



# **UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**



## **FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, SISTEMAS Y ARQUITECTURA**

### **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS**

**Mejoramiento del diseño de concreto no  
estructural con incorporación de ceniza de  
cascarilla de arroz, Lambayeque 2023**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Autor:**

**REGALADO GUEVARA, ELIU ANGEL**

**Asesor:**

**Dr. Ing. Farias Feijoo, Juan Herman**

**Lambayeque-Perú**

**2024**



# UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZGALLO



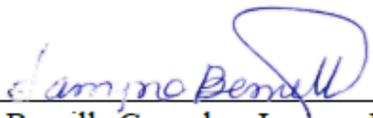
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL,  
SISTEMAS Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

## TESIS

**Mejoramiento del diseño de concreto no  
estructural con incorporación de ceniza de  
cascarilla de arroz, Lambayeque 2023**

  
Dr. Ing. Mondragon Castañeda, Carlos Ernesto  
Presidente

  
Ing. Martinez Santos, Jorge Luis  
secretario

  
Mg. Ing. Bernilla Gonzales, Janayna Beatriz  
Vocal

  
Dr. Ing. Farias Feijoo, Juan Herman  
Asesor

  
REGALADO GUEVARA, ELIU ANGEL  
Autor

Lambayeque – Perú

2024

# Diseño de concreto no estructural con ceniza

## INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

4%

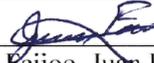
PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	3%
3	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Dumfries and Galloway College Trabajo del estudiante	<1%
9	<a href="http://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

  
Dr. Ing. Farias Peijoo, Juan Herman  
Asesor

10	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
11	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
12	repositorio.unab.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	users.econ.umn.edu Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
15	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %
16	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to SUNY Brockport Trabajo del estudiante	<1 %
20	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
21	es.scribd.com	

Fuente de Internet

<1 %

22

Submitted to Universidad Católica de Santa  
María

Trabajo del estudiante

<1 %

23

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

<1 %

25

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

dspace.uclv.edu.cu

Fuente de Internet

  
Dr. Ing. Farias Peijoo, Juan Herman  
**Asesor**

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

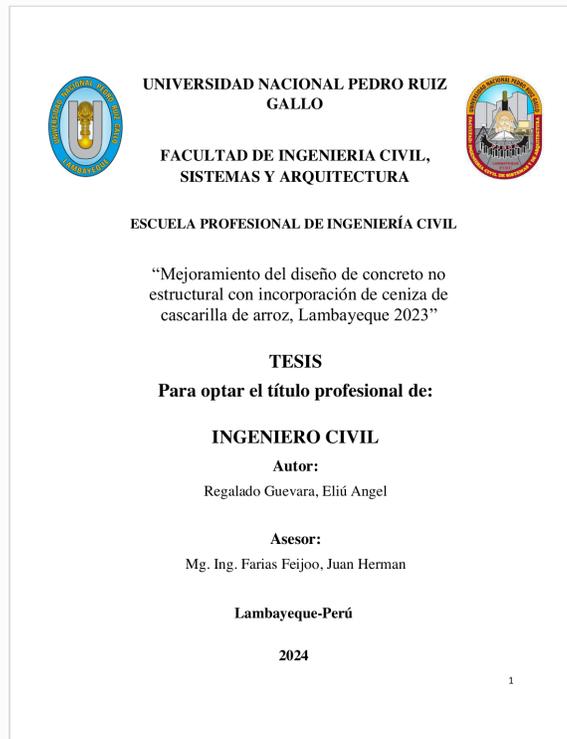


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Eliu Angel Regalado Guevara  
Título del ejercicio: Quick Submit  
Título de la entrega: Diseño de concreto no estructural con ceniza  
Nombre del archivo: IF\_REGALADO\_GUEVARA\_-\_ING\_CIVIL\_-\_UNPRG.docx  
Tamaño del archivo: 12.26M  
Total páginas: 112  
Total de palabras: 17,810  
Total de caracteres: 90,455  
Fecha de entrega: 30-abr.-2024 09:27a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2366765907



  
Dr. Ing. Farias Feijoo, Juan Herman  
**Asesor**



**“Año del Bicentenario de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho.”**

## **CONSTANCIA DE APROBACION DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**Yo JUAN HERMAN FARIÁS FEIJÓO, Asesor de Tesis, del sustentante:**  
**REGALADO GUEVARA, ELIU ANGEL**

**DE LA TESIS TITULADA:** “MEJORAMIENTO DEL DISEÑO DE CONCRETO NO ESTRUCTURAL CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2023.”

Luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de 16% verificable en el reporte de similitud del programa TURNITIN.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas NO CONSTITUYEN PLAGIO. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

**Se expide la presente según lo dispuesto en la Resolución N° 659-2020-R, de fecha 8 de setiembre de 2020 formativa para la obtención de Grados y Títulos de la UNPRG:**

Lambayeque, 05 de Mayo de 2024

ATENTAMENTE,

  
.....  
DR. ING. JUAN HERMAN FARIÁS FEIJÓO.  
DNI. 17520958

Se Adjunta lo Siguiete:



## ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 152-2024-UI-FICSA

Siendo las 11:00 am del día 09 de julio del 2024, se reunieron los miembros de jurado de la Tesis titulada: "MEJORAMIENTO DEL DISEÑO DE CONCRETO NO ESTRUCTURAL CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2023" con código N° IC\_V\_2023\_005, y designado por Resolución Decanal Virtual N° 260-2023-UNPRG-FICSA con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis profesional antes mencionado, conformado por los siguientes docentes:

DR. CARLOS ERNESTO MONDRAGÓN CASTAÑEDA PRESIDENTE  
 ING. JORGE LUIS MARTÍNEZ SANTOS SECRETARIO  
 MSC. ING. JANNYNA BEATRIZ BERNILLA GONZÁLES VOCAL

Asesorado por DR. ING. JUAN HERMAN FARIAS FEIJOO

El acto de sustentación fue autorizado por OFICIO VIRTUAL N° 126-2024-UIFICSA, la Tesis fue presentada y sustentada por el Bachilleres: ELIU ANGEL REGALADO GUEVARA, tuvo una duración de 60 minutos Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva:

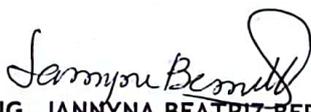
	NUMERO	LETRAS	CALIFICATIVO
ELIU ANGEL REGALADO GUEVARA	<u>7</u>	<u>Diecisiete</u>	<u>Bueno</u>

Por lo que quedan APTOS para obtener el Título Profesional de INGENIERO CIVIL de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Civil De Sistemas y de Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12m; del mismo día, se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

  
 DR. CARLOS ERNESTO MONDRAGÓN CASTAÑEDA  
 PRESIDENTE

  
 ING. JORGE LUIS MARTÍNEZ SANTOS  
 SECRETARIO

  
 MSC. ING. JANNYNA BEATRIZ BERNILLA GONZÁLES  
 VOCAL

  
 DR. ING. JUAN HERMAN FARIAS FEIJOO  
 ASESOR



## **DEDICATORIA**

Dedico esta obra a todos los interesados en descubrir nuevas y sencillas formas de construcción.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Dios en primer lugar, mi fuente amor, paz, fe y paciencia.

A mi Padre y a mi Madre, Eliú y Marina, que me apoyan siempre con todo su corazón y fuerza.

A mis hermanos Karen y Gersón que siempre me han animado a seguir.

Al Técnico Carlos Alberto Martínez Santos que en representación de la Universidad me han apoyado en la ejecución de los ensayos dándome sus recomendaciones.

Al Dr. Ing. Juan Herman Farias Feijoo por gentilmente haber aceptado asesorarme.

## RESUMEN

Para la siguiente investigación se planteó como objetivo: Mejorar el diseño del concreto no estructural, con incorporación de ceniza de cascarilla de arroz, Lambayeque 2023. La metodología adoptada abarcó una investigación de tipo aplicada, diseño experimental con alcance explicativo. La población consideró todas las probetas, vigas convencionales con incorporación de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) en proporciones oscilantes del 1% al 12%. La muestra consistió en 117 probetas, 117 vigas de concreto y 4 cubos de mortero, destinados a ensayos de compresión, flexión y durabilidad, respectivamente. Durante el desarrollo del estudio, se aplicaron técnicas como el análisis documental y la observación. La recopilación y análisis de datos se ejecutaron mediante los programas Excel , SPSS y Statgraphics. Los resultados obtenidos que evidenciaron la proporción óptima sobre ceniza de cascarilla de arroz fueron 7% y 4%, logrando resistencia a compresión de 268,80kg/cm<sup>2</sup> y 240,40kg/cm<sup>2</sup>, correspondientemente; así como una resistencia a flexión de 1,64MPa y 1,70MPa, correspondientemente, lo cual se traduce en propiedades mecánicas mejoradas para los elementos no estructurales ( $f'c$  175kg/cm<sup>2</sup>) evaluados a los 28 días. En comparativa sobre muestreo patrón, se percibió una disminución sobre valores de 172,55kg/cm<sup>2</sup> y 1.46MPa para la resistencia a flexión y compresión, respectivamente. Como conclusión, se determinó que la ceniza de cascarilla de arroz puede ser añadida como reemplazo del cemento en la producción de concreto para elementos no estructurales, siendo los porcentajes óptimos el 7% y 4%.

**Palabras claves:** *Concreto, ceniza de cascarilla de arroz, elementos no estructurales, resistencia a compresión, resistencia a flexión, durabilidad.*

## ABSTRACT

For the following research, the objective was to: Improve the design of non-structural concrete, with the incorporation of rice husk ash, Lambayeque 2023. The methodology adopted encompassed an applied research, experimental design with explanatory scope. The population considered all the specimens to be conventional beams with replacement of rice husk ash (CCA) in proportions ranging from 1% to 12%. The sample consisted of 117 specimens, 117 concrete beams and 4 mortar cubes, intended for compression, flexure and durability tests, respectively. During the development of the study, techniques such as documentary analysis and observation were applied. Data collection and analysis were carried out using Excel, SPSS and Statgraphics programs. The results obtained showed that the optimal proportion of rice husk ash was 7% and 4%, achieving compressive strength of 268.80 kg/cm<sup>2</sup> and 240.40 kg/cm<sup>2</sup>, correspondingly; as well as a flexural strength of 1.64MPa and 1.70MPa, correspondingly, which translates into improved mechanical properties for non-structural elements ( $f_c$  175kg/cm<sup>2</sup>). In comparison with standard sampling, a decrease was perceived over values of 172.55kg/cm<sup>2</sup> and 1.46MPa for the flexural and compressive strength, respectively. In conclusion, it was determined that rice husk ash can be added as a replacement for cement in the production of concrete for non-structural elements, the optimal percentages being 7% and 4%.

**Keywords:** *Concrete, rice husk ash, non-structural elements, compressive strength, flexural strength, durability.*

## Índice de Contenido

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
INTRODUCCIÓN.....	13
Síntesis de la situación problemática .....	13
Formulación del problema de investigación.....	14
Hipótesis .....	14
Justificación .....	15
Objetivos.....	16
Objetivo general .....	16
Objetivos específicos.....	16
Capítulo I. Diseño Teórico .....	17
1.1. Antecedentes.....	17
1.1.1. Antecedentes Internacionales .....	17
1.1.2. Antecedentes Nacionales.....	18
1.2. Bases teóricas.....	19
1.2.1. Cascarilla de arroz .....	19
1.2.2. Concreto no estructural $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ a menos .....	25
1.3. Bases conceptuales .....	29
1.3.1. Tabla de operacionalización de variable .....	29
Capítulo II. Diseño Metodológico.....	30

2.1.	Tipificación de la investigación.....	30
2.2.	Población y Muestra .....	30
2.2.1.	Población .....	30
2.2.2.	Muestra .....	30
2.3.	Técnicas, instrumentos, equipos y materiales.....	30
2.3.1.	Técnicas de recolección de datos.....	30
2.3.2.	Instrumentos .....	31
2.3.3.	Equipos y materiales.....	31
Capítulo III. Resultados.....		33
3.1.	Características físicas de los materiales empleados en el diseño de mezcla del concreto no estructural.....	33
3.2.	Diseño de mezcla del concreto patrón ( $f'c$ 175 kg/cm <sup>2</sup> ).....	37
3.3.	Evaluación de las propiedades en estado fresco y endurecido para un concreto no estructural $f'c$ 175 kg/cm <sup>2</sup> .....	39
3.3.1.	Propiedades en estado fresco del concreto .....	39
3.3.2.	Propiedades en estado endurecido del concreto .....	40
3.4.	Diseño de mezcla del concreto con incorporación de CCA del 1% al 12 % .....	43
3.5.	Evaluación de la mejora en las propiedades del concreto no estructural $f'c$ 175 kg/cm <sup>2</sup> con incorporación de CCA en porcentajes del 1% al 12 % .....	47
3.5.1.	Propiedades en estado fresco del concreto con 1% al 12 %CCA.....	47
3.5.2.	Propiedades en estado endurecido del concreto con 1% al 12 %CCA.....	49
3.6.	Determinación del porcentaje óptimo de incorporación de CCA.....	55
Capítulo IV. Discusión de Resultados.....		59
Conclusiones.....		64
Recomendaciones .....		65
Referencias .....		66

Anexos .....	70
Anexo 01: Panel fotográfico. ....	70
Anexo 02: Certificados de ensayos.....	78
Anexo 03: Fichas de ensayos.....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características de las cascarillas de arroz.</i> .....	20
Tabla 2 <i>Propiedades físicas de las cenizas de la cascarilla de arroz.</i> .....	22
Tabla 3 <i>Componentes químicos de las CCA.</i> .....	24
Tabla 4 <i>Fórmula para determinar el factor de resistencia (<math>f'c</math>) en concreto.</i> .....	25
Tabla 5 <i>Trabajabilidad y consistencia de las mezclas.</i> .....	26
Tabla 6 <i>Operacionalización de variables</i> .....	29
Tabla 7. <i>Muestra de estudio</i> .....	30
Tabla 8. <i>Normativa empleada en la presente investigación</i> .....	31
Tabla 9 <i>Análisis granulométrico del árido grueso</i> .....	33
Tabla 10 <i>Análisis granulométrico del AF</i> .....	35
Tabla 11 <i>Propiedades físicas de los áridos</i> .....	36
Tabla 12 <i>Resumen de dosificación de la muestra 1 (M1)</i> .....	38
Tabla 13 <i>Resumen de dosificación de la muestra 2 (M2)</i> .....	38
Tabla 14 <i>Resumen de dosificación de la muestra 3 (M3)</i> .....	38
Tabla 15 <i>Diseño de mezcla patrón (método ACI)</i> .....	39
Tabla 16 <i>Ensayo de trabajabilidad (pulg)</i> .....	40
Tabla 17 <i>Resumen de resistencia a compresión del concreto <math>f'c=175\text{kg/cm}^2</math></i> .....	41
Tabla 18 <i>Resumen de resistencia a flexión del concreto</i> .....	42
Tabla 19 <i>Resumen de dosificación del concreto con 1%CCA</i> .....	44
Tabla 20 <i>Resumen de dosificación del concreto con 2%CCA</i> .....	44
Tabla 21 <i>Resumen de dosificación del concreto con 3%CCA</i> .....	44
Tabla 22 <i>Resumen de dosificación del concreto con 4%CCA</i> .....	44
Tabla 23 <i>Resumen de dosificación del concreto con 5%CCA</i> .....	45
Tabla 24 <i>Resumen de dosificación del concreto con 6%CCA</i> .....	45
Tabla 25 <i>Resumen de dosificación del concreto con 7%CCA</i> .....	45
Tabla 26 <i>Resumen de dosificación del concreto con 8%CCA</i> .....	45
Tabla 27 <i>Resumen de dosificación del concreto con 9%CCA</i> .....	46
Tabla 28 <i>Resumen de dosificación del concreto con 10%CCA</i> .....	46
Tabla 29 <i>Resumen de dosificación del concreto con 11%CCA</i> .....	46
Tabla 30 <i>Resumen de dosificación del concreto con 12%CCA</i> .....	46

Tabla 31 Resistencia a compresión del concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ a los 7 días .....	38
Tabla 32 Análisis de normalidad de la resistencia a la compresión a los 7 días .....	40
Tabla 33 Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días .....	41
Tabla 34 Resistencia a compresión del concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ a los 14 días .....	41
Tabla 35 Análisis de normalidad de la resistencia a la compresión a los 14 días .....	42
Tabla 36 Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a la compresión a los 14 días .....	43
Tabla 37 Resistencia a compresión del concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ a los 28 días .....	42
Tabla 38 Análisis de normalidad de la resistencia a la compresión a los 28 días .....	44
Tabla 39 Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a la compresión a los 28 días .....	45
Tabla 40 Resumen de resistencia a compresión del concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ .....	44
Tabla 41 Resistencia a flexión del concreto a los 7 días .....	46
Tabla 42 Análisis de normalidad de la resistencia a flexión a los 7 días .....	46
Tabla 43 Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a flexión a los 7 días .....	47
Tabla 44 Resistencia a flexión del concreto a los 14 días .....	47
Tabla 45 Análisis de normalidad de la resistencia a flexión a los 14 días .....	49
Tabla 46 Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a flexión a los 14 días .....	50
Tabla 47 Resistencia a flexión del concreto a los 28 días .....	50
Tabla 48 Análisis de normalidad de la resistencia a flexión a los 28 días .....	52
Tabla 49 Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a flexión a los 28 días .....	53
Tabla 50 Ensayo de durabilidad en el concreto con 5%CCA .....	54
Tabla 51 Costo de la muestra patrón .....	57
Tabla 52 Costo de la muestra con incorporación de 7%CCA .....	57
Tabla 53 Costo de la muestra con incorporación de 4%CCA .....	57
Tabla 54 Comparación del costo de la muestra patrón las con incorporación optimas de %CCA .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cascarilla de arroz.....	20
Figura 2 Trabajabilidad de las mezclas (cono de Abrams).....	26
Figura 3 Curva granulométrica de la piedra de ½” (cantera Tres Tomas-Ferreñafe).....	34
Figura 4 Curva granulométrica del AF (cantera La Victoria - Pátapo).....	36
Figura 5 Extracción de CCA del molino Los Ángeles.....	37
Figura 6 Resistencia a la compresión de la muestra patrón según % de f'c.....	41
Figura 7 Resistencia a la flexión de la muestra patrón.....	43
Figura 8 Ensayo de trabajabilidad en probetas (slump).....	47
Figura 9 Ensayo de trabajabilidad em vigas (slump).....	48
Figura 10 Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días (kg/cm <sup>2</sup> ).....	39
Figura 11 Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días (kg/cm <sup>2</sup> ).....	41
Figura 12 Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> ).....	43
Figura 13 Resumen de resistencia a compresión vs días.....	45
Figura 14 Resistencia a flexión a los 7 días.....	46
Figura 15 Resistencia a flexión a los 14 días.....	48
Figura 16 Resistencia a flexión a los 28 días.....	51
Figura 17 Ensayo de durabilidad con incorporación del 5%CCA.....	54
Figura 18 1era y 5ta inmersión en la solución de sulfato de sodio (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10 H <sub>2</sub> O).....	55
Figura 19 Resistencia a la compresión del % óptimo vs patrón.....	56
Figura 20 Resistencia a la flexión del % óptimo vs patrón.....	56
Figura 21 Resistencia a la compresión de la M1.....	70
Figura 22 Ensayo de trabajabilidad de la muestra patrón.....	70
Figura 23 Realización de probetas de concreto patrón y con adiciones.....	71
Figura 24 Realización de vigas de concreto patrón y con adiciones.....	71
Figura 25 Rotura de probeta patrón a los 7 días de curado.....	72
Figura 26 Rotura de probetas y vigas 1% de Incorporación de CCA.....	72
Figura 27 Elaboración de especímenes de cúbicos de 2” con 5 % de incorporación de CCA.....	73
Figura 28 Rotura de cubo de mortero con 5% de incorporación de CCA.....	73
Figura 29 Preparación de la solución (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	74

Figura 30 <i>Primera inmersión en la solución (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ·10 H<sub>2</sub>O)</i> .....	74
Figura 31 <i>Elaboración de probetas y Vigas (10 % de CCA)</i> .....	75
Figura 32 <i>Elaboración de probetas y Vigas (11 % de CCA)</i> .....	75
Figura 33 <i>Segunda inmersión en la solución (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ·10 H<sub>2</sub>O)</i> .....	76
Figura 34 <i>Tercera inmersión en la solución (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ·10 H<sub>2</sub>O)</i> .....	76
Figura 35 <i>Ensayos de resistencia a compresión y flexión en probetas y vigas con 4%, 9% y 11% de CCA.</i> .....	76
Figura 36 <i>Prueba de compresión y flexión de 10 % de CCA a los 14 días y 5% de CCA a los 28 días</i> .....	77
Figura 37 <i>Prueba de compresión y flexión de 11 % de CCA a los 28 días.</i> .....	77
Figura 38 <i>Prueba de compresión y flexión de 12 % de CCA a los 28 días.</i> .....	77

## INTRODUCCIÓN

### **Síntesis de la situación problemática**

El crecimiento poblacional mundial ha aumentado respecto a requerimiento de edificios en países de todo el mundo, formando parte el hormigón en el grupo de materiales de construcción de mayor uso (Venkata et al, 2019).

Razón por la cual, se busca encontrar nuevas tecnologías enriquecedoras en cuanto particularidades del concreto y su estado fresco, endurecido; viéndose al concreto un material que posea una alta resistencia para poder construir edificaciones e infraestructuras duraderas con el pasar del tiempo (Doumongue et al., 2023).

El concreto es una mezcla no homogénea de diferentes componentes con relaciones altamente no lineales entre cada uno, y la resistencia compresiva del hormigón es el factor característico mecánico más destacado que influye en el comportamiento y la seguridad de la estructura, razón por la cual esta mezcla está ocupando un lugar muy importante en la construcción (Guguloth & Saravanan, 2022).

La propiedad con mayor relevancia de forma duradera en relación estructural, es la resistencia y la durabilidad del concreto; no obstante tiene carga portante y en oportunidades perjudicado por distintos agentes, tales: entorno, clausulas serviciales, pérdida de pH , exposición a sulfato, exposición química, agresividad por agua de mar, agresividad de ácidos, deterioro, degradación, erosión, periodos de congelación-descongelación, álcalis del cemento como respuestas químicas referente agregados, corrosión, erosión y modificación de temperatura (Londero et al., 2021).

