestra, se calentó previamente el recipiente, se colocó en él la muestra en estado húmedo y se registró su peso.
- La muestra se dejó en el horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, tiempo durante el cual se evaporó el agua hasta obtener una muestra seca.
- Transcurridas las 24 horas, la muestra se dejó enfriar a temperatura ambiente y se volvió a pesar.
- El contenido de humedad se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$\%W = \frac{H \times 100}{M_s}$$

Donde:

- $\%W$ = porcentaje de humedad
- H = peso del agua evaporada
- M_s = peso de la muestra seca

Además:

$$H = (\text{Peso recip.} + M. \text{ húmeda}) - (\text{Peso recip.} + M. \text{ seca})$$

$$M_s = (\text{Peso recip.} + M. \text{ Seca}) - (\text{Peso recip.})$$

Peso unitario de los agregados fino y grueso (NTP 400.017, 2011)

Procedimiento

a) Agregado fino y grueso en condición suelta

Se taró el contenedor de ensayo. A continuación, se colocó este recipiente dentro de otro y, con ayuda de una cuchara, se dejó caer el agregado fino dentro del recipiente tarado, permitiendo su llenado hasta rebosar y eliminando el exceso de material en la superficie. Este procedimiento se repitió tres veces. El peso unitario se obtuvo mediante la expresión:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

- M = peso unitario del agregado
- G = peso del recipiente con agregado
- T = peso del recipiente vacío

- V = volumen del recipiente

b) Agregado fino y grueso en condición compactada

- Se taró el recipiente utilizado para contener la muestra.
- Se llenó aproximadamente un tercio del volumen del recipiente y se compactó el agregado aplicando 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie.
- Se repitió el mismo procedimiento para la segunda capa, llenando otro tercio y compactando nuevamente con 25 golpes.
- Finalmente, se llenó el recipiente hasta el borde con la tercera capa y se compactó de la misma forma.
- La superficie se niveló con una rasqueta y con los dedos, retirando el material excedente.
- Con el peso del recipiente con agregado compactado, se aplicó la misma fórmula anterior y se repitió el procedimiento tres veces para obtener un valor promedio del peso unitario.

Peso específico y absorción

Agregado grueso (NTP 400.021, 2013)

Equipos

Se utilizaron los siguientes equipos:

- **Balanza:** con capacidad mínima de 5 000 g y sensibilidad de 0,5 g.
- **Canastilla de malla metálica:** construida de modo que no atrapara aire en su interior al sumergirse, con aberturas equivalentes al tamiz N.º 6 o tamaño similar.
- **Recipiente impermeable:** adecuado para contener agua y permitir la inmersión completa de la canastilla con la muestra.
- **Tamiz N.º 4 (4,75 mm):** para el cribado del agregado.
- **Horno:** capaz de mantener una temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento

La muestra de agregado grueso se sumergió en agua limpia y se dejó en reposo durante 24 horas, con el fin de lograr su condición de saturación. Transcurrido este tiempo, se retiró la muestra del agua y se secó superficialmente utilizando paños o algodón absorbente, secando por separado las partículas de mayor tamaño, hasta obtener el estado de saturado con superficie seca (SSS).

A continuación, la muestra en condición SSS se colocó en la canastilla sumergida en agua y se determinó el peso sumergido. Luego, la muestra se introdujo en el horno a 110 °C durante 24 horas, hasta alcanzar masa constante. Finalizado el secado, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se determinó el peso seco en aire. Con estos datos se calculó el peso específico y la absorción.

Cálculo del peso específico aparente (densidad relativa)

$$Pe_{sss} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

- Pe_{sss} = peso específico (densidad relativa) del material en condición saturada con superficie seca.
- A = peso de la muestra seca en aire.
- B = peso de la muestra en condición saturada con superficie seca en aire.
- C = peso de la muestra saturada sumergida en agua.

Cálculo de la absorción de agua

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

- Ab = porcentaje de absorción de agua del agregado grueso.
- A = peso de la muestra seca en aire.
- B = peso de la muestra en condición saturada con superficie seca en aire.

Agregado fino

Procedimiento para determinar peso específico y absorción

La muestra de agregado fino se colocó en agua y se dejó en reposo durante 24 horas. Luego, para garantizar un secado uniforme, se extendió el material bajo una corriente moderada de aire caliente, se decantó cuidadosamente el agua sin pérdida de partículas y se removió con frecuencia. Este procedimiento se mantuvo hasta que las partículas del agregado fino no presentaron adherencia perceptible entre sí.

A continuación, se empleó el molde cónico para verificar la condición de saturado con superficie seca (SSS). Para ello, se llenó el molde con el agregado fino, y se golpeó suavemente la superficie externa del molde con la varilla metálica en 25 ocasiones, con el fin de liberar cualquier partícula suelta. Luego se retiró el molde en sentido vertical. Mientras existió humedad libre, el cono de agregado fino mantuvo su forma; cuando el cono colapsó al retirar el molde, se continuó con el secado, agitando la muestra y repitiendo la prueba hasta lograr el estado saturado con superficie seca. Si durante la prueba el cono se desmoronó completamente, se añadió nuevamente agua, se dejó reposar unos minutos y se repitió el proceso hasta alcanzar la condición adecuada.

Posteriormente, se pesó el picnómetro vacío y seco. Luego, se llenó el picnómetro únicamente con agua hasta la marca de calibración y se registró el peso (picnómetro + agua). Después, se colocó la muestra de agregado fino en condición saturada con superficie seca dentro del picnómetro y se añadió agua hasta alcanzar nuevamente la marca de calibración, procurando eliminar completamente las burbujas de aire mediante movimientos suaves del picnómetro. Se determinó entonces el peso del conjunto (picnómetro + agua + muestra).

A continuación, se retiró cuidadosamente la muestra del picnómetro, se colocó en el horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar masa constante, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se determinó el peso seco de la muestra. Con estos datos se calculó el peso específico y la absorción del agregado fino.

Cálculo del peso específico (superficie seca y masa saturada)

$$Pe_{sss} = \frac{A}{B + S - C}$$

Donde:

- Pe_{sss} = peso específico del agregado fino en condición saturada con superficie seca.
- A = peso de la muestra seca en aire (g).
- B = peso del picnómetro con agua hasta la marca de calibración (g).
- C = peso del picnómetro con agua y muestra hasta la marca de calibración (g).
- S = peso de la muestra en estado saturado con superficie seca (g).

Cálculo de la absorción de agua

$$Ab = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde:

- Ab = porcentaje de absorción del agregado fino.
- A = peso de la muestra seca en aire (g).
- S = peso de la muestra saturada con superficie seca (g).

Porcentaje de partículas finas en el tamiz N.º 200 por lavado de los agregados (NTP 400.018)

Luego del secado de la muestra y de la medición de su masa inicial, se vertió agua en el recipiente hasta sumergir completamente el agregado. A continuación, se agitó la muestra con el fin de poner en suspensión el material fino y separar adecuadamente las partículas de menor tamaño. El lavado se continuó hasta arrastrar los sólidos finos que

quedaron en suspensión y que, posteriormente, atravesaron el tamiz N.º 200.

Una vez que el árido quedó limpio, se colocó en el horno y se secó hasta alcanzar peso constante, aproximadamente durante 24 horas. Con los pesos obtenidos antes y después del lavado se calculó el porcentaje de material fino que pasó el tamiz N.º 200 mediante la siguiente expresión:

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

- A = porcentaje de material fino que atravesó el tamiz N.º 200,
- P_1 = peso seco de la muestra original (antes del lavado),
- P_2 = peso seco de la muestra después del lavado y secado.

Resultados

Ensayos realizados y relación agua/cemento para el diseño de mezcla

En relación con el primer objetivo específico, tras realizar un análisis minucioso de las tablas de resultados, se confirmó que los ensayos para la elaboración del concreto se ejecutaron en el laboratorio especializado de mecánica de suelos con la debida rigurosidad y competencia técnica, verificándose y validándose satisfactoriamente los datos obtenidos.

Dado que los procedimientos de laboratorio se desarrollaron conforme a las normas NTP y ASTM vigentes, las cuales cumplen o superan los requisitos establecidos para la elaboración de concreto convencional, la evaluación se consideró adecuada. La calidad de un concreto de buen desempeño depende de diversos factores, entre ellos las características de los agregados, cuyos valores detallados se presentaron en el Anexo N.º 02.

Agregado fino

- La distribución granulométrica del agregado fino cumplió con los límites establecidos en la norma ASTM C33, por lo que se consideró adecuada, además de no evidenciar

presencia de mica ni arcilla.

- El módulo de fineza obtenido fue de 2,80, valor aceptable por estar dentro del rango recomendado (2,35 – 3,15).
- El peso específico del agregado fino fue de 2,76 g/cm³, ubicándose dentro del intervalo establecido para este parámetro (2,50 – 2,80 g/cm³).

Agregado grueso

- La gradación de las partículas del agregado grueso se encontró dentro de los límites establecidos por la norma ASTM C33, por lo que se consideró apropiada para la fabricación de concreto.
- Debido a la baja porosidad de las rocas, el resultado del ensayo de absorción fue de 0,72 %, valor considerado favorable frente al límite exigido (< 1 %).
- El peso específico del agregado grueso fue de 2,92 g/cm³, valor que se encontró dentro del rango aceptable para este tipo de material.

Diseño de mezcla de concreto patrón ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$)

Para el concreto patrón con resistencia de diseño $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, se obtuvieron las siguientes proporciones de materiales por muestra de ensayo:

- Cemento: 1,818 kg
- Agua: 1,301 L
- Agregado grueso: 6,913 kg
- Agregado fino: 5,727 kg

La relación agua/cemento correspondiente a este diseño fue de 0,684. El asentamiento medido fue de 3,5", valor que se encontró dentro del rango permitido, garantizando una consistencia adecuada y una trabajabilidad apropiada del concreto fresco.

