UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

Presentada por:

EDINSON FERNANDO PAJARES URTEAGA

Asesor:

Dr. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

Cajamarca, Perú

2025

Universidad Nacional de Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"

Escuela de Posgrado

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
   Edinson Fernando Pajares Urteaga
   DNI: 70196051
   Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría en Ciencias, Mención: **Ingeniería Civil**

2. Asesor: Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno

3. Grado académico o título profesional
   □ Bachiller □ Título profesional □ Segunda especialidad
   X Maestro □ Doctor

4. Tipo de Investigación:
   X Tesis □ Trabajo de investigación □ Trabajo de suficiencia profesional
   □ Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:
   Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca – 2024

6. Fecha de evaluación**: 06/08/2025**
7. Software antiplagio: **X** TURNITIN □ URKUND (OURIGINAL) *(*)*
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **24%**
9. Código Documento: **3117:478974897**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
    X APROBADO □ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **15/09/2025**

Firma y/o Sello
Emisor Constancia

Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
DNI: 26733060

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
EDINSON FERNANDO PAJARES URTEAGA
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DECONSEJO DIRECTIVO Nº 080-2018-SUNEDU/CD

ESCUELA DE POSGRADO

CAJAMARCA – PERU

PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 16..... horas, del día 12 de Junio de dos mil veinticinco, reunidos en el **Auditorio de la Escuela de Posgrado** de la **Universidad Nacional de Cajamarca**, el Jurado Evaluador presidido por el ***DR. WILFREDO RENÁN FERNÁNDEZ MUÑOZ, DR. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS, M. CS. JOSÉ LUIS MARCHENA ARAUJO,*** y en calidad de Asesor el ***DR. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO.*** Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestrías y Doctorados de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la Sustentación de la Tesis titulada **"VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO f'c = 210 kg/cm2 AL REEMPLAZAR PORCENTUALMENTE EL CEMENTO POR CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN CAJAMARCA - 2024",** presentada por el bachiller en Ingeniería Civil **EDINSON FERNANDO PAJARES URTEAGA.**

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de DIECIOCHO la mencionada Tesis; en tal virtud, el bachiller en Ingeniería Civil, **EDINSON FERNANDO PAJARES URTEAGA,** se encuentra apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de **INGENIERÍA**, con mención en **INGENIERÍA CIVIL.**

Siendo las 17 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
Asesor

Dr. Wilfredo Renán Fernández Muñoz
Jurado Evaluador

Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas
Jurado Evaluador

M. Cs. José Luis Marchena Araujo
Jurado Evaluador

A mi querida familia, sin cuya constante presencia y apoyo incondicional este logro no habría sido posible. A mi esposa, Karol, por su amor y paciencia a lo largo de este viaje; a mi hija, Fernanda, por iluminar mi vida con su alegría y entusiasmo; y a mi madre, Olga, cuyo sacrificio y sabiduría han sido mi guía constante. A mis hermanos, Jaqueline, Eduardo, Jessica y Evelyn, por su aliento y apoyo inquebrantables. Cada uno de ustedes ha sido un pilar fundamental en la culminación de este proyecto, y esta tesis es, en gran parte, un reflejo de su amor y dedicación.

Fernando

Agradecimiento

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios, por guiarme con sabiduría y fortaleza a lo largo de este proceso y de mi vida entera; a mi familia, especialmente a mi esposa Karol, mi hija Fernanda y mi madre Olga, por su amor y paciencia incondicionales, y a mis hermanos Jaqueline, Eduardo, Jessica y Evelyn, por su constante aliento y apoyo. A mi amigo y asesor, Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, por su invaluable guía y dedicación a lo largo de este proceso; su experiencia ha sido fundamental para la culminación de esta tesis. A la Universidad Nacional de Cajamarca, por proporcionar el entorno académico y los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Finalmente, pero no por ello menos importante, agradezco a mis amigos por su apoyo y comprensión, que han sido una fuente continua de motivación. Sin el respaldo de todos ustedes, este logro no habría sido posible.

En la ingeniería, como en la vida, la mejor forma de predecir el futuro es crearlo.

— Peter Drucker

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....v

Agradecimiento.....vi

Epígrafe.....vii

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....viii

ÍNDICE DE TABLAS.....xi

ÍNDICE DE FIGURAS.....xiii

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS.....xiv

RESUMEN.....xv

ABSTRACT.....xvi

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....1

1.1. Planteamiento del Problema.....1

1.1.1. Contextualización.....1

1.1.2. Descripción del problema.....3

1.1.3. Formulación del problema.....5

1.2. Justificación e importancia.....5

1.2.1. Justificación científica.....5

1.2.2. Justificación técnica-práctica.....6

1.2.3. Justificación institucional y personal.....7

1.3. Delimitación de la investigación.....8

1.4. Limitaciones.....9

1.5. Objetivos.....9

1.5.1. Objetivo General.....9

1.5.2. Objetivos Específicos.....10

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO 11

2.1. Antecedentes de la Investigación 11

2.1.1. Antecedentes internacionales 11

2.1.2. Antecedentes nacionales 12

2.1.3. Antecedentes locales 14

2.2. Marco Conceptual 15

2.2.1. Concreto 15

2.2.2. Agregado 16

2.2.3. Cemento 18

2.2.4. Agua 19

2.2.5. Aditivos 19

2.2.6. Adiciones 20

2.3. Definición de Términos Básicos 21

CAPÍTULO III PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES 23

3.1. Hipótesis 23

3.2. Variables de estudio 23

3.2.1. Variable independiente 23

3.2.2. Variable dependiente 23

3.3. Operacionalización de los componentes de la Hipótesis 24

CAPÍTULO IV MARCO METODOLÓGICO 25

A.1. Ubicación Geográfica 25

A.2. Diseño de la Investigación 27

A.2.1. Diseño 27

A.2.2. Tipo 27

A.2.3. Nivel: 27

A.3. Métodos de Investigación 28

A.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación 40

A.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información 42

A.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de información 44

A.7. Personal, materiales, equipos e insumos 48

A.8. Matriz de consistencia metodológica 51

CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN 52

5.1. Presentación de resultados 52

5.2. Análisis, Interpretación y discusión de resultados 53

5.3. Contrastación de hipótesis 60

CONCLUSIONES 61

RECOMENDACIONES 63

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64

APÉNDICES 70

ANEXOS 92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de componentes de la hipótesis 24

Tabla 2 Edades de ensayo y tolerancias permisibles 39

Tabla 3 Técnicas e instrumentos de recopilación de información..... 41

Tabla 4 Técnicas e instrumentos de recopilación de información..... 43

Tabla 5 Matriz de consistencia metodológica 51

Tabla 6 Resistencia a la compresión de especímenes de concreto a los 7 días de curado 52

Tabla 7 Resistencia a la compresión de especímenes de concreto a los 14 días de curado 52

Tabla 8 Resistencia a la compresión de especímenes de concreto a los 28 días de curado 53

Tabla 9 Promedio, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación para especímenes ensayados a 7 días..... 53

Tabla 10 Promedio, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación para especímenes ensayados a 14 días 55

Tabla 11 Promedio, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación para especímenes ensayados a 28 días 56

Tabla 12 Promedio y varianza de las resistencia de ensayos efectuados a 7, 14 y 28 días..... 57

Tabla 13 Prueba de normalización Shapiro-Wilks (modificado) para ensayos a 7 días..... 70

Tabla 14 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar y ensayos a 7 días..... 71

Tabla 15 λ estimado y redondeado para la aplicación de la transformación de Box-Cox para ensayos a 7 días 72

Tabla 16 Análisis de varianzas para ensayos a 7 días 73

Tabla 17 Análisis por el método T-student para determinar la existencia de variación del 5% para ensayos a 7 días..... 75

Tabla 18 Prueba de normalización Shapiro-Wilks (modificado) para ensayos a 14 días..... 76

Tabla 19 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar y ensayos a 14 días 77

Tabla 20 Análisis de varianzas para ensayos a 14 días 78

Tabla 21 Análisis por el método T-student para determinar la existencia de variación del 5% para ensayos a 14 días 79

Tabla 22 Prueba de normalización Shapiro-Wilks (modificado) para ensayos a 28 días 81

Tabla 23 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar y ensayos a 28 días 82

Tabla 24 λ estimado y redondeado para la aplicación de la transformación de Box-Cox para ensayos a 28 días 83

Tabla 25 Resistencia a la compresión de especímenes de concreto normalizada, ensayada a los 28 días de curado 83

Tabla 26 Análisis de varianzas para ensayos a 28 días 84

Tabla 27 Análisis por el método T-student para determinar la existencia de variación del 5% para ensayos a 28 días 86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fotografía satelital del país en el que se ubicó el estudio 25

Figura 2 Fotografía satelital del departamento en el que se ubicó el estudio..... 25

Figura 3 Fotografía satelital de la provincia en la que se ubicó el estudio..... 26

Figura 4 Fotografía satelital del distrito en el que se ubicó el estudio..... 26

Figura 5 Fotografía satelital de la ubicación del estudio..... 27

Figura 6 Gráfico de caja de resistencia vs porcentaje de reemplazo para 7 días de edad..... 54

Figura 7 Gráfico de caja de resistencia vs porcentaje de reemplazo para 14 días de edad..... 55

Figura 8 Gráfico de caja de resistencia vs porcentaje de reemplazo para 28 días de edad..... 57

Figura 9 Promedio de resistencia a la compresión por edad y porcentaje de reemplazo..... 58

Figura 10 Prueba de igualdad de varianzas: Resistencia vs. Porcentaje de Reemplazo 71

Figura 11 Intervalos de Confianza simultáneos de 95% de Dunnett..... 73

Figura 12 Prueba de igualdad de varianzas: Resistencia vs. Porcentaje de Reemplazo 77

Figura 13 Intervalos de Confianza simultáneos de 95% de Dunnett..... 78

Figura 14 Prueba de igualdad de varianzas: Resistencia vs. Porcentaje de Reemplazo 82

Figura 15 Gráfico de caja de resistencia vs porcentaje de reemplazo 84

Figura 16 Intervalos de Confianza simultáneos de 95% de Dunnett..... 85

Figura 17 Obtención de ceniza 87

Figura 18 Obtención del agregado fino..... 87

Figura 19 Obtención del agregado grueso..... 88

Figura 20 Ensayos de los agregados 88

Figura 21 Ensayo de revenimiento o asentamiento 89

Figura 22 Ensayo de densidad del concreto fresco..... 89

Figura 23 Elaboración de especímenes de concreto 90

Figura 24 Ensayo a compresión de los especímenes de concreto..... 91

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

% Abs.: Porcentaje de absorción del material evaluado.

e: Error estadístico seleccionado.

f´c: Resistencia a la compresión del espécimen de concreto, en kg/cm².

Gsa: Gravedad específica aparente del agregado evaluado.

Gssh: Gravedad específica en estado seco al horno del agregado evaluado.

Gssss: Gravedad específica en estado saturado superficialmente seco del agregado evaluado.

M_c: Masa del recipiente de medida lleno de concreto, en kg.

M_m: Masa del recipiente de medida, en kg

P: Valor estadístico de la probabilidad

Y: Rendimiento, volumen de concreto producido por tanda, en m³.

α: Nivel de significancia para estadísticos de prueba

λ: Parámetro que define una familia de transformaciones de potencia para lograr una distribución más cercana a la normal en la transformación de Box-Cox.

W: Se refiere al estadístico de prueba que se calcula para determinar si los datos se desvían de la normalidad.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, este último es un subproducto agrícola disponible en la región de Cajamarca. Se desarrolló un diseño experimental unifactorial, tipo aplicada y con un nivel correlacional, en el cual se elaboraron especímenes cilíndricos estándar de 4" de diámetro y 8" de altura, con reemplazos del 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 15% y 20% del peso del cemento, los cuales fueron sometidos a ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado, siguiendo normas ASTM C39 y NTP 339.034 vigentes. Los resultados evidenciaron que los reemplazos entre 2,5% y 7,5% incrementaron la resistencia respecto al concreto patrón, alcanzando valores máximos con el 2,5%; obteniéndose incrementos del orden del 4,90% respecto al concreto patrón, mientras que porcentajes superiores al 10% generaron una disminución significativa de la resistencia a la compresión del concreto; obteniéndose decrementos en la resistencia a la compresión del concreto de hasta 33,44% a edades tempranas. Se concluyó que la ceniza de bagazo de caña de azúcar puede actuar como adición puzolánica eficaz en bajas proporciones, contribuyendo a mejorar la resistencia a la compresión del concreto. Como aporte, el estudio proporciona evidencia científica sobre el uso de residuos agroindustriales como alternativa viable para optimizar la calidad del concreto.

Palabras clave: Ceniza de bagazo de caña de azúcar, resistencia a la compresión del concreto, materiales sostenibles.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the variation in the compressive strength of concrete with a design strength of f'c = 210 kg/cm² by partially replacing cement with sugarcane bagasse ash, the latter being an agricultural byproduct available in the Cajamarca region. A unifactorial experimental design was developed, applied in nature and with a correlational level, in which standard cylindrical specimens measuring 4 inches in diameter and 8 inches in height were prepared, incorporating cement replacements of 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 15%, and 20% by weight. These specimens were subjected to compressive strength tests at 7, 14, and 28 days of curing, following the current ASTM C39 and NTP 339.034 standards. The results showed that replacements between 2,50% and 7,50% increased the compressive strength compared to the control concrete, with the highest values observed at 2,50%, achieving increases of approximately 4,90%. On the other hand, replacements greater than 10,00% led to a significant reduction in compressive strength, with decreases of up to 33,44% at early ages. It was concluded that sugarcane bagasse ash can serve as an effective pozzolanic addition in low proportions, contributing to improved compressive strength. As a contribution, the study provides scientific evidence supporting the use of agro-industrial waste as a viable alternative to enhance concrete quality.

Keywords: Sugarcane bagasse ash, compressive strength of concrete, sustainable materials.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Contextualización

Desde tiempos antiguos, el concreto se convirtió en el material de construcción por excelencia; siendo en la actualidad el principal material en todo tipo de proyectos debido a su capacidad para satisfacer necesidades esenciales de las estructuras civiles, como la resistencia y durabilidad. Los ingredientes clave del concreto son los agregados, el cemento, el agua, los aditivos y las adiciones. Se estima que cada año se producen cerca de cuatro toneladas de concreto por cada habitante de la tierra (Exactitude Consultancy, 2023; Packham et al., 2023).