La mezcla de hormigón se realiza con los ingredientes adecuados como cemento, áridos finos, áridos gruesos y agua. Al utilizar estos materiales, hoy en día el costo del proyecto aumenta, y para reducir el costo de construcción se utilizan materiales naturales

para aumentar los valores de resistencia (Guguloth & Saravanan, 2022). Al reemplazar el cemento en la producción de concreto con cenizas de cáscara de arroz, conseguimos disminuir la porción de cemento utilizado, de esta manera se reduce el costo que conlleva el uso de cemento y reduce la alteración antropogénica causado por el cemento (Fu & Zongming, 2023).

A nivel nacional, en Chiclayo el concreto pertenece a los materiales de mayor uso en la construcción de edificaciones, por los innumerables beneficios que este material ofrece en las estructuras e infraestructuras, pero a partir del año 2020 el precio de las viviendas y otras construcciones ha aumentado, y esto debido a la crecida de los costos de insumos como el cemento, trayendo consecuencias graves para la población local (La Industria, 2019).

Por lo que, se considera necesario la búsqueda de materiales alternativos sostenibles que permitan el reemplazo parcial del cemento y que a la vez al ser mezclados con el concreto mejore sus propiedades de resistencia, brindando así mayor calidad, a un menor costo y obteniendo un material eco amigable con nuestro medio ambiente.

Motivo mediante la presente dispone por finalidad mejorar el diseño de un concreto no estructural a partir de la incorporación de cascarilla de arroz, de esta manera se demostraría cómo influye este insumo en las propiedades del concreto.

### **Formulación del problema de investigación**

¿En qué medida la incorporación de ceniza de cascarilla de arroz mejora el diseño de concreto no estructural?

### **Hipótesis**

La incorporación de ceniza de cascarilla de arroz mejora las propiedades mecánicas del concreto no estructural.

## **Justificación**

### **Justificación Práctica.**

Su importancia práctica se justifica en que, al mejorar el diseño del concreto no estructural con incorporaciones de ceniza de cascarilla de arroz, la resistencia a compresión será superior y el tiempo de vida útil de los elementos no estructurales se incrementará proporcionalmente.

### **Justificación Social.**

Proporcionará un mayor nivel de seguridad y comodidad para los peatones, reduciendo la necesidad de reparaciones frecuentes que puedan afectar a la población. Además, mejorará la accesibilidad para personas con discapacidad, dado a su uso predominante en elementos no estructurales tales como veredas. Asimismo, la utilización de residuos agrícolas, como la cascarilla de arroz, en la fabricación de concreto contribuye a la gestión sostenible de los residuos y reduce la huella de carbono asociada con la producción de cemento.

### **Justificación Económica.**

Su relevancia se fundamenta en que, al mejorar las propiedades mecánicas del concreto no estructural, los costos de mantenimiento y reparación se verán reducidos, sobre todo en los elementos no estructurales, logrando proporcionar un material rentable para las empresas que ejecutan proyectos

### **Justificación Teórica.**

Su importancia radica en el análisis de la influencia de incorporar en el concreto, ceniza de cascarilla de arroz sobre las características mecánicas de los elementos no estructurales, lo cual brindará un conocimiento sobre el comportamiento e interacción de los elementos que lo conforman y el aporte a nuevos diseños.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Mejorar el diseño del concreto no estructural, con incorporación de ceniza de cascarilla de arroz, Lambayeque 2023.

### **Objetivos específicos**

1. Definir las características físicas de los materiales empleados en el diseño de mezcla del concreto no estructural
2. Realizar el diseño de mezcla del concreto  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup>
3. Evaluar las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto no estructural  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup>
4. Realizar el diseño de mezcla del concreto  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> con incorporación de ceniza de cascarilla de arroz en porcentajes del 1%,2%,3%,4%,5%,6%,7%,8%,9%,10%,11% y 12 %
5. Evaluar la mejora en las propiedades del concreto no estructural  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> con incorporación de ceniza de cascarilla de arroz en porcentajes del 1%,2%,3%,4%,5%,6%,7%,8%,9%,10%,11% y 12 %
6. Determinar el porcentaje óptimo de incorporación de ceniza de cascarilla de arroz.

## **Capítulo I. Diseño Teórico**

### **1.1. Antecedentes**

Los antecedentes que se presentarán a continuación permitirán sustentar el proyecto de investigación mostrando cuán significativo es solucionar el problema formulado.

#### **1.1.1. Antecedentes Internacionales**

Guguloth y Saravanan (2022), en su artículo tuvieron por finalidad utilizar la ceniza de cascarilla de arroz en reemplazo del cemento al diseñar un concreto. Para el desarrollo de su investigación evaluaron las resistencias a flexión, a tracción, a compresión y la durabilidad del concreto. Utilizaron las cenizas de cascarilla de arroz reemplazando al cemento en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% para determinar valores de trabajabilidad, resistencia y durabilidad. A partir de los resultados experimentales, observaron que los valores más altos de resistencia a flexión, a tracción y compresión durante 7, 14 y 28 días de curado se obtienen con una proporción de cenizas de cáscaras de arroz en 15 %, concluyendo que, si se incorpora grandes porcentajes de este componente, menores son las resistencias que se alcanzaron.

Sathe et al. (2022), en su artículo tuvieron por objetivo reemplazar hasta cierto punto el cemento con cascarillas de arroz en la fabricación del concreto, para el desarrollo de la investigación evaluaron la resistencia a la flexión, trabajabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción del concreto. Reemplazaron el cemento en un 5%, 10%, 15% y 20%, obteniendo como resultados que las propiedades de resistencias a la flexión, tracción y compresión decrecieron con una adición mayor del 15% del cemento por la cascarilla de arroz, concluyendo que el porcentaje óptimo fue el del 15% debido a que con esta incorporación lograron una mayor resistencia.

### **1.1.2. Antecedentes Nacionales**

Gonzales (2021), en su investigación, el objetivo principal fue llevar a cabo la adición de ceniza de cascarilla de arroz con el propósito de aumentar las resistencias a la compresión del concreto con una resistencia  $f_c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Este estudio se enmarcó en una metodología de tipo aplicada, adoptando un enfoque cuantitativo y empleando un diseño experimental. La incorporación de ceniza de cascarilla de arroz se realizó en proporciones de 0%, 1.50%, 3% y 4.5%, arrojando como resultado resistencias a la rotura de probetas a los 28 días de 247 kg/cm<sup>2</sup>, 266 kg/cm<sup>2</sup>, 256 kg/cm<sup>2</sup> y 158 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Se determinó que los porcentajes óptimos de incorporación son del 1.5% y 3%. Como conclusión, se destaca que la adición de cenizas de cascarilla de arroz no solo mejora las resistencias a la compresión, sino que también se revela como una opción rentable y económica.

Aliaga et al. (2020), en su investigación, el propósito central fue mejorar las propiedades de resistencia del concreto mediante la adición de cenizas de cascarilla de arroz en la región de San Martín. Se adoptó una metodología experimental para analizar la resistencia a la compresión de los concretos con  $f_c$  de 175 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>, así como las resistencias a flexión. Los resultados de las pruebas en el concreto patrón arrojaron resistencias a la compresión de 176.53 kg/cm<sup>2</sup> y 210.35 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Para determinar los porcentajes de incorporación, se trabajó inicialmente con 6 especímenes que contenían diferentes proporciones de ceniza de cascarilla de arroz. Posteriormente, se definieron los porcentajes de incorporación del 2%, 4% y 6% de ceniza de cascarilla de arroz, concluyendo que el más óptimo fue del 2%. Esta incorporación logró resistencias a la compresión de 177.660 kg/cm<sup>2</sup> y 213.820 kg/cm<sup>2</sup>, así como módulos de rotura de 41.570 kg/cm<sup>2</sup> y 47.830 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, en comparación con las resistencias a la rotura

de los concretos patrones, que fueron de 39.34 kg/cm<sup>2</sup> y 47.83 kg/cm<sup>2</sup> para los diseños de mezcla de 175 kg/cm<sup>2</sup> y 210 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. En conclusión, se evidenció que la incorporación mejora la resistencia en un 0.64% y 1.65% para ambos diseños, mientras que en la resistencia a la flexión mejoró en un 5.67% y 3.84%.

Arteaga y Caccha (2022), en su tesis el objetivo central fue realizar un análisis comparativo al introducir cenizas de arroz y café, así como un concreto sin adiciones, con el fin de determinar qué diseño alcanza un mayor porcentaje en las propiedades del concreto. Ambos insumos se incorporaron en porcentajes del 5%, 10% y 15%. Los resultados indicaron que la adición de cascarillas de arroz y café en un 5% mejoró la resistencia a la compresión, superando al concreto patrón. Se concluyó que ambas incorporaciones logran alcanzar la resistencia requerida y mejoran las propiedades del concreto, siempre y cuando se agreguen en proporciones reducidas.

## **1.2.Bases teóricas**

### **1.2.1. Cascarilla de arroz**

Es un subproducto obtenido de los granos de arroz, en el sector de construcción se utiliza debido a contar con una baja densidad y resistencia elevada, propiedades de aislamiento acústico y sobre todo el costo reducido como materia prima. Asimismo, Carolina, Campos y Pérez (2019) señalan que los componentes de este subproducto se sustentan en la hemicelulosa, ácidos orgánicos entre otros compuestos hidrogenados por lo que su valor de calor alcanza 16.720Kj/ kg, en estas condiciones, la cascarilla además de ser un subproducto agroindustrial utilizado en el ámbito agrícola, también constituye una fuente de materia prima para generar energía.

Por otro lado, Orrabalis, Cossio y Martínez (2020) señala que los componentes químicos de este subproducto permite alcanzar mejoras en las propiedades mecánicas del

concreto debido al alto porcentaje de sílice, considerar siempre que el proceso de incorporación de las cascarillas de arroz a la mezcla de concreto estas son sometidas a un proceso de lavado con agua destilada que reduce el tiempo de solidificación y un tratamiento con ácido nítrico par hidrolizar la parte estructural de la cascarilla.

Además, Alomayri et al. (2021) mencionan que estos componentes son derivados del proceso convencional de molturación del arroz, se eliminan las cáscaras del grano crudo y el arroz se hace integral tal cual, luego se elimina la capa y se muele para hacer arroz blanco, el arroz se cultiva en más de 75 países, principalmente en China donde anualmente se producen unos 770 millones de toneladas de arroz, de las que más del 10% son cáscara.

### **Figura 1**

*Cascarilla de arroz.*



*Nota.* Tomado de (Crúz et al., 2020).

Dado ello podemos encontrar algunas características particulares de las cascarillas de arroz presentadas a continuación:

### **Tabla 1**

*Características de las cascarillas de arroz.*

<b>Indicador</b>	<b>Característica</b>
Residuo	La cascarilla es un residuo que se encuentra en todos los países productores de arroz y contiene entre un 30 y un 50% de carbono orgánico.

---

Producción	Es una materia prima de gran abundancia en los países arroceros como es el caso del país de China.
Componentes	La cascarilla es la capa protectora del grano de arroz y se separa de éste durante el proceso de molturación.
Subproducto	En los países arroceros, es abundante y renovable como subproducto de la molienda del arroz.

---

Nota. Tomado de Alengaram (2022).

### **1.2.1.1. Propiedades**

Tal como mencionan Carolina, Campos y Pérez (2019), la sílice contenido en las cascarillas de arroz, incrementa la condición hidrofóbica del material, por lo mismo, el desempeño como sellador. También se destacan principalmente las cualidades de resistencia y densidad baja. Por otro lado, un 40% de los componentes de las cascarillas son celulosa y sílice.

Respecto a la porosidad del material este alcanza un valor de 64,75%, también son capaces de retener agua en 25.85% y su densidad es de aproximadamente 0.10g/ml. En Estados Unidos y México, este sólido cristalino, también llamado sílice, es el principal componente de la arena. Puede fundirse con otros óxidos metálicos para producir diversos vidrios y estabilización de otro tipo de aglomerados. De igual forma las cenizas de este componente al ser incorporado a las mezclas genera:

- Reducción significativa en el flujo de las mezclas
- Actúa como un relleno reactivo y un agente de curado interno, lo que ayuda a densificar mejorando las resistencias a compresión.
- Tiene partículas de forma irregular y su estructura celular era porosa

- El grado de cristalinidad de las CCA depende principalmente de la temperatura del proceso de combustión, así como de los parámetros de calcinación
- Debido al alto contenido de sílice y también al hecho de que la cantidad de estos residuos ha aumentado considerablemente, existe la oportunidad de utilizar estos residuos como materiales de sílice en la mezcla.

**Tabla 2**

*Propiedades físicas de las cenizas de la cascarilla de arroz.*

<b>Propiedades</b>	<b>CCA</b>
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.435
Gravedad específica (seco)	2.00
Finura (%)	80
Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )	571.37 ± 13.79
Gravedad específica	2.32 ± 0.05
Superficie específica (m <sup>2</sup> /Kg)	292.11 ± 20.04
Tamaño de partícula al 50 % de paso acumulativo (µm)	22.31 ± 0.88

*Nota.* Tomado de (Tayeh et al., 2021).

### **1.2.1.2. Beneficios en el sector construcción**

Según Alengaram (2022), las cenizas de residuos agrícolas como llega a ser el caso de las cascarillas de arroz pueden utilizarse eficazmente como material alternativo al cemento convencional, en lugar de desecharse. Sin embargo, las cenizas ya incineradas in situ de residuos agrícolas tienen una utilización muy limitada en la construcción, ya que sus propiedades en el hormigón no se han evaluado adecuadamente. Se considera necesario la búsqueda de materiales alternativos sostenibles que permitan el reemplazo parcial del cemento y que a la vez al ser mezclados con el concreto mejore sus propiedades.

Según el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA, 2020) el empleo de cascarillas de arroz en la producción de mezclas, ladrillos y bloques de concreto y otro tipo de materiales

se debe a las propiedades de resistencia del material incluso en estado húmedo, tal es así que generalmente las cascarillas de arroz se utilizan en la fabricación de adobes, sin embargo, tras las investigaciones realizadas este material constituye a la optimización de las propiedades de los elementos estructurales y no estructurales, así como a reducir el peso en las edificaciones.

### **1.2.1.3. Procesamiento de transformación en ceniza**

Tayeh et al., (2021) indican que la ceniza se forma cuando se quema las cáscaras de arroz, pertenecientes a los residuos agrícolas y puede permitir la contaminación del aire si no se trata adecuadamente debido a su tamaño de grano fino, esta ceniza tiene un alto contenido de sílice que contribuye a la propiedad cementosa, sin embargo, la función de la ceniza en el cemento y concreto puede no ser la misma debido a la inconsistencia de la ceniza en términos de reactividad puzolánica, propiedades fisicoquímicas de ceniza, sustancia de carbono, aunque las puzolánicas de ceniza pueden controlarse por el grado de calor y el proceso de incineración.

Según indica Mesa Arbeláez, Rúa, Carvajal y Lasso (2022) los procesos para obtener la ceniza de la cascarilla, pueden ser distintos de acuerdo al tipo de calcinación de la cáscara, estos pueden ser

- Calcinación en horno, corresponde al proceso de incineración de las cascarillas de arroz con hornos de alta temperatura. Este tipo de proceso permite mantener y controlar la temperatura de manera más homogénea.
- Calcinación a cielo abierto, corresponde al proceso de incineración de cascarillas de arroz, realizadas en superficies construidas a la intemperie, cuya forma puede variar entre circulares y rectangulares, circulares con ladrillos hasta 2.5m de altura y 16m de diámetro.

- Calcinación en lecho fluido, corresponde a hornos que utilizan energía eléctrica, asimismo, para la calcinación de la cascarilla se incorpora progresivamente a la arena con dimensiones de 297 $\mu$ m hasta 590 $\mu$ m, las ventajas de calcinar las cascarillas en este tipo de horno es el mayor control de temperatura y la obtención de sílice es superior.

También según la norma ASTM C311 (2011) para procesar materiales a temperaturas comprendidas entre 400°C y 800°C, el grado de calcinación llega a determinarse al tener en consideración la composición de partículas y de la proporción de sílice en la composición. Como resultado, algunos materiales con mayores concentraciones de calcio reaccionan más fácilmente que otros.

**Tabla 3**  
*Componentes químicos de las CCA.*

<b>Sustancia química</b>	<b>Porcentaje de composición (%)</b>
Contenido de humedad (%)	0.110
Óxido de magnesio	0.840
Álcalis Totales, (Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O)	0.690
Óxido de calcio	0.220
Alúmina	2.500
Óxido férrico	0.190
Óxido de silicio	88.900

*Nota.* Tomado de Behera y Reyazur (2022).

Behera y Reyazur (2022) mencionan que las investigaciones han demostrado que la composición y la calidad de estos subproductos dependen de las temperaturas de combustión y enfriamiento durante su producción, por ejemplo, el tamaño de las partículas, la finura, así como la cantidad y la fase de la sílice varían, a su vez, estas propiedades influyen en la

reactividad de la ceniza producida y, por lo tanto, se ven afectados el tiempo de fraguado, la tasa de ganancia de resistencia, así como otras propiedades del concreto.

### 1.2.2. Concreto no estructural $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ a menos

Este tipo de concreto prescinde de una armadura de refuerzo y se emplea comúnmente en la edificación de veredas y pavimentos de bajo tráfico. En esencia, utiliza cemento de uso general que satisface las resistencias requeridas para este tipo de concreto (MVCS, 2019).

**Tabla 4**

*Fórmula para determinar el factor de resistencia ( $f'c$ ) en concreto.*

<b>F' C (Kg/ cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F' CR (Kg/ cm<sup>2</sup>) [+]</b>
>350	98
210 a 350	84
<210	70

*Nota.* Adaptado de American Concrete Institute (2002).

#### 1.2.2.1. Propiedades en estado fresco

##### a. Trabajabilidad

A través de la trabajabilidad llega a tenerse de conocimiento sobre qué tan fluida es una mezcla, respecto a su fluidez, siendo uno de los indicadores de la trabajabilidad, además se da a conocer que tan factible es para ser colocada o trasladada a la zona que se requiera, la trabajabilidad de las mezclas se relacionan con las cantidades de agua y su consistencia que puede ser seca o demasiada húmeda realizada por medio de la prueba de Slump (Londero et al., 2021).

**Figura 2**  
*Trabajabilidad de las mezclas (cono de Abrams).*



*Nota.* Tomado de Londero et al., (2021).

Las mezclas de concreto destacan por su naturaleza granular, esta característica es fundamental ya que facilita el transporte y determina la dificultad de su manipulación, en este sentido, se destaca la importancia de la granulometría para el predimensionamiento de los áridos adecuados que garanticen una buena trabajabilidad de la mezcla. Asimismo, este factor es medido a través de los ensayos del cono de Abrams.

De igual importancia en las mezclas de concreto con bajos niveles de revenimiento, se caracteriza por presentar una consistencia seca, esta condición dificulta la compactación del concreto, aunque en mezclas más líquidas los inconvenientes son la formación de cangrejas o segregación de los áridos.

La norma llega a clasificar al concreto en relación a su consistencia y el asentamiento que hace referencia la trabajabilidad de la mezcla en su estado fresco a fin de que estas lleguen a ser muy trabajables, trabajables y poco trabajables debido a la consistencia que puedan presentar siendo de cierta manera fluidas, plásticas y secas (ASTM C143, 2015).

**Tabla 5**  
*Trabajabilidad y consistencia de las mezclas.*

<b>Trabajabilidad</b>	<b>Slump (pulg)</b>	<b>Consistencias</b>
Muy trabajables	> 5	Fluidas
Trabajables	3 a 4	Plásticas

---

Poco trabajables	0 a 2	Secas
------------------	-------	-------

---

*Nota.* Tomado de ASTM C143, (2015).

Por medio de la norma ASTM C143 (2015) indica cómo se realiza este tipo de pruebas (Slump) con el propósito de conocer el asentamiento de una mezcla de concreto.

### **b. Fraguado**

Rodríguez, Reyes y Úcles (2020) señalan que el fraguado es el proceso de endurecimiento por el cual pasan las mezclas de concreto y consiste en la disminución de la maleabilidad o plasticidad de la mezcla, durante la recuperación del agua perdida por el cemento.

Algunas condiciones externas que afectan el tiempo de fraguado son las variaciones en su forma, al igual que las variaciones del volumen por cambios de temperatura o retracción del proceso de fraguado.

### **1.2.2.2. Propiedades en estado endurecido**

#### **a. Resistencia a la compresión**

El esfuerzo de compresión consiste en la respuesta de los componentes de la infraestructura frente a fuerzas axiales que actúan en el eje vertical de cada elemento, también intervienen factores como los diseños de mezclas y la composición de los materiales. diversos factores, desde el diseño de la mezcla hasta las particularidades que ostentan cada material. En línea con lo señalado, la resistencia a compresión se configura como uno de los ensayos de gran relevancia, teniendo por propósito medir y garantizar la resistencia del concreto.

Según el manual de ensayos de materiales (MTC, 2016) estas ensayos se realizan en probetas o especímenes cuyas dimensiones están estandarizadas en proporción 1:2 (6"x12"), y las normas internacionales relativas a la resistencia a compresión, son las normas IS 456 - 2000, AS 1379, ASTM C94, EN 1008

De acuerdo a cada norma, los especímenes sometidos a los ensayos deben cumplir con diferentes condiciones. En el caso de la IS 456 -200 la resistencia promediada de 3 probetas debe ser menor o igual al 85% de la media. Así como en la AS 1379 se indica que la resistencia a compresión debe ser iguales o menores al 90% de la media de las probetas de control. En cuanto a la ASTM C94, las resistencias a compresión son equivalente o menor al 90% de los especímenes conformados con agua destilada o potable. Finalmente, en la norma EN 1008 la resistencia a compresión general tiene que alcanzar el 90%

Cabe mencionar que según las normas ASTM (2003) la resistencia máxima de los especímenes sometidos a ensayos de compresión se evidencia en el periodo de 28 días al ser curados.

Según Li y Song (2023) la resistencia a la compresión del concreto es uno de los factores grandemente importantes, que llegan a influir en el comportamiento mecánico de una estructura, afectando a su comportamiento y seguridad, el concreto es una mezcla heterogénea de varios componentes, cada uno de los cuales presenta una elevada no linealidad con la resistencia a la compresión, siendo los ensayos mecánicos uno de los métodos más habituales que tienen por finalidad efectuar la medición de las resistencias a la compresión del concreto, pero no sólo requieren mucho tiempo, sino que también son caros.

#### **b. Resistencia a la flexión**

Este tipo de prueba llega a expresarse a través de los Módulos de Rotura, asimismo la prueba se basa en una prensa hidráulica y una carga fija a través de uno de los soportes metálicos, por lo que se expresa como coeficiente de fractura según el método A.S.T.M. (ASTM C78, 2015).