Diseño experimental con 1,7 % de fibra de bambú

Para el diseño experimental con adición de 1,7 % de fibra de bambú (respecto al peso de cemento), las proporciones de materiales por muestra fueron:

- Cemento: 1,818 kg
- Fibra de bambú: 0,030 kg
- Agua: 1,301 L
- Agregado grueso: 6,913 kg
- Agregado fino: 5,727 kg

La relación agua/cemento para este diseño experimental fue de 0,715.

Diseño experimental con 2,7 % de fibra de bambú

Para el diseño experimental con adición de 2,7 % de fibra de bambú, las proporciones de materiales por muestra fueron:

- Cemento: 1,818 kg
- Fibra de bambú: 0,049 kg
- Agua: 1,320 L
- Agregado grueso: 6,913 kg
- Agregado fino: 5,727 kg

La relación agua/cemento para este diseño experimental fue de 0,72.

Estas dos dosificaciones experimentales permitieron comparar el comportamiento del concreto convencional (sin fibra) frente a mezclas modificadas con fibra de bambú, manteniendo constante la resistencia de diseño $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y variando el porcentaje de adición del material natural.

Propiedades físicas del bambú

Tabla 10

Resultados de propiedades físicas del bambú

Muestras	Humedad (%)	Contracción (%)	Densidad (kg/m ³)
1	12.80	1.00	345.14
2	11.13	1.00	349.21
3	12.81	2.00	344.10
4	14.56	1.00	314.13
5	12.16	1.00	300.75
6	12.83	2.00	306.34
Promedio	12.71	1.33	326.61

Descripción:

La tabla permite ver los resultados promediados, que muestran que las fibras de bambú tienen una densidad de 326,61 kg/cm³, una contracción longitudinal de 1,33% y un contenido de humedad de 12,71%.

Interpretación:

Suponiendo que las muestras se eligieron al azar, podemos confirmar a partir de los datos de fondo que se expuso la muestra con mayor porcentaje de humedad (14,56%) y contracción (más del 2%), así como su densidad (349,21 kg/cm³).

Propiedades mecánicas del bambú

Tenemos una representación de los datos de capacidad de tracción que recogimos en las pruebas de laboratorio en relación con nuestro primer objetivo. Los resultados de la tracción de las fibras de bambú se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11*Resultados de tracción de las fibras del bambú*

Muestras	Tracción (N/mm ²)
1	80.864
2	64.047
3	71.203
4	80.506
5	64.285
Promedio	72.181

Descripción: Basándonos en la tabla, podemos confirmar que la resistencia media a la tracción de las fibras de bambú es de 72.181 N/mm².

Tabla 12*Composición química de las cenizas de la fibra de Bambú*

Óxido	(% Óxidos)	(% Normalizado)
Al ₂ O ₃	14.253	13.837
SiO ₂	67.626	65.651
SO ₂	2.475	2.403
ClO ₂	3.706	3.598
K ₂ O	5.374	5.217
CaO	5.234	5.081
TiO ₂	0.250	0.253
V ₂ O ₃	0.013	0.012
Cr ₂ O ₃	0.009	0.009
MnO	0.101	0.098
Fe ₂ O ₃	3.053	2.954
CuO	0.510	0.496
ZnO	0.289	0.281
SrO	0.013	0.013
BaO	0.1088	0.085
Total	103.009	100.00

Nota. Informe de Janampa (2000).

Potencial hidrógeno (Ph)

Tabla 13

Análisis de alcalinidad

Material	Ph
Cemento tipo I	12.46
Ceniza de fibras de bambú	11.01
Adicionar 1.7 de las cenizas de la fibra de bambú + cemento	13.20
Adicionar 2.7 de las cenizas de la fibra de bambú + cemento	13.33

Nota. Datos del Laboratorio de USP.

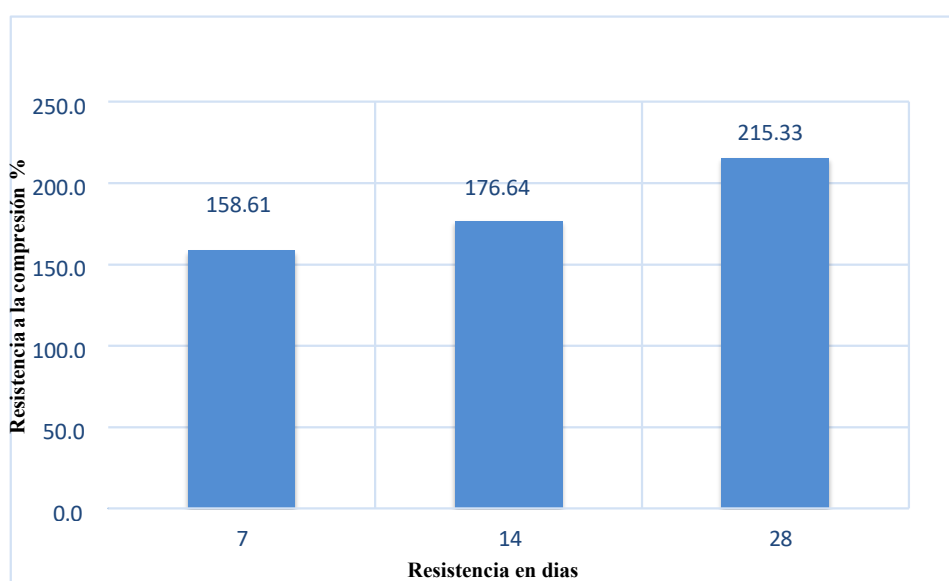
Se determina que las muestras presentan alta alcalinidad al combinar la ceniza de fibra de bambú con un pH con un nivel comparable al del cemento tipo I.

Compresión de testigos cilíndricos

Con relación al tercer objetivo específico, que consistió en comparar la capacidad de carga a compresión de los testigos cilíndricos de concreto patrón y de aquellos elaborados con la adición de 1,7 % y 2,7 % de fibra de bambú, se evaluó el comportamiento resistente de las probetas en las diferentes edades de ensayo establecidas.

Figura 6

Resultados de la resistencia a la compresión de la muestra patrón



Descripción

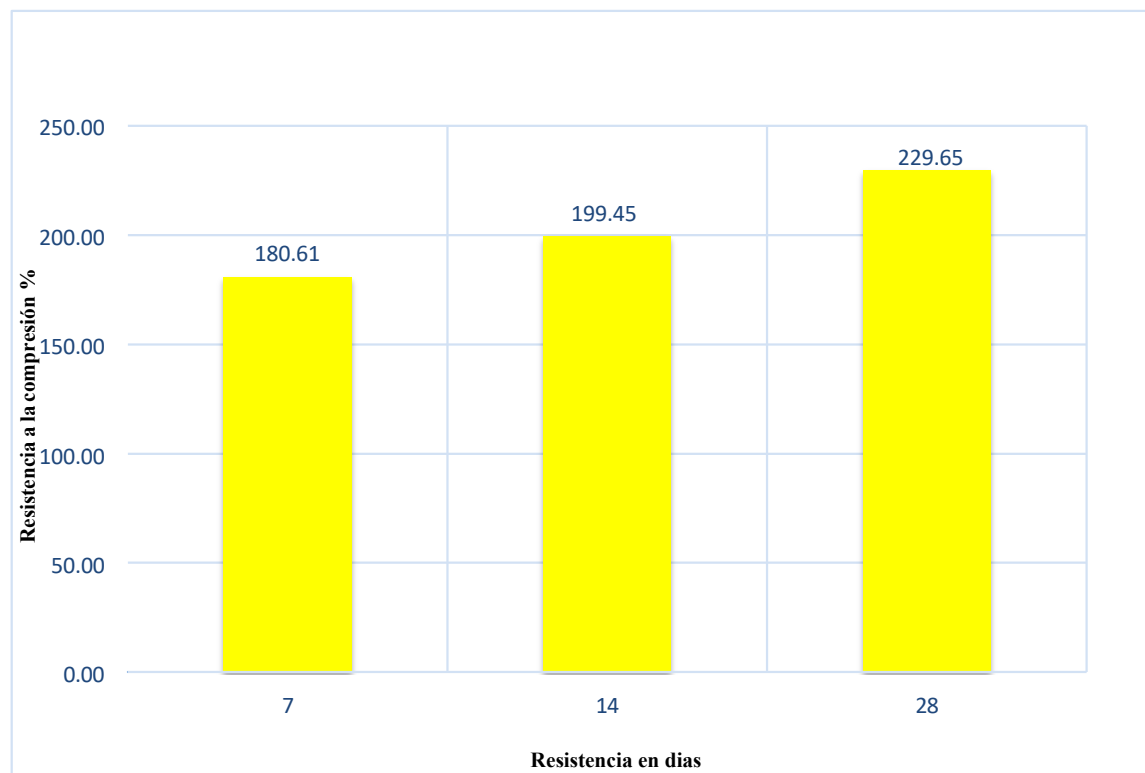
La figura muestra el comportamiento resistente del concreto correspondiente al diseño de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. A los 7 días de edad, el concreto alcanzó una resistencia promedio de $158,61 \text{ kg/cm}^2$; a los 14 días llegó a $176,64 \text{ kg/cm}^2$ y, finalmente, a los 28 días desarrolló una resistencia de $215,33 \text{ kg/cm}^2$, superando ligeramente la resistencia de diseño especificada y alcanzando su resistencia máxima dentro del periodo normativo de evaluación.

Interpretación

A partir del diseño patrón y del procedimiento de elaboración y curado aplicado, se observó que el testigo estándar desarrolló progresivamente su resistencia a la compresión, manteniéndose en condiciones adecuadas de curado para evitar la deshidratación del concreto. Este proceso permitió que, a los 28 días, la mezcla alcanzara una resistencia de aproximadamente 215 kg/cm^2 , valor que cumple y supera la resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 , evidenciando el adecuado desempeño del concreto patrón.