Al respecto, la producción de concreto está directamente relacionada con la producción de cemento; sobre el particular, se calcula que, durante el 2023, la producción de cemento en China alcanzó aproximadamente los 2 100 millones de toneladas, reafirmando su posición como el principal productor mundial, India por su parte fabricó un estimado de 410 millones de toneladas, ubicándose en el segundo lugar, seguidos por Vietnam con 110 millones de toneladas y Estados Unidos con 91 millones de toneladas. Respecto a países latinoamericanos, México ocupa el puesto 14 con una producción de 50 millones de toneladas, igualando así a Egipto, Japón y Korea del Sur; en el ámbito regional, Brasil ocupa el séptimo lugar con la fabricación de 63 millones de toneladas (Statista, 2024).

En el ámbito nacional el contexto no es diferente; en 2023, la producción de cemento en Perú fue de aproximadamente 12 millones de toneladas métricas, lo que, si bien es cierto, implica una disminución del 11% respecto a la producción registrada durante el 2022; no obstante, también es 8% mayor a las cifras registradas entre 2014 y 2019; por lo que se advierte

una gran demanda impulsada por el sector construcción según lo analizado por la Asociación de Productores de Cemento (Asocem, 2023; Microfinanzas, 2024).

Sobre el particular, es necesario precisar que la calidad del concreto no depende únicamente del cemento, sino también de otras adiciones que lo componen; sin embargo, existe un vacío de conocimientos, relacionado con los materiales, naturaleza, selección de proporciones, puesta en obra y calidad; debido a ello se viene innovando en la producción de nuevos materiales que ayuden a minimizar los vacíos existentes en el conocimiento del concreto, profundizándose en el estudio de nuevos aditivos y adiciones que modifiquen sus propiedades a conveniencia del productor; tanto en su estado fresco como endurecido.

Al respecto, se advierte que la producción y el mercado de aditivos para concreto han mostrado un crecimiento significativo en los últimos años, impulsados por la creciente demanda en el sector construcción; es así que el mercado de aditivos para hormigón se estima en 79,98 millones de dólares en 2024 y se espera que alcance los 103,75 millones de dólares en 2029 (Exactitude Consultancy, 2023).

En ese sentido, la creciente demanda de concreto y aditivos que mejoren sus propiedades, obliga a efectuar nuevos análisis y a ensayar con diferentes materiales; es así que desde hace algunos años se viene utilizando las cenizas como adición al concreto, al respecto, la norma técnica E-060 del reglamento Nacional de Edificaciones, permite el empleo de, entre otros, las cenizas volantes u otras puzolanas como aditivos, las cuales deberán cumplir lo establecido en la norma técnica peruana *"NTP 334.104:2018 CEMENTOS. Ceniza volante y puzolana natural cruda o calcinada para uso en concreto. Especificaciones"* (Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento, 2009).

1.1.2. Descripción del problema

El uso de adiciones y aditivos, proporciona una mejoría en las propiedades físicas (densidad, consistencia, contracción, etc.) y mecánicas (resistencia a la compresión, tracción, flexión, corte, etc.) del concreto, dependiendo del su tipo y grado de dosificación.

En Estados Unidos las cenizas volantes conforman más de 136 millones de toneladas al año, en Europa 100 millones de toneladas al año de residuos similares de carbón son producidos anualmente; un 60% de las cenizas procedentes del carbón en Estados Unidos acaba en vertederos, en Europa esta cifra alcanza el 50% y en China el 30%. (National Geographic, 2011)

En el Perú las Cenizas son obtenidas principalmente de las hidroeléctricas, sin embargo, también se han realizado estudios sobre cenizas provenientes de la quema de la cáscara de arroz en el norte de la selva peruana (Riva, 2022).

Además, en nuestro país existen estudios sobre el uso de cenizas en concreto, Martinez y Vega (2022) estudiaron las cenizas las cenizas volantes para mejorar las propiedades mecánicas del concreto estructural; teniendo como conclusión principal que estas adiciones mejoran las propiedades mecánicas del hormigón estructural en una dosificación del 5% al 30% del peso del cemento; no obstante, al exceder dicho peso, las propiedades mecánicas del hormigón disminuyen severamente.

Así mismo, Alvarado y Roque (2020) concluyeron que el uso de polvo de grafito mejora la resistencia de concreto en una dosificación del 3% sobre muestras con una resistencia a la compresión patrón de 210 kg/cm², lográndose alcanzar incluso un 7,85% de incremento en compresión.

Por su parte, Correa-Zeña et al. (2023), durante una revisión sistemática respecto a variación de las propiedades mecánicas del concreto al incorporar ceniza de madera,

concluyeron que la incorporación de dicha adición en el concreto resultó ser positiva en porcentajes menores al 30%, llegando alcanzar incluso resistencias de 850 Kg/cm² respectos de concreto patrón de resistencia aproximada de 480 kg/cm².

De otro lado, tenemos que, si bien es cierto, el estudio de adiciones en el concreto ha venido incrementándose en el Perú, es cierto también que, dichos estudios disminuyen su cantidad al abordar a la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material de análisis, pese a que el Perú, según el Instituto nacional de Estadística e Informática (INEI, 2022), a enero de 2022, produjo 768,9 mil toneladas de caña de azúcar, cuyos desechos, en su mayoría son incinerados.

No obstante, el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como adición en el concreto podría contribuir no solamente en el mejoramiento de las propiedades resistentes del concreto sino también en la reducción de desechos provenientes de su quema; en relación a lo último, se tiene por ejemplo que la planta agroindustrial Laredo quema 42 ha de bagazo de caña por mes, produciendo un total de 25 tn/año de partículas totales en suspensión, pese a que parte de estas cenizas son utilizadas para la estabilización de suelos, otra gran parte se almacena a la intemperie, hecho que afecta negativamente la salud de la población cercana a la planta (Defensoría del Pueblo, 2020; López, 2013).

Al respecto, abordando el ámbito regional, se tiene que el distrito de Chancay en la provincia de Santa Cruz, se caracteriza por la producción de caña de azúcar para elaborar un destilado alcohólico denominado cogollito, tal como lo refiere el Informe económico del departamento de Cajamarca para la zonificación ecológica y económica (2017); así mismo, los residuos del bagazo de caña de azúcar subproducto de dicha actividad, son incinerados como combustible para el proceso de destilación, obteniéndose como subproducto la ceniza de bagazo de caña de azúcar, la cual se utiliza principalmente como abono, almacenando su mayoría en campos no producidos (Gobierno Regional de Cajamarca, 2017).

1.1.3. Formulación del problema

La presente investigación nos llevó a plantear el siguiente problema:

¿En cuánto varía la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² al remplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar?

1.2. Justificación e importancia

1.2.1. Justificación científica

El estudio de ceniza de bagazo de caña de azúcar en Perú es reducido, por ende, se desconocen los beneficios que esta adición genera en el concreto, en consecuencia, resulta importante investigar el efecto producido por la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia del concreto, toda vez que esta investigación permitirá dilucidar los vacíos existentes en el uso de adiciones alternativas en el concreto, toda vez que la norma técnica E-060 del reglamento Nacional de Edificaciones, permite el empleo de, entre otros, las cenizas volantes y otras puzolanas como adiciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento, 2009).

Es importante resaltar que esta investigación no solo contribuye significativamente al conocimiento actual, sino que también establece un fundamento sólido para futuras investigaciones que busquen alcanzar objetivos similares. Al proporcionar un marco teórico y metodológico bien definido, este trabajo facilita la replicación y expansión del estudio, permitiendo a otros investigadores construir sobre estos hallazgos para explorar nuevas perspectivas y aplicaciones en el campo.

1.2.2. Justificación técnica-práctica

La creciente necesidad de mejorar la eficiencia en la construcción ha llevado a la exploración de materiales alternativos que puedan optimizar el rendimiento de los insumos tradicionales. En este contexto, el uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar como adición en el concreto se presenta como una opción prometedora. Este subproducto agrícola, que posee un contenido de sílice de hasta un 72%, puede ser integrado en la mezcla de concreto para aumentar su resistencia mecánica.

La incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar en la dosificación del concreto no solo responde a la necesidad de encontrar alternativas más sostenibles, sino que también abre la puerta a mejoras significativas en las propiedades físicas del material. La elevada concentración de sílice presente en la ceniza permite que, al integrarse en la mezcla, se formen compuestos que podrían mejorar la resistencia a la compresión del concreto, similar a lo que se ha observado con otros aditivos minerales.

Por lo tanto, el uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar en el concreto podría representar un avance importante para la industria de la construcción, especialmente en regiones donde la caña de azúcar es un recurso abundante, como el caso del distrito de Chancay en Santa Cruz. Al proporcionar una alternativa eficaz respecto de los materiales tradicionales, esta práctica fomenta la reutilización de residuos agrícolas, alineándose con los principios de sostenibilidad y economía circular. Así, futuras investigaciones podrían centrarse en optimizar las proporciones de esta adición para maximizar sus beneficios en diferentes aplicaciones estructurales.

1.2.3. Justificación institucional y personal

La Universidad Nacional de Cajamarca, a través de su Facultad de Ingeniería y la Escuela de Posgrado, se consolida como un centro clave para la generación y difusión de conocimientos avanzados en el ámbito de la ingeniería. Estas instituciones tienen un compromiso firme con el desarrollo de investigaciones innovadoras que respondan a los desafíos actuales en la ingeniería civil. En este contexto, el estudio sobre el incremento de la resistencia mecánica del concreto mediante adiciones no convencionales, como la ceniza de bagazo de caña de azúcar, se alinea con los objetivos institucionales de promover soluciones prácticas y sostenibles a problemas críticos en el sector de la construcción, contribuyendo así al avance científico y al desarrollo tecnológico en la región

Desde una perspectiva personal, la presente investigación representa una oportunidad invaluable para profundizar en el conocimiento técnico y científico en el campo de la ingeniería civil, especialmente en el área de materiales de construcción. El enfoque en el uso de adiciones no convencionales como la ceniza de bagazo de caña de azúcar no solo permite explorar nuevas alternativas para mejorar la resistencia del concreto, sino que también abre la puerta a contribuir con soluciones sostenibles que podrían tener un impacto significativo en la industria de la construcción. Este proyecto se convierte, por tanto, en un medio para fortalecer mi formación profesional y académica, al mismo tiempo que permite aportar al desarrollo local y nacional.

Finalmente, la relevancia de esta investigación radica en su potencial para influir positivamente en la práctica de la ingeniería civil en la región de Cajamarca y más allá. Al abordar un problema específico como lo es la mejora de la resistencia mecánica del concreto, utilizando recursos locales y sostenibles, se espera que los resultados obtenidos puedan ser aplicados en proyectos de infraestructura a nivel regional. Esta investigación no solo contribuirá al desarrollo de tecnologías más eficientes, sino que también sentará las bases para

futuras investigaciones en el campo de los materiales de construcción, consolidando a la Universidad Nacional de Cajamarca como un referente en innovación y sostenibilidad.

1.3. Delimitación de la investigación

La presente investigación se enfocó exclusivamente en evaluar la variación de la resistencia a la compresión del concreto convencional f'c = 210 kg/cm² al reemplazar el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, sin analizar otras propiedades mecánicas o de durabilidad como resistencia a la flexión, tracción, corte, permeabilidad, o abrasión.

La investigación se centró únicamente en la resistencia mecánica a corto plazo. No se evaluaron parámetros de durabilidad (como resistencia a sulfatos o cloruros), ni la huella de carbono o el ciclo de vida del concreto con adición de ceniza.

Los ensayos fueron realizados con los equipos de compresión disponibles en el laboratorio Guersan, los cuales, aunque calibrados, no permiten la determinación de propiedades asociadas a la resistencia a la compresión del concreto como es el caso del módulo de elasticidad.

Se emplearon mezclas de concreto con reemplazos parciales de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en proporciones del 2,50%, 5,00%, 7,50%, 10,00%, 15,00% y 20,00% en peso del cemento**,** curadas bajo condiciones de laboratorio. Solo se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a tres edades (7, 14 y 28 días), sin evaluar comportamiento a largo plazo o propiedades como retracción o fluencia.

El estudio se desarrolló en la ciudad de Cajamarca – Perú, utilizando materiales disponibles en el ámbito regional, incluida la ceniza de bagazo de caña de azúcar, según el siguiente detalle:

Agregados: Cantera Margarita, distrito de Chilete en la provincia de Contumazá.

Ceniza de bagazo de caña de azúcar: Distrito de Chancay en la provincia de Santa Cruz.

Cemento: Pacasmayo Tipo I.

Agua: Red pública del distrito de Cajamarca en la provincia de Cajamarca

La experimentación se realizó durante el periodo comprendido entre los meses de agosto a noviembre del año 2024, considerando las condiciones climáticas propias del distrito de Cajamarca.

Las pruebas de resistencia a compresión se realizaron conforme a las normas ASTM C39 y NTP 339.034, válidas en el contexto peruano para ensayos de concreto endurecido.

1.4. Limitaciones

Disponibilidad y calidad de la ceniza: La ceniza de bagazo de caña de azúcar utilizada provino de una única fuente local, garantizándose su homogeneidad física; no siendo factible garantizar la homogeneidad química o mineralógica, lo cual podría influir en la reactividad puzolánica y la reproducibilidad de los resultados en otros contextos.

Condiciones de curado no replicables en obra: Aunque los especímenes de concreto fueron curados en condiciones estándar de laboratorio, dichas condiciones pueden no reproducirse en ambientes reales de obra, pudiendo afectar el comportamiento del concreto en la práctica.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm^2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto reemplazando el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes del 2,5%, 5%, 7,50%, 10%, 15% y 20% en reemplazo del peso del cemento a edades de 7, 14 y 28 días.

- Comparar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto con reemplazo de ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes del 2,5%, 5%, 7,50%, 10%, 15% y 20% del peso del cemento, con la resistencia a compresión del concreto patrón a edades de 7, 14 y 28 días.

- Identificar el porcentaje óptimo de reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar que mantenga o mejore la resistencia del concreto f'c = 210 kg/cm² sin comprometer su resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días.

- Analizar estadísticamente los resultados obtenidos para verificar si la variación de la resistencia a la compresión del concreto a edades de 7, 14 y 28 días supera el 5% de la resistencia obtenida con el concreto patrón.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Gallego-Quintana et al. (2023), en su investigación titulada *"Analysis of the Mechanical Properties of a Stabilized Subgrade Type Soil under a Sustainable Approach for Construction"*, tuvieron como objetivo evaluar el comportamiento mecánico de un suelo subrasante estabilizado con cemento Portland parcialmente sustituido por ceniza de bagazo de caña de azúcar; los resultados mostraron que una sustitución del 25% permitió mantener una resistencia similar a la del cemento puro, mientras que con un 50% se mejoró la capacidad de soporte en comparación con el suelo sin estabilizar; se concluyó que la incorporación moderada de ceniza representa una alternativa eficiente y sostenible para estabilizar suelos sin afectar negativamente su desempeño estructural.