A su vez, esta prueba debe realizarse según lo especificado por la norma e inmediatamente después de retirar la muestra del proceso de curado, además para calcular la

resistencia a flexión del hormigón sometido a carga hasta alcanzar la fractura, se tiene en cuenta la localización de la fractura y la carga utilizada debe ser de tamaño uniforme, es decir, debe aplicarse a cada superficie superior (NTP 339 078, 2018).

### c. Durabilidad

La durabilidad del concreto es una propiedad difícil de determinar, esto debido a las condiciones del medio ambiente, por lo que no existe una propiedad universal para evaluar esta propiedad de manera exacta y certera. Esto hace necesario recurrir a mediciones indirectas como lo son la porosidad, permeabilidad, abrasión, abrasión, desgaste, entre otros.

Para el caso de esta investigación se evaluará la durabilidad del concreto a partir de la propiedad de durabilidad ante sulfatos.

### 1.3.Bases conceptuales

#### 1.3.1. Tabla de operacionalización de variable

**Tabla 6**

*Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	
<b>CONCRETO NO ESTRUCTURAL</b>	Propiedades en estado fresco	Trabajabilidad Fraguado	
	Propiedades en estado endurecido	Resistencia a la compresión Resistencia a la flexión Durabilidad	
	<b>CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ</b>	Dosificación	1%,2%,3%,4%,5%,6%,7%,8%,9%,10%,11% y 12 %

*Nota.* Elaboración propia

## Capítulo II. Diseño Metodológico

### 2.1. Tipificación de la investigación

Cuantitativa o cualitativa = Cuantitativa.

Experimental o no experimental = Experimental.

Alcances del estudio= Explicativo.

Básica o aplicada = Aplicada

### 2.2. Población y Muestra

#### 2.2.1. Población

Conformada por los diseños de mezcla de concreto no estructural  $f'c$  175 kg/ cm<sup>2</sup>.

#### 2.2.2. Muestra

Conformada por 238 especímenes de concreto los cuales fueron empleados para los ensayos de resistencia a la compresión y flexión, las probetas tuvieron dimensiones de 6” de diámetro y 12” de altura y las viguetas, dimensiones de 15 x 15 x 55 cm.

Mientras que para el ensayo de durabilidad a los sulfatos se emplearon cubos de 5cm x 5cm con una incorporación de ceniza del 5% al cemento.

#### Tabla 7.

*Muestra de estudio*

Ensayos de Laboratorio	N° Especímenes
Resistencia a la flexión	117
Resistencia a la compresión	117
Durabilidad	4

*Nota.* Elaboración propia

### 2.3. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

#### 2.3.1. Técnicas de recolección de datos

Con el propósito de llegar a desarrollarse el estudio, se emplearon como técnicas de recopilación de datos la observación y el análisis documental.

**2.3.1.1. Observación:** La técnica de observación permitió captar la información de necesidad con el fin de desarrollar el estudio, tal como los procesos y resultados de cada ensayo, que se practiquen a los agregados y a las probetas de concreto.

**2.3.1.2. Análisis documental:** La técnica de análisis documental permitió recolectar información de fuentes relacionadas al tema. Así mismo esta técnica permitió la efectucción del diseño de mezcla patrón.

### **2.3.2. Instrumentos**

**2.3.2.1. Guía de observación:** Facilitó el registro de cada resultado obtenido en las resistencias a flexión y compresión tanto del concreto patrón como del concreto modificado con ceniza de cascarilla de arroz en diversos porcentajes.

**2.3.2.2. Guía Documental:** Permitted registrar la información de normas para la realización y cumplimiento de los estándares de calidad de cada ensayo.

**Tabla 8.**  
*Normativa empleada en la presente investigación*

Descripción	NTP
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM C-136
Norma E.060- Concreto	NTP 339.134 – ASTM D 2487
Resistencia a la flexión	ASTM C-078
Resistencia a la compresión	ASTM C-039
Durabilidad a los sulfatos	NTP 334.094

*Nota.* Elaboración propia

### **2.3.3. Equipos y materiales**

El material y equipo que llegó a emplearse para la elaboración del estudio, se presentan a continuación:

#### Equipos y herramientas

- Máquina de ensayos Universal
- Platos de compresión
- Moldes de probetas cilíndricas de  $\varnothing=6$  pulg y  $h=12$  pulg
- Moldes de vigas de 55 cm x 15 cm x 15 cm
- Moldes para cubos de 2 pulg x 2 pulg x 2 pulg
- Densímetro
- Tamices
- Horno
- Moldes
- Recipientes
- Balanza
- Software de ofimática
- Laptops
- Cámara Digital
- Equipo móvil

#### Materiales

- Cemento MS
- Agregado Grueso
- Agregado Fino
- Ceniza de cascarilla de arroz en polvo (CCA)

### Capítulo III. Resultados

#### 3.1. Características físicas de los materiales empleados en el diseño de mezcla del concreto no estructural

El desarrollo del ensayo granulométrico se ajustó a lo estipulado en la norma NTP 400.012:2021. Por ello, la Tabla 9, conforme a dicho estándar, proporcionó la distribución detallada de los tamaños de árido fino en la muestra total tamizada, que tuvo un peso de 5000.00 gr, evidenciando una mayor porción de porcentaje retenido (68.46%) en el matriz de ½”, por lo que se fijó como el TMN.

**Tabla 9**  
*Análisis granulométrico del árido grueso*

<b>TRES TOMAS-FERREÑAFE</b>					
			Piedra	1/2"	
<b>PESO ORIGINAL</b>			5000,00gr		
<b>TAMIZADO</b>			5000,00gr		
<b>TAMIZ</b>	ABERTURA	PESO RET.	% PESO RETEN.	% ACUM. PASA	% ACUM. RETEN.
		GRS			
		MM			
<b>1 1/2 "</b>	38,10	0,00	0,00	100,00	0,00
<b>1 "</b>	25,00	0,00	0,00	100,00	0,00
<b>3/4 "</b>	19,00	0,00	0,00	100,00	0,00
<b>1/2 "</b>	12,50	3423,00	68,46	31,54	68,46
<b>3/8 "</b>	9,50	1098,00	21,96	9,58	90,42
<b>N° 4</b>	4,75	479,00	9,58	0,00	100,00
<b>N° 8</b>	2,36		0,00	0,00	100,00
<b>N° 16</b>	1,18		0,00	0,00	100,00
<b>N° 30</b>	0,60		0,00	0,00	100,00
<b>N° 50</b>	0,30		0,00	0,00	100,00
<b>N° 100</b>	0,15		0,00	0,00	100,00
<b>N° 200</b>	0,075		0,00	0,00	100,00
<b>PLATILLO</b>		0,00	0,00	0,00	100,00
<b>Σ</b>		5000,00	100,00		

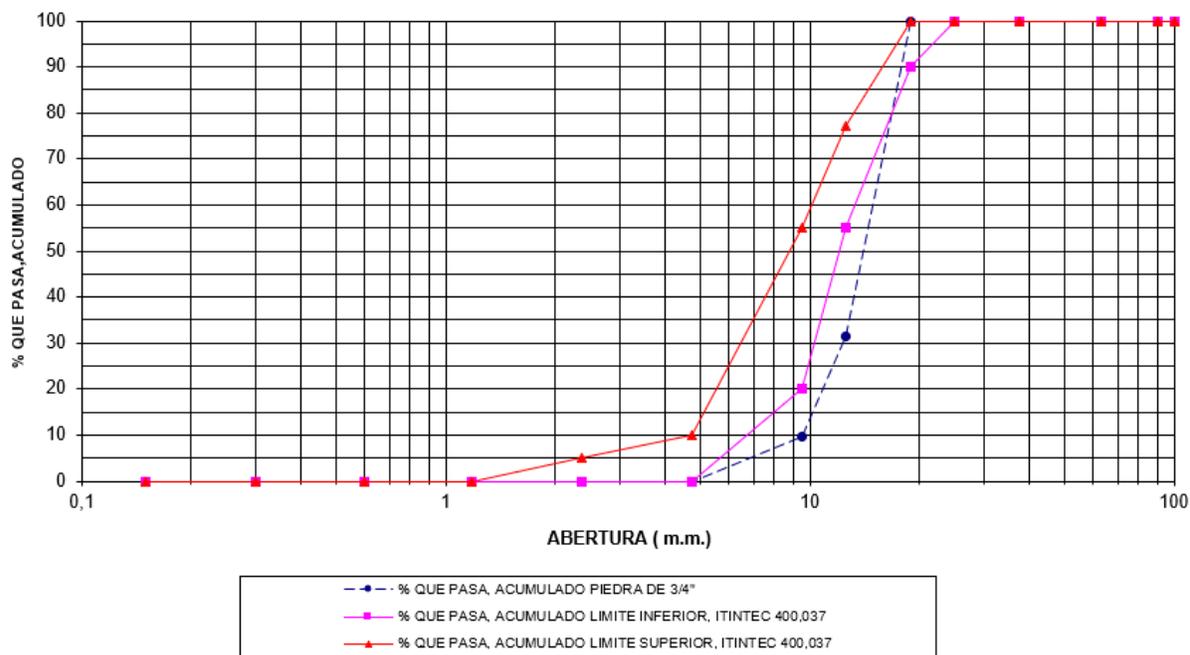
*Nota.* Elaboración propia.

Según la evaluación realizada, se visualizó que los valores retenidos en cada tamiz no se encontraron en los límites establecidos y definidos, como se muestra en la Figura 3. En

consecuencia, se infirió que el agregado no fue adecuado y se recomendó elaborar una muestra de concreto en el laboratorio según el diseño establecido, con el propósito de evaluar la consistencia de nuestra mezcla y, en caso necesario, ajustar el porcentaje de piedra.

**Figura 3**

*Curva granulométrica de la piedra de 1/2" (cantera Tres Tomas-Ferreñafe)*



*Nota.* Elaboración propia.

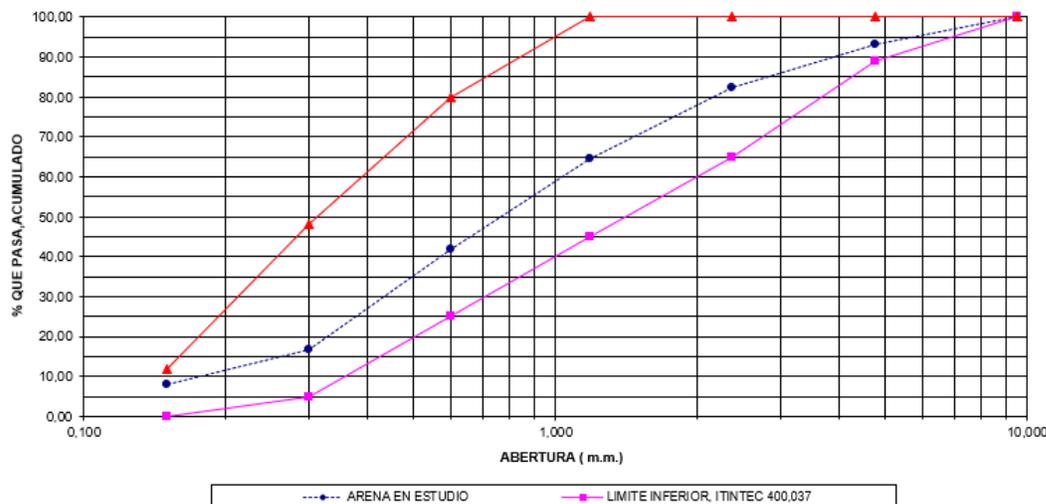
Además, se observó en la Tabla 10 que la evaluación granulométrica del árido fino se realizó mediante una muestra de 1000 gr extraído de la cantera La victoria (Pátapo), destacándose que el mayor porcentaje retenido se encuentra en el rango de tamices N°16 a N°50, alcanzando un valor del 64,60%.

**Tabla 10**  
Análisis granulométrico del AF

<b>LA VICTORIA - PÁTAPO</b>					
<b>PESO ORIGINAL</b>		1000,00	gr		
<b>TAMIZADO</b>		1000,00	gr		
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA</b>	<b>PESO</b>	<b>% PESO</b>	<b>% ACUM.</b>	<b>%</b>
	<b>MM</b>	<b>RET.</b>	<b>RETEN.</b>	<b>PASA</b>	<b>ACUM.</b>
		<b>GRS</b>			<b>RETEN.</b>
<b>1 1/2 "</b>	38,10				
<b>1 "</b>	25,00				
<b>3/4 "</b>	19,00				
<b>1/2 "</b>	12,50				
<b>3/8 "</b>	9,50	0,00	0,00	100	0,00
<b>N° 4</b>	4,75	69,00	6,90	93,10	6,90
<b>N° 8</b>	2,36	106,00	10,60	82,50	17,50
<b>N° 16</b>	1,18	179,00	17,90	64,60	35,40
<b>N° 30</b>	0,60	227,00	22,70	41,90	58,10
<b>N° 50</b>	0,30	250,00	25,00	16,90	83,10
<b>N° 100</b>	0,15	89,00	8,90	8,00	92,00
<b>N° 200</b>	0,075	52,00	5,20	2,80	97,20
<b>PLATILLO</b>		28,00	2,80	0,00	100,00
<b>Σ</b>		1000,00	100,00		

*Nota.* Elaboración propia.

Según la evaluación realizada, se visualizó que los valores retenidos en cada tamiz se encuentran en los límites establecidos y definidos, como se muestra en la Figura 4. En consecuencia, se puede concluir que el agregado fue adecuado y se recomendó para su utilización en la mezcla de concreto, debido a la buena distribución de partículas que presentó.

**Figura 4***Curva granulométrica del AF (cantera La Victoria - Pátapo)*

*Nota.* Elaboración propia.

La Tabla 11 presentó los resultados de las pruebas correspondientes a las propiedades físicas de los áridos, estas pruebas incluyeron la determinación del peso específico de masa, absorción, humedad, PUSS y PUCS; por lo que, para el árido grueso, los valores obtenidos fueron 2,64, 1,00%, 0,37%, 1,45 y 1,55, respectivamente. En cuanto al agregado fino, los resultados fueron 2,10, 0,60%, 4,44%, 1,58 y 1,79, correspondientemente; además, con una fineza de 2.93, siendo relevante destacar que este último valor se ubicó dentro del rango óptimo establecido entre 2.3 y 3.1, conforme a lo dispuesto por la NTP 400.037.

**Tabla 11***Propiedades físicas de los áridos*

<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>AF</b>	<b>AG</b>
<b>TMN (Pulg):</b>		1/2"
<b>Peso Esp masa (gr/cm<sup>3</sup>):</b>	2,10	2,64
<b>Abs. (%):</b>	0,60%	1,00%
<b>Hum (%):</b>	4,44%	0,37%
<b>PUSS (gr/cm<sup>3</sup>):</b>	1,58	1,45
<b>PUCS (gr/cm<sup>3</sup>):</b>	1,79	1,55
<b>M.F</b>	2.93	

*Nota.* Elaboración propia.

En relación a la ceniza de cascarilla de arroz, se obtuvo directamente del molino Los Ángeles, ubicado en la carretera a Lambayeque. Esta ceniza se incorporó sin someterse a ningún tratamiento previo, con el propósito de analizar las propiedades del concreto utilizando la ceniza en su estado original (ver Figura 5).

**Figura 5**

*Extracción de CCA del molino Los Ángeles*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.2. Diseño de mezcla del concreto patrón ( $f'c$ 175 kg/cm<sup>2</sup>)**

Las mezclas de concreto y proporciones de materiales disponibles que cumplieron con estas propiedades se lograron mediante un sistema de prueba y error, así como por medio de un sistema de ajuste y reajuste. Para ello, se realizaron tres combinaciones de mezcla (M1, M2 y M3) para un concreto que pueda resistir 175kg/cm<sup>2</sup> bajo la metodología ACI 211, con relaciones a/c de 0,580, 0,630 y 0,680, respectivamente. Por lo que, la mezcla óptima fue la M1, en base a las cantidades proporcionadas por este diseño, se adicionó la CCA como incorporación del cemento. Además, se utilizó el Cemento tipo MS Pacasmayo con un peso específico de 3150kg/m<sup>3</sup> y considerando un porcentaje de aire incorporado de 2.5%. En las

Tablas 12, 13 y 14 se muestra la dosificación de cada uno de los diseños de mezcla, resaltando que la M1, presentó una mayor cantidad de cemento y agua.

**Tabla 12**

*Resumen de dosificación de la muestra 1 (M1)*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1)</b>	
<b>Cemento</b> ( 8,76 bol/m <sup>3</sup> )	= 372 Kg
<b>AF</b>	= 797 Kg
<b>AG</b>	= 856 Kg
<b>Agua</b>	= 192 Lt.
<b>Aditivo</b>	= 0 Lt.

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 13**

*Resumen de dosificación de la muestra 2 (M2)*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M2)</b>	
<b>Cemento</b> ( 8,07 bol/m <sup>3</sup> )	= 343 Kg
<b>AF</b>	= 820 Kg
<b>AG</b>	= 856 Kg
<b>Agua</b>	= 191 Lt.
<b>Aditivo</b>	= 0 Lt.

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 14**

*Resumen de dosificación de la muestra 3 (M3)*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M3)</b>	
<b>Cemento</b> ( 7,47 bol/m <sup>3</sup> )	= 318 Kg
<b>AF</b>	= 840 Kg
<b>AG</b>	= 856 Kg
<b>Agua</b>	= 190 Lt.
<b>Aditivo</b>	= 0 Lt.

*Nota.* Elaboración propia.

La Tabla 15 proporcionó información detallada sobre las propiedades finales del diseño, las cuales varían en función del contenido de cemento utilizado. Estas variaciones están directamente relacionadas con las características específicas de cada uno de los agregados, como la piedra, la arena, la cascarilla de arroz y el cemento. Siendo, esencial

resaltar que la relación a/c se mantuvo constante en 0.580 para asegurar la adecuada manejabilidad de la mezcla.

**Tabla 15**

*Diseño de mezcla patrón (método ACI)*

<b>CONSIDERACIONES (M1)</b>			
<b>Asentamiento</b>	:	3 - 4	pulg
<b>a/c</b>	:	0.580	
<b>CANTIDAD DE MATERIALES POR M<sup>3</sup></b>			
<b>Cemento</b>	:	372	kg Cemento tipo MS Pacasmayo
<b>Aire</b>	:	2.50	% -
<b>Agua</b>	:	192	lt Localidad
<b>Piedra</b>	:	856	kg Cant.
<b>Arena</b>	:	797	kg Cant.

*Nota.* Elaboración propia.

### **3.3.Evaluación de las propiedades en estado fresco y endurecido para un concreto no estructural f'c 175 kg/cm<sup>2</sup>**

#### **3.3.1. Propiedades en estado fresco del concreto**

##### **3.3.1.1. Ensayo de trabajabilidad**

Este ensayo se realizó con la finalidad de evaluar la consistencia, maniobrabilidad y plasticidad de la mezcla de concreto, siendo determinante en la eficiencia y calidad de las estructuras construidas. Por ello, en el Tabla 16 se analizó el slump de la mezcla de concreto para su uso en probetas, en donde se evidenció una trabajabilidad para la mezcla patrón de 3.81pulg. Por otro lado, al analizar el asentamiento para su uso en la fabricación de vigas, mostró una disminución de la trabajabilidad presentando un valor promedio de 3.31pulg; por lo que, dichos valores se encontraron dentro de los rangos de 3 a 4pulg según el diseño de mezcla.

**Tabla 16***Ensayo de trabajabilidad (pulg)*

<b>Muestra</b>	<b>Patrón probetas (pulg)</b>	<b>Patrón vigas (pulg)</b>
<b>1</b>	3,81	3,31
<b>2</b>	3,81	3,31
<b>3</b>	3,81	3,31
<b>Promedio</b>	3,81	3,31

*Nota.* Elaboración propia.

### **3.3.1.2. Ensayo de fraguado**

En el ensayo de fraguado se determinó el tiempo que transcurrió desde la adición de agua hasta que el concreto comenzó a endurecerse. Por lo que, para la muestra patrón el fraguado inicial, se produjo en las primeras horas después de la mezcla, típicamente en un rango de 1 a 4 horas. Y para el fraguado final, alcanzó a las 24 horas después de la mezcla.

### **3.3.2. Propiedades en estado endurecido del concreto**

#### **3.3.2.1. Evaluación de la resistencia a la compresión**

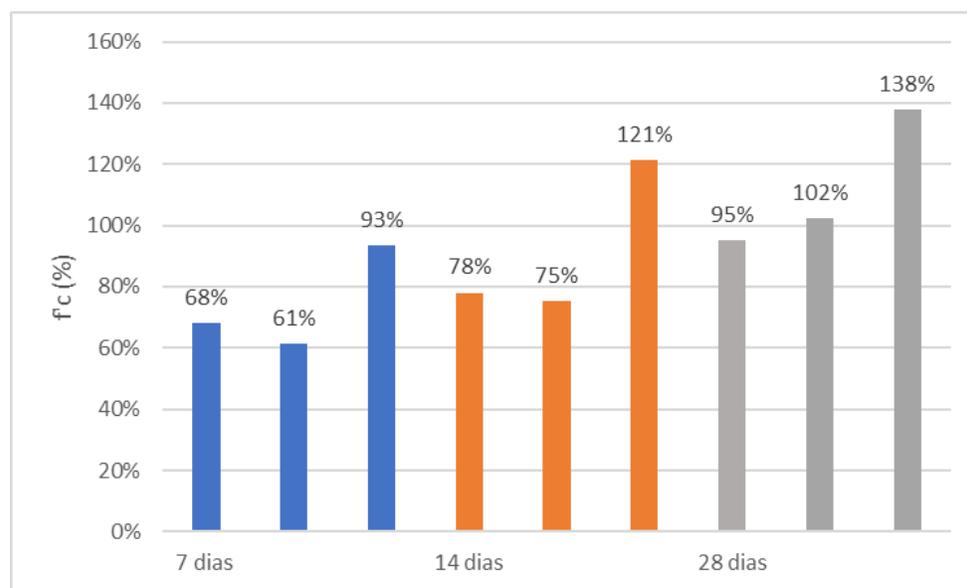
Esta propiedad fue de importancia porque representó la capacidad de poder soportar cargas axiales y al mismo tiempo se observó si el diseño de mezcla fue el óptimo y alcanzó la resistencia requerida en el tiempo determinado. En la Tabla 17 y Figura 5 mostraron los valores obtenidos de la resistencia a la compresión para la muestra patrón. Del Anexo 03 se obtienen los siguientes datos:

**Tabla 17***Resumen de resistencia a compresión del concreto  $f'c=175\text{kg/cm}^2$* 

Días	Muestra	$f'c$ (kg / $\text{cm}^2$ )	Promedio
7	1	119,39	130,13
	2	107,51	
	3	163,55	
14	1	136,60	160,27
	2	131,90	
	3	212,3	
28	1	166,20	195,47
	2	178,90	
	3	241,3	

*Nota.* Elaboración propia.