Figura 7

Resultados de resistencia a la compresión de la muestra experimental adicionando 1.7% de fibra de bambú.



Descripción

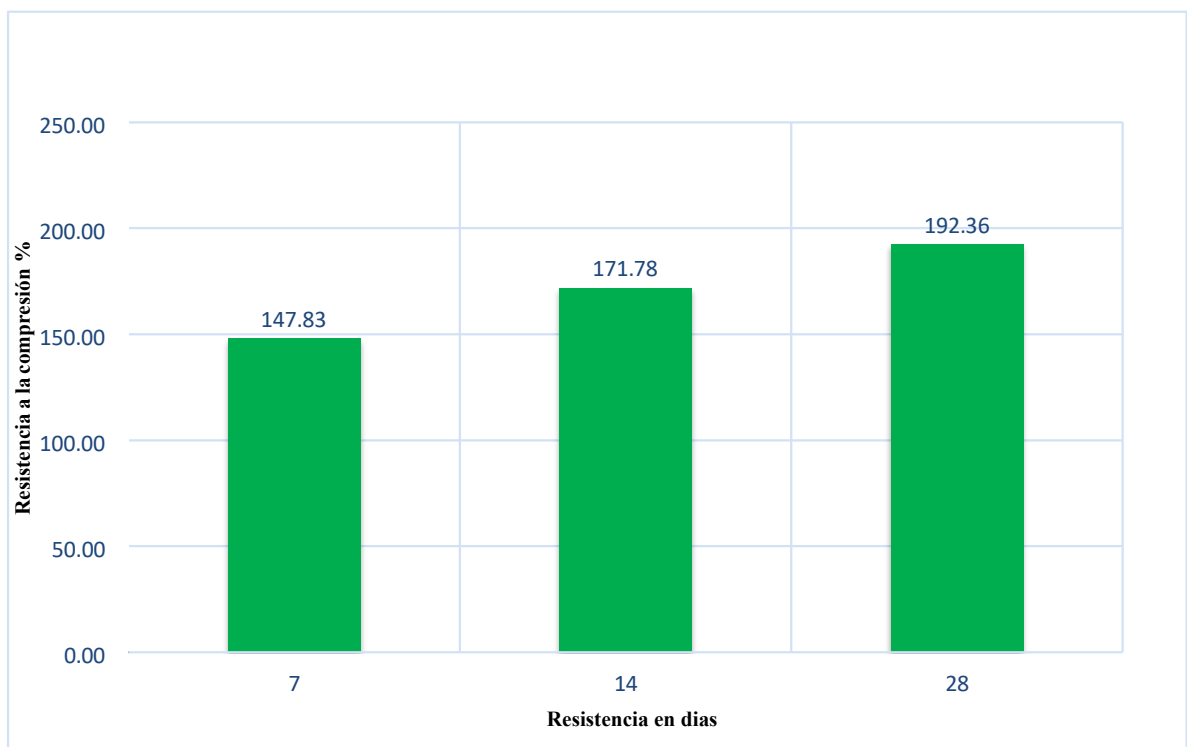
La figura muestra el comportamiento del concreto correspondiente al diseño experimental de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de 1,7 % de fibra de bambú. La mezcla experimental alcanzó una resistencia promedio de $180,61 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días de edad, $199,45 \text{ kg/cm}^2$ a los 14 días y $229,65 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días, desarrollando su resistencia máxima en este último periodo y superando los parámetros establecidos por la norma para la resistencia de diseño.

Interpretación

En el diseño experimental con la adición de 1,7 % de fibra de bambú se siguió un procedimiento adecuado de elaboración y curado, lo que permitió evitar la deshidratación del concreto y favorecer el desarrollo de su resistencia mecánica. Como resultado, el grupo experimental 1 alcanzó a los 28 días una resistencia de $229,65 \text{ kg/cm}^2$, valor que no solo cumple con la resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 , sino que también supera la resistencia obtenida en la muestra patrón, evidenciando un efecto favorable de la incorporación de fibra de bambú en este porcentaje.

Figura 8

Resultados de resistencia a la compresión de la muestra experimental adicionando 2.7% de fibra de bambú.

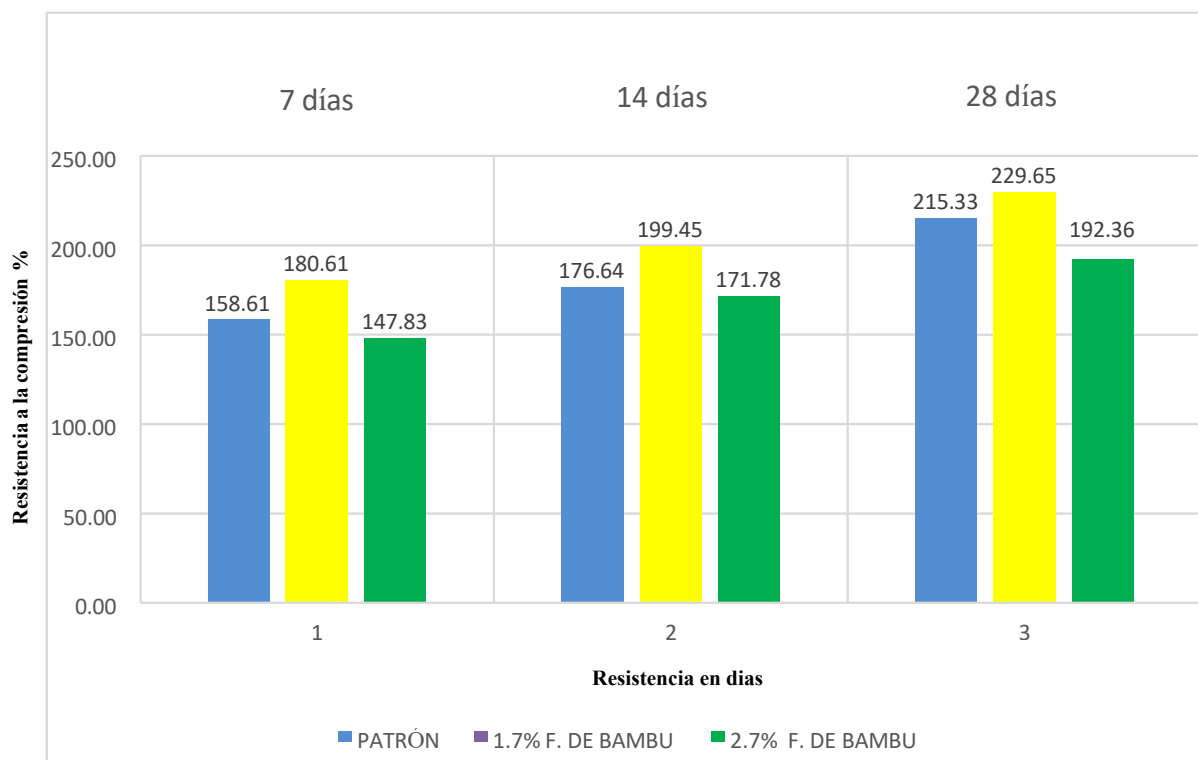


Descripción: La figura representa el comportamiento del concreto correspondiente al diseño experimental de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la adición de 2,7 % de fibra de bambú. La muestra experimental alcanzó una resistencia promedio de $147,83 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días de edad, $171,78 \text{ kg/cm}^2$ a los 14 días y $192,36 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días. Estos valores muestran que el concreto no llegó a desarrollar la resistencia máxima establecida por la norma para la resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 .

Interpretación: En el diseño experimental con la incorporación del 2,7 % de fibra de bambú se siguió un procedimiento adecuado de elaboración y curado, con el fin de evitar la deshidratación del concreto y favorecer el desarrollo de su resistencia mecánica. Sin embargo, se observó que el grupo experimental 2 alcanzó a los 28 días una resistencia de $192,36 \text{ kg/cm}^2$, valor que no supera la resistencia obtenida en la muestra patrón ni cumple con la resistencia de diseño $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Esto indica que, a diferencia del porcentaje de 1,7 %, la adición de 2,7 % de fibra de bambú no resultó favorable para el incremento de la resistencia a la compresión del concreto.

Figura 9

Resultados de resistencia a la compresión de la muestra patrón



Descripción

La figura mostró el comportamiento del concreto para el diseño con una resistencia de 210 kg/cm². El testigo patrón alcanzó un valor de 215,33 kg/cm² a los 28 días. Por otro lado, la muestra con una adición del 1,7 % de fibras de bambú obtuvo una resistencia de 229,65 kg/cm² en el mismo período, mientras que la muestra con una adición del 2,7 % registró una resistencia de 192,36 kg/cm² a los 28 días.

Interpretación

Se observó que, tras añadir 1,7 % y 2,7 % de fibras de bambú al diseño convencional y aplicar los procedimientos de curado necesarios para evitar la deshidratación y garantizar que el material alcanzara su máxima resistencia a los 28 días, el testigo patrón logró una resistencia de 215,33 kg/cm². La muestra con 1,7 % de fibras de bambú presentó el mejor desempeño, alcanzando una resistencia de 229,65 kg/cm² y superando al concreto patrón. En contraste, la muestra con una adición del 2,7 % resultó ser la menos favorable, pues obtuvo un valor de 192,36 kg/cm², situándose por debajo de la resistencia de diseño y de la resistencia alcanzada por el concreto patrón.