Arbeláez et al. (2024), en su estudio titulado "Influencia del polvo de vidrio en el comportamiento ambiental, térmico y mecánico del hormigón que contiene ceniza de cascarilla de arroz", analizaron, entre otros, cómo influye la sustitución del 5% del cemento por una combinación de ceniza de cascarilla de arroz y residuos de vidrio en distintas proporciones (1:0, 1:1, 1:2 y 1:3) sobre la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días; como resultado, identificaron que la mezcla con mayor contenido de vidrio (1:3) incrementó la resistencia en un 14% respecto a la mezcla con solo ceniza (1:0), lo cual fue atribuido a las reacciones puzolánicas adicionales entre el sílice y el calcio presentes en ambos residuos, concluyendo que el polvo de vidrio refuerza significativamente el desempeño mecánico del hormigón modificado con ceniza.

Zea et al. (2023), en su investigación titulada “Desempeño de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autocompactantes”, tuvieron como objetivo evaluar el efecto del uso de ceniza de bagazo de caña como filler en diferentes proporciones (5%, 10%, 15%, 20% y 25%) sobre las propiedades del concreto autocompactante; los resultados mostraron que las mezclas con 10%, 15% y 20% de ceniza alcanzaron resistencias a la compresión superiores a las del concreto de control, especialmente después de los 28 días de curado, evidenciando el efecto puzolánico del material en esas proporciones; se concluyó que el uso de ceniza en estos niveles permite mejorar la resistencia mecánica del concreto y optimizar el consumo de cemento sin comprometer su desempeño estructural.

Arbeláez et al. (2023), en su estudio “Efecto de la incorporación de ceniza de bagazo de caña en las propiedades mecánicas y las emisiones de dióxido de carbono del hormigón preparado con residuos de vidrio”, tuvieron como objetivo, entre otros, evaluar el impacto de reemplazar parcialmente el cemento con una combinación de ceniza de bagazo de caña de azúcar y residuos de vidrio en proporciones que sumaban un 20%, en las propiedades del concreto; los resultados mostraron que el aumento de ceniza redujo el asentamiento por su alta absorción de agua, la densidad se mantuvo estable y la resistencia a la compresión mejoró progresivamente, destacando la mezcla con mayor contenido de ceniza (3:1) por alcanzar el mejor desempeño mecánico frente al concreto convencional.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Adrián y Bartolo (2021), en su tesis “Cenizas de bagazo de caña de azúcar como sustitución del cemento Portland en elaboración de concreto hidráulico”, tuvieron como objetivo elaborar un concreto f’c = 210 kg/cm² reemplazando parcialmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en proporciones del 2% al 27%; los resultados mostraron que la mezcla con 2% de ceniza alcanzó una resistencia a la compresión 10.49% superior a la

del concreto patrón, mientras que porcentajes mayores redujeron progresivamente su desempeño, concluyendo que el reemplazo más efectivo se encuentra en proporciones bajas.

Palomino y Torres (2021), en su estudio titulado “Ceniza de bagazo de caña de azúcar para mejorar las propiedades mecánicas del concreto”, plantearon como objetivo establecer un diseño de mezcla que incorpore ceniza de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento con el fin de mejorar el comportamiento mecánico del concreto y, para tal efecto, desarrollaron diversas proporciones de sustitución que fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión, tracción y módulo de elasticidad a los 28 días de curado considerando que dichas propiedades permiten evaluar el desempeño estructural del material; en consecuencia se evidenció que las mezclas con un reemplazo entre el 5% y el 10% alcanzaron incrementos significativos en la resistencia, llegando incluso llegando a superar los 300 kg/cm² en comparación con la mezcla patrón; por lo tanto se concluyó que dentro de ese rango de sustitución la ceniza actúa como una adición puzolánica favorable mientras que al aumentar el porcentaje por encima del 10% se produce una disminución en el rendimiento mecánico del concreto.

Espinoza y Lázaro (2022), en su investigación titulada “Ceniza de bagazo de caña de azúcar para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto estructural”, tuvieron como objetivo determinar el porcentaje óptimo de ceniza de bagazo de caña de azúcar que permita mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto estructural; para ello realizaron un análisis detallado de las características físicas y químicas de la ceniza, así como de su influencia en la trabajabilidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del concreto mediante la elaboración de mezclas con diferentes porcentajes de sustitución del cemento; los resultados mostraron que una sustitución del 5% de cemento por ceniza generó resistencias superiores a las de la muestra patrón, mientras que porcentajes mayores como el 10% tendieron

a disminuir el rendimiento mecánico del concreto; además, se concluyó que la temperatura de calcinación debe superar los 800 °C para garantizar una concentración adecuada de sílice, y que el contenido de este compuesto, al aproximarse al 67%, favorece un comportamiento puzolánico óptimo, por lo que concluyeron además que el uso de este residuo agrícola puede ser viable y sostenible dentro del diseño de mezclas estructurales.

2.1.3. Antecedentes locales

Chávez (2017), en la tesis "Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico", tuvo como objetivo determinar la influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la resistencia a la compresión del concreto f'c = 250 kg/cm², sustituyendo el 1%, 3% y 5% del volumen absoluto del agregado fino; para ello elaboró mezclas experimentales y una mezcla patrón, sometiéndolas a ensayos de compresión a distintas edades; los resultados indicaron que la adición de CBCA mejora significativamente la resistencia del concreto, alcanzando un incremento de hasta 21,88% respecto a la mezcla convencional, y se concluyó que la dosificación óptima corresponde a un 3,24% de sustitución del agregado fino, concluyendo que este residuo agroindustrial puede ser aprovechado de forma eficiente para mejorar el desempeño mecánico del concreto.

Mosqueira y Cacho (2022), en la tesis "Resistencia del mortero C:A 1:3 al reemplazar parte del cemento por: Sika Tipo I, penca sábila y ceniza de bagazo de caña de azúcar", tuvieron como objetivo determinar cómo influye la sustitución parcial del cemento por estos tres aditivos naturales en proporciones del 1%, 2.5% y 5% sobre la resistencia a la compresión del mortero en una dosificación cemento-arena 1:3; para ello, elaboraron 150 especímenes cúbicos y evaluaron su comportamiento mecánico a edades de 1, 7, 14, 21 y 28 días; como resultado, se encontró que el mortero con ceniza de bagazo de caña de azúcar presentó una disminución

progresiva de resistencia conforme aumentaba su porcentaje, registrando reducciones de hasta 39.37% con 5% de reemplazo; en el caso de la penca sábila, también se observaron caídas importantes en la resistencia, aunque con una leve recuperación al 5%; en cambio, el mortero con Sika Tipo I mostró mejoras notables, destacando el 5% de reemplazo, que superó en más de 14.75% la resistencia del mortero patrón a los 28 días, por lo tanto, se concluyó que la Sika Tipo I es el único aditivo de los tres evaluados que contribuye al incremento de la resistencia a la compresión en este tipo de mortero.

Aranda y Miranda (2023), en su tesis "Resistencia a la compresión del concreto f'c=210 kg/cm², con adiciones de cenizas de afrecho de cebada y cenizas de bagazo de caña de azúcar, Cajamarca 2023", tuvieron como objetivo determinar cómo influye la adición de estas cenizas en la resistencia a la compresión del concreto f'c=210 kg/cm²; para ello elaboraron especímenes cilíndricos con adiciones del 5%, 10% y 15% de cada tipo de ceniza y evaluaron su comportamiento mecánico a los 7, 14 y 28 días de curado; los resultados mostraron que las mezclas con ceniza de bagazo de caña de azúcar, especialmente al 5%, alcanzaron incrementos significativos de resistencia de hasta 36.66%, 28.72% y 29.67% en comparación con el concreto patrón en las tres edades respectivamente, mientras que los reemplazos con ceniza de afrecho de cebada generaron reducciones notables en la resistencia a compresión en todos los porcentajes y edades analizadas; por lo tanto, se concluyó que la ceniza de bagazo de caña de azúcar es una adición favorable para mejorar la resistencia del concreto, a diferencia de la ceniza de afrecho de cebada, cuyo uso disminuye el desempeño mecánico del concreto.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Concreto

El concreto es un producto artificial, resultado de mezclar un cemento hidráulico (típicamente cemento Pórtland) con agua, agregados y, en muchos casos, adiciones minerales

y aditivos químicos para modificar sus propiedades. Esta mezcla, al fraguar y endurecer por reacción química del cemento con el agua (hidratación), forma una masa pétrea artificial de elevada resistencia (Riva, 2022).

En el concreto convencional cada componente cumple un rol específico. El cemento es el agente cementante que, al reaccionar con el agua, forma productos hidratados que "pegan" o unen entre sí a las partículas de agregado. El agua inicia la reacción de hidratación del cemento y proporciona la fluidez necesaria a la mezcla en estado fresco; es esencial para lograr la trabajabilidad durante el mezclado, transporte y colocación. Los agregados actúan como relleno inerte que aporta volumen y estabilidad dimensional; reducen el contenido necesario de cemento por unidad de volumen y confieren al concreto propiedades adicionales, como mayor resistencia al desgaste y menor contracción por secado. Las adiciones suelen incorporarse para mejorar ciertas propiedades o por consideraciones de sostenibilidad. Los aditivos químicos (acelerantes, retardantes, plastificantes, entre otros) se agregan en pequeñas dosis para modificar el comportamiento del concreto fresco o endurecido. (Mantallana, 2023).

2.2.2. Agregado

Los agregados son materiales granulares (generalmente inertes) que conforman la mayor parte del volumen del concreto. Según la definición del comité educativo del Instituto americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés), el agregado es un material granular como arena, grava, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, o incluso concreto reciclado, que usualmente ocupa entre el 60% y 75% del volumen del concreto. Los agregados pueden ser de origen natural (arenas y gravas de río o cantera, resultantes de la disgregación natural de rocas) o artificial (agregados triturados obtenidos por trituración mecánica de roca dura, o subproductos industriales como la escoria granulada enfriada al aire). También se utilizan

agregados reciclados, provenientes de concreto demolido u otros residuos, en aplicaciones no estructurales o mezclados con agregado natural, promoviendo la sostenibilidad (Neville, 2013).

2.2.2.1.Clasificación

El agregado empleado en la preparación del concreto se clasifica en agregado fino, agregado grueso y hormigón, conocido este último como agregado integral.

Se define como agregado fino a aquel que pasa el Tamiz de 3/8" y queda retenido en el tamiz Nº 200. El más usual de los agregados finos es la arena, definida como el producto resultante de la desintegración natural de las rocas. Así mismo, el agregado grueso es aquel que queda retenido en el Tamiz Nº 4, este último suele clasificarse en grava y piedra triturada o chancada. La grava es el agregado grueso proveniente de la disgregación y abrasión natural de materiales pétreos. Se le encuentra generalmente en canteras y lechos de ríos depositado en forma natural; de otro lado, la piedra chancada, o piedra triturada, es el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas y gravas; finalmente, se denomina hormigón o agregado integral, al material conformado por una mezcla de arena y grava. Este material, mezclado en proporciones arbitrarias se da en forma natural en la corteza terrestre y se le emplea tal como se le extrae de la cantera (Indecopi, 2020b).

2.2.2.2.Funciones

Las tres principales funciones del agregado en el concreto son: i) Proporcionar un relleno adecuado a la pasta, reduciendo el contenido de ésta por unidad de volumen y, por lo tanto, reduciendo el costo de la unidad cúbica de concreto, ii) Resistir las acciones mecánicas, de desgaste, o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto y iii) Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento; de humedecimiento y secado; o de calentamiento de la pasta (Riva, 2022).

2.2.3. Cemento

El cemento es el componente más activo del concreto y, comúnmente referido al cemento Portland, un tipo de cemento hidráulico, el cual es denominado de esa forma por ser material inorgánico finamente pulverizado que, al añadirle agua, forma una pasta que fragua y endurece incluso bajo el agua, ello debido a reacciones químicas de hidratación, desarrollando resistencia y estabilidad una vez endurecido (Hidalgo y Loayza, 2019).

El cemento Portland tradicional está compuesto principalmente por clinker (producto de la cocción de una mezcla de caliza y arcillas alrededor de los 1450 °C, que contiene silicatos y aluminatos de calcio) molido con una pequeña adición de yeso (sulfato de calcio) que controla el tiempo de fraguado. Los compuestos principales del clinker son: silicato tricálcico (C_3S) y silicato dicálcico (C_2S); estos aportan resistencia mecánica al formar hidratos de silicato de calcio; adicionalmente el cemento puede contener aluminato tricálcico (C_3A) y ferroaluminato tetracálcico (C_4AF), entre otros. Cuando el cemento se mezcla con agua, cada uno de estos compuestos reacciona a diferente velocidad liberando productos hidratados y calor. Por ejemplo, el C_3S hidrata rápidamente dando la mayor contribución a la resistencia a edades tempranas, mientras que el C_2S reacciona más lentamente contribuyendo a la resistencia a largo plazo; el C_3A reacciona muy rápidamente, pero es controlado por el yeso para evitar un fraguado instantáneo. El resultado de la hidratación es la formación de un gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H) que es el principal responsable de la resistencia del cemento, además de hidróxido de calcio (portlandita) y otros productos menores (Neville, 2013).

2.2.4. Agua.

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto. Al respecto, se ha demostrado que las impurezas excesivas en el agua no sólo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad. El agua que contiene menos de 2,000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto (Hidalgo y Loayza, 2019).

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio contenidos en el agua tienen diferentes efectos en los tiempos de fraguado de cementos distintos; es por ejemplo que el carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes la presencia de estas sales en el agua puede reducir de manera significativa la resistencia del concreto. De otro lado, los cloruros en el agua de mezclado, pueden atacar al refuerzo en caso el concreto elaborado entre en contacto con acero (Riva, 2022).

2.2.5. Aditivos

Los aditivos son sunstancias que se icorporan al concreto para modificar sus propiedades en estado fresco o endurecido, clasificándose en aditivos químicos y minerales. Los aditivos químicos incluyen plastificantes, superplastificantes, incorporadores de aire y controladores de fragua, los cuales están regulados por normas como ASTM C-260, C-1017 y C-494. Los plastificantes mejoran la trabajabilidad y permiten reducir el contenido de agua sin disminuir la resistencia, mientras que los superplastificantes logran mezclas más fluidas o de alta resistencia al reducir hasta un 25% del agua total. Los incorporadores de aire introducen burbujas finas que

incrementan la resistencia al congelamiento y descongelamiento, además de facilitar el manejo del concreto. Los controladores de fragua pueden acelerar o retardar el proceso de fraguado, adaptándose a las condiciones climáticas o al tipo de estructura. Por su parte, los aditivos minerales como la ceniza volante, microsílice y escoria reaccionan con productos de hidratación del cemento, generando compuestos que mejoran la resistencia, durabilidad y comportamiento frente a ataques químicos. Además, reducen el calor de hidratación y el riesgo de agrietamiento. Estos materiales permiten optimizar la calidad del concreto y son ampliamente utilizados en aplicaciones estructurales exigentes (Harmsen, 2017).