La Tabla 17 exhibió los valores promedio de resistencia a la compresión obtenidos por la muestra patrón a los 7, 14 y 28 días, registrando cifras de 113.45, 134.25 y 172.55  $\text{kg/cm}^2$ , respectivamente. Sin embargo, únicamente la muestra 2, a los 28 días, logró superar la resistencia de diseño de  $175\text{kg/cm}^2$ . En consecuencia, el promedio de todas las muestras alcanzó solo el 98.60 % de la resistencia especificada.

**Figura 6***Resistencia a la compresión de la muestra patrón según % de  $f'c$* *Nota.* Elaboración propia.

La Figura 5 representó el incremento en las resistencias a lo largo de los periodos de 7, 14 y 28 días para la muestra estándar de concreto. A pesar de ello, no se logró alcanzar el 100% del  $f'_c$  de diseño. De este modo, se observó un rendimiento mejorado, destacando que solo una de las muestras alcanzó un 102.23%.

### 3.3.2.2. Evaluación de la resistencia a la flexión

La valoración de esta característica proporcionó información sobre la aptitud del concreto para resistir las cargas que tienden a inducir curvaturas o flexiones en la estructura, resultando esencial para garantizar la durabilidad y estabilidad de elementos como vigas y losas en la estructura.

**Tabla 18**

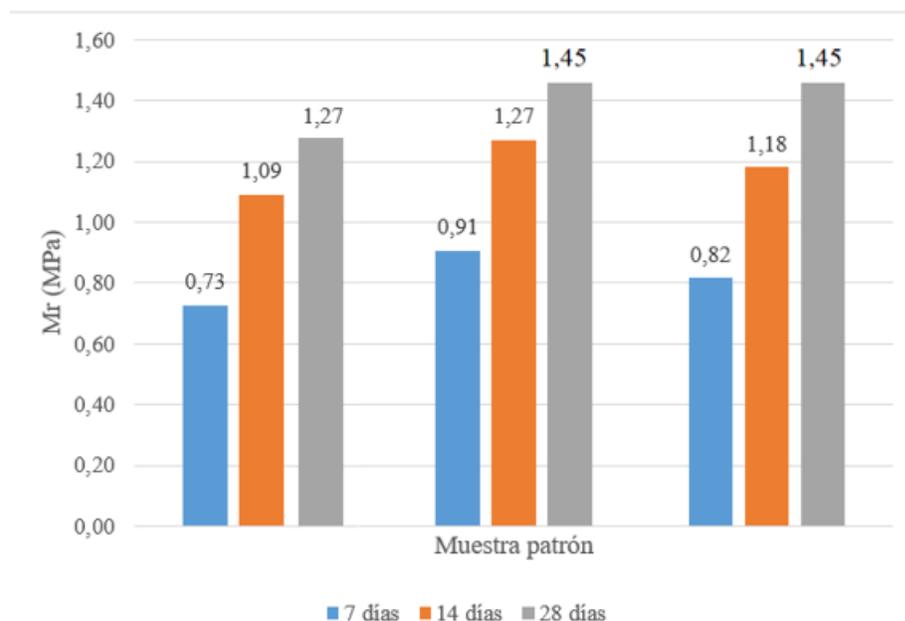
*Resumen de resistencia a flexión del concreto*

Días	Muestra	Mr (MPa)	Promedio
7	1	0,73	0,95
	2	0,91	
	3	1,27	
14	1	1,09	1,25
	2	1,27	
	3	1,45	
28	1	1,46	1,45
	2	1,46	
	3	1,45	

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 7**

*Resistencia a la flexión de la muestra patrón*



*Nota.* Elaboración propia.

La Tabla 18 y Figura 6 mostraron que el módulo de rotura promedio para los la muestra patrón a los 7, 14 y 28 días siendo de 0.95, 1.25 y 1.45 MPa, respectivamente. Por lo que, se evidenció el aumento de la resistencia a flexión conforme transcurrió los días.

### **3.4. Diseño de mezcla del concreto con incorporación de CCA del 1% al 12 %**

Las Tablas 19 a 30 presentaron de manera detallada información sobre las propiedades finales del diseño, las cuales experimentaron variaciones en relación con el contenido de cemento empleado. Estas variaciones están directamente vinculadas a las características específicas de cada uno de los agregados, como la piedra, la arena, la cascarilla de arroz y el cemento. Es fundamental destacar que la relación a/c se mantuvo constante en 0.580 para garantizar la adecuada manejabilidad de la mezcla. Se resalta que la mezcla óptima fue la M1, en la cual se incorporó porcentajes del 1% al 12% del peso de cemento según el diseño.

**Tabla 19***Resumen de dosificación del concreto con 1%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 1%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	3.72	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.**Tabla 20***Resumen de dosificación del concreto con 2%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 2%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	7.44	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.**Tabla 21***Resumen de dosificación del concreto con 3%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 3%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	11.16	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.**Tabla 22***Resumen de dosificación del concreto con 4%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 4%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	14.88	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 23***Resumen de dosificación del concreto con 5%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 4%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	18.60	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.**Tabla 24***Resumen de dosificación del concreto con 6%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 6%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	22.32	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.**Tabla 25***Resumen de dosificación del concreto con 7%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 7%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	26.04	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.**Tabla 26***Resumen de dosificación del concreto con 8%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 8%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	29.76	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 27***Resumen de dosificación del concreto con 9%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 9%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	33.48	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.**Tabla 28***Resumen de dosificación del concreto con 10%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 10%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	37.20	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.**Tabla 29***Resumen de dosificación del concreto con 11%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 11%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	40.92	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.**Tabla 30***Resumen de dosificación del concreto con 12%CCA*

<b>RESUMEN POR M<sup>3</sup> (M1) CON 12%CCA</b>			
<b>Cemento</b>	=	372.00	Kg
<b>CCA</b>	=	44.64	Kg
<b>AF</b>	=	797	Kg
<b>AG</b>	=	856	Kg
<b>Agua</b>	=	192	Lt.

*Nota.* Elaboración propia.

### 3.5. Evaluación de la mejora en las propiedades del concreto no estructural f'c 175

kg/cm<sup>2</sup> con incorporación de CCA en porcentajes del 1% al 12 %

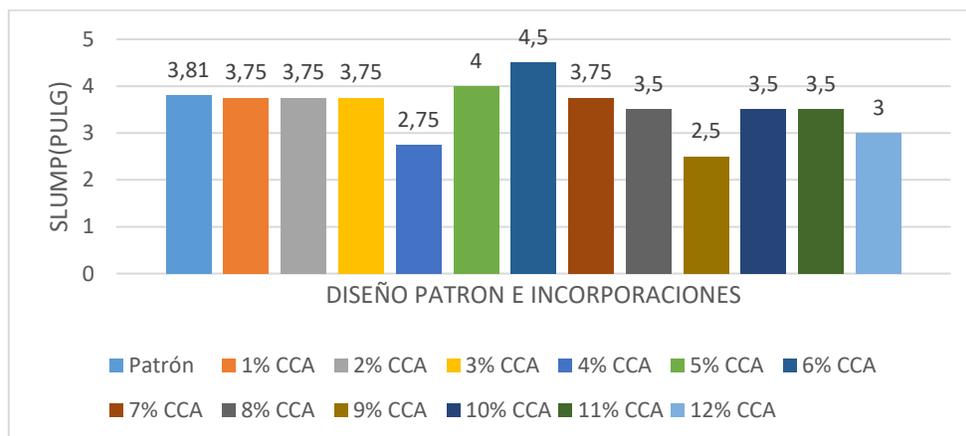
#### 3.5.1. Propiedades en estado fresco del concreto con 1% al 12 %CCA

##### 3.5.1.1. Ensayo de trabajabilidad del concreto fresco con 1% al 12 %CCA

Este ensayo se realizó con la finalidad de evaluar la consistencia, maniobrabilidad y plasticidad de la mezcla de concreto, siendo determinante en la eficiencia y calidad de las estructuras construidas. Por ello, en el Figura 8 se analizó el slump de la mezcla de concreto para su uso en probetas, en donde se evidenció una disminución de la trabajabilidad para las incorporaciones de 4% y 9%CCA presentando valores de 2.75 y 2.50 pulg, respectivamente; por lo que, dichos valores se encuentran por debajo del slump deseado según el diseño de mezcla. Por otro lado, la incorporación de 6%CCA mostró un mejor desempeño en cuanto a esta propiedad con un slump de 4.5pulg siendo superior a la muestra patrón en 0.69pulg. Asimismo, al incorporar 1%, 2%, 3% y 7% de ceniza cascarilla de arroz (CCA) el asentamiento se mantuvo en 3.75pulg para cada una de ellas.

#### Figura 8

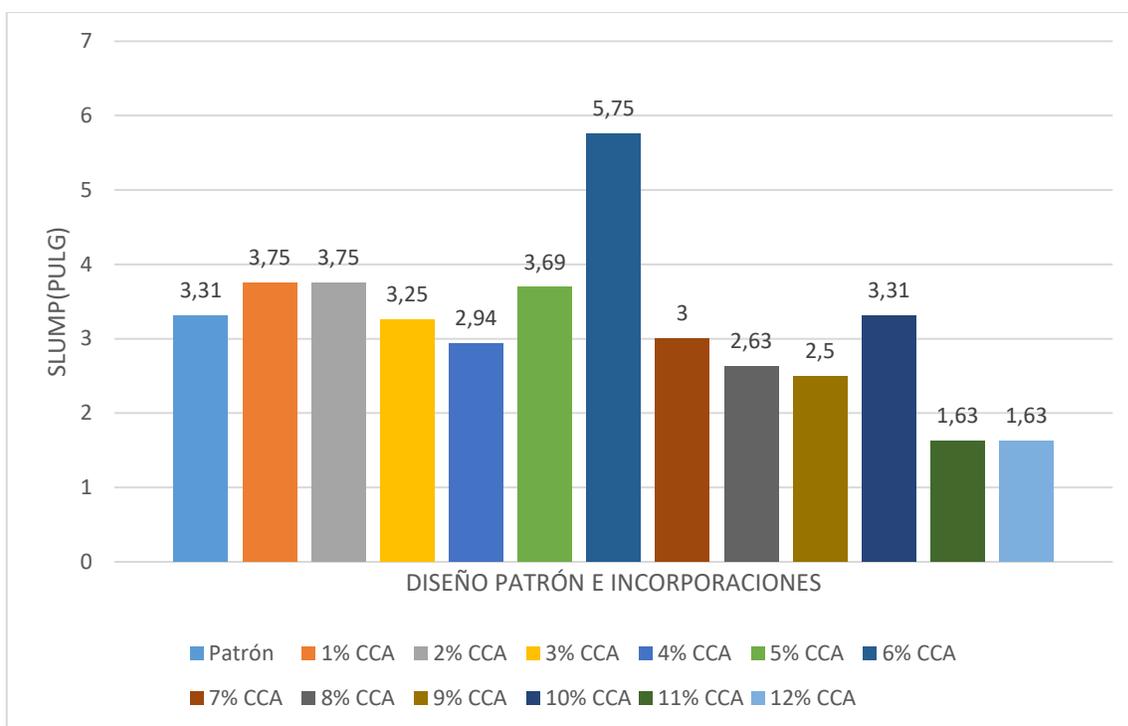
Ensayo de trabajabilidad en probetas (slump)



Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, al análisis el asentamiento para su uso en la fabricación de vigas en la Figura 9, mostró una disminución de la trabajabilidad para las incorporaciones de 4%, 8%, 9%, 11% y 12% de CCA presentando valores de 2.94, 2.63, 2.50, 1.63 y 1.63 pulg, respectivamente, por lo que, dichos valores se encuentran por debajo del slump deseado según el diseño de mezcla (mínimo 3pulg). Por otro lado, la incorporación de 6% CCA mostró un mejor desempeño en cuanto a esta propiedad con un slump de 5.75pulg siendo superior a la muestra patrón en 2.44pulg. Asimismo, al incorporar 1% y 2% de CCA el asentamiento se mantuvo en 3.75pulg para cada una de ellas.

**Figura 9**  
*Ensayo de trabajabilidad em vigas (slump)*



*Nota.* Elaboración propia.

### **3.5.1.2. Ensayo de fraguado del concreto fresco con 1% al 12 %CCA**

Este proceso comenzó una vez que los componentes del cemento se mezclaron con el agua, lo que inició una serie de reacciones químicas. El fraguado se dividió en dos etapas:

- Fraguado inicial: Período durante el cual la mezcla de cemento y agua perdió su plasticidad y empezó a endurecerse.
- Fraguado final: Punto en el que la mezcla perdió toda su plasticidad y adquirió una resistencia significativa.

Más no hubo distinguidas diferencias con las incorporaciones en el fraguado.

Por otro lado, se observó exudación del concreto con las adiciones de 11% y 12%, intuyendo que puede existir una segregación de los materiales más finos en la parte inferior de la mezcla.

### **3.5.2. Propiedades en estado endurecido del concreto con 1% al 12 %CCA**

#### **3.5.2.1. Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto endurecido con 1% al 12 %CCA**

Esta propiedad del concreto fue de importancia porque representó la capacidad de poder soportar cargas axiales y al mismo tiempo se observó si el diseño de mezcla fue el óptimo y alcanzó la resistencia requerida en el tiempo determinado. En la Tabla 31 y en las Figuras 7, 8 y 9 muestran los resultados de la resistencia a la compresión para las distintas incorporaciones de cascarilla de arroz. Del Anexo 03 se obtienen los siguientes datos:

**Tabla 31**

*Resistencia a compresión del concreto  $f'c=175\text{kg/cm}^2$  a los 7 días*

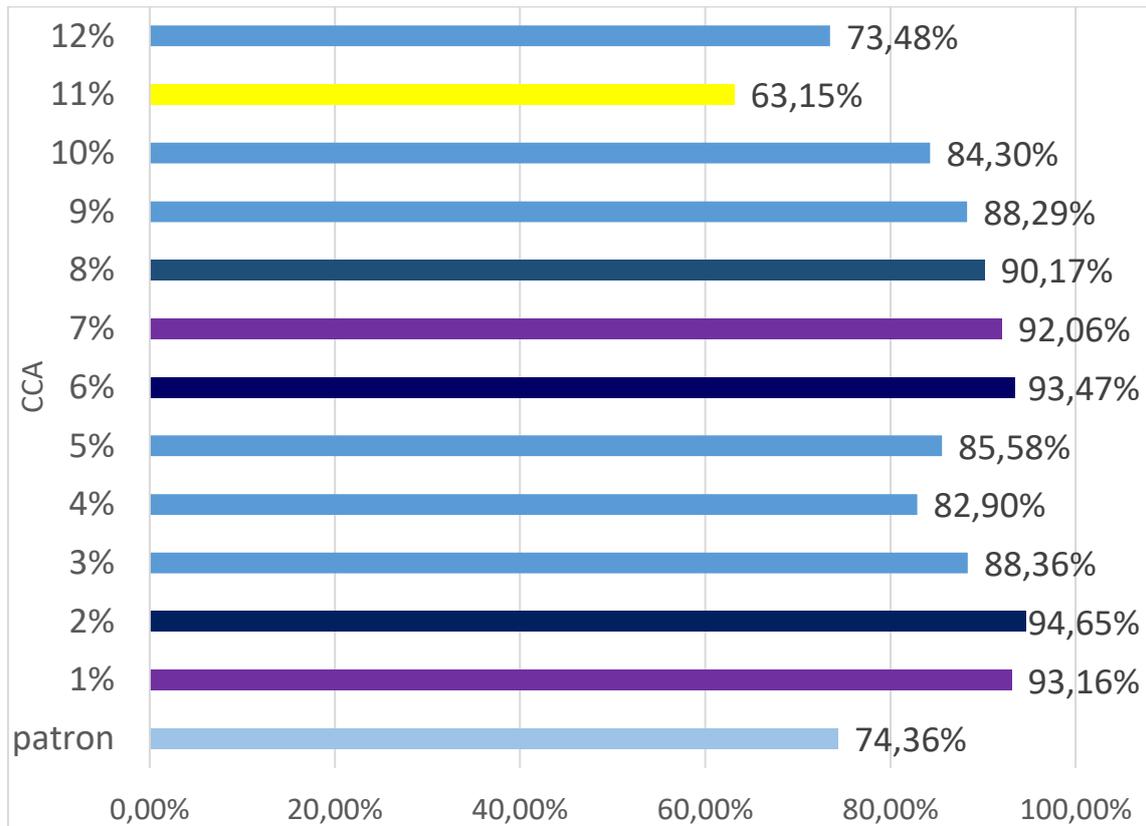
<b>Patrón</b>	<b>Muestra</b>	<b>Patrón</b>	<b>1% CCA</b>	<b>2% CCA</b>	<b>3% CCA</b>	<b>4% CCA</b>	<b>5% CCA</b>	<b>6% CCA</b>	<b>7% CCA</b>	<b>8% CCA</b>	<b>9% CCA</b>	<b>10% CCA</b>	<b>11% CCA</b>	<b>12% CCA</b>
7	1	119.39	158.40	159.90	145.40	128.10	144.00	161.20	163.90	153.53	153.20	128.90	75.57	115.12
	2	107.51	168.40	157.70	147.80	154.60	140.80	149.80	160.40	159.08	140.00	130.80	82.37	118.66
	3	163.50	162.30	179.30	170.70	152.50	164.50	179.70	159.00	160.80	170.30	182.90	173.60	152.00
<b>Promedio</b>		130.13	163.03	165.63	154.63	145.07	149.77	163.57	161.10	157.80	154.50	147.53	110.51	128.59

*Nota.* Elaboración propia.

La Tabla 31, mostró la resistencia obtenida del concreto a los 7 días, donde la muestra patrón logró una resistencia de 130,13 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, en la mezcla con incorporaciones, se resaltó el resultado obtenido con un 2% de CCA, que logró una resistencia de 165,63kg/cm<sup>2</sup>, siendo un 27,27% superior en comparación con el patrón. Asimismo, al adicionar un 6% CCA alcanzó un 93,49 % de la resistencia de diseño.

**Figura 10**

*Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días (kg/cm<sup>2</sup>)*



*Nota.* Elaboración propia.

La Figura 10 representó las resistencias iniciales durante los primeros 7 días destacando al incluir un 1% , 2% , 6% , y 7% CCA en la mezcla de concreto. Sin embargo, estas resistencias disminuyeron al aumentar los porcentajes a un 11% y 12% de CCA. En contraste, el concreto estándar y la inclusión del 2% de CCA alcanzaron un 74,36% y 94,65%, respectivamente, en relación con la resistencia de diseño establecida en 175 kg/cm<sup>2</sup> para elementos no estructurales. De este modo, se demostró un mejor rendimiento al agregar la cascarilla de arroz en los primeros días.

## Análisis estadístico de la resistencia a la compresión a los 7 días

**Tabla 32**

*Análisis de normalidad de la resistencia a la compresión a los 7 días*

	Agregado	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la Compresión a los 7 días	Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
	1% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	2% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	3% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	4% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	5% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	6% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	7% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	8% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	9% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	10% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	11% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	12% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000

*Nota.* Elaboración propia.

Mediante la Tabla 32, se realizó la evaluación de normalidad de la resistencia a compresión en los primeros 7 días mediante la prueba de Shapiro-Wilk, ya que su elección de este método se basó en el hecho de que las muestras contienen 39 datos, una cantidad inferior al requisito de 50 datos para otros métodos. En este contexto, todos los valores de significancia resultaron ser superiores a 0.05, lo cual indica que las resistencias siguieron una distribución normal.

**Tabla 33***Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	21163,451	12	1763,621	66,752	,000
Dentro de grupos	686,929	26	26,420		
Total	21850,380	38			

*Nota.* Elaboración propia.

Debido a la naturaleza paramétrica de las muestras, se llevó a cabo la prueba de ANOVA, como se refleja en la Tabla 33, en donde los resultados arrojaron un valor de significancia por debajo de 0.05, brindando suficiente evidencia estadística para respaldar la hipótesis alternativa. En términos simples, se logró establecer una diferencia significativa en las diversas incorporaciones de CCA con respecto a la resistencia a la compresión en los primeros 7 días de curado.

**Tabla 34***Resistencia a compresión del concreto  $f'c=175\text{kg/cm}^2$  a los 14 días*

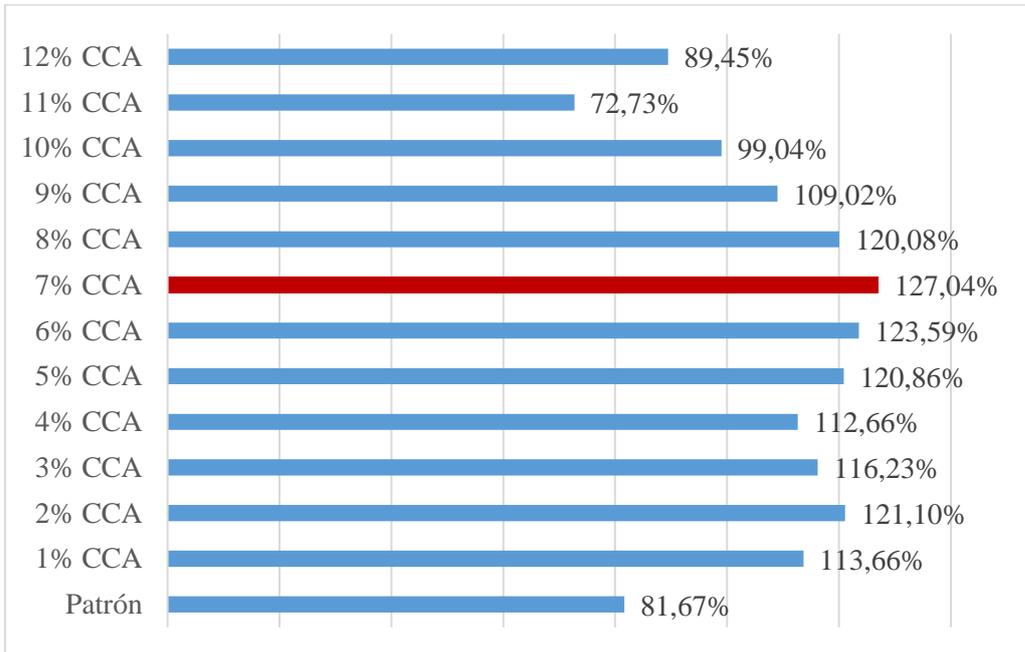
<b>Patrón</b>	<b>Muestra</b>	<b>Patrón</b>	<b>1% CCA</b>	<b>2% CCA</b>	<b>3% CCA</b>	<b>4% CCA</b>	<b>5% CCA</b>	<b>6% CCA</b>	<b>7% CCA</b>	<b>8% CCA</b>	<b>9% CCA</b>	<b>10% CCA</b>	<b>11% CCA</b>	<b>12% CCA</b>
<b>14</b>	1	136.60	190.39	214.20	196.30	198.60	203.63	215.30	225.10	213.50	184.90	170.10	114.00	155.50
	2	131.90	206.89	207.90	205.90	190.00	215.79	218.90	218.00	202.00	190.40	163.50	121.60	148.30
	3	160.27	199.43	213.70	208.00	202.87	215.11	214.67	223.87	214.93	197.07	186.37	146.20	165.80
<b>Promedio</b>		142.92	198.90	211.93	203.40	197.16	211.51	216.29	222.32	210.14	190.79	173.32	127.27	156.53

*Nota.* Elaboración propia.