Inferencia estadística

Tabla 14

Comparación entre diseño patrón y diseño experimental con 1,7% y 2,7% de adición al concreto $f'c=210$ kg/cm² según medidas estadísticas y tiempo de ruptura

Medidas estadísticas	Diseño Patrón			Diseño Experimental					
	7 días	14 días	28 días	7 días	1.7%	28 días	2.7%	14 días	28 días
Media aritmética	158.61 Kg/cm ²	176.40 Kg/cm ²	215.33 Kg/cm ²	180.61 Kg/cm ²	199.45 Kg/cm ²	229.65 Kg/cm ²	147.82 Kg/cm ²	171.73 Kg/cm ²	192.36 Kg/cm ²
Varianza	4.143 (Kg/cm ²) ²	6.831 (Kg/cm ²) ²	0.616 (Kg/cm ²) ²	1.517 (Kg/cm ²) ²	4.425 (Kg/cm ²) ²	2.519 (Kg/cm ²) ²	6.887 (Kg/cm ²) ²	3.336 (Kg/cm ²) ²	3.382 (Kg/cm ²) ²
Desviación estándar	2.035 Kg/cm ²	2.613 Kg/cm ²	0.784 Kg/cm ²	1.231 Kg/cm ²	2.103 Kg/cm ²	1.587 Kg/cm ²	2.624 Kg/cm ²	1.826 Kg/cm ²	1.839 Kg/cm ²

Cálculo de medidas estadísticas: diseño patrón

I. PARA 7 DÍAS

1. Media aritmética

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^3 x_i$$

$$\frac{\quad}{n} = \frac{475.84}{3} = 158.61 \text{ kg/cm}^2$$

2. Varianza

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(X1-\bar{X})^2 + (X2-\bar{X})^2 + (X3-\bar{X})^2}{n}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(155.78 - 158.61)^2 + (160.47 - 158.61)^2 + (159.59 - 158.61)^2}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(8.03 + 3.44 + 0.95)}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = 4.143 \text{ kg/cm}^2$$

$$S(x) = 2.035 \% \text{ kg/cm}^2$$

II. PARA 14 DÍAS

1. Media aritmética

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^3 x_i$$

$$\frac{\quad}{n} = \frac{529.20}{3} = 176.40 \text{ kg/cm}^2$$

2. Varianza

$$V(x) = S_x^2 = \frac{\overline{\bar{X}} \quad \bar{X} \quad \bar{X}}{n}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(173.03.17 - 176.40)^2 + (179.40 - 176.40)^2 + (176.77 - 176.40)^2}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(11.36 + 9.00 + 0.14)}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = 6.831 \text{ kg/cm}^2$$

$$S(x) = 2.613 \text{ kg/cm}^2$$

III. PARA 28 DÍAS

1. Media aritmética

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^3 x_i$$

$$\frac{\quad}{n} = \frac{645.99}{3} = 215.33 \text{ kg/cm}^2$$

2. Varianza

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(X1 - \bar{X})^2 + (X2 - \bar{X})^2 + (X3 - \bar{X})^2}{n}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(214.76 - 215.33)^2 + (216.44 - 215.33)^2 + (214.79 - 215.33)^2}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(0.32 + 1.232 + 0.29)}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = 0.616 \text{ kg/cm}^2$$

$$S(x) = 0.784 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo medidas estadísticas: diseño experimental-1

I. PARA 7 DÍAS

1. Media aritmética:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^3 x_i$$

$$\frac{\quad}{n} = \frac{541.84}{3} = 180.61 \text{ kg/cm}^2$$

2. Varianza

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(X1 - \bar{X})^2 + (X2 - \bar{X})^2 + (X3 - \bar{X})^2}{n}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(180.01 - 180.61)^2 + (182.33 - 180.61)^2 + (179.00 - 180.61)^2}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(0.36 + 2.947 + 1.24)}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = 1.517 \text{ kg/cm}^2$$

$$S(x) = 1.231 \text{ kg/cm}^2$$

II. PARA 14 DÍAS

1. Media aritmética:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^3 x_i$$
$$\frac{\quad}{n} = \frac{598.37}{3} = 199.45 \text{ kg/cm}^2$$

2.- VARIANZA:

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(X1 - \bar{X})^2 + (X2 - \bar{X})^2 + (X3 - \bar{X})^2}{n}$$
$$V(x) = S_x^2 = \frac{(199.36 - 199.45)^2 + (202.08 - 199.45)^2 + (196.93 - 199.45)^2}{3}$$
$$V(x) = S_x^2 = \frac{(0.01 + 6.882 + 3.38)}{3}$$
$$V(x) = S_x^2 = 4.425 \text{ kg/cm}^2$$
$$S(x) = 2.103 \text{ kg/cm}^2$$

III. PARA 28 DÍAS

1. Media aritmética:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^3 x_i$$
$$\frac{\quad}{n} = \frac{688.96}{3} = 229.65 \text{ kg/cm}^2$$

2.- VARIANZA:

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(X1 - \bar{X})^2 + (X2 - \bar{X})^2 + (X3 - \bar{X})^2}{n}$$
$$V(x) = S_x^2 = \frac{(231.77 - 229.65)^2 + (227.99 - 229.65)^2 + (229.18 - 229.65)^2}{3}$$
$$V(x) = S_x^2 = \frac{(4.57 + 2.767 + 0.22)}{3}$$
$$V(x) = S_x^2 = 2.519 \text{ kg/cm}^2$$
$$S(x) = 1.587 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de medidas estadísticas: diseño experimental 2

I. PARA 7 DÍAS

1. Media aritmética

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^3 x_i$$
$$\frac{\quad}{n} = \frac{443.48}{3} = 147.82 \text{ kg/cm}^2$$

2. Varianza

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(X1 - \bar{X})^2 + (X2 - \bar{X})^2 + (X3 - \bar{X})^2}{n}$$
$$V(x) = S_x^2 = \frac{(149.39 - 147.82)^2 + (144.13 - 147.82)^2 + (149.96 - 147.82)^2}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(2.44 + 13.665 + 4.55)}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = 6.887 \text{ kg/cm}^2$$

$$S(x) = 2.624 \text{ kg/cm}^2$$

II. PARA 14 DÍAS

1. Media aritmética

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^3 x_i$$
$$\frac{\quad}{n} = \frac{515.35}{3} = 171.73 \text{ kg/cm}^2$$

2. Varianza

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(X1 - \bar{X})^2 + (X2 - \bar{X})^2 + (X3 - \bar{X})^2}{n}$$
$$V(x) = S_x^2 = \frac{(169.99 - 171.73)^2 + (174.29 - 171.73)^2 + (171.93 - 171.07)^2}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(3.22 + 6.283 + 0.51)}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = 3.336 \text{ kg/cm}^2$$

$$S(x) = 1.826 \text{ kg/cm}^2$$

III. PARA 28 DÍAS

1. Media aritmética

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^3 x_i$$

$$\frac{\quad}{n} = \frac{577.08}{3} = 192.36 \text{ kg/cm}^2$$

2. Varianza

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(X1 - \bar{X})^2 + (X2 - \bar{X})^2 + (X3 - \bar{X})^2}{n}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(190.42 - 192.36)^2 + (191.83 - 192.36)^2 + (194.83 - 192.36)^2}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = \frac{(3.76 + 0.281 + 6.10)}{3}$$

$$V(x) = S_x^2 = 3.382 \text{ kg/cm}^2$$

$$S(x) = 1.839 \text{ kg/cm}^2$$

Análisis y Discusión

En relación con el primer objetivo específico, y de acuerdo con Sánchez et al. (2016), los resultados obtenidos sobre el uso del bambú como material estructural resaltaron la relevancia de los materiales en el diseño de mezclas, así como las propiedades que influyeron en su comportamiento al ser combinados. Los materiales innovadores se perfilan como una alternativa adecuada para la construcción, no solo por su eficiencia y respeto al medio ambiente, sino también porque representan una fuente sostenible de recursos en la ingeniería civil. En el presente estudio se evaluaron las propiedades mecánicas y físicas de los materiales utilizados en el concreto. Los resultados indicaron que la relación agua/cemento se mantuvo estable, sin cambios significativos. En el caso de los agregados fino y grueso, se obtuvieron pesos unitarios en seco de 1661 kg/m³ y 1476 kg/m³, respectivamente, mientras que en estado seco compactado alcanzaron valores de 1778 kg/m³ y 1606 kg/m³.

En cuanto al segundo objetivo del estudio, el análisis mediante Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X permitió determinar que la composición química de la ceniza proveniente de las fibras de bambú estuvo conformada principalmente por óxido de silicio (SiO_2) y óxido de aluminio, presentando, en términos generales, una composición similar al cemento Portland, aunque en proporciones diferentes. En particular, la ceniza de fibras de bambú registró un 62,651 % de SiO_2 y un 5,081 % de CaO , lo que respaldó su potencial como material suplementario en mezclas de concreto.

Respecto al tercer objetivo específico, el análisis de pH realizado en las mezclas con ceniza de fibra de bambú en proporciones del 1,7 % y 2,7 % arrojó valores similares a los del cemento, lo cual indicó que estos componentes presentaron un elevado nivel de alcalinidad. Esta condición resultó favorable, dado que contribuyó a conservar un medio químico compatible con la pasta de cemento y potencialmente protector frente a la corrosión del acero de refuerzo.

En relación con el cuarto objetivo, y según Escalona (2017), la adición de fibras de bambú influyó en la resistencia del concreto. En dicho estudio se emplearon diversas herramientas para extraer las fibras, que fueron obtenidas de la planta 15 días antes de su incorporación a la mezcla. En el marco de la presente investigación, las fibras utilizadas presentaron un peso inicial de 20,7 g y un peso final de 19,2 g, con un contenido de humedad del 7,81 % y una pérdida unitaria del 0,68 %. Estos valores se consideraron aceptables, ya que no modificaron de manera desfavorable las condiciones ni las propiedades del concreto.