2.2.6. Adiciones

Hoy en día, la mayoría de las mezclas de concreto contienen adiciones al cemento que constituyen una porción del material cementante en el concreto. Estos materiales son generalmente subproductos de otros procesos o materiales de origen natural; los cuales pueden ser o no procesados antes de ser utilizados en los concretos. Algunos de estos materiales se denomina puzolanas, los cuales por sí mismos no tienen propiedades cementicias, pero cuando se utilizan con el cemento portland, reaccionan para formar componentes cementantes. Otros materiales, como las escorias sí exhiben propiedades cementantes (NRMCA, 2019).

Entre las principales adiciones se encuentran a las cenizas volantes, las cuales son un subproducto de los hornos que emplean carbón mineral como combustible para la generación de energía y constituyen en sí las partículas no combustibles removidas de las chimeneas de gases. De otro lado tenemos a las Escorias molidas de alto horno, que son sub-productos no metálicos producidos en un alto horno cuando el mineral de hierro es reducido a hierro dulce. La escoria líquida es enfriada rápidamente para formar gránulos, que son molidos hasta una finura similar a la del cemento portland (NRMCA, 2019).

Así mismo, encontramos al humo de sílice, que es un material puzolánico de alta reactividad y es un subproducto de la producción de metal silíceo o ferro silíceo. Se recolecta de la chimenea de gases de los hornos de arco eléctrico. El humo de sílice es un polvo extremadamente fino, con partículas alrededor de 100 veces más pequeñas que un grano promedio de cemento. También, podemos mencionar a las arcillas o esquistos calcinados, los cuales son utilizados a mayores porcentajes en peso. Finalmente encontramos a las adiciones naturales, los cuales poseen, o pueden ser procesados para poseer propiedades puzolánicas, entre ellas encontramos a los cristales volcánicos, ceniza de cáscara de arroz y tierra de diatomeas (NRMCA, 2019).

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Agregado:** Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP 400.011. Se les llama también áridos (Indecopi, 2020a, 2020b).

- **Agua de mezcla:** Masa de agua necesaria para la hidratación del cemento y la trabajabilidad del concreto (Indecopi, 2024b).

- **Cemento Portland:** Un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker de Portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda (Indecopi, 2024a).

- **Curado:** Proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales (especialmente temperatura y humedad) durante el fraguado y/o endurecimiento del cemento, mortero o concreto (Indecopi, 2021b).

- **Densidad de masa del concreto:** Masa de una unidad de volumen de la masa del concreto en estado fresco, expresado en kg/m^3 (Indecopi, 2019).

- **Gravedad específica:** Es la relación de la densidad de un material a la densidad del agua destilada a una temperatura indicada (Indecopi, 2020e, 2024c).

- **Dosificación:** Proceso de medición, por peso o por volumen, de los ingredientes y su introducción en la mezcladora para una cantidad de concreto, mortero, grout o revoque (Indecopi, 2023).

- **Fraguado:** Condición alcanzada por una pasta, mortero u con0creto de cemento cuando ha perdido plasticidad a un grado convencional, generalmente medido en términos de resistencia a la penetración; fraguado inicial se refiere a la primera rigidez; fraguado final se refiere a la adquisición de una rigidez significativa (Indecopi, 2023).

- **Humedad:** Contenido de agua en los poros de los agregados expresada en función a su peso (Indecopi, 2021c).

- **Módulo de finura (MF):** Factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100 (Indecopi, 2020-400.011, 2021-400.012).

- **Relación agua-cemento (a/c):** Relación entre la masa de agua y la masa de cemento en el concreto (Indecopi, 2009, 2023).

- **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga máxima registrada durante el ensayo de compresión uniaxial entre el área de su sección transversal (Indecopi, 2021a).

- **Trabajabilidad:** Es la propiedad del concreto, mortero, grout o revoque frescos, que determina sus características de trabajo, es decir, la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado (Indecopi, 2023)

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1.Hipótesis

La resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm^2 varía en más del 5% al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

3.2.Variables de estudio

3.2.1. Variable independiente

Porcentajes de reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

3.2.2. Variable dependiente

Resistencia a la compresión del concreto (f'c = 210 kg/cm²).

3.3.Operacionalización de los componentes de la Hipótesis

Tabla 1

Operacionalización de componentes de la hipótesis

Hipótesis	Definición Conceptual	Definición Operacional			
		Variables	**Dimensiones**	**Indicadores**	**Fuentes de recolección de datos**
La resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² varía en más del 5% al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.	**Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar:** Material obtenido a partir de la quema de bagazo de caña.	**Independiente:** Porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.	Porcentaje	Cantidad de cemento reemplazado por ceniza de bagazo de caña de azúcar: 0% de reemplazo (Concreto patrón) 2,5% de reemplazo 5% de reemplazo 7,5% de reemplazo 10% de reemplazo 15% de reemplazo 20% de reemplazo	Pesos de ceniza de bagazo de caña de azúcar.
	Resistencia a compresión del Concreto: Ensayo de resistencia a la compresión que se realiza colocando una muestra cilíndrica en una prensa al que se le aplica una fuerza hasta la rotura de la muestra o testigo.	**Dependiente:** Resistencia a la compresión del concreto.	Kg/cm^2	Variación de la resistencia del concreto.	Pruebas a compresión de especímenes de concreto.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

A.1. Ubicación Geográfica

La investigación fue realizada en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca entre los meses de enero y diciembre del 2024, los ensayos se realizaron en el Laboratorio Guersan Ingenieros S.R.L., ubicado en pasaje Diego Ferre N° 295 - Barrio San Martín, entre los meses de agosto a noviembre de 2024.

Figura 1

Fotografía satelital del país en el que se ubicó el estudio

Figura 2

Fotografía satelital del departamento en el que se ubicó el estudio

Figura 3

Fotografía satelital de la provincia en la que se ubicó el estudio

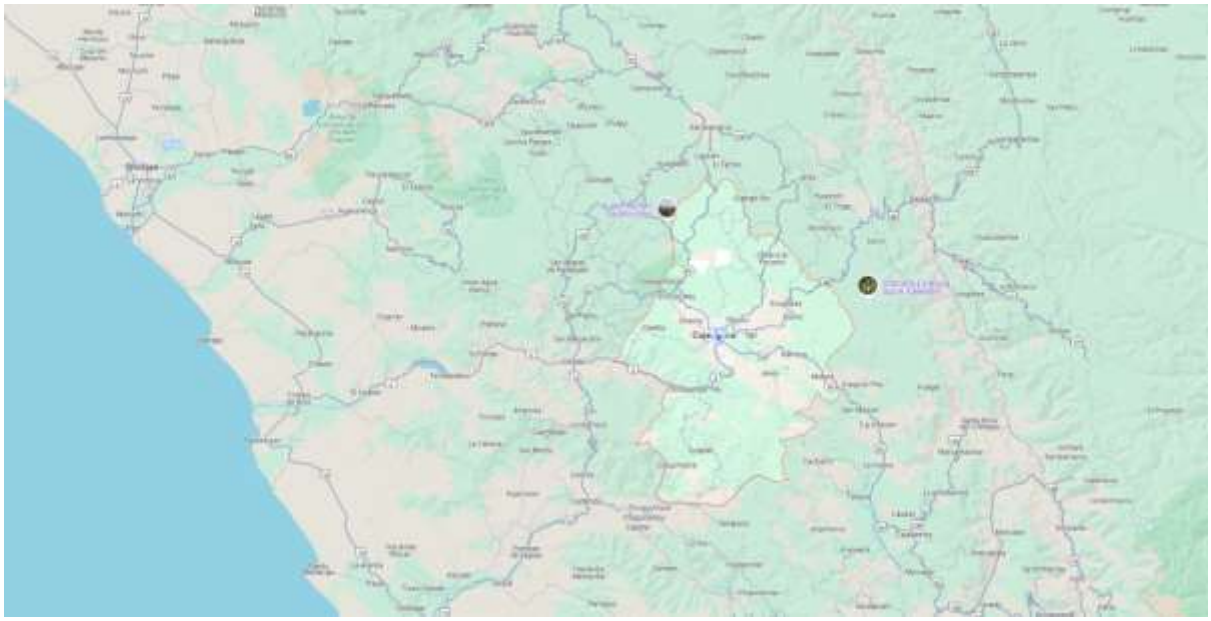


Figura 4

Fotografía satelital del distrito en el que se ubicó el estudio

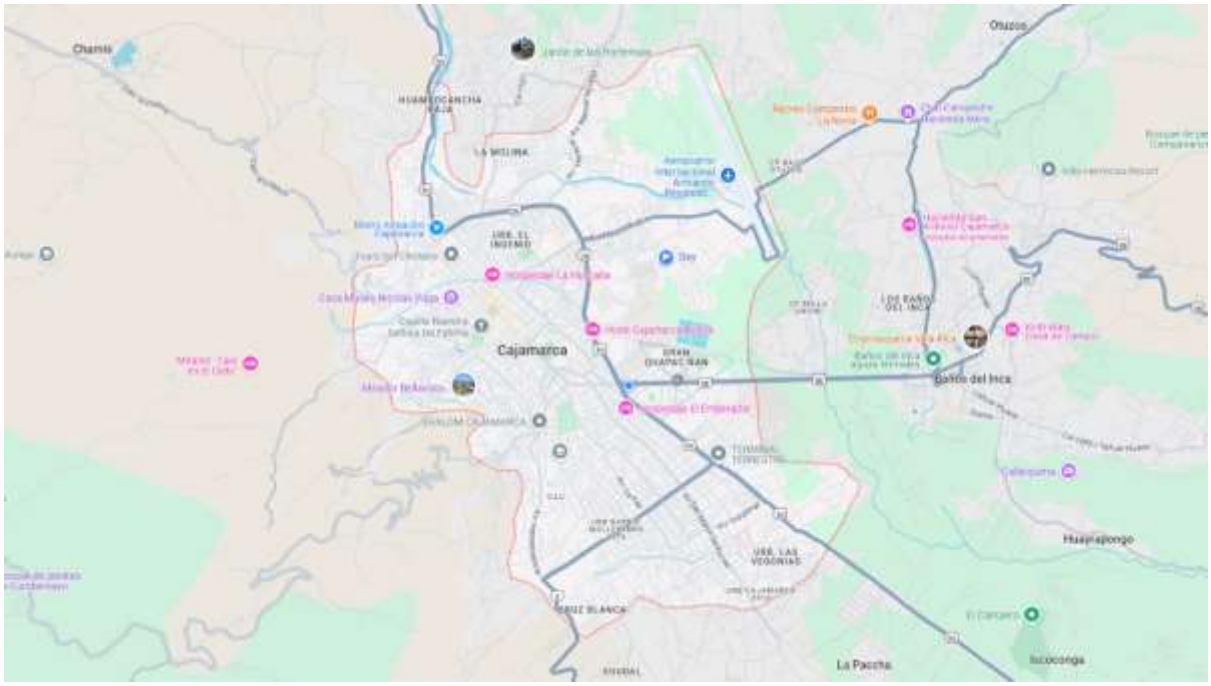
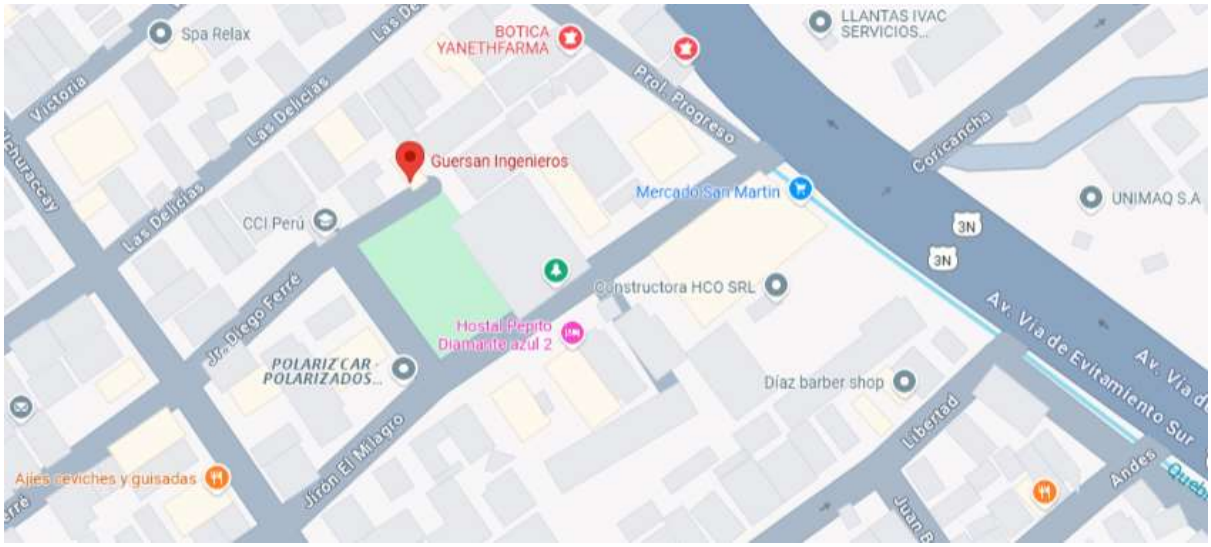


Figura 5

Fotografía satelital de la ubicación del estudio



A.2. Diseño de la Investigación

A.2.1. Diseño

Por la naturaleza de las variables fue una investigación de **diseño experimental**, con un solo factor de control modificable (unifactorial), el cual será el reemplazo porcentual de agregado fino por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

A.2.2. Tipo

La presente investigación es del **tipo aplicada**, ya que se enfoca en resolver problemas específicos y concretos mediante la utilización de conocimientos teóricos para mejorar situaciones reales, ya que se centró en verificar el problema de la variación de la resistencia a compresión del concreto al reemplazar el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

A.2.3. Nivel:

La investigación es de **nivel correlacional**, ya que se centró en examinar la relación entre dos variables, una independiente (para el caso en particular el porcentaje de reemplazo

de ceniza de bagazo de caña de azúcar) y otra dependiente (la resistencia a la compresión del concreto), ello a fin de determinar si existe una asociación significativa entre ellas. En este estudio se observó y analizó cómo se interrelacionan las variables en el contexto investigado, identificando patrones y posibles vínculos.