La Tabla 34, detalló las resistencias del concreto a los 14 días, donde la muestra patrón exhibió una resistencia de 142.92 kg/cm<sup>2</sup>. No obstante, en las mezclas con adiciones, se destacó el rendimiento obtenido con un 7% de cascarilla de arroz, alcanzando una resistencia de 222.32 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un aumento del 55.56% en comparación con la muestra patrón. Además, al agregar un 7% de CCA, se logró el 127.04% de la resistencia de diseño. En contraste, a partir de un 8% de CCA, la resistencia comenzó a disminuir, alcanzando un valor de 127.27 kg/cm<sup>2</sup> con un 11% de cascarilla de arroz, siendo el más bajo en comparación con otras adiciones.

### Figura 11

Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )



Nota. Elaboración propia.

La Figura 11 ilustró las resistencias alcanzadas a los 14 días al incorporar 6% y 7% CCA en la mezcla de concreto con resistencias según el  $f'c$  de diseño de 123.59% y 127.04%, respectivamente. Sin embargo, estas resistencias disminuyeron al aumentar los porcentajes de 8% al 12% de CCA. En comparación, las adiciones del 1% al 9% de CCA lograron sobrepasar la resistencia de diseño establecida en  $175 \text{ kg}/\text{cm}^2$  para elementos no estructurales. De esta manera, se evidenció un mejor rendimiento al introducir la cascarilla de arroz en los primeros 14 días de ensayo.

## Análisis estadístico de la resistencia a la compresión a los 14 días

**Tabla 35**

*Análisis de normalidad de la resistencia a la compresión a los 14 días*

	Agregado	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la Compresión f'c = 175kg/cm <sup>2</sup> a los 14días	Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
	1% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	2% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	3% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	4% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	5% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	6% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	7% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	8% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	9% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	10% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	11% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	12% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000

*Nota.* Elaboración propia.

Mediante la Tabla 35, se realizó la evaluación de normalidad de la resistencia a compresión en los primeros 14 días mediante la prueba de Shapiro-Wilk, ya que su elección de este método se basó en el hecho de que las muestras contienen 39 datos, una cantidad inferior al requisito de 50 datos para otros métodos. En este contexto, todos los valores de significancia resultaron ser superiores a 0.05, lo cual indica que las resistencias siguieron una distribución normal.

**Tabla 36***Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a la compresión a los 14 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	39641,068	12	3303,422	167,211	,000
Dentro de grupos	513,655	26	19,756		
Total	40154,723	38			

*Nota.* Elaboración propia.

Debido a la naturaleza paramétrica de las muestras, se llevó a cabo la prueba de ANOVA, como se refleja en la Tabla 36, en donde los resultados arrojaron un valor de significancia por debajo de 0.05, brindando suficiente evidencia estadística para respaldar la hipótesis alternativa. En términos simples, se logró establecer una diferencia significativa en las diversas incorporaciones de CCA con respecto a la resistencia a la compresión en los primeros 14 días de curado.

**Tabla 37***Resistencia a compresión del concreto  $f'c=175\text{kg/cm}^2$  a los 28 días*

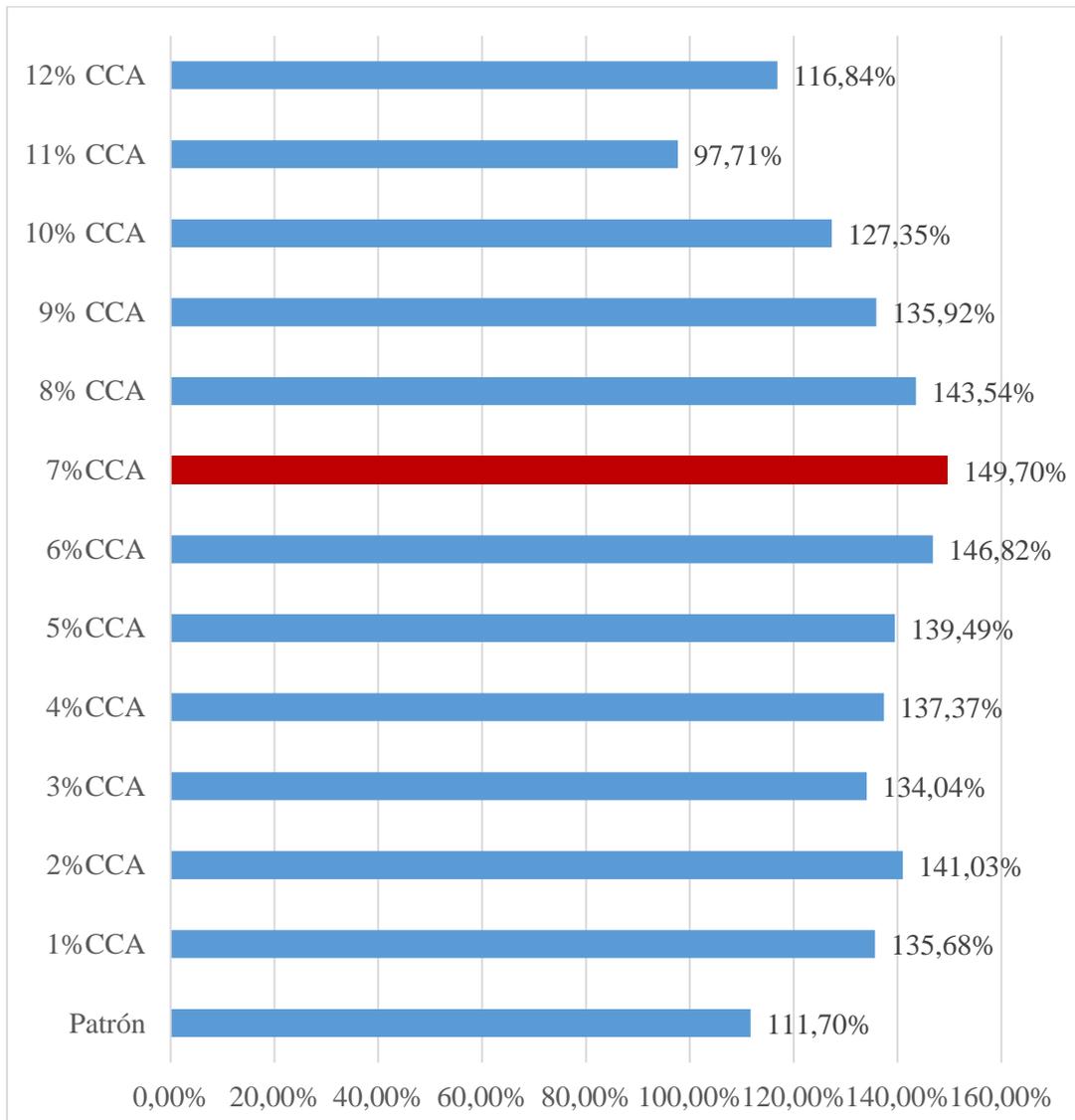
<b>Patrón</b>	<b>Muestra</b>	<b>Patrón</b>	<b>1% CCA</b>	<b>2% CCA</b>	<b>3% CCA</b>	<b>4% CCA</b>	<b>5% CCA</b>	<b>6% CCA</b>	<b>7% CCA</b>	<b>8% CCA</b>	<b>9% CCA</b>	<b>10% CCA</b>	<b>11% CCA</b>	<b>12% CCA</b>
	1	166.20	245.00	241.60	222.20	243.60	238.40	255.40	271.20	256.60	230.50	205.30	161.10	185.60
<b>28</b>	2	178.90	240.50	238.80	228.20	243.20	228.20	261.40	266.40	255.90	235.70	214.90	155.20	189.60
	3	241.30	226.80	260.00	253.30	234.40	265.70	254.00	248.30	241.10	247.40	248.40	196.70	238.20
	<b>Promedio</b>	195.47	237.43	246.80	234.57	240.40	244.10	256.93	261.97	251.20	237.87	222.87	171.00	204.47

*Nota.* Elaboración propia.

La Tabla 37, detalló las resistencias del concreto a los 28 días, donde la muestra patrón exhibió una resistencia de  $195.47\text{kg/cm}^2$ , siendo superior a la resistencia de diseño de  $175.00\text{kg/cm}^2$ . No obstante, en las mezclas con adiciones, se destacó el rendimiento obtenido con un 7% de ceniza de cascarilla de arroz, alcanzando una resistencia de  $261,97\text{kg/cm}^2$ , lo que representa un aumento del 34.00% en comparación con la muestra patrón. En contraste, a partir de un 8% de CCA, la resistencia comenzó a disminuir, alcanzando un valor mínimo de  $171.00\text{kg/cm}^2$  con un 11% de CCA, siendo la única incorporación que no alcanzó la resistencia de diseño al igual que la mezcla patrón.

**Figura 12**

*Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días (kg/cm<sup>2</sup>)*



*Nota.* Elaboración propia.

La Figura 12, ilustró las resistencias alcanzadas a los 28 días, siendo las altas al incorporar 6%, 7% y 8% de CCA en la mezcla de concreto con resistencias según el  $f'_c$  de diseño de 146.82%, 149.70% y 143.54%, respectivamente. Sin embargo, estas resistencias disminuyeron al aumentar los porcentajes de 9% al 12% de CCA. En comparación, la adición del 11% de CCA no logró sobrepasar la resistencia de diseño establecida en 175 kg/cm<sup>2</sup> para elementos no estructurales. De esta manera, se evidenció un mejor rendimiento al introducir la CCA en los 28 días de ensayo.

## Análisis estadístico de la resistencia a la compresión a los 28 días

**Tabla 38**

*Análisis de normalidad de la resistencia a la compresión a los 28 días*

	Agregado	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la Compresión $f'_c = 175\text{kg/cm}^2$ a los 28 días	Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
	1% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	2% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	3% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	4% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	5% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	6% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	7% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	8% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	9% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	10% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	11% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	12% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000

*Nota.* Elaboración propia.

Mediante la Tabla 38, se realizó la evaluación de normalidad de la resistencia a compresión en los primeros 28 días mediante la prueba de Shapiro-Wilk. La elección de este método se basó en el hecho de que las muestras contienen 39 datos, una cantidad inferior al requisito de 50 datos para otros métodos. En este contexto, todos los valores de significancia resultaron ser superiores a 0.05, lo cual indica que las resistencias siguieron una distribución normal.

**Tabla 39***Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a la compresión a los 28 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	41606,063	12	3467,172	322,458	,000
Dentro de grupos	279,560	26	10,752		
Total	41885,623	38			

*Nota.* Elaboración propia.

Debido a la naturaleza paramétrica de las muestras, se llevó a cabo la prueba de ANOVA, como se refleja en la Tabla 39, en donde los resultados arrojaron un valor de significancia por debajo de 0.05, brindando suficiente evidencia estadística para respaldar la hipótesis alternativa. En términos simples, se logró establecer una diferencia significativa en las diversas incorporaciones de CCA con respecto a la resistencia a la compresión en los primeros 28 días de curado.

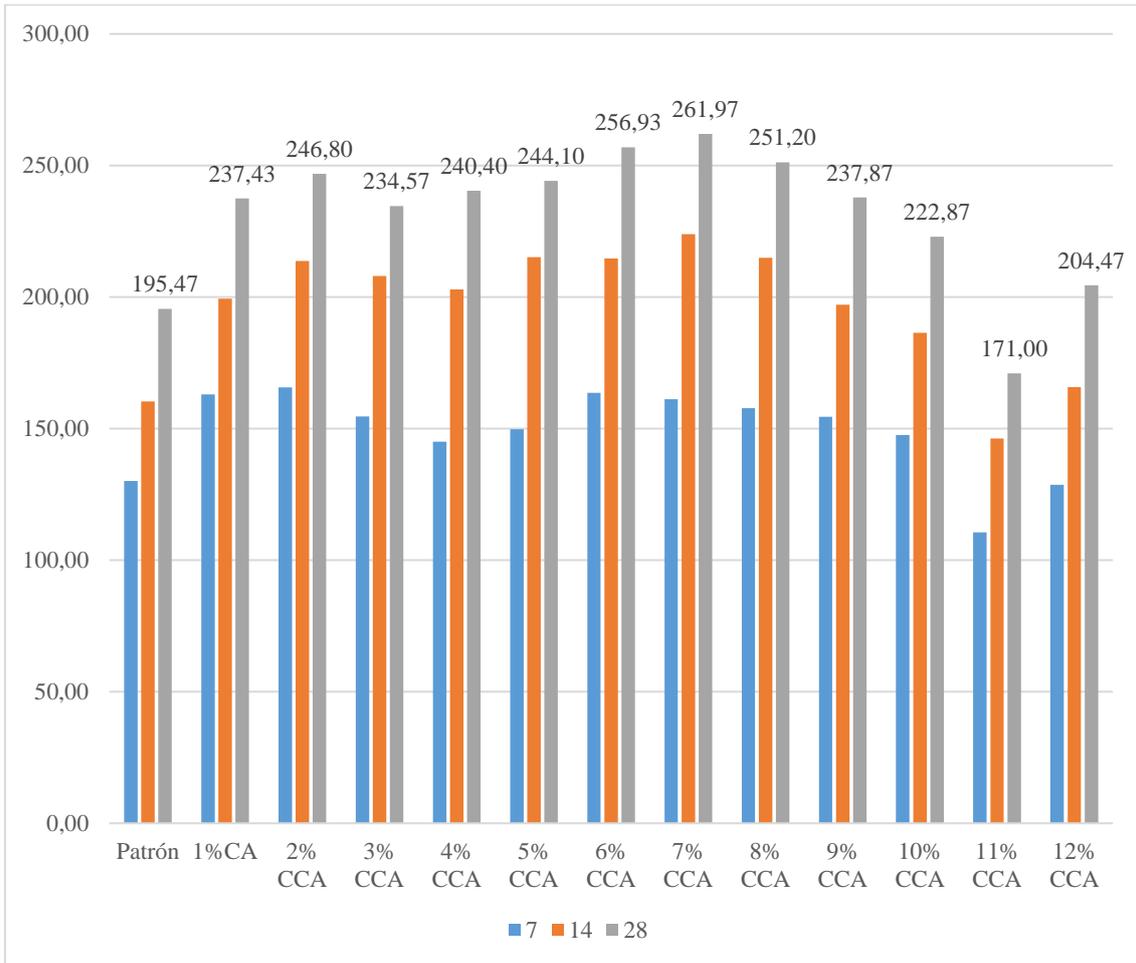
**Tabla 40***Resumen de resistencia a compresión del concreto  $f'c=175\text{kg/cm}^2$* 

<b>Edad</b>	<b>Patrón</b>	<b>1% CCA</b>	<b>2% CCA</b>	<b>3% CCA</b>	<b>4% CCA</b>	<b>5% CCA</b>	<b>6% CCA</b>	<b>7% CCA</b>	<b>8% CCA</b>	<b>9% CCA</b>	<b>10% CCA</b>	<b>11% CCA</b>	<b>12% CCA</b>
<b>7</b>	130.13	163.03	165.63	154.63	145.07	149.77	163.57	161.10	157.80	154.50	147.53	110.51	128.59
<b>14</b>	160.27	199.43	213.70	208.00	202.87	215.11	214.67	223.87	214.93	197.07	186.37	146.20	165.80
<b>28</b>	195.47	237.43	246.80	234.57	240.40	244.10	256.93	261.97	251.20	237.87	222.87	171.00	204.47

*Nota.* Elaboración propia.

En la Tabla 40 y Figura 13, se presentaron los detalles de la resistencia a la compresión en diferentes periodos, abarcando los días 7, 14 y 28. Al llegar a los 28 días, el concreto patrón demostró una resistencia promedio de 195.47 kg/cm<sup>2</sup>. En comparación, la resistencia máxima asociada a las adiciones de CCA se registró en el diseño que incorpora un 7%, alcanzando los 261,97kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el valor mínimo observado es de 171,00kg/cm<sup>2</sup> en el diseño con un 11% de CCA. Como resultado, se concluyó que la adición que logró la mejor resistencia a la compresión del concreto fue del 7% de CCA. Sin embargo, se señaló que logró superar la resistencia del concreto patrón por 66.50 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa un 38.00% de resistencia alcanzada.

**Figura 13**  
*Resumen de resistencia a compresión vs días*



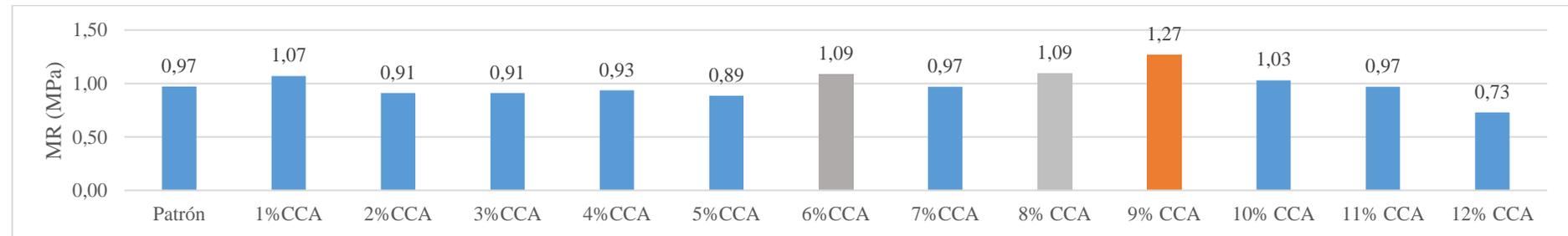
*Nota.* Elaboración propia.

### 3.5.2.2. Evaluación de la resistencia a la flexión del concreto endurecido con 1% al 12% CCA

Esta característica evaluó la habilidad de la viga de concreto para resistir fuerzas aplicadas en dirección perpendicular a su eje longitudinal. Por ello, la Tabla 41 y figura 14, mostraron la resistencia a flexión obtenida a los 7 días, en donde la viga patrón logró un módulo de rotura de 0.97MPa. Sin embargo, en la mezcla con adiciones, se resaltó el resultado obtenido con un 9% de CCA, que logró una resistencia de 1.27MPa siendo superior en comparación con el patrón.

**Tabla 41***Resistencia a flexión del concreto a los 7 días*

Días	Muestra	Patrón	1% CCA	2% CCA	3% CCA	4% CCA	5% CCA	6% CCA	7% CCA	8% CCA	9% CCA	10% CCA	11% CA	12% CCA
7	1	0.73	1.09	0.73	0.73	1.10	0.73	1.09	1.09	1.09	0.91	0.91	0.91	0.73
	2	0.91	1.27	0.91	0.91	1.10	0.96	1.09	0.73	1.09	1.09	1.09	0.91	0.73
	3	1.27	0.85	1.09	1.09	0.60	0.97	1.09	1.09	1.10	1.82	1.09	1.09	0.73
<b>Promedio</b>		0.97	1.07	0.91	0.91	0.93	0.89	1.09	0.97	1.09	1.27	1.03	0.97	0.73

*Nota.* Elaboración propia.**Figura 14***Resistencia a flexión a los 7 días**Nota.* Elaboración propia.

## Análisis estadístico de la resistencia a flexión a los 7 días

**Tabla 42**

*Análisis de normalidad de la resistencia a flexión a los 7 días*

	Agregado	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la flexión a los 7 días	Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
	1% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	2% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	3% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	4% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	5% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	6% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	7% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	8% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	9% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	10% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	11% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	12% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000

*Nota.* Elaboración propia.

Mediante la Tabla 42, se realizó la evaluación de normalidad de la resistencia a flexión en los primeros 7 días mediante la prueba de Shapiro-Wilk. La elección de este método se basó en el hecho de que las muestras contienen 39 datos, una cantidad inferior al requisito de 50 datos para otros métodos. En este contexto, todos los valores de significancia resultaron ser superiores a 0.05, lo cual indica que las resistencias siguieron una distribución normal.

**Tabla 43***Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a flexión a los 7 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,703	12	,059	7,979	,000
Dentro de grupos	,191	26	,007		
Total	,894	38			

*Nota.* Elaboración propia.

Debido a la naturaleza paramétrica de las muestras, se llevó a cabo la prueba de ANOVA, como se refleja en la Tabla 43, en donde los resultados arrojaron un valor de significancia por debajo de 0.05, brindando suficiente evidencia estadística para respaldar la hipótesis alternativa. En términos simples, se logró establecer una diferencia significativa en las diversas incorporaciones de CCA con respecto a la resistencia a flexión en los primeros 7 días de curado.