De acuerdo con Villanueva (2016), al considerar la construcción de elementos estructurales con bambú como material alternativo, se observó que el espécimen sin fibra de bambú presentó una resistencia a la compresión de 146,90 kg/cm^2 , mientras que los especímenes con adiciones de 0,50 %, 1,00 %, 1,50 % y 2,00 % de fibra mostraron resistencias de 147,45 kg/cm^2 , 159,64 kg/cm^2 , 108,27 kg/cm^2 y 99,39 kg/cm^2 , respectivamente, en ensayos realizados a los siete días. En otro conjunto de resultados, la resistencia promedio de las muestras sin fibra de bambú fue de 28,23 kg/cm^2 , mientras que las muestras con adición de fibras alcanzaron valores medios de

29,68 kg/cm², 32,70 kg/cm² y 35,53 kg/cm², evidenciando que determinados porcentajes de fibra podían mejorar el desempeño mecánico en compresión.

En el contexto del presente estudio, el diseño patrón, sin incorporación de fibra de bambú, logró una resistencia de 158,61 kg/cm² a los 7 días. Al incluir fibra en proporciones del 1,7 % y 2,7 %, se obtuvieron resistencias de 180,61 kg/cm² y 147,83 kg/cm², respectivamente. A los 14 días, el concreto patrón alcanzó 176,64 kg/cm², mientras que las mezclas con 1,7 % y 2,7 % de fibra registraron 199,45 kg/cm² y 171,78 kg/cm². Finalmente, a los 28 días de curado, las resistencias fueron de 215,33 kg/cm² para el diseño patrón, 229,65 kg/cm² para la mezcla con 1,7 % de fibra y 192,36 kg/cm² para la mezcla con 2,7 % de fibra. Estos resultados mostraron que la adición del 1,7 % de fibra de bambú mejoró la resistencia a la compresión respecto al concreto convencional, mientras que el 2,7 % no resultó favorable, al ubicarse por debajo de la resistencia de diseño y del patrón.

Finalmente, conforme al cuarto objetivo específico, el análisis estadístico mediante la prueba de hipótesis sobre la diferencia de medias demostró que, a los 28 días, existieron diferencias significativas entre las resistencias obtenidas. La incorporación del 1,7 % de fibra de bambú en un concreto con $f'_c = 210$ kg/cm² permitió concluir, con un nivel de confianza del 95 %, que se alcanzó una mayor resistencia a la compresión en comparación con el concreto sin adición de fibra, confirmando la hipótesis planteada para este porcentaje de sustitución.

Conclusiones

En primer lugar, se concluyó que el diseño de la mezcla de concreto con una resistencia a la compresión de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y una trabajabilidad adecuada se logró a partir de la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de bambú. Esta fibra pudo integrarse al hormigón, mejorando su rigidez y resistencia. Asimismo, se estudiaron las propiedades de los materiales que conformaron el concreto, determinándose que los agregados finos y gruesos fueron fundamentales para obtener una mezcla óptima. En particular, los agregados gruesos debieron ser tamizados conforme a las normativas vigentes para garantizar que el diseño preservara las características deseadas del hormigón.

En segundo lugar, el análisis químico de las cenizas de fibra de bambú evidenció contenidos elevados de óxido de calcio (CaO) del 5,081 % y de óxido de silicio (SiO_2) del 62,651 %, lo que confirmó su potencial como material complementario al cemento en la elaboración de concretos.

En tercer lugar, se verificó que la incorporación de cenizas de fibra de bambú en proporciones del 1,7 % y 2,7 % presentó valores de pH similares a los del cemento, lo que indicó que dichos compuestos mantuvieron una alta alcalinidad, condición compatible con el ambiente requerido para el concreto y potencialmente favorable para la protección del acero de refuerzo.

Asimismo, se determinó la dosificación, el volumen y la cantidad de materiales necesarios para elaborar probetas cilíndricas de 15,24 x 30,48 cm, lo que permitió diseñar mezclas de concreto tanto sin aditivos como con la incorporación de fibra de bambú en los porcentajes establecidos, asegurando la reproducibilidad de los ensayos de resistencia a la compresión.

En cuanto al comportamiento mecánico, se concluyó que el diseño óptimo correspondió a la mezcla con resistencia de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y una adición del 1,7 % de fibra de bambú, ya que presentó la mayor resistencia a la compresión. Con este porcentaje de fibra se alcanzó una resistencia media máxima de 229,65 kg/cm^2 , lo que representó un incremento aproximado del 7 % en comparación con la mezcla

convencional sin fibra. Por el contrario, la adición del 2,7 % no resultó favorable, pues arrojó valores inferiores a la resistencia de diseño.

No existió una dispersión significativa en los resultados, dado que la desviación estándar obtenida tanto en la muestra patrón como en las muestras experimentales no superó el 10 %, lo que respaldó la confiabilidad de los valores de resistencia a la compresión alcanzados.

Recomendaciones

- Se sugiere tomar como referencia los estudios previos y los resultados obtenidos en esta investigación para evaluar nuevos porcentajes de incorporación de fibras de bambú, con el fin de analizar de manera más amplia el comportamiento del concreto reforzado con este material.
- Se recomienda profundizar en la investigación de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ reforzado con fibra de bambú. Dado que en este estudio se empleó dicho refuerzo con el propósito de incrementar la resistencia del concreto, resulta pertinente evaluar su desempeño estructural, verificar el cumplimiento de las normas vigentes y determinar si este tipo de concreto es apto para su uso en elementos estructurales.
- Considerando que los resultados evidenciaron que las fibras de bambú presentan una alta capacidad de absorción de agua, se aconseja que, antes de su incorporación a la mezcla, estas se mantengan en remojo el tiempo suficiente para minimizar la variación de la relación agua/cemento del concreto y evitar una reducción indeseada de su trabajabilidad o resistencia.
- Se recomienda desarrollar investigaciones adicionales empleando porcentajes intermedios de fibra de bambú, tales como 2,0 %, 2,3 % y 2,5 %, con el propósito de identificar intervalos óptimos de dosificación que permitan mejorar el desempeño mecánico del concreto sin afectar negativamente su homogeneidad ni su durabilidad.
- Para futuros ensayos, se sugiere no considerar como muestras inmediatas de prueba a los testigos con fibras de bambú recién extraídos del estanque de curado. Es conveniente permitir un periodo adicional de reposo, de modo que la humedad retenida en las fibras continúe contribuyendo al proceso de hidratación interna del concreto, favoreciendo así el desarrollo de la resistencia a edades posteriores.
- Finalmente, se recomienda realizar un estudio de carácter económico sobre el uso de fibras de bambú como refuerzo del concreto, a fin de comparar sus costos y beneficios frente a otros tipos de refuerzo, como fibras de acero o

fibras sintéticas. Este análisis permitirá determinar la viabilidad económica de la fibra de bambú como alternativa sostenible y competitiva en el sector de la construcción.

Referencias bibliográficas

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto: Teoría y problemas*. San Marcos.
- Barrios, A., & Llerena, J. R. (2023). *Concreto simple con incorporación de ceniza de bambú para mejorar las propiedades físico-mecánicas* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma].
<https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/d9313ca9-a85b-40be-b8f5-070d6afebbff>
- Cordero, J. G., Gichtters, A. J., & Téllez, M. J. (2016). *Capacidad resistente del bambú Guadua Amplexifolia, para propósitos constructivos* [Tesis para optar el título de ingeniería civil, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua].
<https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/152/1/93528.pdf>
- Darwin, D., Dolan, Ch., & Nilson, A. (2016). *Design of Concrete Structures* (Fifteenth Edition). McGraw-Hill Education.
<https://construccion.uv.cl/docs/textos/coleccion03/TEXT0.12.DesingofConcreteStructures.pdf>
- Escalona, J. (2017). *Método del empleo del bambú como material alternativo para la construcción de elementos estructurales* [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle Bajío, León, México].
- Hermida, G. (2014). *Concreto impermeable. Una mirada reciente*.
- Huamán, D. A. (2025) *Influencia de las fibras de bambú en las propiedades mecánicas del concreto* [Trabajo de investigación para optar el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán].
<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/14319/Huaman%20Flores%20Diana%20Alexia%20Del%20Rosario.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mendoza, M. J. (2025). *Propiedades mecánicas del concreto f_c : 210 kg/cm² con la adición de fibra de bambú en diferentes porcentajes, Lima, 2025* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/46392>

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- Norma E.030 (2019). *Diseño sismorresistente*. SENCICO.
<https://drive.google.com/file/d/1W14N6JldWPN8wUZSqWZnUpHg6C559bi-/view>
- Norma E.060 (2010). *Concreto armado*. SENCICO.
<https://drive.google.com/file/d/19EYUVMgwvm6rDs47GV374avco2ylU5Kz/view>
- Norma Técnica Peruana 339.033-2015. *CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo*. Dirección de Normalización - INACAL. <https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/app-default/login/>
- Norma Técnica Peruana 339.034-2015. *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Dirección de Normalización - INACAL.
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/app-default/login/>
- Norma Técnica Peruana 339.036-2017. *CONCRETO. Práctica para muestreo de mezclas de concreto fresco*. Dirección de Normalización - INACAL.
- Ordoñez, M. (2018). *Estudio de la calidad de concreto en la construcción de viviendas en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo, región Junín* [Tesis para la obtención de Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Continental].
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/4974>
- Osmi, S., Husen, H., Othman, M., Nor, N., Sojipto, S., Termizi, M. (2024). Performance of Bamboo Fibre on Modifying Mechanical Properties of Concrete. *Open Civ Eng J*, 18: e18741495288340.
<http://dx.doi.org/10.2174/0118741495288340240312050220>
- Rivva, E. (1992). *Tecnología del concreto: Diseño de mezclas*. Hozlo.
- Sánchez, M. T., Espuna, J. A. & Roux, R. S. (2016). El bambú como elemento estructural: la especie *Guadua amplexifolia*. *Nova scientia*, 8(17), 657-677.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052016000200657&lng=es&tlng=es

- Vargas Vásquez, W. R., Cerna Vásquez, A., & Cuéllar Cajahuaranga, J. N. (2020). Adherencia en el concreto reforzado con bambú. *Anales Científicos*, 81(2), 365-375. <https://doi.org/10.21704/ac.v81i2.1666>
- Villanueva, E. (2016). *Influencia en la adición de fibra de bambú en la resistencia del concreto* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].