A.3. Métodos de Investigación

A.3.1. Ensayos de los agregados

A.3.1.1. Ensayo granulométrico

Según lo establecido en la norma técnica peruana NTP 400.012 (2021d) El procedimiento se desarrolló con el secado de la muestra a peso constante a una temperatura de 110 °C ± 5 °C. Sin embargo, para ensayos de control donde se requieren resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para el análisis granulométrico, a menos que se cumplan ciertas condiciones, como un tamaño máximo nominal menor a 12,5 mm, presencia de material fino por debajo de 4,75 mm o un agregado grueso altamente absorbente. Las muestras también pueden secarse a alta temperatura usando planchas calientes, asegurando que el vapor no cause presiones que fracturen las partículas ni que se produzca ruptura química del agregado.

En el ensayo, se seleccionarán tamices adecuados para cubrir el material a ser probado, usando tamices adicionales si se requiere información adicional, como el módulo de fineza. Los tamices se organizan en orden de abertura decreciente y la muestra se coloca en el tamiz superior. Se agitan manual o mecánicamente para cumplir con los criterios de suficiencia de tamizado.

Para evitar sobrecargar los tamices, se pueden tomar medidas como usar tamices adicionales con aberturas intermedias, dividir la muestra en porciones y tamizar cada una por separado, o utilizar tamices con mayor área de tamizado. El proceso de tamizado debe continuar

hasta que menos del 1% de la masa residual en un tamiz pase a través de él en un minuto de tamizado manual. Para mezclas de agregados finos y gruesos, se deben tomar medidas para evitar la sobrecarga de los tamices.

La masa de cada fracción se determina con una balanza, asegurando las siguientes precisiones:

> Para agregado fino, con aproximación de 0,1 g y exacta a 0,1 g o 0,1% de la masa de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso. Para agregado grueso o agregado global, con aproximación y exacta a 0,5 g o 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso (Indecopi, 2021d).

La masa total después del tamizado se verifica contra la masa original de la muestra seca. Si la diferencia excede el 0,3 %, los resultados no serán aceptados.

A.3.1.2. Ensayo de gravedad específica y absorción

a) Para el agregado grueso

Acorde a lo establecido en la norma técnica peruana NTP 400.021 (Indecopi, 2020e), el procedimiento comienza secando la muestra de ensayo en una estufa hasta alcanzar una masa constante a 110 ºC ± 5 °C. Luego, la muestra se enfría a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas para agregados con un tamaño nominal máximo de 37,5 mm o más para tamaños más grandes, hasta que sea cómodo manipularla (alrededor de 50 °C). Posteriormente, el agregado se sumerge en agua a temperatura ambiente por un período de 24 horas ± 4 horas. En el caso de agregados ligeros del Grupo II, según las especificaciones ASTM C330 o ASTM C332, el remojo se extiende a 72 horas ± 4 horas, agitando durante al menos un minuto cada 24 horas.

Si los valores de absorción y densidad relativa se utilizarán para dosificar mezclas de concreto en las que los agregados estarán en su condición naturalmente húmeda, el secado inicial puede omitirse. También puede omitirse el remojo de 24 o 72 horas si las superficies de las partículas se han mantenido constantemente húmedas.

Después del remojo, se retira la muestra del agua y se hace rodar sobre un paño absorbente para eliminar el agua superficial visible. Las partículas más grandes se limpian individualmente, y se puede utilizar un flujo de aire para facilitar el secado, cuidando de no evaporar el agua de los poros del agregado. La masa de la muestra en estado superficialmente saturado seco se registra con precisión cercana a 0,5 g o 0,05 % de la masa de la muestra.

Luego, la muestra se coloca en un recipiente y se mide su masa aparente en agua a 23 °C ± 2,0 °C, asegurándose de eliminar todo el aire agitando el recipiente mientras está sumergido.

Finalmente, la muestra se seca nuevamente en la estufa a 110 ºC ± 5 °C hasta alcanzar una masa constante, se enfría a temperatura ambiente y se mide la masa para finalizar el procedimiento; el cálculo se efectuará según el siguiente detalle:

- **Gravedad específica en estado seco al horno (Gssh)**:

$$\boldsymbol{Gssh = \frac{A}{(B-C)}} \qquad \textbf{(1)}$$

- **Gravedad específica en estado saturado superficialmente seco (Gssss):**

$$\boldsymbol{Gssss = \frac{B}{(B-C)}} \qquad \textbf{(2)}$$

- **Gravedad específica aparente (Gsa):**

$$\boldsymbol{Gsa = \frac{A}{(A-C)}} \qquad \textbf{(3)}$$

- **Absorción (% Abs.):**

$$\%\,\mathbf{Abs} = \left[\frac{(\mathbf{B}-\mathbf{A})}{\mathbf{A}}\right] \times \mathbf{100} \qquad \textbf{(4)}$$

Dónde:

A = masa de la muestra secada al horno en el aire, g

B = masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca al aire, g, y

C = masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g

b) Para el agregado fino

Según lo establecido en la norma técnica peruana NTP 400.022 (Indecopi, 2024), el procedimiento comienza con la preparación de la muestra, la cual se seca en una estufa a una temperatura constante de 110 °C ± 5 °C. Una vez enfriada a aproximadamente 50 °C, se cubre con agua para obtener al menos un 6 % de humedad y se deja reposar por 24 horas. En el caso de agregados ligeros de Grupo II (según ASTM C330 o ASTM C332), se sumerge en agua durante 72 horas, agitándolos por un minuto cada 24 horas. Si la muestra se utilizará en mezclas de concreto y ha permanecido constantemente húmeda, se puede omitir tanto el secado inicial como el remojo prolongado.

Tras el remojo, se decanta el exceso de agua para evitar la pérdida de finos, y la muestra se seca extendiéndola sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire caliente, agitándola regularmente. Se puede emplear un agitador para facilitar el proceso. La muestra se considera en condición de flujo libre cuando alcanza la condición de saturada superficialmente seca. Si al realizar una prueba para detectar humedad superficial se observa que aún hay agua,

se continúa secando y verificando a intervalos regulares. Si la muestra ya no presenta humedad superficial, pero ha sido sobre secada, se puede añadir una pequeña cantidad de agua y dejar reposar por 30 minutos antes de continuar el secado.

La prueba de humedad superficial implica colocar la muestra en un molde y aplicar golpes con una barra compactadora. Si el agregado fino mantiene su forma, aún contiene humedad; si se desmorona ligeramente, ha alcanzado la condición de superficie seca. En casos especiales donde el agregado no se asienta fácilmente, se utilizan métodos alternativos, como la observación de finos en suspensión al dejar caer el material desde una altura o el uso de toallas de papel para verificar la humedad.

Posteriormente, se llena un picnómetro con agua y se introduce la muestra de agregado fino, asegurando la eliminación de burbujas de aire mediante agitación manual o mecánica. Luego, se ajusta la temperatura a 23 ºC ± 2,0 °C, se mide la masa total y se procede a secar el agregado en el horno para determinar la masa en seco. Finalmente, se calcula la masa del picnómetro lleno de agua a la temperatura especificada para completar el procedimiento.

- **Gravedad específica en estado seco al horno (Gssh):** Gravedad específica en base al agregado secado al horno, de la manera siguiente:

$$\boldsymbol{Gssh = \frac{A}{(B+S-C)}} \qquad \textbf{(5)}$$

- **Gravedad específica en estado saturado superficialmente seco (Gssss):** Calcular la gravedad específica sobre la base del agregado de superficie seca saturada, de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{Gssss = \frac{S}{(B+S-C)}} \qquad \textbf{(6)}$$

- **Gravedad específica aparente (Gsa):** Calcular la gravedad específica aparente de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{Gsa = \frac{A}{(B+A-C)}} \qquad \textbf{(7)}$$

- **Absorción (% Abs.):** Calcular el porcentaje de absorción, de la siguiente manera:

$$\%\,\mathbf{Abs.} = \left[\frac{(\mathbf{S-A})}{\mathbf{A}}\right] \times \mathbf{100} \qquad \textbf{(8)}$$

Dónde:

A = masa de la muestra secada al horno, g

B = masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g, y

C = masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g

S = masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

A.3.1.3. Ensayo de densidad de masa y vacíos

Acorde a lo establecido en la norma técnica peruana NTP 400.017 (Indecopi, 2020c), el procedimiento comienza seleccionando una muestra de ensayo de agregado con un tamaño de aproximadamente 125 % a 200 % del volumen del recipiente, evitando la segregación y secándola hasta masa constante, preferiblemente a 110 ºC ± 5 ºC.

Para la calibración del recipiente, se realiza al menos una vez al año o cuando se cuestione su exactitud. Esto incluye pesar el recipiente con una placa de vidrio, llenar con agua y cubrir para eliminar burbujas, y medir su masa y temperatura. Luego, se calcula el volumen o el factor del recipiente basándose en la densidad del agua.

En el procedimiento de apisonado, se llena el recipiente en tercios, apisonando cada capa con 25 golpes distribuidos uniformemente, y nivelando la superficie. Se repite este proceso para la

segunda y tercera capa, usando un esfuerzo moderado para no dañar el fondo o penetrar capas previas. Finalmente, se determina la masa del recipiente lleno y vacío con precisión de 0,05 kg.

En el procedimiento para peso suelto, se llena el recipiente hasta el borde con una pala o cucharón, evitando la segregación de partículas, y nivelando la superficie. Se mide la masa total del recipiente y su contenido, así como del recipiente vacío, también con una precisión de 0,05 kg. A fin de obtener los datos se efectúan los siguientes cálculos:

- **Volumen del recipiente:** Calcular el volumen del recipiente como sigue:

$$\mathbf{V} = \frac{(\mathbf{W}-\mathbf{M})}{\mathbf{D}} \qquad \textbf{(9)}$$

$$\mathbf{F} = \frac{\mathbf{D}}{(\mathbf{W}-\mathbf{M})} \qquad \textbf{(10)}$$

Dónde:

V = Volumen del recipiente, m3

W = Masa del agua, placa de vidrio, y recipiente, kg

M = Masa de la placa de vidrio y recipiente, kg

D = Densidad del agua para la temperatura medida, kg/m3

F = Factor para el recipiente, 1/m3

- **Densidad de masa:** Calcular la densidad de masa por los procedimientos de apisonado, percusión, o peso suelto como sigue:

$$\boldsymbol{M} = \frac{(\boldsymbol{G}-\boldsymbol{T})}{(\boldsymbol{V})} \qquad \textbf{(11)}$$

$$\boldsymbol{M} = (\boldsymbol{G}-\boldsymbol{T}) \times \boldsymbol{F} \qquad \textbf{(12)}$$

- **Contenido de vacíos:** Calcular el contenido de vacíos en el agregado usando la densidad de masa determinada por cualquiera de los procedimientos descritos como sigue:

$$\%\,\boldsymbol{Vacíos} = \frac{\mathbf{100\{(S \times W) - M\}}}{(\mathbf{S} \times \mathbf{W})} \quad \textbf{(13)}$$

Dónde:

M = Densidad de masa del agregado, kg/m³

G = Masa del agregado más el recipiente, kg

T = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m³

F = Factor para el recipiente, 1/m³

S = Gravedad específica de masa (Base seca) de conformidad con el método NTP 400.021 o con el método NTP 400.022

W = Densidad del agua, 998 kg/m³

A.3.2. Ensayos de la ceniza de bagazo de caña de azúcar

A.3.2.1. Ensayo químico de contenido de sílice

Por otro lado, el ensayo químico se enfocó en analizar el contenido de sílice presente en la muestra, especialmente en relación con la ceniza efectuado por un laboratorio de la ciudad de Cajamarca. Este análisis es crucial para determinar la composición química del material, específicamente el contenido de óxidos, y para evaluar su idoneidad en aplicaciones específicas, como la producción de concreto. La presencia de sílice puede afectar significativamente las propiedades de resistencia del producto final, por lo que su cuantificación precisa es una parte esencial de este procedimiento de ensayo.

A.3.3. Ensayos en el concreto

A.3.3.1. Ensayos en estado fresco

a) Asentamiento

Según lo establecido en la NTP 339.035 (Indecopi, 2022), el procedimiento para realizar el ensayo de asentamiento del concreto comienza humedeciendo el molde y colocándolo sobre una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda. El molde se fija firmemente en su lugar, ya sea pisando las aletas o asegurando las abrazaderas a una placa de base, para evitar movimientos durante el llenado. El concreto, previamente preparado según las indicaciones del capítulo correspondiente, se vierte en el molde en tres capas iguales, usando un cucharón para distribuirlo uniformemente y minimizar la segregación.

Cada capa de concreto se compacta aplicando 25 golpes con una barra compactadora distribuidos uniformemente. En la primera capa, se inclina ligeramente la barra, aplicando la mitad de los golpes cerca del perímetro y avanzando en espiral hacia el centro. La segunda y la tercera capa se compactan también a través de todo su espesor, asegurándose de que la barra penetre ligeramente en la capa anterior.

Antes de compactar la última capa, el molde se llena en exceso. Si al compactar falta material, se añade más concreto para mantener un exceso sobre la parte superior del molde. Luego, se nivela la superficie superior del molde y se elimina el concreto sobrante alrededor. El molde se retira inmediatamente levantándolo de manera vertical en un movimiento firme y continuo hasta una altura de 300 mm en un tiempo de 5 segundos ± 2 segundos. Todo el proceso, desde el inicio del llenado hasta la retirada del molde, debe completarse en menos de 2,5 minutos.

Finalmente, se mide el asentamiento del concreto, que es la diferencia entre la altura del molde y la altura del centro de la parte superior del cono deformado. Si se presenta una falla por corte, donde una parte del concreto se separa de la masa principal, el ensayo se descarta y se repite con una nueva muestra. Si la falla por corte ocurre dos veces consecutivas, esto indica que el concreto podría carecer de la plasticidad y cohesión necesarias para realizar correctamente el ensayo de asentamiento.

b) Densidad y rendimiento

Para realizar el ensayo de densidad y rendimiento se sigue el procedimiento establecido en la norma técnica NTP 339.046, el cual establece que en principio se debe consolidar el hormigón (concreto) durante un ensayo, para hacerlo, primero se selecciona el método adecuado según el asentamiento del hormigón. Si el asentamiento es mayor a 75 mm, se empleará el apisonado. Para asentamientos entre 25 mm y 75 mm, puedes optar por apisonado o vibración. Si el asentamiento es menor a 25 mm, se debe usar vibración (Indecopi,2019).

Luego, se deber colocar el hormigón en el recipiente de medición con la cuchara descrita, asegurando una distribución uniforme para minimizar la segregación. Posteriormente, se llena el recipiente en el número de capas indicadas según el método de consolidación que se vaya a usar.

Para consolidación por apisonado, se coloca el hormigón en tres capas, apisonando cada una con un número específico de golpes: 25 golpes para recipientes de hasta 14 litros, 50 golpes para recipientes de 28 litros, o un golpe por cada 15 cm^2 para recipientes más grandes; asegurarse de apisonar bien cada capa y eliminar burbujas grandes con un mazo después de apisonar; se deberá añadir más hormigón si es necesario para evitar el sobrellenado.