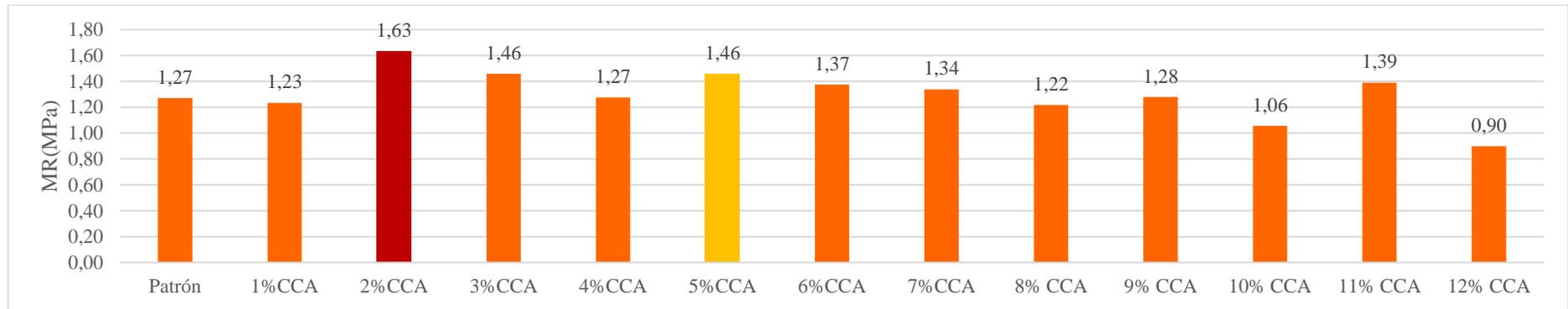
**Tabla 44***Resistencia a flexión del concreto a los 14 días*

Días	Muestra	Patrón	1% CCA	2% CCA	3% CCA	4% CCA	5% CCA	6% CCA	7% CCA	8% CCA	9% CCA	10% CCA	11% CCA	12% CCA
<b>14</b>	1	1.09	1.43	1.45	1.46	1.28	1.28	1.46	1.1	1.1	1.1	0.91	1.45	0.77
	2	1.27	1.14	1.63	1.46	1.09	1.28	1.21	1.46	1.46	1.1	1.17	1.45	0.47
	3	1.45	1.13	1.82	1.45	1.45	1.82	1.45	1.45	1.09	1.63	1.09	1.27	1.45
<b>Promedio</b>		1.27	1.23	1.63	1.46	1.27	1.46	1.37	1.34	1.22	1.28	1.06	1.39	0.90

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 15**

*Resistencia a flexión a los 14 días*



*Nota.* Elaboración propia.

Por otro lado, en la Tabla 44 y Figura 15, se presentaron los resultados de la resistencia a la flexión obtenidos a los 14 días, donde la viga patrón alcanzó un módulo de rotura de 1.27 MPa. No obstante, en la mezcla con adiciones, se destacó el rendimiento obtenido con un 2% de CCA, que logró una resistencia de 1.63 MPa, superando la resistencia de la viga patrón.

## Análisis estadístico de la resistencia a flexión a los 14 días

**Tabla 45**

*Análisis de normalidad de la resistencia a flexión a los 14 días*

	Agregado	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la flexión a los 14 días	Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
	1% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	2% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	3% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	4% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	5% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	6% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	7% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	8% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	9% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	10% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	11% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	12% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000

*Nota.* Elaboración propia.

Mediante la Tabla 45, se realizó la evaluación de normalidad de la resistencia a flexión en los primeros 14 días mediante la prueba de Shapiro-Wilk, ya que su elección de este método se basó en el hecho de que las muestras contienen 39 datos, una cantidad inferior al requisito de 50 datos para otros métodos. En este contexto, todos los valores de significancia resultaron ser superiores a 0.05, lo cual indica que las resistencias siguieron una distribución normal.

**Tabla 46***Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a flexión a los 14 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,953	12	,163	12,730	,000
Dentro de grupos	,332	26	,013		
Total	2,286	38			

*Nota.* Elaboración propia.

Debido a la naturaleza paramétrica de las muestras, se llevó a cabo la prueba de ANOVA, como se refleja en la Tabla 46, en donde los resultados arrojaron un valor de significancia por debajo de 0.05, brindando suficiente evidencia estadística para respaldar la hipótesis alternativa. En términos simples, se logró establecer una diferencia significativa en las diversas incorporaciones de CCA con respecto a la resistencia a flexión en los primeros 14 días de curado.

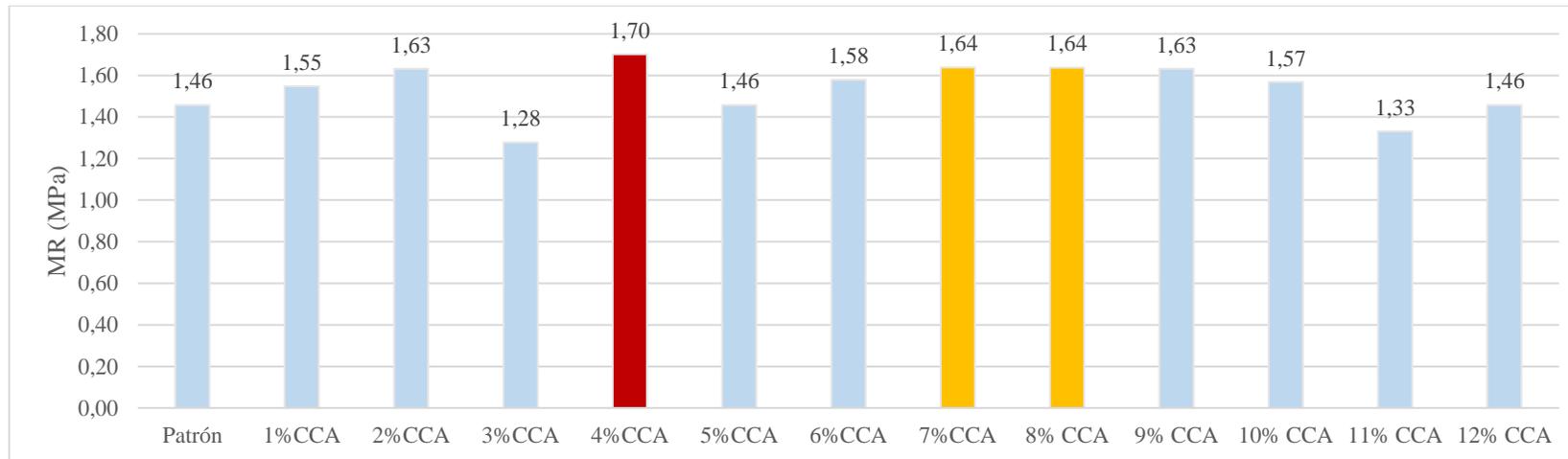
**Tabla 47***Resistencia a flexión del concreto a los 28 días*

Días	Muestra	Patrón	1% CCA	2% CCA	3% CCA	4% CCA	5% CCA	6% CCA	7% CCA	8% CCA	9% CCA	10% CCA	11% CCA	12% CCA
<b>28</b>	1	1.46	1.45	1.45	1.16	1.83	1.61	1.46	1.64	1.73	1.64	1.61	1.45	1.46
	2	1.46	1.92	1.45	1.22	1.46	1.31	1.46	1.46	1.73	1.56	1.64	1.09	1.46
	3	1.45	1.27	2.00	1.45	1.82	1.45	1.82	1.82	1.45	1.69	1.45	1.45	1.45
<b>Promedio</b>		1.46	1.55	1.63	1.28	1.70	1.46	1.58	1.64	1.64	1.63	1.57	1.33	1.46

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 16**

*Resistencia a flexión a los 28 días*



*Nota.* Elaboración propia.

Sin embargo, en la Tabla 47 y Figura 16, se presentaron los resultados de la resistencia a la flexión obtenidos a los 28 días, donde la viga patrón alcanzó un módulo de rotura de 1.46 MPa. No obstante, en la mezcla con adiciones, se destacó el rendimiento obtenido con un 4% de CCA, que logró una resistencia a flexión final de 1.70 MPa, superando la resistencia de la viga patrón, más 7% y 8 % de CCA están cercanas también con un 1.64 MPa

## Análisis estadístico de la resistencia a flexión a los 28 días

**Tabla 48**

*Análisis de normalidad de la resistencia a flexión a los 28 días*

	Agregado	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la flexión a los 28 días	Patrón	,175	3	.	1,000	3	1,000
	1% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	2% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	3% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	4% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	5% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	6% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	7% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	8% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	9% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	10% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	11% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000
	12% CCA	,175	3	.	1,000	3	1,000

*Nota.* Elaboración propia.

Mediante la Tabla 48, se realizó la evaluación de normalidad de la resistencia a flexión en los primeros 28 días mediante la prueba de Shapiro-Wilk. La elección de este método se basó en el hecho de que las muestras contienen 39 datos, una cantidad inferior al requisito de 50 datos para otros métodos. En este contexto, todos los valores de significancia resultaron ser superiores a 0.05, lo cual indica que las resistencias siguieron una distribución normal.

**Tabla 49***Prueba ANOVA al ensayo de la resistencia a flexión a los 28 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,879	12	,073	6,228	,000
Dentro de grupos	,306	26	,012		
Total	1,184	38			

*Nota.* Elaboración propia.

Debido a la naturaleza paramétrica de las muestras, se llevó a cabo la prueba de ANOVA, como se refleja en la Tabla 49, en donde los resultados arrojaron un valor de significancia por debajo de 0.05, brindando suficiente evidencia estadística para respaldar la hipótesis alternativa. En términos simples, se logró establecer una diferencia significativa en las diversas incorporaciones de CCA con respecto a la resistencia a flexión en los primeros 28 días de curado.

### **3.5.2.3. Evaluación de la durabilidad del concreto endurecido con 1% al 12 %CCA**

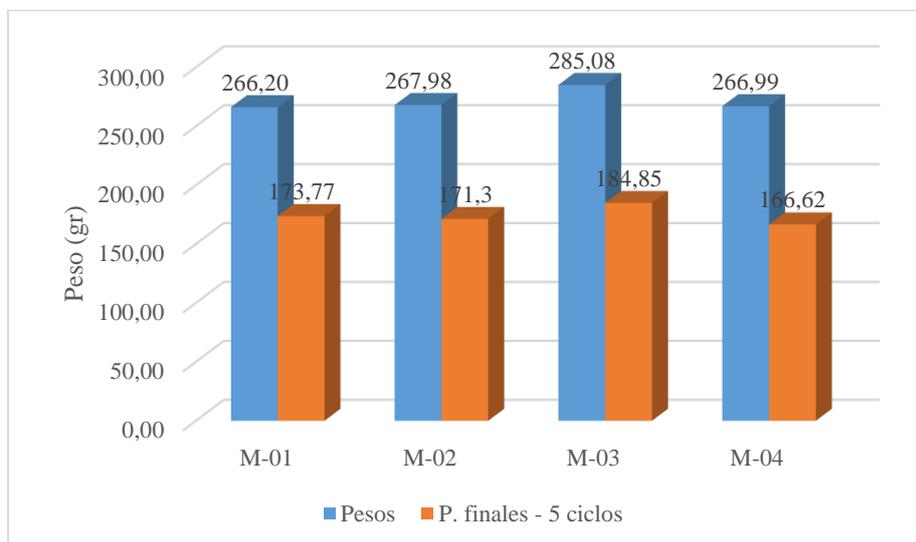
La evaluación de la durabilidad a los sulfatos se realizó bajo la normativa NTP 334.094, en donde se empleó cubos de 5cm x 5cm con una incorporación de CCA al 5% en proporción a la cantidad de cemento. Para ello, primero se evaluó la resistencia a compresión a los 12 días de curado alcanzando 219.2kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo con el rango establecido en la norma. Posteriormente, se preparó la solución sulfatada (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con 1.171 de gravedad específica siguiendo la NTP 400.016. Luego, se colocó al horno las 8 muestras mortero, se retiró y peso al transcurrir aproximadamente 5 horas. Después, se realizó la primera inmersión en la solución de sulfato de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10 H<sub>2</sub>O) y así sucesivamente, hasta que se llegó a la quinta inmersión (ver Figura 18) y se procedió a pesar las muestras, obteniendo los siguientes pesos:

**Tabla 50***Ensayo de durabilidad en el concreto con 5%CCA*

Muestra	Pesos iniciales	Pesos finales	% pérdida de pesado
M-01	266.20 gr.	173,77 gr.	34,72%
M-02	267.98 gr.	171,30 gr.	36,08%
M-03	285.08 gr.	184,85 gr.	35,16%
M-04	266.99 gr.	166,62 gr.	37,59%
<b>Promedio</b>	271,56 gr.	174,14 gr.	35,89%

Nota. Elaboración propia.

La Figura 17 ilustró la variación en los pesos de los cubos de mortero con un 5% de adición de CCA, evidenciando un promedio de pérdida de peso del 35.89%.

**Figura 17***Ensayo de durabilidad con incorporación del 5%CCA*

Nota. Elaboración propia.

### **Figura 18**

*1era y 5ta inmersión en la solución de sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ).*

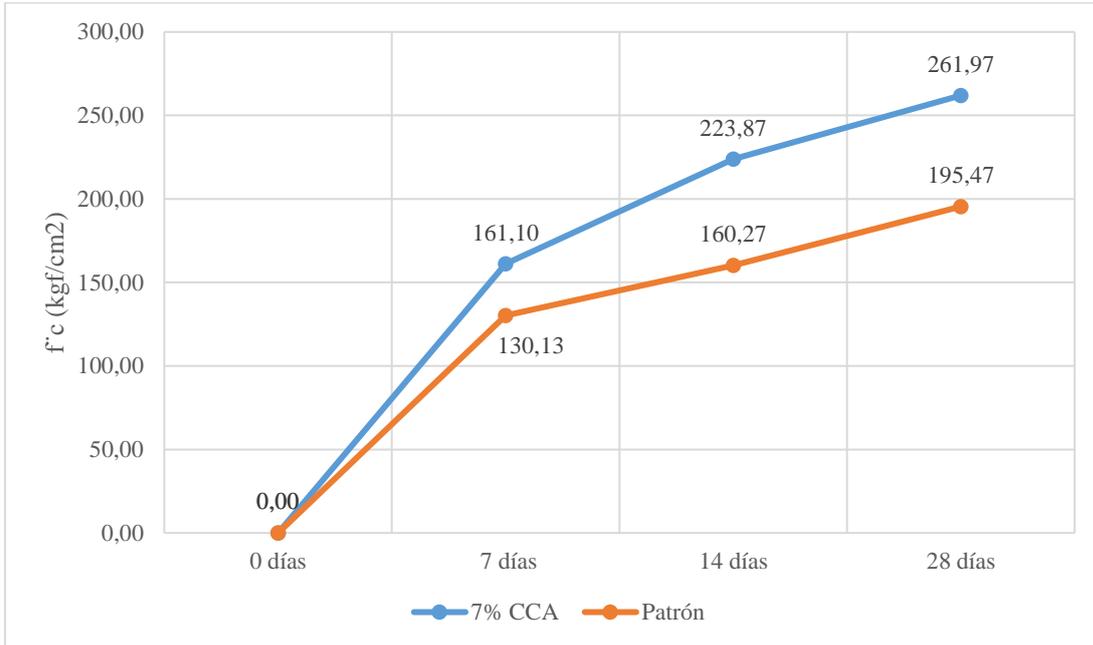


*Nota.* Elaboración propia.

### **3.6. Determinación del porcentaje óptimo de incorporación de CCA**

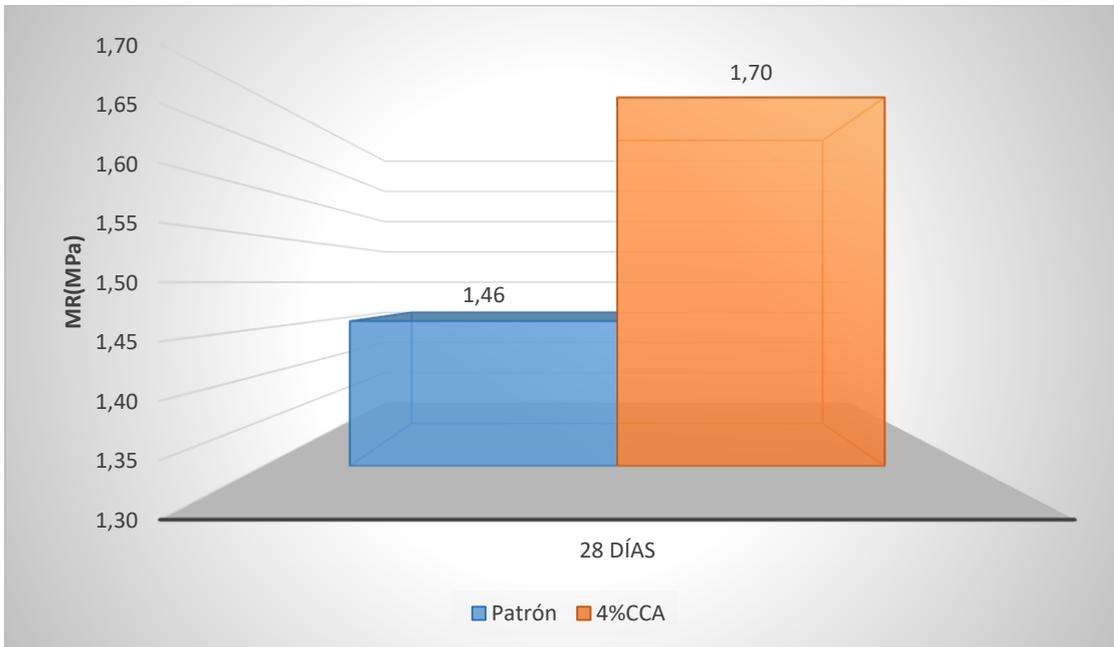
La determinación del porcentaje óptimo con incorporación de CCA en comparación con el concreto convencional implicó evaluar diversos factores. Por ello, la optimización de este porcentaje se basó en consideraciones como resistencia mecánica, durabilidad, trabajabilidad y propiedades específicas del concreto. Siendo necesario llevar a cabo pruebas y ensayos, analizando el comportamiento del material con diferentes niveles de incorporación de ceniza de cascarilla de arroz. Durante estos ensayos, se buscó encontrar el punto en el cual se maximizan las propiedades deseadas del concreto, como resistencia a la flexión, compresión y durabilidad, sin comprometer significativamente la trabajabilidad de la mezcla. En resumen, se determinó que los porcentajes óptimos fueron del 7% y 4% al adicionar CCA en el concreto, logrando mejoras significativas de las propiedades del concreto (ver Figura 18 y 19).

**Figura 19**  
Resistencia a la compresión del % óptimo vs patrón



Nota. Elaboración propia.

**Figura 20**  
Resistencia a la flexión del % óptimo vs patrón



Nota. Elaboración propia.

Por otra parte, en la Tabla 51 se evidenció el costo de la muestra patrón, alcanzando un valor de S/ 12.41. Al compararlo con las incorporaciones óptimas del 7% y 4% de CCA, los costos aumentaron a S/ 12.4134 y S/ 12.4120, respectivamente (ver

Tablas 52 y 53). En consecuencia, se evidenció un ahorro superior al emplear la muestra patrón; sin embargo, la variación fue mínima con las incorporaciones de CCA fue de S/ 0.0034 y S/ 0.0020 en comparación con la muestra patrón.

**Tabla 51**

*Costo de la muestra patrón*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Und</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
<b>Arena</b>	0.0133	m3	S/ 55.00	S/ 0.73
<b>Piedra 1/2</b>	0.013	m3	S/ 75.00	S/ 0.98
<b>Cemento</b>	0.3508	bls	S/ 30.50	S/ 10.70
<b>Agua</b>	2.56	lt	S/ -	S/ -
<b>TOTAL</b>				S/ 12.41

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 52**

*Costo de la muestra con incorporación de 7%CCA*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Und</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
<b>Arena</b>	0.0133	m3	S/ 55.00	S/ 0.73
<b>Piedra 1/2</b>	0.013	m3	S/ 75.00	S/ 0.98
<b>Cemento</b>	0.3508	bls	S/ 30.50	S/ 10.70
<b>CCA</b>	0.0246	kg	0.14	S/ 0.0034
<b>Agua</b>	2.56	lt	S/ -	S/ -
<b>TOTAL</b>				S/ 12.4134

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 53**

*Costo de la muestra con incorporación de 4%CCA*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Und</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
<b>Arena</b>	0.0133	m3	S/ 55.00	S/ 0.73
<b>Piedra 1/2</b>	0.013	m3	S/ 75.00	S/ 0.98
<b>Cemento</b>	0.3508	Bls	S/ 30.50	S/ 10.70
<b>CCA</b>	0.014032	Kg	0.14	S/ 0.0020
<b>Agua</b>	2.56	Lt	S/ -	S/ -
<b>TOTAL</b>				S/ 12.4120

*Nota.* Elaboración propia.

En la Tabla 54, proporcionada se exhiben los resultados de los especímenes más destacados de cada tipo, junto con sus respectivos costos. Al analizar esta información, se concluye lo siguiente:

En los especímenes reforzados con CCA, se registraron una reducción en la resistencia a compresión debido a la disminución de la trabajabilidad del concreto. Por otro lado, en los especímenes reforzados con CCA, se observó un aumento en la resistencia, ya que el concreto se adhiere a la CCA, evitando la porosidad. En los ensayos de flexión, se incrementaron la resistencia al reforzar con CCA, ya que previno la fractura frágil y confiere ductilidad al concreto. Además, se notó un aumento en el costo del concreto reforzado, siendo el de mayor costo el que utiliza 7%CCA, mientras que el concreto patrón presenta el menor incremento en términos de costo.

**Tabla 54**

*Comparación del costo de la muestra patrón las con incorporación optimas dé %CCA*

<b>Tipo de espécimen</b>	<b>Tipo de ensayo a la edad de 28 días</b>		<b>Adición en el costo por el uso de CCA</b>
	<b>Compresión</b>	<b>Flexión</b>	
<b>Concreto patrón</b>	Aumenta en 11.70%	-	S/ 12.41
<b>Concreto 7%CCA</b>	Aumenta en 49.70%	Aumenta en 12.33%	S/ 12.4134
<b>Concreto 4%CCA</b>	Aumenta en 37.37%	Aumenta en 16.44%	S/ 12.4120

*Nota.* Elaboración propia.