Anexo 01:

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
¿Qué efecto tiene la adición de la fibra de bambú en la resistencia a la compresión en un concreto convencional de diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$?	Objetivo general Determinar el comportamiento mecánico de concreto reforzado $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ adicionando 1.7% y 2.7% fibra de bambú-2022 Objetivos específicos - Determinar el diseño de mezcla de concreto 210 Kg/cm², convencional y adicionando 1.7% y 2.7% de la fibra de bambú. - Determinar las características físicas y mecánicas de la fibra de bambú de que se adicionaran al concreto en 1.7% y 2.7%. - Determinar la resistencia a la compresión de la muestra patrón y experimental adicionando el 1.7% y 2.7% de la fibra de bambú a los 7, 14 y 28 días de curado. - Interpretar los resultados de la resistencia a la compresión de la muestra patrón y experimental, mediante la validez estadística.	La adición de la fibra de bambú como aditivo natural mejorará la resistencia a compresión de un concreto convencional de diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.	Fibra de bambú (Variable independiente) Resistencia a la compresión (Variable dependiente)	Tipo de Investigación Según el enfoque de la investigación será cuantitativa. De acuerdo con la orientación será una investigación aplicada. Nivel y diseño de Investigación La investigación será de nivel explicativo, y el diseño corresponde a una investigación experimental. Población y muestra Conformada por el total de probetas cilíndricas usando como patrón el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, la muestra estará conformada por 27 probetas cilíndricas.

Formato de publicación en repositorio



REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE DOCUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

1. Información del Autor				
Minaya Romero Erick Javier		48424125	erickminayurumero98@gmail.com	
Apellidos y Nombres		DNI	Correo Electrónico	
2. Tipo de Documento de Investigación				
Tesis	Trabajo de Suficiencia Profesional	Trabajo Académico	Trabajo de Investigación	
3. Grado Académico o Título Profesional ¹				
Bachiller	Título Profesional	Título Segunda Especialidad	Maestría	Doctorado
4. Título del Documento de Investigación				
Comportamiento mecánico de concreto reforzado $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ con fibra de bambú-2022				
5. Programa Académico				
Ingeniería Civil				
6. Tipo de Acceso al Documento				
Abierto o Público ² (info.us-repo/semantica/openAccess)		Acceso restringido ³ (info.us-repo/semantica/restrictedAccess) (*)		
Embargo (Máximo 24 meses) (info.us-repo/semantica/embargoedAccess)		Fecha de Liberación de embargo: <u>02 / 12 / 2025</u> (Formato: día / mes / año)		
(*) En caso de restringido y embargo sustentar motivo				

A. Originalidad del Archivo Digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador y forma parte del proceso que conduce a obtener el grado académico o título profesional.

B. Otorgamiento de una licencia CREATIVE COMMONS ⁵

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento. ⁶



[Firma manuscrita]
Firma

Ciudad Día Mes Año
Huaraz 02 de diciembre de 2025

Importante

- Según Resolución de Consejo Directivo N° 003-2016-UNEDU-CD, Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales, Art. 8, inciso 8.2.
- Ley N° 30025. Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y D.S. 006-2015-PCM.
- Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad San Pedro una licencia en exclusiva, para que se pueda hacer acopio de forma en la obra y difundir en el Repositorio Institucional Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.
- En caso de que el autor elija la opción: específico, únicamente se publicará los datos del autor y resumen de la obra, de acuerdo a la Directiva N° 004-2016-CONCYTEG-DEOC (Normas 5.2 y 6.7) que norman el funcionamiento del Repositorio Nacional Digital.
- La licencia Creative Commons (CC) es una organización internacional sin fines de lucro que pone a disposición de los autores un conjunto de licencias flexibles y de herramientas tecnológicas que facilitan la difusión de informaciones, obras educativas, obras artísticas y científicas, entre otras. Estas licencias también garantizan que el autor otorga el crédito por su obra.
- Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales-REINATI "Las universidades, instituciones y unidades de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los resultados en sus repositorios institucionales prestando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital REINATI, a través del Repositorio ALICIA".

Nota: En caso de falsedad en los datos, se procederá de acuerdo a ley (Ley 27444, art. 32, párr. 32.5).

Reporte de similitud

Comportamiento mecánico de concreto reforzado $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con fibra de bambú-2022.

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	19%	1%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	9%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Submitted to unasam

9	Trabajo del estudiante	<1 %
10	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
11	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
13	tesis.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
16	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Católica Boliviana "San Pablo" Trabajo del estudiante	<1 %
19	idoc.tips Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

< 10 words

Excluir bibliografía

Activo



Figura 10. Muestras pasantes del tamizaje del agregado fino y grueso



Figura 11. Humedeciendo el agregado



Figura 12. Agregados en el horno para hacer el ensayo



Figura 13. Peso específico del agregado fino



Figura 14. Extracción de vacíos del agregado fino

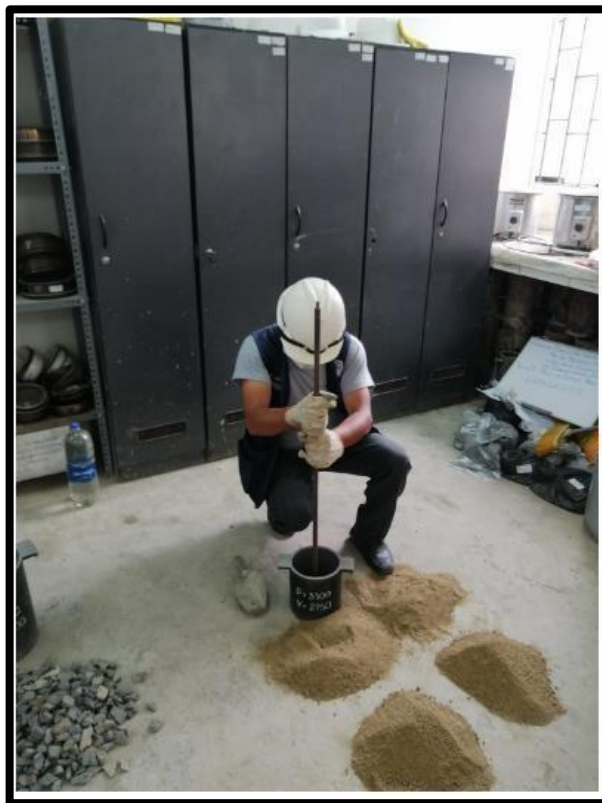


Figura 15. Peso unitario suelto y seco del agregado fino

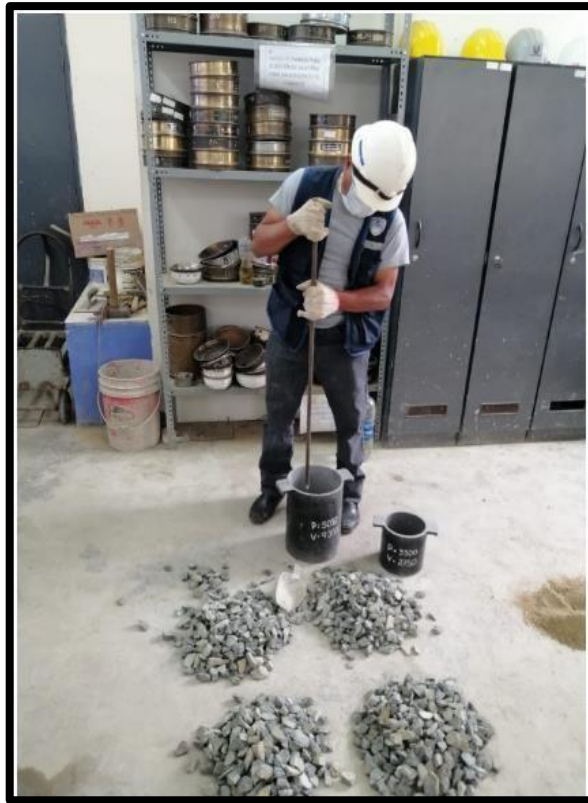


Figura 16. Peso unitario suelto y seco del agregado grueso



Figura 17. Cuarteo del agregado fino para hacer el ensayo de P.U. compactado y seco



Figura 18. Muestras del agregado fino en la tara



Figura 19. Vaciado del agregado fino al trompo



Figura 20. Vaciado de concreto a las probetas



Figura 21. Chuseado del concreto para el concreto



Figura 22. Probetas terminadas lista para su tiempo de fragua



Figura 23. Curado de testigos



Figura 24. Rotura de testigo



UNIVERSIDAD
SAN PEDRO

PROGRAMA DE ESTUDIOS
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO

(ASTM D-2216)

SOLICITA : BACH. MINAYA ROMERO, ERICK JAVIER
TESIS : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO $f'_c = 210 \text{ KG/CM}^2$
CON FIBRA DE BAMBÚ-2022.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 10/10/2023

PRUEBA N°	01	02
TARA N°		
TARA + SUELO HUMEDO (gr)	1043.5	1062.5
TARA + SUELO SECO (gr)	1041.3	1060.2
PESO DEL AGUA (gr)	2.2	2.3
PESO DE LA TARA (gr)	209.2	201.6
PESO DEL SUELO SECO (gr)	832.1	858.6
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.26	0.27
PROM. CONTENIDO HUMEDAD (%)	0.27	

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE

Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Servicio Profesional de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD
SAN PEDRO

PROGRAMA DE ESTUDIOS
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION AGREGADO GRUESO
(Según norma ASTM C-127)

SOLICITA : BACH: MINAYA ROMERO, ERICK JAVIER
TESIS : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO FC' = 210KG/CM2
CON FIBRA DE BAMBÚ-2022.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 10/10/2023