En la consolidación por vibración, se llena el recipiente en dos capas y se aplica vibración a cada capa. Se debe insertar el vibrador en tres puntos diferentes de cada capa, evitando que toque el fondo del recipiente durante la vibración de la primera capa. En la última capa el vibrador penetrará en la capa subyacente, debiéndose asegurar de que no se formen bolsas de aire. La duración de la vibración dependerá de la trabajabilidad del hormigón y la eficacia del vibrador.

Después de consolidar, se alisa la superficie superior del hormigón con una placa plana para nivelar y obtener un acabado suave. Finalmente, se limpia el exceso de hormigón de las paredes del recipiente y se pesa el hormigón en una balanza con precisión de 45 g o dentro del 0,3% de la carga de ensayo, cualquiera lo que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso[1]; la densidad y el rendimiento se calcularán según las siguientes fórmulas.

- **Densidad:**

$$\mathbf{D} = \frac{(\mathbf{M_c} - \mathbf{M_m})}{\mathbf{V_m}} \qquad \textbf{(14)}$$

- **Rendimiento:**

$$\mathbf{Y}(\mathbf{m^3}) = \frac{\mathbf{M}}{\mathbf{D}} \qquad \textbf{(15)}$$

Dónde:

M_c: Masa del recipiente de medida lleno de hormigón (concreto), en kg.

M_m: Masa del recipiente de medida, en kg

Y: Rendimiento, volumen de hormigón (concreto) producido por tanda, en m^3.

[1] **Rango de uso:** Se considera que el rango de uso se extiende desde la masa del recipiente de medida vacío a la masa del recipiente de medida más sus contenidos a 2 600 kg/m^3.

A.3.3.2. Ensayos en estado endurecido

a) Resistencia a la compresión

Según lo establecido en la norma técnica peruana NTP 339.034, el procedimiento para los ensayos de compresión de especímenes curados en húmedo comienza retirando los cilindros del almacenamiento húmedo y protegiéndolos de la pérdida de humedad hasta que se realice el ensayo (Indecopi, 2021).

Los cilindros se prueban en su condición húmeda y deben ser fracturados dentro de los tiempos de tolerancia permitidos, lo que se muestran en las siguiente tabla:

Tabla 2

Edades de ensayo y tolerancias permisibles

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	± 0,5 h ó 2,1 %
3 d	± 2 h ó 2,8 %
7 d	± 6 h ó 3,6 %
28 d	± 20 h ó 3,0 %
90 d	± 48 h ó 2,2%

Antes de la prueba, se coloca el espécimen sobre el bloque inferior de rotura en la máquina de ensayo, asegurando que esté alineado correctamente y que no haya burbujas o residuos en las superficies de contacto. Se verifica que el indicador de carga esté en cero y se ajusta, si es necesario, para asegurar la correcta alineación del espécimen.

Durante la prueba, la carga se aplica de manera continua y sin impactos, a una velocidad de esfuerzo de 0,25 ± 0,05 megapascales/segundo. Se permite una velocidad de carga más alta durante la primera mitad de la fase de carga, siempre que no se produzcan cargas de choque. La carga se continúa aplicando hasta que el indicador muestra una disminución constante de la carga y el espécimen presenta un patrón de fractura definido. Se registra la carga máxima alcanzada y el tipo de patrón de fractura observado, de acuerdo con las especificaciones. En

caso de patrones de fractura no típicos o si la resistencia medida es menor a lo esperado, se examinan las fracturas en busca de signos de segregación, grandes vacíos de aire, o problemas con el agregado grueso y el refrentado, según las normas correspondientes. Para el cálculo de la resistencia del espécimen, se utiliza la siguiente fórmula:

- **Resistencia (f´c):**

$$\mathbf{f'c = \frac{P}{A}} \qquad \textbf{(16)}$$

Dónde:

f´c = Resistencia a la compresión del concreto, Kg/cm²

P = carga aplicada al espécimen de concreto, Kg

A = área promedio del espécimen de concreto, cm^2

A.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación

A.4.1. Población

La población de estudio será el conjunto de especímenes de concreto cilíndricos.

A.4.2. Muestra

Para la determinación de la muestra se empleó un análisis estadístico para poblaciones infinitas, se utilizó un nivel de confianza del 90% (Z=1,645) y un error del 10% (e=0,10); considerando además que no se tiene conocimiento de la variabilidad del parámetro que se desea estudiar (p=q=0,50), obteniéndose la siguiente muestra mínima:

$$\boldsymbol{n = \frac{Z^2pq}{e^2}} \qquad \textbf{(17)}$$

$$n = \frac{1{,}645^2(0{,}50)(0{,}50)}{0{,}10^2} = 67{,}65 \cong 68$$

No obstante, se elaboraron un total de 210 especímenes, ello en función a los porcentajes seleccionados, dado que fueron producidos 30 especímenes por cada una de los porcentajes de reemplazo propuestos, ello teniendo en consideración el ACI 214RS-11 - Guía para la evaluación de resultados de resistencia del concreto del ACI, guía que recomienda dicha cantidad de especímenes a fin de obtener resultados significativos (ACI, 2011); siendo que los especímenes se distribuyeron según lo detallado a continuación:

- 30 sin reemplazo de cemente por ceniza de bagazo de caña de azúcar (0%) – concreto patrón.
- 30 reemplazando el 2,50% del peso del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.
- 30 reemplazando el 5,00% del peso del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.
- 30 reemplazando el 7,50% del peso del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.
- 30 reemplazando el 10,00% del peso del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.
- 30 reemplazando el 15,00% del peso del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.
- 30 reemplazando el 20,00% del peso del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Así mismo la muestra fue analizada en tres periodos de tiempo a 7, 14 y 28 días, obteniéndose la siguiente distribución.

Tabla 3

Distribución de especímenes

Edad de ensayo	Porcentaje de adición	Cantidad de Especímenes
7 días	0,00%	10
	2,50%	10
	5,00%	10
	7,50%	10
	10,00%	10
	15,00%	10
	20,00%	10
14 días	0,00%	10
	2,50%	10
	5,00%	10
	7,50%	10
	10,00%	10

Edad de ensayo	Porcentaje de adición	Cantidad de Especímenes
	15,00%	10
	20,00%	10
28 días	0,00%	10
	2,50%	10
	5,00%	10
	7,50%	10
	10,00%	10
	15,00%	10
	20,00%	10
	Total	210

A.4.3. Unidad de análisis

Durante la presente investigación, la unidad de análisis fue el espécimen de concreto con un diámetro de 4 pulgadas y una altura de 8 pulgadas en promedio con diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

A.4.4. Unidad de observación

En la investigación, la unidad de observación fue la resistencia a la compresión del espécimen de concreto con un diámetro de 4 pulgadas y una altura de 8 pulgadas en promedio con diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

A.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

La obtención de datos es una sucesión de actividades orientadas a la recolección de información, la cual se convierte en esencial para el estudio que se requiere plantear. Existen diversas técnicas disponibles para recolectar datos, es así que tenemos por ejemplo a las entrevistas, las encuestas, asimismo podemos mencionar a las observaciones directas y a los experimentos; además, existen otras técnicas como el análisis de registro y documentación preexistente, por lo que es función del investigador selección la mejor técnica que se condiga con sus necesidades y que se adapte mejor a su proyecto según el alcance y los objetivos de su investigación (Hadi et al., 2023).

Para el desarrollo de esta investigación se usaron como técnicas el fichaje, utilizando para ello el instrumento denominado ficha de análisis, según el detalle de la siguiente tabla:

Tabla 4

Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Objetivo específico	Fuente	Técnica	Instrumento	Muestra
Cuantificar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto reemplazando el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes del 2,5%, 5%, 7,50%, 10%, 15% y 20% en reemplazo del peso del cemento a edades de 7, 14 y 28 días.	Primaria	Experimento	Ficha técnica de ensayo	Especímenes de concreto
Comparar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto con reemplazo de ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes del 2,5%, 5%, 7,50%, 10%, 15% y 20% del peso del cemento, con la resistencia a compresión del concreto patrón a edades de 7, 14 y 28 días.	Primaria	Observación cuantitativa	Tabla de resultados	Resultados de ensayos
Identificar el porcentaje óptimo de reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar que mantenga o mejore la resistencia del concreto f'c = 210 kg/cm² sin comprometer su resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días.	Primaria	Análisis comparativo	Tabla de resultados	Resultados de ensayos
Analizar estadísticamente los resultados obtenidos para verificar si la variación de la resistencia a la compresión del concreto a edades de 7, 14 y 28 días supera el 5% de la resistencia obtenida con el concreto patrón.	Primaria	Análisis estadístico	Cuadro de resultados	Resultados de ensayos

A.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de información

La información cuantitativa obtenida de las variables de estudio en las diferentes dosificaciones de concreto fue sometida a un riguroso procesamiento utilizando métodos estadísticos. Inicialmente, se calcularon los promedios para establecer valores centrales que permitan una comprensión general del comportamiento de cada dosificación. Posteriormente, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de los distintos grupos de dosificación, lo que facilitó la identificación de las mezclas que presentan mejor resistencia a la compresión.

Además de los métodos mencionados, se implementaron pruebas de hipótesis con el fin de validar las suposiciones iniciales del estudio y establecer la confianza en los resultados obtenidos. Estas pruebas permitieron contrastar si las diferencias observadas en las resistencias a la compresión son estadísticamente significativas, contribuyendo así a la robustez de las conclusiones. La correcta aplicación de estas técnicas garantiza que los hallazgos sean fiables y que las recomendaciones para optimizar las dosificaciones de concreto estén fundamentadas en evidencia sólida.

Para llevar a cabo este procesamiento y análisis de información de manera eficiente y precisa, se utilizó programas computarizados especializados como Microsoft Excel 2019, InfoStat y Minitab. Microsoft Excel facilitó la organización de los datos y la realización de cálculos básicos, mientras que Minitab proporcionó herramientas más avanzadas para el análisis estadístico, incluyendo la ejecución de ANOVA y pruebas de hipótesis. Además, estas herramientas permitieron la generación de gráficas representativas en las que se visualizan claramente las tendencias y diferencias entre las distintas dosificaciones de concreto, facilitando así la interpretación de los resultados y la toma de decisiones informadas.

A fin de realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos se efectuó la siguiente metodología:

A.6.1. Para el análisis de datos

1. **Prueba de normalidad:** Se efectuó mediante el test de Shapiro-Wilks (modificado), el cual plantea como hipótesis nula (H_0) que una muestra proviene de una distribución normal y como hipótesis alternativa (H_1) que la muestra no proviene de una distribución normal; para ello se utilizó un nivel de significancia $\alpha = 0,05$; en caso de que valor de probabilidad (p) sea mayor al nivel de significancia elegido (0,05); se admite la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa (Dietrichson, 2019).

2. **Prueba de varianzas iguales:** Se efectuó mediante intervalos de confianza de Bonferroni de 95%, el cual es un método para calcular intervalos de confianza que controlan la probabilidad de obtener resultados falsos positivos cuando se realizan múltiples comparaciones entre desviaciones estándar. Esto significa que, si se construyen múltiples intervalos de confianza de Bonferroni para diferentes grupos, se puede tener un 95% de confianza de que todos los intervalos contienen las verdaderas desviaciones estándar de la población, en lugar de simplemente cada intervalo de forma individual (Dietrichson, 2019).

   Mediante esta prueba se plantea como hipótesis nula (H_0) que todas las varianzas son iguales y como hipótesis alternativa (H_1) que por lo menos una varianza es diferente; para ello se utilizó un nivel de significancia $\alpha = 0,05$; en caso de que valor de probabilidad (p) sea mayor al nivel de significancia elegido (0,05); se admite la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

3. **Normalización de muestra:** Para el caso de las muestras que no poseían una distribución normal o sus varianzas no eran iguales, y en consecuencia no se

ajustaban a una distribución normal, se empleó la transformación de Box-Cox, la cual es una técnica estadística utilizada para transformar una variable no normal en una distribución más cercana a la normal, permitiendo así aplicar modelos estadísticos que asumen normalidad en los datos. Esta transformación se utiliza principalmente cuando los datos presentan asimetría o heterocedasticidad (varianza variable) (Minitab, 2025).

Para emplear la transformación, con ayuda del parámetro λ, el cual es un parámetro que define una familia de transformaciones de potencia; en función del valor de λ, la transformación de Box-Cox incluye los siguientes casos especiales:

$$\left.\begin{array}{ll} \lambda = -1.0, & x_i(\lambda) = \frac{1}{x_i} \\ \lambda = -0.5, & x_i(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{x_i}} \\ \lambda = 0.0, & x_i(\lambda) = \ln(x_i) \\ \lambda = 0.5, & x_i(\lambda) = \sqrt{x_i} \\ \lambda = 2.0, & x_i(\lambda) = {x_i}^2 \end{array}\right\} \mathbf{(18)}$$

Dónde: x_i corresponde a cada uno de los datos obtenidos (valores de resistencia del concreto) y $x_i(\lambda)$ es el resultado de transformar cada uno de los datos obtenidos.

4. **Análisis de varianzas de un solo factor:** Finalmente, para determinar la existencia de variación en la resistencia respecto del concreto patrón, se efectuó un análisis de varianzas (ANOVA) de un solo factor, planteándose como hipótesis nula (H_0) que no hay variación entre los tratamientos o control y como hipótesis alternativa que al menos un tratamiento se distingue de los demás (H_0); para ello se utilizó un nivel de significancia α = 0,05; en caso de que valor de probabilidad (p) sea mayor al nivel de significancia elegido (0,05); se admite la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

Para realizar el ANOVA, se empleó método de Dunnett, el cual se utiliza para crear intervalos de confianza para las diferencias entre la media de cada nivel de factor y la media de un grupo de control. Si un intervalo contiene el cero, no hay diferencia significativa entre las dos medias que están comparándose. Para ello se utilizó un nivel de confianza del 95% y una tasa de error del 5% por familia para todas las comparaciones, obteniéndose los niveles de confianza para cada comparación individual según corresponda (Dietrichson, 2019).

A.6.2. Para la prueba de hipótesis

1. **Prueba de hipótesis t de Student:** En la presente investigación se aplicó el método estadístico t de Student, el cual es apropiado para el análisis de muestras pequeñas, con el objetivo de determinar si la variación en la resistencia a la compresión del concreto, producto del reemplazo parcial de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, superaba un margen del 5% en comparación con el concreto patrón. Para ello, se formuló como hipótesis nula (H_0) que la diferencia de medias entre ambos grupos era igual al 5%, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) planteó que dicha diferencia superaba el 5%. A través de esta prueba, y considerando un nivel de significancia del 5%, se buscó establecer si el uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar generaba una mejora estadísticamente significativa en la resistencia a la compresión del concreto, permitiendo validar o descartar sus efectos beneficiosos (Dietrichson, 2019).