#### Capítulo IV. Discusión de Resultados

- En la presente investigación, las propiedades físicas de los materiales empleados en la dosificación de la mezcla de concreto no estructural mostraron que el agregado fino tenía un peso específico de 2.10 gr/cm<sup>3</sup>, absorción del 0.60%, humedad del 4.44%, PUSS de 1.58 gr/cm<sup>3</sup> y PUCS de 1.79 gr/cm<sup>3</sup>, con un módulo de fineza de 2.93. En cuanto a la piedra chancada presentó un TMN de ½”, sus propiedades incluyeron un peso específico de 2.64 gr/cm<sup>3</sup>, absorción del 1.00%, humedad del 0.37%, PUSS de 1.45 gr/cm<sup>3</sup> y PUCS de 1.55 gr/cm<sup>3</sup>. De igual forma, la investigación de Arteaga y Caccha (2022), respaldó la elección de un TMN de ½” para todas las dosificaciones al considerar caucho y acero reciclado, mostrando una coincidencia en la óptima utilización del agregado grueso en ambos estudios. Del mismo modo, en el estudio de Gonzales (2021), el peso específico del árido grueso fue de 2.60gr/cm<sup>3</sup> y MF para el árido fino de 2.10, por lo cual se concuerda con su investigación al trabajar con agregados con propiedades semejantes. Por otro lado, en la investigación de Aliaga et al. (2020), el TMN utilizado para el diseño de mezcla fue de ¾” con un peso específico de 2.68gr/cm<sup>3</sup> para el agregado grueso, y el MF del árido fino fue de 2.53, por cual se discrepa con la investigación ya que las propiedades físicas del agregado utilizado no concuerdan con la presente investigación realizada.
- El diseño de la mezcla proporcionó los parámetros para la producción de concreto con resistencia a la compresión de 175 kg/cm<sup>2</sup> (f'c). Estos valores se derivaron de la dosificación M1, establecida con una relación a/c de 0.580 y un rango de asentamiento entre 3 y 4 pulg. Por consiguiente, esta composición incluyó una dosificación de 192.00 litros de agua, 856.00 kg de AG, 797.00 kg de AF, 372.00 kg de cemento y un contenido de aire incorporado del 2.50%. Del mismo modo, el estudio realizado por Arteaga y Caccha (2022), trabajó su diseño de mezcla con una relación a/c de 0.58 y

slump en un rango de 3” a 4”, concordando con los valores trabajados ya que son similares al actual estudio. De igual forma, el estudio publicado por Sathe et al. (2022), en su diseño de mezcla emplearon una relación a/c de 0.55, por lo que se coincide con la investigación al trabajar con relaciones agua cemento altas y muy manejables. De igual manera, en el estudio de Gonzales (2021), la relación a/c utilizada en el diseño de mezcla fue de 0.528, concordando al igual que en el presente estudio, en donde se trabajó con un similar valor.

- La propiedad en estado fresco del concreto no estructural patrón ( $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup>) registró un slump de 3.81 pulg, permaneciendo dentro de los límites previamente establecidos de 3 a 4 pulg en el diseño de la mezcla. Al analizar el concreto en su estado endurecido, se determinó que su resistencia a la compresión promedio a los 28 días fue de 195.47 kg/cm<sup>2</sup>, reflejando un valor por arriba del nivel de resistencia de diseño, alcanzando solo el 111.70%. Además, se obtuvo un módulo de rotura promedio de 1.46 MPa. De igual forma, en el estudio de Aliaga et al. (2020), el asentamiento alcanzado para la muestra patrón de un concreto  $f'c$  175kg/cm<sup>2</sup> fue de 3.5pulg, por lo que se coincide con los autores ya que el slump se encontró en el intervalo establecido del diseño de mezcla según la metodología ACI 211. Sin embargo, según la investigación de Arteaga y Caccha (2022) afirmaron que los resultados de la propiedad de resistencia a compresión del concreto patrón fueron de 355.65kg/cm<sup>2</sup>, por lo que se difiere ya que su capacidad comprensiva es superior a la en la presente investigación. Del mismo modo, de acuerdo con el estudio de Gonzales y Ventura (2021), la resistencia a compresión de la muestra patrón a los 28 días de ensayo alcanza 247kg/cm<sup>2</sup>, el cual cumple con su resistencia de diseño, por lo que no se concuerda con el actual estudio.

- El diseño de la mezcla suministró los parámetros para la producción de concreto  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup>, estos valores se basaron en la dosificación M1 definidos con una relación a/c de 0.580 y un rango de asentamiento entre 3 y 4 pulg; por ende, esta composición incluyó una dosificación de 192.00 lts de agua, 856.00 kg de AG, 797.00 kg de AF, aire incorporado de 2.50% y 372.00 kg de cemento, variando entre el 1% al 12% las adiciones de CCA. Del mismo modo, el estudio realizado por Arteaga y Caccha (2022), trabajó su diseño de mezcla con una relación a/c de 0.58 y slump en un rango de 3" a 4", concordando con los valores trabajados ya que son similares al actual estudio al adicionar CCA. De igual forma, el estudio publicado por Sathe et al. (2022), en su diseño de mezcla emplearon una relación a/c de 0.55, por lo que se coincide con la investigación al trabajar con relaciones agua cemento altas y poco manejables, tanto para la muestra patrón como para las adiciones de CCA. De igual manera, en el estudio de Gonzales (2021), la relación a/c utilizada en el diseño de mezcla fue de 0.528, concordando al igual que en el presente estudio, en donde se trabajó con un similar valor y constante para las incorporaciones de CCA.
- La evaluación de las propiedades del concreto no estructural  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> con incorporación de cascarilla de arroz en porcentajes del 1%,2%,3%,4%,5%,6%,7%,8%,9%,10%,11% y 12 % presentó mejoras en cuanto a su propiedad en estado fresco de trabajabilidad con un asentamiento de 4.5pulg al incorporar 6% de CCA, siendo superior a la muestra patrón en 0.69pulg. Sin embargo, cuando se evaluó el tiempo de fraguado presentó una mayor exudación con las adiciones de 11% y 12%CCA, existiendo la posibilidad de presentar segregación de los materiales más finos en la parte inferior de la mezcla. Por otro lado, se concluyó que la adición que logró la mejor resistencia a la compresión del concreto fue del 7% de CCA, superando a la resistencia del concreto patrón por 66.50 kg/cm<sup>2</sup>, lo que

representa un 38.00% de la resistencia de diseño. Asimismo, en cuanto a la resistencia a flexión, se destacó el rendimiento obtenido con un 4% de CCA, que logró un módulo de rotura final de 1.70 MPa, superando la resistencia de la viga patrón. De igual modo, la investigación de Gonzales (2021), presentó propiedades resaltantes al incorporar 1.50% y 3% de cascarilla de arroz con resistencias de 266kg/cm<sup>2</sup> y 256kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, las cuales superan a la resistencia de diseño; por lo que, se concuerda con la actual investigación. Asimismo, el estudio de Aliaga et al. (2020), mostraron que al incorporar 2% de cascarilla de huevo se obtuvo una resistencia a la compresión de 177.660 y 213.820 kg/cm<sup>2</sup>, así mismo obtuvo de módulo de rotura un 41.570 y 47.830 kg/cm<sup>2</sup> en ambos casos, se supera el  $f_c$  de diseño de 175 y 210kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, por ende se coincide con la investigación al mejorar las propiedades mecánicas del concreto. No obstante, el artículo publicado por Sathe et al. (2022), mencionaron que a partir de la incorporación del 15% de CCA, decayó la resistencia, por lo que se difiere con la investigación ya que según los resultados obtenidos la resistencia disminuye cuando se incorpora un porcentaje mayor a 8% CCA.

- Los porcentajes óptimos fueron del 7% y 4% al adicionar ceniza de cascarilla de arroz en el concreto, logrando mejoras significativas de las propiedades del concreto maximizan las propiedades deseadas del concreto. De igual forma, según el artículo de Guguloth y Saravanan (2022), el porcentaje óptimo fue del 15% de ceniza de cáscara de arroz, por lo que se difiere ya que si se incorpora mayor CCA la resistencia a compresión y flexión disminuye. Asimismo, el estudio de Sathe et al. (2022), logró obtener óptimos resultados al adicionar 15% de CCA en el concreto, por lo cual no se concuerda, pues la variación de resistencia a compresión y flexión es significativa respecto a la investigación actual. No obstante, según la investigación de Arteaga y Caccha (2022), afirmaron que obtuvieron resultados positivos con la adición del 5%

de CCA alcanzando la resistencia requerida y logrando mejorar las propiedades del concreto, por lo que se asemeja al porcentaje definido como óptimo del 7% y 4%.

## Conclusiones

- En cuanto a la flexión la incorporación de 4% de CCA ocupó el porcentaje óptimo estando muy cercanos el 7% y 8 % de incorporación de CCA, a los 28 días.
- En el Ensayo de compresión la mezcla con el 7% de CCA logró su mayor resistencia a los 28 días.
- En prueba de durabilidad se evidenció un promedio de pérdida de peso del 35.89% al realizar los 5 ciclos de inmersión en la solución  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ .
- En cuanto a la trabajabilidad de las mezclas se mantuvo en rango trabajable para las incorporaciones óptimas de 4 % y 7% de CCA.
- En relación a los costos, como fue una incorporación al concreto el precio aumenta, más se hace una importante recomendación que nos sugiere una 2da etapa investigativa para análisis de viabilidad.

### **Recomendaciones**

- Se sugiere ensayar la incorporación del 4% de CCA para utilidades de flexión.
- Se recomienda llevar a cabo pruebas de durabilidad en mezclas de concreto que contengan un 7% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA), ya que este porcentaje se ha identificado como el óptimo para el concreto a los 28 días, dentro del contexto de los ensayos de compresión propiedad por excelencia del concreto.
- Si pudiéramos recomendar un porcentaje optaríamos por el 7% de incorporación de CCA ya que este ocupó el primer lugar en la resistencia a la compresión y el segundo lugar en la resistencia a la flexión cercana al mayor en esta prueba que fue la del 4% de incorporación de CCA.
- Se recomienda que con la finalidad de hacer viable la investigación, se profundice el análisis de costos con la finalidad de encontrar la cantidad de cemento ideal que permita comparar el aspecto económico con el concreto tradicional.

## Referencias

- ACI. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1)*. American Concrete Institute.
- Alengaram, U. (2022). 2 - *Valorization of industrial byproducts and wastes as sustainable construction materials*. Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821730-6.00003-6>
- Aliaga, G., Arévalo, A., & Lopez, L. (2020). *Adición de ceniza de la cascarilla de arroz para mejorar las propiedades de resistencia del concreto en la región San Martín*. San Martín: Universidad Nacional de San Martín. Fondo Editorial. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3740>
- Aliaga, G., Arévalo, A., & Lopez, L. (2020). *Adición de ceniza de la cascarilla de arroz para mejorar las propiedades de resistencia del concreto en la región San Martín*. San Martín: Universidad Nacional de San Martín. Fondo Editorial. <http://hdl.handle.net/11458/3740>
- Alomayri, T., Adesina, A., & Das, S. (2021). Influence of amorphous raw rice husk ash as precursor and curing condition on the performance of alkali activated concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 15, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00777>
- American Society for testing materials. (2003). *ASTM D 6433*. Washington: American Society for testing materials. <https://bit.ly/3RItZLB>
- Arbeláez, O., Rúa, A., Carvajal, J., & Lasso, C. (2022). Producción de hormigón verde a partir de ceniza de cascarilla de arroz y residuos de vidrio como sustitutos del cemento. *Revista ION*, 35(2), 101-109. <https://doi.org/10.18273/revion.v35n2-2022008>
- Arteaga, S., & Caccha, M. (2022). *Comparación en la adición de cenizas de la cascarilla de arroz y café para mejorar las propiedades del concreto F'C 210kg/cm<sup>2</sup> en edificaciones, Ica 2021*. Ica: Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/92300>
- ASTM C143. (2015). *Slump of Portland Cement Concrete*. ASTM International. [https://www.astm.org/c0143\\_c0143m-20.html](https://www.astm.org/c0143_c0143m-20.html)

- ASTM C311. (2011). *Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete*. Washington. <https://bit.ly/3C43PgM>
- ASTM C78. (2015). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using*. <https://www.astm.org/astm-tpt-175.html>
- Behera, M., & Reyazur, M. (2022). Evaluating the combined effect of recycled aggregate and rice husk ash on concrete properties. *Materialstoday: Proceedings*, 61(2), 370-378. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.127>
- Carolina, A., Campos, R., & Perez, A. (2019). Obtención y caracterización de materiales adsorbentes a partir de cascarilla de arroz. *Mutis*, 9(1), 29-39. <https://doi.org/https://doi.org/10.21789/A22561498.1515>
- Crúz, J., González, J., & Perdomo, L. (2020). Valoración del uso de la cáscara de arroz como material termoaislante en la fundición de piezas de acero. *Minería y Geología*, 36(4), 465-482. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1993-80122020000400465](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122020000400465)
- Doumongue, B., Limam, K., Ayite, D., Mastouri, H., Bahi, H., & Bouazouli, A. (2023). Mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with crumb rubber and steel fiber under ambient and sulfuric acid conditions. *Construction and Building Materials*, 281, 3850-3856. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.029>
- Fu, Q., & Zongming, C. (2023). Prediction of compressive strength of rice husk ash concrete based on stacking ensemble learning model. *Journal of Cleaner Production*, 382. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135279>
- Giordano, C., Leao, B., Andrade, P., & Cecche, R. (2019). Use of electric arc furnace slag for producing concrete paving blocks. *Material para Construção • Ambiente*, 19(2). <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000200305>
- Guguloth, & Saravanan. (2022). Strength and durability of concrete using Rice Husk ash as a partial replacement of cement. *Materialstoday: Proceedings*, 1606-1610. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.267>
- Hanco, H. (2021). *Aprovechamiento de la escoria de fundición de cobre en la elaboración de adoquines de tránsito peatonal comparado con los tradicionales*. Universidad Andina del Cusco, Cusco. <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4340>

- La Industria. (2019). Impacto por aumento del precio de viviendas. *La Industria*.  
<https://www.laindustriadechiclayo.pe/noticia/1566869602-impacto-por-aumento-del-precio-de-viviendas-#permalink>
- Li, Q., & Song, Z. (2023). Prediction of compressive strength of rice husk ash concrete based on stacking ensemble learning model. *Journal of Cleaner Production*, 382, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135279>
- Londero, C., Soares, N., & Mazer, W. (2021). Study of low-cement concrete mix-design through particle packing techniques. *Journal of Building Engineering*, 42, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103071>
- Manrique, C., & Manrique, C. (2021). *Elaboración de adoquines de concreto ecológico con adición de caucho y acero reciclado, para pavimentos de tránsito ligero - Mazamari 2021*. Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/86206>
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima: Ministerio de transportes y comunicaciones.  
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)
- Muzayyanah, N., Maziya, F., Yuriandala, Y., & Kasam. (2021). The Influence of Aluminum Slag Ash for Paving Block Production. *Earth and Environmental Science*, 933(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/933/1/012014>
- MVCS. (2019). *NORMA E.60 Concreto armado*. Lima: Ministerio de Vivienda y Saneamiento. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>
- Neyra, S., & Tacuri, W. (2019). *Diseño de pavimentos con adoquines de concreto adicionando fibra de acero, Avenida César Vallejo, Villa el Salvador – Lima-2019*. Universidad César Vallejo, Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/72418>
- NTP 339 078. (2018). *Ensayo de Flexión*. Lima: INDECOPI. <https://www.inacal.gob.pe/>
- Orrabalís, C., Cossio, L., & Martínez, R. (2020). Aglomerado de cascarilla de arroz con adhesivo comercial poliuretánico. *Quebracho (Santiago del Estero)*, 123-133. <http://www.scielo.org.ar/pdf/quebra/v28n2/1851-3026-quebra-28-02-00123.pdf>
- Rodríguez, D., Reyes, J., & Úcles, K. (2020). Predicción de la resistencia a compresión del concreto 1:2:3 a partir del tiempo de inicio fraguado. *Central American Journals Online*, 131-138.

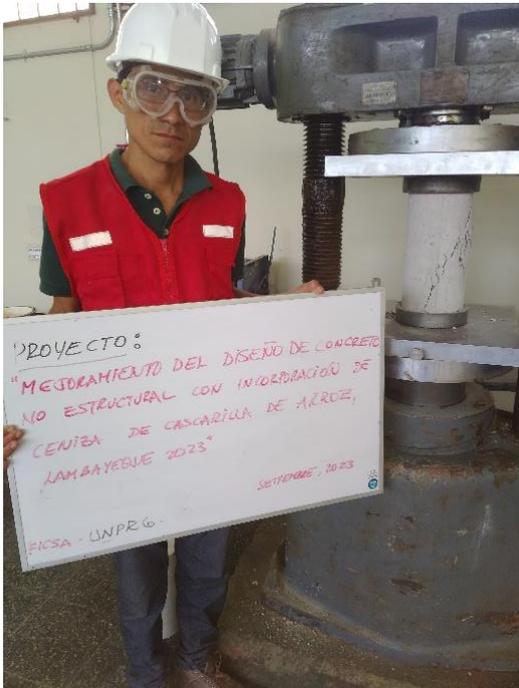
- Sathe, S., Zain, M., & Dandin, S. (2022). An experimental study on rice husk ash concrete. *Materialstoday: Proceedings*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.366>
- SENA. (13 de Noviembre de 2020). *Sena.edu.co*. <https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=4511>
- Tayeh, B., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., & Alaskar, A. (2021). Recycling of rice husk waste for a sustainable concrete: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 312. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127734>
- Venkata et al. (2019). *La industria y el mal de los desechos*. India: Al bajala.
- Villacorta, T., & Ventura, L. (2021). *Incorporación de ceniza de cascarilla de arroz para aumentar la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, Moyobamba 2021*. Moyobamba: Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/83293>
- Villacorta, T., & Ventura, L. (2021). *Incorporación de ceniza de cascarilla de arroz para aumentar la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, Moyobamba 2021*. Moyobamba: Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/83293>

## Anexos

### Anexo 01: Panel fotográfico.

#### Figura 21

*Resistencia a la compresión de la M1*



*Nota. Elaboración propia.*

#### Figura 22

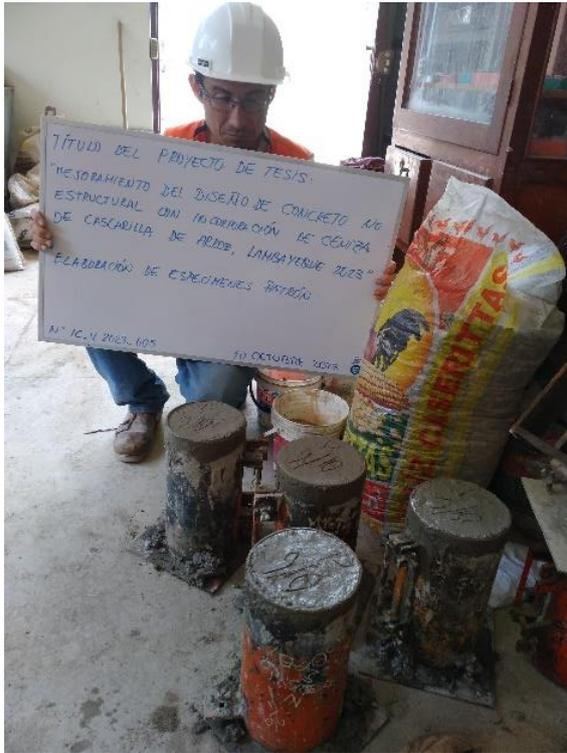
*Ensayo de trabajabilidad de la muestra patrón*



*Nota. Elaboración propia.*

### Figura 23

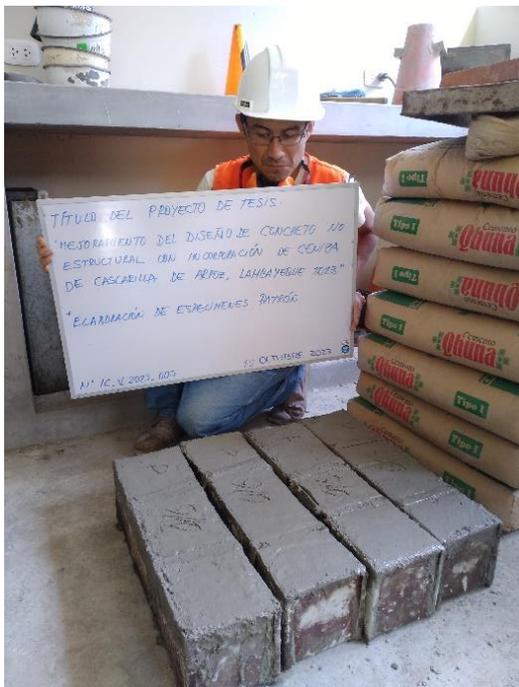
Realización de probetas de concreto patrón y con adiciones



Nota. Elaboración propia.

### Figura 24

Realización de vigas de concreto patrón y con adiciones



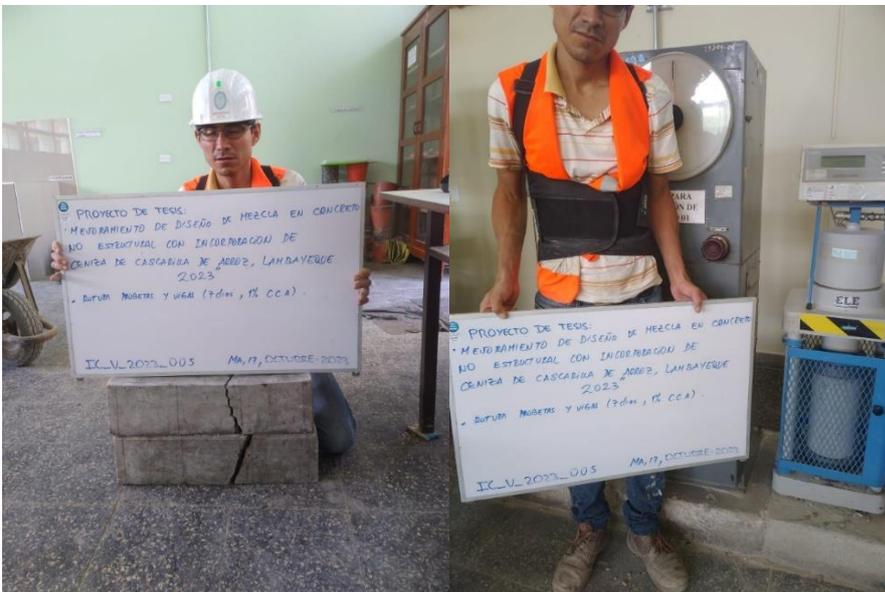
Nota. Elaboración propia.