A	Peso de material saturado superficialmente seco (aire)	953.80	904.00
B	Peso de material saturado superficialmente seco (agua)	626.20	587.40
C	Volumen de masa + volumen de vacíos (A-B)	327.60	316.60
D	Peso de material seco en estufa	947.20	897.40
E	Volumen de masa (C-(A-D))	321.00	310.00
G	P.e. Bulk (Base Seca) D/C	2.891	2.834
H	P.e. Bulk (Base Saturada) A/C	2.911	2.855
I	P.e. Aparente (Base Seca) D/E	2.951	2.895
F	Absorción (%) ((D-A)/A)x100	0.70	0.74

P.e. Bulk (Base Seca) : 2.883
P.e. Bulk (Base Saturada) : 2.883
P.e. Aparente (Base Seca) : 2.923
Absorción (%) : 0.72

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE

Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD
SAN PEDRO

PROGRAMA DE ESTUDIOS
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

SOLICITA : BACH: MINAYA ROMERO, ERICK JAVIER
TESIS : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO $f_c' = 210 \text{ KG/CM}^2$
CON FIBRA DE BAMBÚ-2022.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 10/10/2023

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	19020	18870	18990
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	13900	13750	13870
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario (Kg/m3)	1486	1470	1483
Peso unitario prom. (Kg/m3)	1480		
CORREGIDO POR HUMEDAD	1476		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	20150	20160	20250
Peso de molde	5120	5120	5120
Peso de muestra	15030	15040	15130
Volumen de molde	9354	9354	9354
Peso unitario (Kg/m3)	1607	1608	1617
Peso unitario prom. (Kg/m3)	1611		
CORREGIDO POR HUMEDAD	1606		

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE

Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

SOLICITA : BACH: MINAYA ROMERO, ERICK JAVIER
TESIS : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO FC' = 210KG/CM2
CON FIBRA DE BAMBÚ-2022.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : VESIQUE
MATERIAL : ARENA GRUESA
FECHA : 10/10/2023

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	7980	8040	7920
Peso de molde	3328	3328	3328
Peso de muestra	4652	4712	4592
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario (Kg/m3)	1669	1690	1647
Peso unitario prom. (Kg/m3)	1669		
CORREGIDO POR HUMEDAD	1661		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra	8320	8270	8340
Peso de molde	3328	3328	3328
Peso de muestra	4992	4942	5012
Volumen de molde	2788	2788	2788
Peso unitario (Kg/m3)	1791	1773	1798
Peso unitario prom. (Kg/m3)	1787		
CORREGIDO POR HUMEDAD	1778		

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE

Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO
(ASTM C 136-06)

SOLICITA : BACH: MINAYA ROMERO, ERICK JAVIER
TESIS : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO $FC' = 210 \text{ KG/CM}^2$
CON FIBRA DE BAMBÚ-2022.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : VESIQUE
MATERIAL : ARENA GRUESA
FECHA : 10/10/2023

TAMIZ		Peso retenido	% ret. Parcial	% ret. Acumu.	% Que pasa
N°	Abert.(mm)	(gr.)	(%)	(%)	(gr.)
3"	76.20	0.0	0.0	0.0	100.0
2 ½"	63.50	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	100.0
1 ½"	38.10	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	100.0
¾"	19.10	0.0	0.0	0.0	100.0
½"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0
⅜"	9.52	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.76	2.0	0.2	0.2	99.8
N° 8	2.36	60.7	7.4	7.6	92.4
N° 16	1.18	240.1	29.1	36.7	63.3
N° 30	0.60	208.3	25.2	61.9	38.1
N° 50	0.30	152.8	18.5	80.4	19.6
N° 100	0.15	104.6	12.7	93.1	6.9
N° 200	0.08	53.9	6.5	99.6	0.4
PLATO	ASTM C-117-04	3.1	0.4	100.0	0.0
TOTAL		825.5	100.0		

PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Fineza 2.80

OBSERVACIONES

La Muestra tomada identificada por el solicitante.

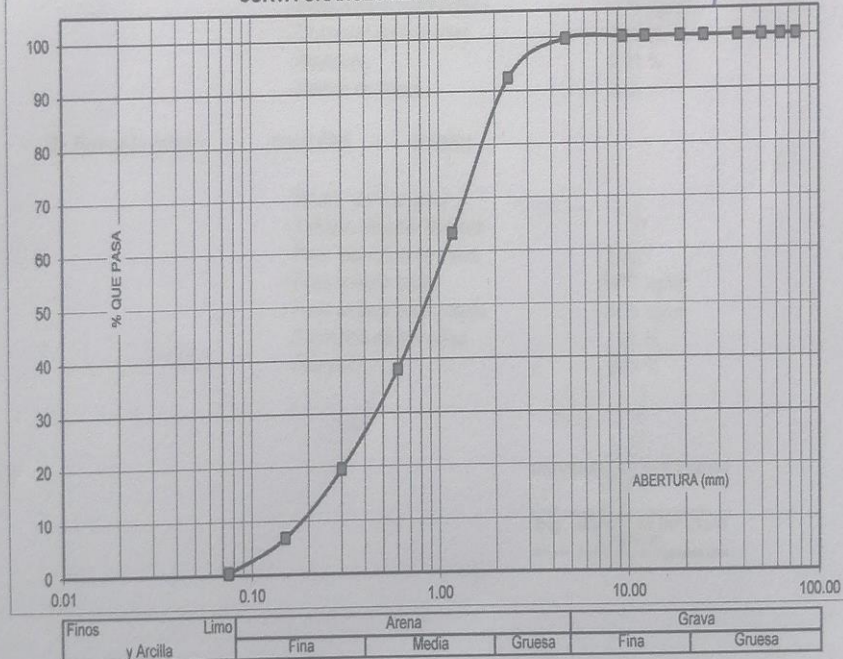
UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE

Ing. Miguel Solar Jara

Director

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

CURVA GRANULOMÉTRICA





UNIVERSIDAD
SAN PEDRO

PROGRAMA DE ESTUDIOS
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO
(ASTM C 136-06)

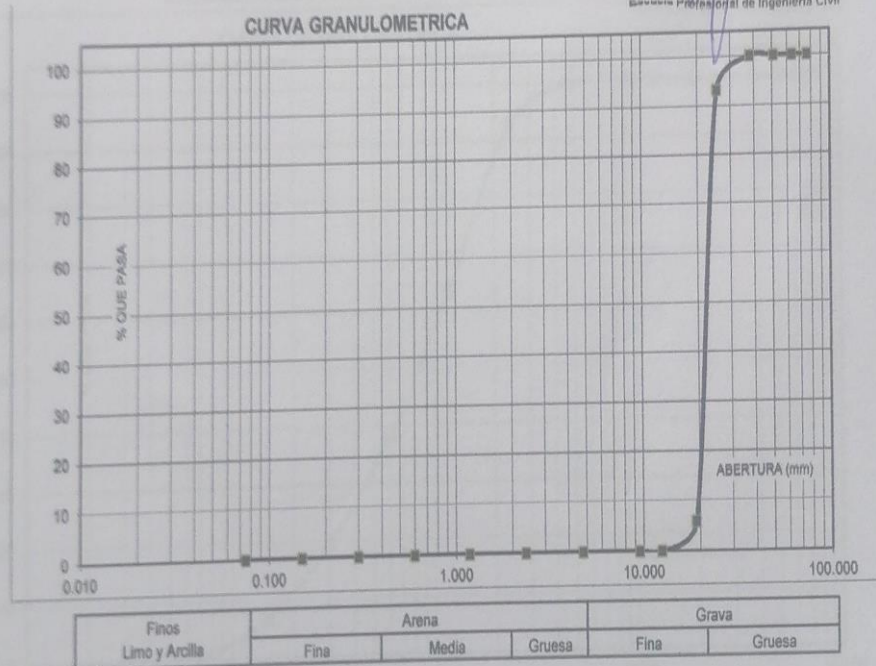
SOLICITA : BACH. MINAYA ROMERO, ERICK JAVIER
TESIS : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO FC' = 210KG/CM2
CON FIBRA DE BAMBÚ 2022
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : RUBEN
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 10/10/2023

TAMIZ	Peso retenido	% ret. Parcial	% ret. Acum.	% Que pasa
N°	Abert. (mm)	(gr.)	(%)	(%)
3"	76.200	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	200.3	6.9	93.1
3/4"	19.000	2543.6	87.2	12.8
5/8"	12.500	172.2	5.9	100.0
3/8"	9.520	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.750	0.0	0.0	100.0
N° 8	2.360	0.0	0.0	100.0
N° 16	1.180	0.0	0.0	100.0
N° 30	0.600	0.0	0.0	100.0
N° 50	0.300	0.0	0.0	100.0
N° 100	0.150	0.0	0.0	100.0
N° 200	0.075	0.0	0.0	100.0
PLATO	ASTM C-117-04	0	0.0	100.0
TOTAL		2916.0	100.0	

PROPIEDADES FÍSICAS	
Tamaño Máximo Nominal	1"
Huso	N° 5
Ref. (ASTM C-33)	

OBSERVACIONES
La Muestra tomada identificada por el solicitante.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE
Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Ingeniero Profesional de Ingeniería Civil





UNIVERSIDAD
SAN PEDRO

PROGRAMA DE ESTUDIOS
DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DISEÑO DE MEZCLA

SOLICITA : BACH: MINAYA ROMERO, ERICK JAVIER
TESIS : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO $f_c' = 210 \text{ KG/CM}^2$
CON FIBRA DE BAMBÚ-2022
LUGAR : CHIMBOTE – PROVINCIA DEL SANTA – ANCASH
FECHA : 10/10/2023

ESPECIFICACIONES

- La selección de las proporciones se hará empleando el método del ACI
- La resistencia en compresión de diseño especificada es de 210 kg/cm^2 , a los 28 días.

MATERIALES

A.- Cemento :

- Tipo I "Pacasmayo"
- Peso específico 3.12

B.- Agua :

- Potable, de la zona.