A.7. Personal, materiales, equipos e insumos

A.7.1. Personal

A.7.1.1. Especializado

Ingeniero civil investigador: Es el encargado de liderar el proyecto de investigación, diseñar los experimentos, analizar los datos y redactar la tesis.

Técnico de laboratorio: Fue el encargado de la preparación de las muestras de concreto, realización de ensayos, y manejo de equipos de laboratorio.

Docente asesor: Asumió la tarea de orientar académica y técnicamente al investigador, asegurando que la investigación siga un camino adecuado y cumpla con los estándares de calidad.

A.7.1.2. Obrero:

Peón (01): Ayudó en tareas físicas relacionadas con la preparación de muestras, manejo de materiales y limpieza del área de trabajo.

Operario (01): Asistió en la operación de equipos y maquinaria, especialmente durante la preparación y ensayo de muestras de concreto.

A.7.2. Materiales requeridos

A.7.2.1. Materiales de ferretería y similares

Cemento Pacasmayo Tipo I: Fue el componente principal en la preparación de las mezclas de concreto.

Agregado grueso y fino: Utilizado en la dosificación de las mezclas de concreto, garantizando la consistencia, trabajabilidad y resistencia de este.

Ceniza de bagazo de caña de azúcar: Este material fue empleado como adición en las mezclas de concreto, con el objetivo de evaluar su influencia en su resistencia a la compresión del concreto.

A.7.2.2. Materiales de Escritorio:

Libreta de campo: Para la toma de notas durante los experimentos.

Lapiceros, Reglas y Vernier: Herramientas básicas para la documentación y medición precisa durante el proceso experimental.

A.7.3. Equipos Necesarios

A.7.3.1. Equipos de Laboratorio:

Badilejo y Cucharón: Para la mezcla y manipulación de materiales.

Probetas, Balanzas y Vernie Digital: Herramientas para medir cantidades precisas de materiales y evaluar las características de las muestras.

Horno para secado: Para preparar muestras antes de las pruebas.

Máquina de compresión universal: Para evaluar la resistencia a la compresión del concreto.

A.7.3.2. Equipos de Oficina:

Computadora Portátil e Impresora: Utilizadas para el procesamiento de datos, redacción de informes y elaboración de la tesis.

Cámara fotográfica: Empleada para documentar visualmente el proceso experimental y los resultados.

A.7.4. Materiales requeridos

A.7.4.1. Materiales de ferretería y similares

Cemento Pacasmayo Tipo I: Fue el componente principal en la preparación de las mezclas de concreto.

Agregado grueso y fino: Utilizado en la dosificación de las mezclas de concreto, garantizando la consistencia, trabajabilidad y resistencia de este.

Ceniza de bagazo de caña de azúcar: Este material fue empleado como adición en las mezclas de concreto, con el objetivo de evaluar su influencia en su resistencia a la compresión.

Agua de mezcla: Necesaria para la hidratación del cemento y la trabajabilidad del concreto.

A.7.4.2. Materiales de Escritorio:

Libreta de campo: Para la toma de notas durante los experimentos.

Lapiceros, Reglas y Vernier: Herramientas básicas para la documentación y medición precisa durante el proceso experimental.

A.8. Matriz de consistencia metodológica

Tabla 5

Matriz de consistencia metodológica

VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO f'c = 210 kg/cm2 AL REEMPLAZAR PORCENTUALMENTE EL CEMENTO POR CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN CAJAMARCA EL AÑO 2024

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIBALES	DIMENSIONES	INDICADORES	FUENTE / INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿En cuánto varía la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² al remplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar?	Determinar la variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.	La resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² varía en más del 5% al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.	Independiente: Porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.	Porcentaje	Cantidad de cemento reemplazado por ceniza de bagazo de caña de azúcar: 0,00% de reemplazo (C° patrón) 2,50% de reemplazo 5,00% de reemplazo 7,50% de reemplazo 10,00% de reemplazo 15,00% de reemplazo 20,00% de reemplazo	Primaria / Ficha	Determinar las propiedades de la ceniza, reemplazar los pesos de cemento equivalentes al porcentaje especificado.	**Población:** Especímenes de concreto. **Muestra:** 210 especímenes de concreto bajo la siguiente distribución: 30 con 0,00% de reemplazo 30 con 2,50% de reemplazo 30 con 5,00% de reemplazo 30 con 7,50% de reemplazo 30 con 10,00% de reemplazo 30 con 15,00% de reemplazo 30 con 20,00% de reemplazo Pruebas de 10 especímenes cada 7, 14 y 28 días por cada porcentaje.
			Dependiente: Resistencia a la compresión del concreto.	Kg/cm^2	Variación de la resistencia del concreto.	Primaria / Ficha	Cuantificar la resistencia a compresión de especímenes de concreto sometiéndolos al ensayo a compresión uniaxial.	

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Presentación de resultados

A continuación, se presentan los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión de especímenes de concreto con diversos porcentajes de remplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, ensayados a 7, 14 y 28 días.

Tabla 6

Resistencia a la compresión de especímenes de concreto a los 7 días de curado

Muestra	Porcentaje de Reemplazo y Resistencia (Kg/cm²)						
	0,00%	**2,50%**	**5,00%**	**7,50%**	**10,00%**	**15,00%**	**20,00%**
1	198,51	250,99	220,96	243,40	211,03	192,35	214,64
2	215,61	201,31	213,97	235,01	195,52	248,07	167,88
3	214,34	243,59	223,36	224,19	210,37	208,84	172,12
4	208,83	218,37	233,46	236,17	198,98	191,67	180,66
5	187,42	250,98	223,17	225,43	223,33	206,61	182,83
6	194,40	246,17	211,38	198,06	210,62	228,24	155,02
7	244,18	239,49	223,74	231,94	218,00	221,83	170,28
8	235,03	228,23	256,34	225,38	212,49	221,45	157,64
9	216,88	226,27	221,06	191,67	217,61	214,27	165,20
10	188,78	220,55	223,81	223,29	222,40	196,41	147,70

Tabla 7

Resistencia a la compresión de especímenes de concreto a los 14 días de curado

Muestra	Porcentaje de Reemplazo y Resistencia (Kg/cm²)						
	0,00%	**2,50%**	**5,00%**	**7,50%**	**10,00%**	**15,00%**	**20,00%**
1	268,48	230,80	225,98	283,15	262,35	233,74	189,90
2	304,05	311,48	252,67	298,27	245,78	255,86	173,50
3	284,12	266,19	276,09	311,51	278,54	245,71	168,34
4	251,70	282,85	272,98	257,24	275,01	251,88	187,03
5	253,51	272,95	263,75	279,61	263,93	232,84	185,76
6	256,32	266,38	263,93	295,27	233,12	226,43	160,37
7	293,22	303,06	278,50	258,46	240,44	245,06	189,68
8	285,67	288,92	281,59	287,24	264,80	217,44	196,47
9	242,70	286,43	257,96	259,03	245,46	213,58	182,49
10	297,98	247,64	252,75	254,26	249,69	237,52	191,51

Tabla 8

Resistencia a la compresión de especímenes de concreto a los 28 días de curado

Muestra	Porcentaje de Reemplazo y Resistencia (Kg/cm²)						
	0,00%	**2,50%**	**5,00%**	**7,50%**	**10,00%**	**15,00%**	**20,00%**
1	281,51	320,54	302,10	328,35	272,74	289,34	220,81
2	291,17	319,93	307,18	303,28	299,75	280,83	208,52
3	327,82	323,36	320,08	305,39	291,25	287,82	201,92
4	330,61	318,62	303,30	274,32	308,18	271,40	215,58
5	306,58	312,43	314,49	285,14	277,74	267,83	212,65
6	332,07	334,42	304,54	294,30	287,94	287,96	186,67
7	297,06	323,51	305,18	299,16	305,71	275,32	194,20
8	334,17	353,79	333,16	288,67	300,85	285,89	214,61
9	297,74	321,75	322,50	308,88	303,05	283,32	216,91
10	290,18	311,98	297,56	282,01	289,13	274,45	222,68

5.2. Análisis, Interpretación y discusión de resultados

5.2.1. Análisis estadístico respecto de los especímenes de concreto ensayados a 7 días

Tabla 9

Promedio, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación para especímenes ensayados a 7 días

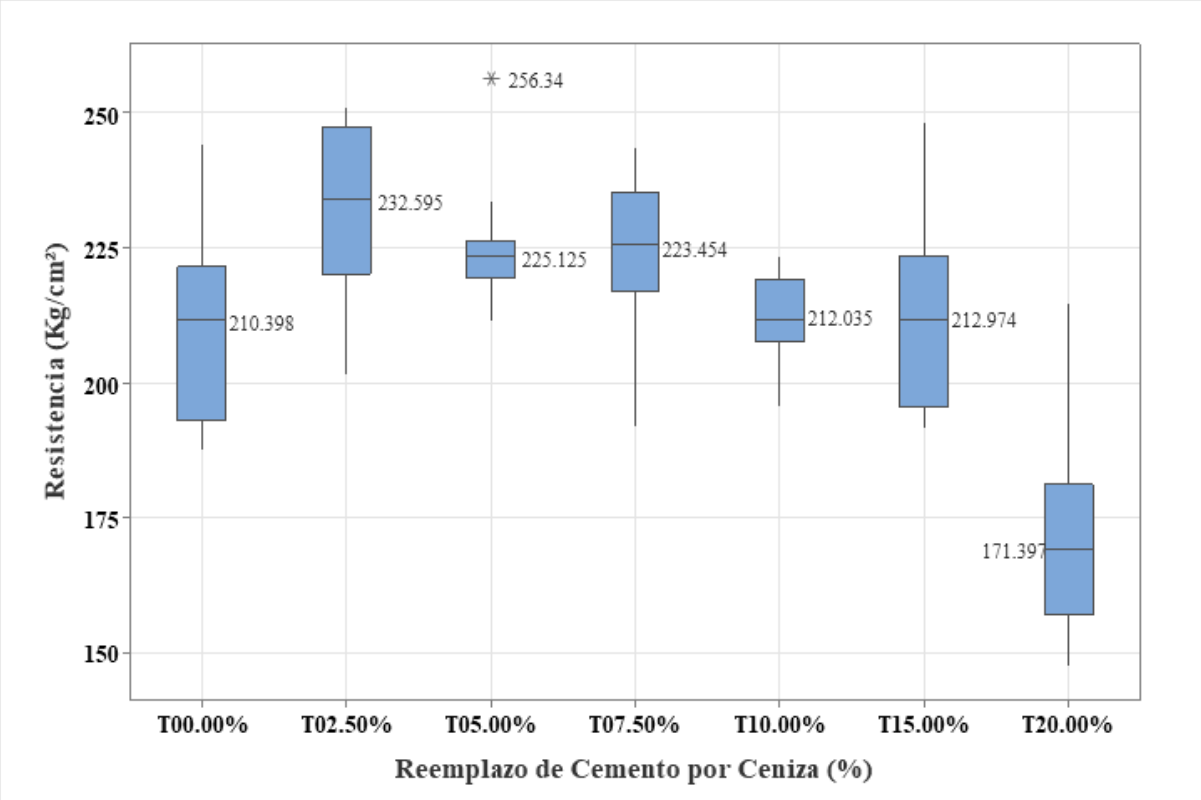
Variable	Porcentaje de Reemplazo	Promedio (Kg/cm²)	Desviación Estándar (Kg/cm²)	Coeficiente de Variación (%)	Relación con el concreto patrón (%)
Resistencia	T00,00%	210,398	18,9377	9,00	100,00%
	T02,50%	232,595	16,3786	7,04	110,55%
	T05,00%	225,125	12,4796	5,54	107,00%
	T07,50%	223,454	16,4261	7,35	106,21%
	T10,00%	212,035	9,13383	4,31	100,78%
	T15,00%	212,974	17,7260	8,32	101,22%
	T20,00%	171,397	18,7321	10,93	81,46%

La Tabla 9 muestra el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de la resistencia de los especímenes ensayados a 7 días de su fabricación, pudiéndose observar que el estadístico coeficiente de variación en los tratamientos con reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar es inferior a 10% lo que implica una variación baja entre los diferentes resultados, indicándonos un control muy bueno; siendo que únicamente en el

tratamiento con reemplazo del 20% se sitúa en 10,93%; lo que se traduce a en un control bueno (ACI, 2011).

Figura 6

Gráfico de caja de resistencia vs porcentaje de reemplazo para 7 días de edad



La Figura 6 muestra la media estadística por cada uno de tratamientos, pudiéndose observar que los tratamientos con reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar al 2,50%, 5,00% y 7,50% son superiores al tratamiento patrón, siendo que los tratamientos con un reemplazo del 10,00% y 15,00% son similares al concreto patrón y únicamente el tratamiento con reemplazo de 20,00% es inferior al concreto patrón.