**Figura 25**  
*Rotura de probeta patrón a los 7 días de curado*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 26**  
*Rotura de probetas y vigas 1% de Incorporación de CCA*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 27**

*Elaboración de especímenes de cúbicos de 2" con 5 % de incorporación de CCA*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 28**

*Rotura de cubo de mortero con 5% de incorporación de CCA*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 29**

*Preparación de la solución ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 30**

*Primera inmersión en la solución ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ).*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 31**  
*Elaboración de probetas y Vigas (10 % de CCA)*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 32**  
*Elaboración de probetas y Vigas (11 % de CCA)*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 33**

*Segunda inmersión en la solución ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ )*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 34**

*Tercera inmersión en la solución ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ )*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 35**

*Ensayos de resistencia a compresión y flexión en probetas y vigas con 4%, 9% y 11% de CCA.*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 36**

*Prueba de compresión y flexión de 10 % de CCA a los 14 días y 5% de CCA a los 28 días*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 37**

*Prueba de compresión y flexión de 11 % de CCA a los 28 días.*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 38**

*Prueba de compresión y flexión de 12 % de CCA a los 28 días.*



*Nota. Elaboración propia.*

## Anexo 02: Certificados de ensayos



### CONSTANCIA 001 - 2024 LEME - FICSA

El que suscribe, Jefe de Laboratorio de Ensayo de Materiales y de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil De Sistemas Y De Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

#### HACE CONSTAR:

Que el bachiller de la escuela profesional de ingeniería civil:

**REGALADO GUEVARA ELIU ANGEL**

Ha realizado sus ensayos desde el 06 de septiembre al 05 de diciembre del 2023 en este laboratorio.

TIPOS DE ENSAYOS	CANTIDAD
• CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO	(01)
• CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO	(01)
• PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO	(01)
• PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO	(01)
• PESO UNITARIO VARIADO AGREGADO FINO	(01)
• PESO UNITARIO VARILLADO AGREGADO GRUESO	(01)
• ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO	(01)
• ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO	(01)
• PESO ESPECÍFICO DE MASA DEL AGREGADO FINO	(01)
• PESO ESPECÍFICO DE MASA DEL AGREGADO GRUESO	(01)
• GRADO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	(01)
• GRADO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	(01)
• DISEÑO DE MEZCLA CONCRETO 175 kg/cm <sup>2</sup>	(03)
• ROTURA DE PROBETAS	(78)
• ENSAYO DE FLEXION EN VIGAS	(78)
• DURABILIDAD O INTEMPERISMO	(04)

Para dar cumplimiento a un capítulo de su proyecto de Tesis: "MEJORAMIENTO DEL DISEÑO DE CONCRETO NO ESTRUCTURAL CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2023".

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Lambayeque 22 de enero del 2024



  
DR. ING. JUAN H. FARIÑAS FEIJOO  
DIRECTOR DAIC - FICSA



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ  
GALLO**  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, DE SISTEMAS Y DE  
ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y DE  
ESTRUCTURAS



## CONSTANCIA 004 - 2024 LEME – FICSA

El que suscribe, Director encargado del Departamento Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de Sistemas y de Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

### HACE CONSTAR:

Que el bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil:

**REGALADO GUEVARA ELIU ANGEL**

Ha realizado sus ensayos desde el 30 de enero al 12 de marzo del 2024 en este laboratorio - LEME.

TIPOS DE ENSAYOS	CANTIDAD
• ELABORACIÓN DE PROBETAS	(39)
• ELABORACIÓN VIGAS	(39)
• ROTURA DE PROBETAS	(39)
• ENSAYO DE FLEXION EN VIGAS	(39)

Para dar cumplimiento a un capítulo de su proyecto de Tesis: **"MEJORAMIENTO DEL DISEÑO DE CONCRETO NO ESTRUCTURAL CON INCORPORACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, LAMBAYEQUE 2023"**.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Lambayeque 19 de marzo del 2024



  
**DR. ING SERGIO BRAVO IDROGO**  
DIRECTOR DAIC – FICSA (e)

**Anexo 03: Fichas de ensayos.**

Tabla: Especímenes para el ensayo de compresión

<b>Días</b>	<b>tipo</b>	<b>slump</b>	<b>hecha</b>	<b>Ensayo</b>	<b>f'c (kgf/cm2)</b>	<b>f'c prom. (kgf)</b>	<b>f'c (kgf/cm2)</b>
7	patrón	3.813	06/10/2023	13/10/2023	119.39	130.1333	119.39
	patrón	3.813	06/10/2023	13/10/2023	107.51		107.51
	patrón	3.813	30/01/2024	06/02/2024	163.5		163.5
14	patrón	3.813	09/10/2023	23/10/2023	136.6	160.2667	136.6
	patrón	3.813	09/10/2023	23/10/2023	131.9		131.9
	patrón	3.813	30/01/2024	13/02/2024	212.3		212.3
28	patrón	3.813	09/10/2023	06/11/2023	166.2	195.4667	166.2
	patrón	3.813	09/10/2023	06/11/2023	178.9		178.9
	patrón	3.813	30/01/2024	27/02/2024	241.3		241.3
7	1%	3.75	10/10/2023	17/10/2023	158.4	163.0333	158.4
	1%	3.75	10/10/2023	17/10/2023	168.4		168.4
	1%	3.75	05/02/2024	12/02/2024	162.3		162.3
14	1%	3.75	10/10/2023	24/10/2023	190.386	199.4267	190.386
	1%	3.75	10/10/2023	24/10/2023	206.894		206.894
	1%	3.75	05/02/2024	19/02/2024	201		201
28	1%	3.75	10/10/2023	07/11/2023	245	237.4333	245
	1%	3.75	10/10/2023	07/11/2023	240.5		240.5
	1%	3.75	05/02/2024	04/03/2024	226.8		226.8
7	2%	3.75	11/10/2023	18/10/2023	159.9	165.6333	159.9
	2%	3.75	11/10/2023	18/10/2023	157.7		157.7
	2%	3.75	05/02/2024	12/02/2024	179.3		179.3

14	2%	3.75	11/10/2023	25/10/2023	214.2	213.7	214.2
	2%	3.75	11/10/2023	25/10/2023	207.9		207.9
	2%	3.75	05/02/2024	19/02/2024	219		219
28	2%	3.75	11/10/2023	08/11/2023	241.6	246.8	241.6
	2%	3.75	11/10/2023	08/11/2023	238.8		238.8
	2%	3.75	05/02/2024	04/03/2024	260		260
7	3%	3.75	12/10/2023	19/10/2023	145.4	154.6333	145.4
	3%	3.75	12/10/2023	19/10/2023	147.8		147.8
	3%	3.75	06/02/2024	13/02/2024	170.7		170.7
14	3%	3.75	12/10/2023	26/10/2023	196.3	208	196.3
	3%	3.75	12/10/2023	26/10/2023	205.9		205.9
	3%	3.75	06/02/2024	20/02/2024	221.8		221.8
28	3%	3.75	12/10/2023	09/11/2023	222.2	234.5667	222.2
	3%	3.75	12/10/2023	09/11/2023	228.2		228.2
	3%	3.75	06/02/2024	05/03/2024	253.3		253.3
7	4%	2.75	16/10/2023	23/10/2023	128.1	145.0667	128.1
	4%	2.75	16/10/2023	23/10/2023	154.6		154.6
	4%	2.75	06/02/2024	13/02/2024	152.5		152.5
14	4%	2.75	16/10/2023	30/10/2023	198.6	202.8667	198.6
	4%	2.75	16/10/2023	30/10/2023	190		190
	4%	2.75	06/02/2024	20/02/2024	220		220
28	4%	2.75	16/10/2023	13/11/2023	243.6	240.4	243.6
	4%	2.75	16/10/2023	13/11/2023	243.2		243.2
	4%	2.75	06/02/2024	05/03/2024	234.4		234.4
7	5%	4	19/10/2023	26/10/2023	144	149.7667	144
	5%	4	19/10/2023	26/10/2023	140.8		140.8
	5%	4	05/02/2024	12/02/2024	164.5		164.5
14	5%	4	19/10/2023	02/11/2023	203.63	215.1067	203.63

	5%	4	19/10/2023	02/11/2023	215.79		215.79
	5%	4	05/02/2024	19/02/2024	225.9		225.9
28	5%	4	19/10/2023	16/11/2023	238.4	244.1	238.4
	5%	4	19/10/2023	16/11/2023	228.2		228.2
	5%	4	05/02/2024	04/03/2024	265.7		265.7
7	6%	4.5	23/10/2023	30/10/2023	161.2	163.5667	161.2
	6%	4.5	23/10/2023	30/10/2023	149.8		149.8
	6%	4.5	06/02/2024	13/02/2024	179.7		179.7
14	6%	4.5	23/10/2023	06/11/2023	215.3	214.6667	215.3
	6%	4.5	23/10/2023	06/11/2023	218.9		218.9
	6%	4.5	06/02/2024	20/02/2024	209.8		209.8
28	6%	4.5	23/10/2023	20/11/2023	255.4	256.9333	255.4
	6%	4.5	23/10/2023	20/11/2023	261.4		261.4
	6%	4.5	06/02/2024	05/03/2024	254		254
7	7%	3.75	24/10/2023	31/10/2023	163.9	161.1	163.9
	7%	3.75	24/10/2023	31/10/2023	160.4		160.4
	7%	3.75	12/02/2024	19/02/2024	159		159
14	7%	3.75	24/10/2023	07/11/2023	225.1	223.8667	225.1
	7%	3.75	24/10/2023	07/11/2023	218		218
	7%	3.75	12/02/2024	26/02/2024	228.5		228.5
28	7%	3.75	24/10/2023	21/11/2023	271.2	261.9667	271.2
	7%	3.75	24/10/2023	21/11/2023	266.4		266.4
	7%	3.75	12/02/2024	11/03/2024	248.3		248.3
7	8%	3.5	26/10/2023	02/11/2023	153.53	156.305	153.53
	8%	3.5	26/10/2023	02/11/2023	159.08		159.08
	8%	3.5	12/02/2024	19/02/2024	160.8		160.8
14	8%	3.5	26/10/2023	09/11/2023	213.5	214.9333	213.5
	8%	3.5	26/10/2023	09/11/2023	202		202

	8%	3.5	12/02/2024	26/02/2024	229.3		229.3
28	8%	3.5	26/10/2023	23/11/2023	256.6	251.2	256.6
	8%	3.5	26/10/2023	23/11/2023	255.9		255.9
	8%	3.5	12/02/2024	11/03/2024	241.1		241.1
7	9%	2.5	30/10/2023	06/11/2023	153.2	154.5	153.2
	9%	2.5	30/10/2023	06/11/2023	140		140
	9%	2.5	12/02/2024	19/02/2024	170.3		170.3
14	9%	2.5	30/10/2023	13/11/2023	184.9	197.0667	184.9
	9%	2.5	30/10/2023	13/11/2023	190.4		190.4
	9%	2.5	12/02/2024	26/02/2024	215.9		215.9
28	9%	2.5	30/10/2023	27/11/2023	230.5	237.8667	230.5
	9%	2.5	30/10/2023	27/11/2023	235.7		235.7
	9%	2.5	12/02/2024	11/03/2024	247.4		247.4
7	10%	3.5	02/11/2023	09/11/2023	128.9	147.5333	128.9
	10%	3.5	02/11/2023	09/11/2023	130.8		130.8
	10%	3.5	13/02/2024	20/02/2024	182.9		182.9
14	10%	3.5	02/11/2023	16/11/2023	170.1	186.3667	170.1
	10%	3.5	02/11/2023	16/11/2023	163.5		163.5
	10%	3.5	13/02/2024	27/02/2024	225.5		225.5
28	10%	3.5	02/11/2023	30/11/2023	205.3	222.8667	205.3
	10%	3.5	02/11/2023	30/11/2023	214.9		214.9
	10%	3.5	13/02/2024	12/03/2024	248.4		248.4
7	11%	3.5	06/11/2023	13/11/2023	75.57	110.5133	75.57
	11%	3.5	06/11/2023	13/11/2023	82.37		82.37
	11%	3.5	13/02/2024	20/02/2024	173.6		173.6
14	11%	3.5	06/11/2023	20/11/2023	114	146.2	114
	11%	3.5	06/11/2023	20/11/2023	121.6		121.6
	11%	3.5	13/02/2024	27/02/2024	203		203

28	11%	3.5	06/11/2023	04/12/2023	161.1	171	161.1
	11%	3.5	06/11/2023	04/12/2023	155.2		155.2
	11%	3.5	13/02/2024	12/03/2024	196.7		196.7
7	12%	3	07/11/2023	14/11/2023	115.12	128.5933	115.12
	12%	3	07/11/2023	14/11/2023	118.66		118.66
	12%	3	13/02/2024	20/02/2024	152		152
14	12%	3	07/11/2023	21/11/2023	155.5	165.8	155.5
	12%	3	07/11/2023	21/11/2023	148.3		148.3
	12%	3	13/02/2024	27/02/2024	193.6		193.6
28	12%	3	07/11/2023	05/12/2023	185.6	204.4667	185.6
	12%	3	07/11/2023	05/12/2023	189.6		189.6
	12%	3	13/02/2024	12/03/2024	238.2		238.2

Tabla: De Especímenes para el ensayo resistencia a la Flexión

Días	tipo	slump (plg)	hecha	ensaya el día:	<u>P()</u> kgf	Mr (Mpa)	Mr prom. (Mpa)	Mr prom. (Mpa)aprox. 0.05
7	patron	3.3125	09/10/2023	16/10/2023	500	0.726	0.96841296	0.95
	patron	3.3125	09/10/2023	16/10/2023	625	0.908		
	patron	3.3125	30/01/2024	06/02/2024	875	1.27123889		
14	patron	3.3125	09/10/2023	23/10/2023	1000	1.09	1.27128148	1.25
	patron	3.3125	09/10/2023	23/10/2023	750	1.271		
	patron	3.3125	30/01/2024	13/02/2024	1000	1.45284444		
28	patron	3.3125	09/10/2023	06/11/2023	1000	1.46084	1.45817481	1.45
	patron	3.3125	09/10/2023	06/11/2023	1000	1.46084		
	patron	3.3125	30/01/2024	27/02/2024	1000	1.45284444		
7	1%	3.75	10/10/2023	17/10/2023	750	1.09	1.0693361	1.05
	1%	3.75	10/10/2023	17/10/2023	875	1.271		
	1%	3.75	05/02/2024	12/02/2024	583	0.84700831		
14	1%	3.75	10/10/2023	24/10/2023	1000	1.4252404	1.23292012	1.25
	1%	3.75	10/10/2023	24/10/2023	875	1.14030128		
	1%	3.75	05/02/2024	19/02/2024	780	1.13321867		
28	1%	3.75	10/10/2023	07/11/2023	1000	1.45284444	1.54727933	1.55
	1%	3.75	10/10/2023	07/11/2023	1375	1.91775467		
	1%	3.75	05/02/2024	04/03/2024	875	1.27123889		
7	2%	3.75	11/10/2023	18/10/2023	500	0.726	0.90787778	0.9
	2%	3.75	11/10/2023	18/10/2023	625	0.908		
	2%	3.75	05/02/2024	12/02/2024	750	1.08963333		
14	2%	3.75	11/10/2023	25/10/2023	1000	1.45284444	1.63445	1.65
	2%	3.75	11/10/2023	25/10/2023	1125	1.63445		0

	2%	3.75	05/02/2024	19/02/2024	1250	1.81605556		
28	2%	3.75	11/10/2023	08/11/2023	1000	1.45284444	1.45284444	1.45
	2%	3.75	11/10/2023	08/11/2023	1000	1.45284444		
	2%	3.75	05/02/2024	04/03/2024	1375	1.99766111		
7	3%	3.25	12/10/2023	19/10/2023	500	0.73042	0.91102611	0.9
	3%	3.25	12/10/2023	19/10/2023	625	0.913025		
	3%	3.25	06/02/2024	13/02/2024	750	1.08963333		
14	3%	3.25	12/10/2023	26/10/2023	1000	1.46084	1.46084	1.45
	3%	3.25	12/10/2023	26/10/2023	1000	1.46084		0
	3%	3.25	06/02/2024	20/02/2024	1000	1.45284444		
28	3%	3.25	12/10/2023	09/11/2023	800	1.16227556	1.18951639	1.2
	3%	3.25	12/10/2023	09/11/2023	837.5	1.21675722		
	3%	3.25	06/02/2024	05/03/2024	1000	1.45284444		
7	4%	2.9375	16/10/2023	23/10/2023	750	1.09563	1.09563	1.1
	4%	2.9375	16/10/2023	23/10/2023	750	1.09563		
	4%	2.9375	06/02/2024	13/02/2024	416	0.60438329		
14	4%	2.9375	16/10/2023	30/10/2023	1000	1.27705027	1.27317601	1.25
	4%	2.9375	16/10/2023	30/10/2023	750	1.08963333		
	4%	2.9375	06/02/2024	20/02/2024	1000	1.45284444		
28	4%	2.9375	16/10/2023	13/11/2023	1250	1.82605	1.70098185	1.7
	4%	2.9375	16/10/2023	13/11/2023	1000	1.46084		
	4%	2.9375	06/02/2024	05/03/2024	1250	1.81605556		
7	5%	3.6875	19/10/2023	26/10/2023	500	0.73042	0.88526737	0.9
	5%	3.6875	19/10/2023	26/10/2023	750	0.9577877		
	5%	3.6875	05/02/2024	12/02/2024	666	0.9675944		
14	5%	3.6875	19/10/2023	02/11/2023	875	1.278235	1.45750852	1.45
	5%	3.6875	19/10/2023	02/11/2023	875	1.278235		

	5%	3.6875	05/02/2024	19/02/2024	1250	1.81605556		
28	5%	3.6875	19/10/2023	16/11/2023	1100	1.606924	1.45817481	1.45
	5%	3.6875	19/10/2023	16/11/2023	900	1.314756		
	5%	3.6875	05/02/2024	04/03/2024	1000	1.45284444		
7	6%	5.75	23/10/2023	30/10/2023	750	1.08963333	1.08963333	1.1
	6%	5.75	23/10/2023	30/10/2023	750	1.08963333		
	6%	5.75	06/02/2024	13/02/2024	750	1.08963333		
14	6%	5.75	23/10/2023	06/11/2023	1000	1.46084	1.37295915	1.35
	6%	5.75	23/10/2023	06/11/2023	825	1.205193		
	6%	5.75	06/02/2024	20/02/2024	1000	1.45284444		
28	6%	5.75	23/10/2023	20/11/2023	1000	1.46084	1.57924519	1.6
	6%	5.75	23/10/2023	20/11/2023	1000	1.46084		
	6%	5.75	06/02/2024	05/03/2024	1250	1.81605556		
7	7%	3	24/10/2023	31/10/2023	750	1.08963333	0.96856296	0.95
	7%	3	24/10/2023	31/10/2023	500	0.72642222		
	7%	3	12/02/2024	19/02/2024	750	1.08963333		
14	7%	3	24/10/2023	07/11/2023	750	1.09563	1.33643815	1.35
	7%	3	24/10/2023	07/11/2023	1000	1.46084		
	7%	3	12/02/2024	26/02/2024	1000	1.45284444		
28	7%	3	24/10/2023	21/11/2023	1125	1.643445	1.64011352	1.65
	7%	3	24/10/2023	21/11/2023	1000	1.46084		
	7%	3	12/02/2024	11/03/2024	1250	1.81605556		
7	8%	2.625	26/10/2023	02/11/2023	750	1.08963333	1.09447615	1.1
	8%	2.625	26/10/2023	02/11/2023	750	1.08963333		
	8%	2.625	12/02/2024	19/02/2024	760	1.10416178		
14	8%	2.625	26/10/2023	09/11/2023	750	1.09563	1.21536778	1.2
	8%	2.625	26/10/2023	09/11/2023	1000	1.46084		

	8%	2.625	12/02/2024	26/02/2024	750	1.08963333		
28	8%	2.625	26/10/2023	23/11/2023	1323	1.72990188	1.6375494	1.65
	8%	2.625	26/10/2023	23/11/2023	1323	1.72990188		
	8%	2.625	12/02/2024	11/03/2024	1000	1.45284444		
7	9%	2.5	30/10/2023	06/11/2023	625	0.90802778	1.27123889	1.25
	9%	2.5	30/10/2023	06/11/2023	750	1.08963333		
	9%	2.5	12/02/2024	19/02/2024	1250	1.81605556		
14	9%	2.5	30/10/2023	13/11/2023	750	1.09563	1.27523667	1.3
	9%	2.5	30/10/2023	13/11/2023	750	1.09563		
	9%	2.5	12/02/2024	26/02/2024	1125	1.63445		
28	9%	2.5	30/10/2023	27/11/2023	1125	1.643445	1.63254625	1.65
	9%	2.5	30/10/2023	27/11/2023	1068	1.56017712		
	9%	2.5	12/02/2024	11/03/2024	1166	1.69401662		
7	10%	3.3125	02/11/2023	09/11/2023	625	0.90802778	1.02909815	1.05
	10%	3.3125	02/11/2023	09/11/2023	750	1.08963333		
	10%	3.3125	13/02/2024	20/02/2024	750	1.08963333		
14	10%	3.3125	02/11/2023	16/11/2023	625	0.913025	1.05711011	1.05
	10%	3.3125	02/11/2023	16/11/2023	800	1.168672		
	10%	3.3125	13/02/2024	27/02/2024	750	1.08963333		
28	10%	3.3125	02/11/2023	30/11/2023	1100	1.606924	1.56773781	1.55
	10%	3.3125	02/11/2023	30/11/2023	1125	1.643445		
	10%	3.3125	13/02/2024	12/03/2024	1000	1.45284444		
7	11%	1.625	06/11/2023	13/11/2023	250	0.90802778	0.96856296	0.95
	11%	1.625	06/11/2023	13/11/2023	625	0.90802778		
	11%	1.625	13/02/2024	20/02/2024	750	1.08963333		
14	11%	1.625	06/11/2023	20/11/2023	1000	1.45284444	1.39230926	1.4
	11%	1.625	06/11/2023	20/11/2023	1000	1.45284444		

	11%	1.625	13/02/2024	27/02/2024	875	1.27123889		
28	11%	1.625	06/11/2023	04/12/2023	1000	1.45284444	1.33177407	1.35
	11%	1.625	06/11/2023	04/12/2023	750	1.08963333		
	11%	1.625	13/02/2024	12/03/2024	1000	1.45284444		
7	12%	1.625	07/11/2023	14/11/2023	500	0.72642222	0.72642222	0.75
	12%	1.625	07/11/2023	14/11/2023	500	0.72642222		
	12%	1.625	13/02/2024	20/02/2024	500	0.72642222		
14	12%	1.625	07/11/2023	21/11/2023	525	0.766941	0.89818615	0.9
	12%	1.625	07/11/2023	21/11/2023	325	0.474773		
	12%	1.625	13/02/2024	27/02/2024	1000	1.45284444		
28	12%	1.625	07/11/2023	05/12/2023	1000	1.46084	1.45817481	1.45
	12%	1.625	07/11/2023	05/12/2023	1000	1.46084		
	12%	1.625	13/02/2024	12/03/2024	1000	1.45284444		