C.- Agregado Fino :

CANtera : VESIQUE

- Peso específico de masa 2.70
- Peso unitario suelto 1661 kg/m^3
- Peso unitario compactado 1778 kg/m^3
- Contenido de humedad 0.48 %
- Absorción 0.93 %
- Módulo de fineza 2.80

D.- Agregado grueso

CANtera : RUBEN

- Piedra, perfil angular
- Tamaño Máximo Nominal 1"
- Peso específico de masa 2.86
- Peso unitario suelto 1476 kg/m^3
- Peso unitario compactado 1606 kg/m^3
- Contenido de humedad 0.27 %
- Absorción 0.72 %

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE

Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Carrera Profesional de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD
SAN PEDRO

PROGRAMA DE ESTUDIOS
DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE
SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : BACH. MINAYA ROMERO, ERICK JAVIER
TESIS : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO $f_c' = 210 \text{ KG/CM}^2$
CON FIBRA DE BAMBU-2022.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
FECHA : 10/10/2023

f_c' : 210 Kg/cm^2

N°	TESTIGO	SLUMP	FECHA		EDAD	FC	FC/F'C
	ELEMENTO	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm^2	(%)
01	PATRON	3,5	13/11/2022	22/11/2022	7	155.78	74.18
02	PATRON	3,5	15/11/2022	22/11/2022	7	160.47	76.41
03	PATRON	3,5	15/11/2022	22/11/2022	7	159.59	76.00
04	PATRON	3,5	15/11/2022	29/11/2022	14	173.03	82.39
05	PATRON	3,5	15/11/2022	29/11/2022	14	179.40	85.43
06	PATRON	3,5	15/11/2022	29/11/2022	14	176.77	84.18
07	PATRON	3,5	15/11/2022	13/12/2022	28	214.76	102.26
08	PATRON	3,5	15/11/2022	13/12/2022	28	216.44	103.07
09	PATRON	3,5	15/11/2022	13/12/2022	28	214.79	102.28

ESPECIFICACIONES : Los ensayos responde a la norma de diseño ASTM C-39.

OBSERVACIONES : Los testigos fueron elaborados y traídos por el interesado a este laboratorio.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE

Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Licenciado Profesional de Ingeniería Civil



SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

De acuerdo a las especificaciones, las condiciones que la mezcla tenga una consistencia plástica, a la que corresponde un asentamiento de 3" a 4".

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Para una mezcla de concreto con asentamiento de 3" a 4", sin aire incorporado y cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1", el volumen unitario de agua es de 193 lt/m³.

RELACIÓN AGUA - CEMENTO

Se obtiene una relación agua - cemento de 0.684

FACTOR DE CEMENTO

F.C.: $193 / 0.684 = 282.164 \text{ kg/m}^3 = 6.64 \text{ bolsas / m}^3$

VALORES DE DISEÑO CORREGIDOS

Cemento.....	282.164 kg/m ³
Agua efectiva.....	201.826 lts/m ³
Agregado fino.....	888.638 kg/m ³
Agregado grueso.....	1072.717 kg/m ³

PROPORCIONES EN PESO

$$\frac{282.16}{282.16} : \frac{888.638}{282.16} : \frac{1072.72}{282.16}$$

1 : 3.15 : 3.80 : 30.40 lts / bolsa

PROPORCIONES EN VOLUMEN

1 : 2.83 : 3.86 : 30.40 lts / bolsa

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE

Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION-EXPERIMENTAL 2,7%

SOLICITA : BACH. MINAYA ROMERO, ERICK JAVIER
TESIS : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO $f_c' = 210 \text{ KG/CM}^2$
CON FIBRA DE BAMBÚ-2022.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
FECHA : 10/10/2023

f_c' : 210 Kg/cm^2

	TESTIGO	SLUMP	FECHA		EDAD	f_c'	f_c'/f_c'
N°	ELEMENTO	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/CM^2	(%)
01	EXPERIMENTAL	3,0	16/11/2022	23/11/2022	7	149.39	71.14
02	EXPERIMENTAL	3,0	16/11/2022	23/11/2022	7	144.13	68.63
03	EXPERIMENTAL	3,0	16/11/2022	23/11/2022	7	149.96	71.41
04	EXPERIMENTAL	3,0	16/11/2022	30/11/2022	14	169.99	80.95
05	EXPERIMENTAL	3,0	16/11/2022	30/11/2022	14	174.29	83.00
06	EXPERIMENTAL	3,0	16/11/2022	30/11/2022	14	171.07	81.46
07	EXPERIMENTAL	3,0	16/11/2022	14/12/2022	28	190.42	90.68
08	EXPERIMENTAL	3,0	16/11/2022	14/12/2022	28	191.83	91.35
09	EXPERIMENTAL	3,0	16/11/2022	14/12/2022	28	194.83	92.78

ESPECIFICACIONES : Los ensayos responde a la norma de diseño ASTM C-39.

OBSERVACIONES : Los testigos fueron elaborados y traídos por el interesado a este laboratorio.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE

Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION-EXPERIMENTAL 1,7%

SOLICITA : BACH: MINAYA ROMERO, ERICK JAVIER
TESIS : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO REFORZADO $f_c' = 210 \text{ Kg/cm}^2$
CON FIBRA DE BAMBÚ-2022.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
FECHA : 10/10/2023

f_c' : 210 Kg/cm^2

N°	TESTIGO ELEMENTO	SLUMP (")	FECHA		EDAD DIAS	FC Kg/Cm2	FC/FC (%)
			MOLDEO	ROTURA			
01	EXPERIMENTAL	3,0	15/11/2022	22/11/2022	7	180.01	85.72
02	EXPERIMENTAL	3,0	15/11/2022	22/11/2022	7	182.33	86.82
03	EXPERIMENTAL	3,0	15/11/2022	22/11/2022	7	179.50	85.48
04	EXPERIMENTAL	3,0	15/11/2022	29/11/2022	14	199.36	94.93
05	EXPERIMENTAL	3,0	15/11/2022	29/11/2022	14	202.08	96.23
06	EXPERIMENTAL	3,0	15/11/2022	29/11/2022	14	196.93	93.77
07	EXPERIMENTAL	3,0	15/11/2022	13/12/2022	28	231.79	110.37
08	EXPERIMENTAL	3,0	15/11/2022	13/12/2022	28	227.99	108.57
09	EXPERIMENTAL	3,0	15/11/2022	13/12/2022	28	229.18	109.13

ESPECIFICACIONES : Los ensayos responde a la norma de diseño ASTM C-39.

OBSERVACIONES : Los testigos fueron elaborados y traídos por el interesado a este laboratorio.

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CHIMBOTE

Ing. Miguel Solar Jara
DIRECTOR
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE DOCUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

1. Información del Autor			
MINAYA ROMERO ERICK JAVIER		48424125	erickminayaromero98@gmail.com
Apellidos y Nombres		DNI	Correo Electrónico
2. Tipo de Documento de Investigación			
☒ Tesis	☐ Trabajo de Suficiencia Profesional	☐ Trabajo Académico	☐ Trabajo de Investigación
3. Grado Académico o Título Profesional ¹			
☐ Bachiller	☒ Título Profesional	☐ Título Segunda Especialidad	☐ Maestría ☐ Doctorado
4. Título del Documento de Investigación			
Comportamiento mecánico de concreto reforzado f' _c = 210 Kg/cm ² con fibra de bambú - 2022			
5. Programa Académico			
Ingeniería Civil			
6. Tipo de Acceso al Documento			
☒ Abierto o Público ³ (info:eu-repo/semantics/openAccess)		☐ Acceso restringido ⁴ (info:eu-repo/semantics/restrictedAccess) ^(*)	
Embargo (Máximo 24 meses) (info:eu-repo/semantics/embargoedAccess)		Fecha de Liberación de embargo: ____ / ____ / ____ (Formato: día / mes / año)	
(*) En caso de restringido y embargo sustentar motivo			

A. Originalidad del Archivo Digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador y forma parte del proceso que conduce a obtener el grado académico o título profesional.

B. Otorgamiento de una licencia CREATIVE COMMONS ⁵

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento. ⁶




 Firma

Ciudad Día Mes Año
 Huaraz, 10 03 26

Importante

1. Según Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU-CD, Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales, Art 8, inciso 8.2
2. Ley N° 30035. Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y D.S. 096-2015-PCM.
3. Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad San Pedro una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundir en el Repositorio Institucional Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo en el Marco de la Ley 822.
4. En caso de que el autor elija la segunda opción, únicamente se publicará los datos del autor y resumen de la obra, de acuerdo a la directiva N° 004-2016-CONCYTEC-DEGC (Numerales 5.2 y 6.7) que norma el funcionamiento del Repositorio Nacional Digital.
5. Las licencias Creative Commons (CC) es una organización internacional sin fines de lucro que pone a disposición de los autores un conjunto de licencias flexibles y de herramientas tecnológicas que facilitan la difusión de información, recursos educativos, obras artísticas y científicas, entre otros. Estas licencias también garantizan que el autor obtenga el crédito por su obra.
6. Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales-RENATI: "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

Nota: - En caso de falsedad en los datos, se procederá de acuerdo a ley (Ley 27444, art 32, núm. 32.3).

Comportamiento mecánico de concreto reforzado $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con fibra de bambú-2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.usanpedro.edu.pe

Fuente de Internet

9%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

4%

3

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

7

Submitted to Universidad Privada del Norte

Trabajo del estudiante

<1%

8

repositorio.unasam.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

Submitted to unasam

9	Trabajo del estudiante	<1 %
10	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
11	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
13	tesis.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
16	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Católica Boliviana "San Pablo" Trabajo del estudiante	<1 %
19	idoc.tips Fuente de Internet	<1 %

20	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
21	cdn-web.construccion.org Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to ufidelitas Trabajo del estudiante	<1 %
24	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
25	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
26	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
27	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
28	es.wikipedia.org Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

< 10 words

Excluir bibliografía

Activo