5.2.2. Análisis estadístico respecto de los especímenes de concreto ensayados a 14 días

Tabla 10

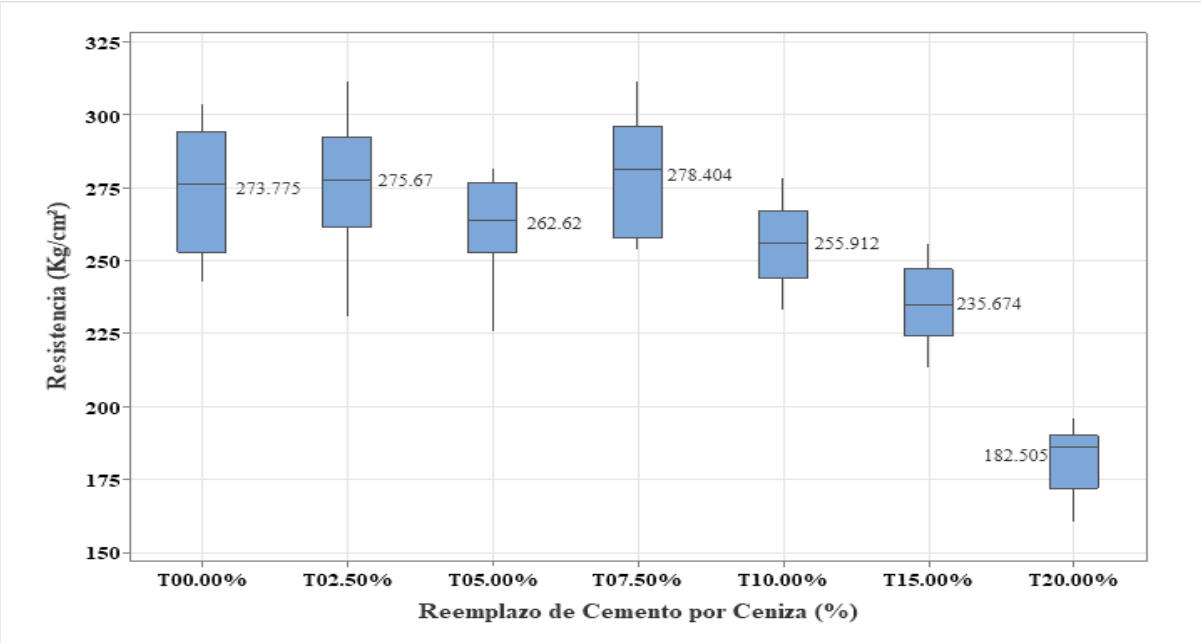
Promedio, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación para especímenes ensayados a 14 días

Variable	Porcentaje de Reemplazo	Promedio (Kg/cm²)	Desviación Estándar (Kg/cm²)	Coeficiente de Variación (%)	Relación con el concreto patrón (%)
Resistencia	T00,00%	273,775	21,9226	8,01	100,00%
	T02,50%	275,670	24,3995	8,85	100,69%
	T05,00%	262,620	16,5477	6,30	95,93%
	T07,50%	278,404	20,2241	7,26	101,69%
	T10,00%	255,912	15,1693	5,93	93,48%
	T15,00%	235,674	14,1580	6,01	86,08%
	T20,00%	182,505	11,4748	6,29	66,66%

La tabla anterior muestra el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de la resistencia de los especímenes ensayados a 14 días de su fabricación, pudiéndose observar que el estadístico coeficiente de variación en los tratamientos con reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar es inferior a 10% lo que implica una variación baja entre los diferentes resultados, indicándonos un control muy bueno (ACI, 2011).

Figura 7

Gráfico de caja de resistencia vs porcentaje de reemplazo para 14 días de edad



La Figura 7 muestra la media estadística por cada uno de tratamientos, pudiéndose observar que los tratamientos con reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en el orden del 2,50% y 7,50% son superiores al tratamiento patrón, siendo que los tratamientos con un reemplazo del 5,00% y 10,00% son similares al concreto patrón y los tratamientos con reemplazo de 15,00% y 20,00% son inferiores al concreto patrón.

5.2.3. Análisis estadístico respecto de los especímenes de concreto ensayados a 28 días

Tabla 11

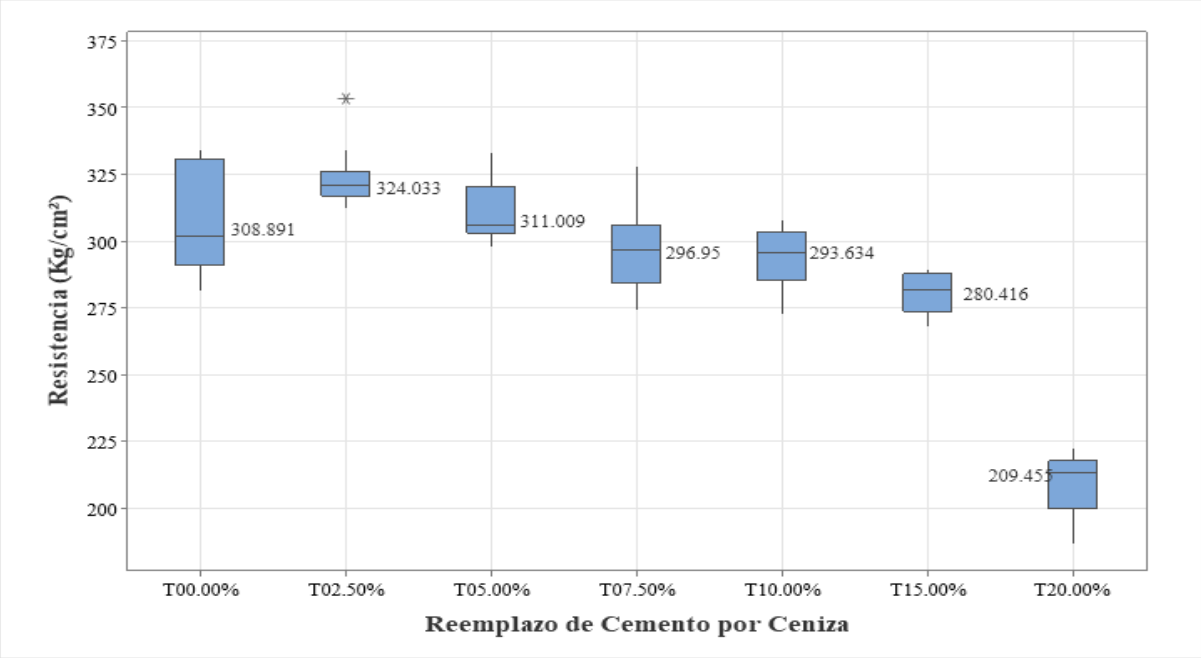
Promedio, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación para especímenes ensayados a 28 días

Variable	Porcentaje de Reemplazo	Promedio (Kg/cm²)	Desviación Estándar (Kg/cm²)	Coeficiente de Variación (%)	Relación con el concreto patrón (%)
Resistencia	T00,00%	308,891	20,2480	6,56	100,00%
	T02,50%	324,033	12,1908	3,76	104,90%
	T05,00%	311,009	11,1916	3,60	100,69%
	T07,50%	296,950	15,6164	5,26	96,13%
	T10,00%	293,634	11,9402	4,07	95,06%
	T15,00%	280,416	7,6826	2,74	90,78%
	T20,00%	209,455	11,7532	5,61	67,81%

La tabla anterior muestra el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de la resistencia de los especímenes ensayados a 28 días de su fabricación, pudiéndose observar que el estadístico coeficiente de variación en los tratamientos con reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar es inferior a 10% lo que implica una variación baja entre los diferentes resultados, indicándonos un control muy bueno (ACI, 2011).

Figura 8

Gráfico de caja de resistencia vs porcentaje de reemplazo para 28 días de edad



La Figura 8 muestra la media estadística por cada uno de tratamientos, pudiéndose advertir que los tratamientos con reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes del 2,50% y 5,00% son superiores al tratamiento patrón, siendo que los tratamientos con un reemplazo del 5,00%, 7,50% y 10,00% son similares al concreto patrón, observándose finalmente que los tratamientos con reemplazo de 15,00% y 20,00% son inferiores al concreto patrón.

5.2.4. Interpretación de resultados

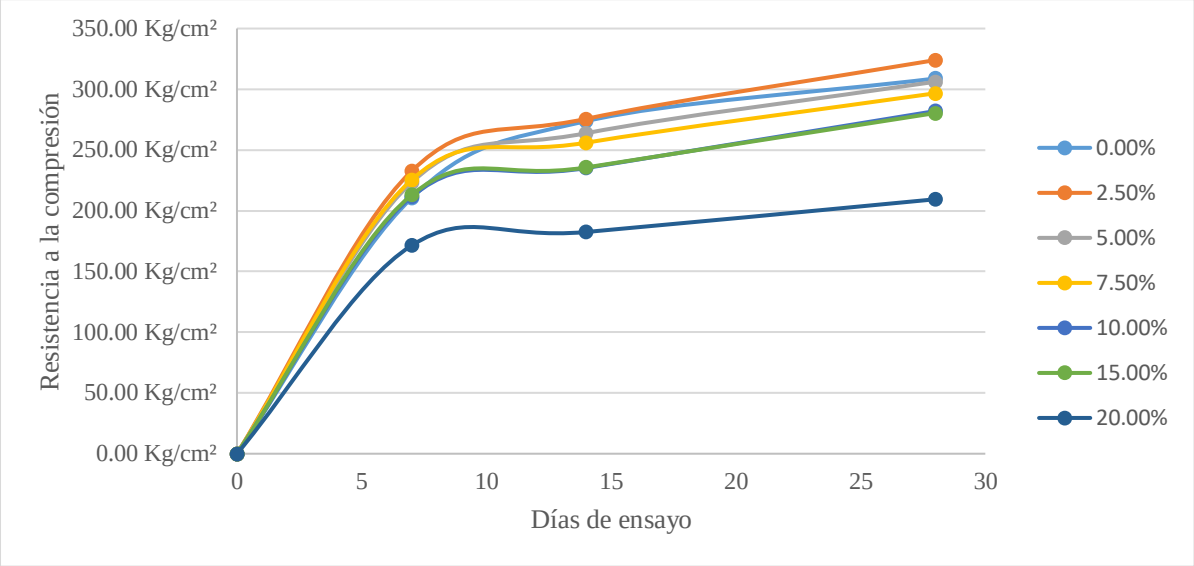
Tabla 12

Promedio y varianza de la resistencia de ensayos efectuados a 7, 14 y 28 días

Porcentaje de Reemplazo	Promedio (Kg/cm²)		
	7 días	14 días	28 días
T00,00%	210,398	273,775	308,891
T02,50%	232,595	275,670	324,033
T05,00%	225,125	262,620	311,009
T07,50%	223,454	278,404	296,950
T10,00%	212,035	255,912	293,634
T15,00%	212,974	235,674	280,416
T20,00%	171,397	182,505	209,455

Figura 9

Promedio de resistencia a la compresión por edad y porcentaje de reemplazo



De la Tabla 12 y la Figura 9 se advierte que la resistencia a la compresión del concreto se incrementa conforme aumenta el número de días de ensayo, pudiéndose advertir además que el reemplazo del 2,50% de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar se comporta mejor que el concreto patrón; siendo que, el reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en el orden del 10%, 15% y 20% disminuyen su resistencia a la compresión.

5.2.5. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos permitieron identificar con claridad el comportamiento mecánico respecto a la compresión del concreto frente al reemplazo porcentual del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar. En primer lugar, se observó que, a los 7 días de curado, los tratamientos con reemplazos del 2,50%, 5,00% y 7,50% superaron al concreto patrón, alcanzando promedios de resistencia que oscilan entre los 223,45 y 232,59 kg/cm², mientras que el patrón se mantuvo en 210 kg/cm²; este comportamiento indica una reacción puzolánica temprana moderada que favorece el desarrollo inicial de resistencia a la compresión. Por el contrario, el reemplazo del 20,00% mostró una caída considerable de resistencia alcanzando

un promedio de 171,39 kg/cm², lo cual evidencia que a niveles elevados de sustitución la matriz cementante pierde cohesión lo que afecta a la resistencia a la compresión del concreto.

A los 14 días, los tratamientos con 2,50% y 7,50% de reemplazo continuaron superando al patrón, alcanzando resistencias promedio de 275,67 y 278,40 kg/cm² respectivamente, frente a los 273,77 kg/cm² del concreto patrón; estos resultados refuerzan la hipótesis de que bajos porcentajes de ceniza generan una contribución efectiva en el desarrollo de la resistencia a la compresión, mientras que sustituciones superiores, como el 15% y 20%, reflejan un descenso progresivo, llegando hasta 182,50 kg/cm² en el último caso, lo que confirma la limitada capacidad puzolánica de la ceniza frente al aumento de proporción en la mezcla.

Finalmente, a los 28 días, etapa crítica en la evaluación del desempeño estructural del concreto, se registraron los valores más representativos. El tratamiento con 2,50% de reemplazo alcanzó una resistencia promedio de 324,03 kg/cm², seguido por el de 5,00% con 311,00 kg/cm², ambos superiores al concreto patrón que obtuvo 308,89 kg/cm², lo cual demuestra que, en estos porcentajes, la ceniza de bagazo actúa como adición puzolánica sin comprometer la calidad del concreto, advirtiéndose, incluso, un incremento del orden del 4,90%. No obstante, los tratamientos con reemplazo del 15% y 20% se ubicaron muy por debajo del patrón, con 280,42 y 209,45 kg/cm² respectivamente, lo que sugiere que, a partir del 10%, la ceniza deja de aportar beneficios y empieza a debilitar la resistencia a la compresión del concreto hasta un orden del 32,19%.

Este comportamiento coincide con investigaciones previas que demuestran que las cenizas agroindustriales pueden mejorar la resistencia del concreto en proporciones bajas debido a su contenido de sílice reactiva. En este contexto, se confirma que el rango óptimo de sustitución se encuentra entre el 2,50% y el 10,00%, ya que permite aprovechar las ventajas de

la ceniza como material cementante suplementario sin comprometer la resistencia a la compresión del concreto, produciendo incluso incrementos del orden del 4,90%.

5.3. Contrastación de hipótesis

De los ensayos efectuados a los 7 días, se determinó que al reemplazar el 20% de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, se obtiene una variación estadística negativa (decremento) en la resistencia a la compresión del concreto superior al 5%; así mismo, en los ensayos de resistencia efectuados a los 14 y 28 días, se pudo advertir que cuando se reemplaza el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en porcentajes del 15% y 20%, la resistencia a la compresión del concreto varía negativamente (sufre un decremento) en más del 5%.

De otro lado, no se evidenció variación estadística (incremento o decremento) superior al 5% en los otros porcentajes de reemplazo, pudiendo afirmar que las medias de los resultados obtenidos son iguales desde el punto de vista estadístico.

CONCLUSIONES

Se determinó que la resistencia a la compresión del concreto con f'c = 210 kg/cm² varía de forma significativa al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar. La tendencia observada indica que, a bajos porcentajes de reemplazo (entre 2,50% y 10,00%), la resistencia a la compresión puede mantenerse o incluso incrementarse levemente, mientras que a porcentajes mayores (15,00% y 20,00%) se evidencia una disminución considerable, confirmando la influencia directa del reemplazo sobre la resistencia a compresión del concreto del concreto.

Se cuantificó la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto modificados con el reemplazo del cemento con ceniza de bagazo de caña de azúcar a las edades de 7, 14 y 28 días, encontrándose que los resultados varían en función del porcentaje de reemplazo. Las mezclas con un reemplazo del 2,50% y 5,00% de ceniza mostraron un desempeño favorable, alcanzando resistencias superiores al concreto patrón de hasta un 4,90%, siendo que porcentajes de reemplazo en el orden del 7,50 y 10,00% lograron resistencias estadísticamente similares al concreto patrón. En cambio, los reemplazos del 15,00% y 20,00% generaron resistencias significativamente menores de hasta 33,34%, especialmente en edades tempranas.

Al comparar los resultados de resistencia a la compresión entre las mezclas modificadas y el concreto patrón, se evidenció que los reemplazos de hasta 10% no afectan negativamente la resistencia a compresión del concreto, llegando a elevarla levemente a los 28 días. Sin embargo, los porcentajes superiores redujeron la resistencia a compresión respecto del concreto patrón, demostrando que la sustitución del cemento por ceniza de bagazo tiene el límite del 10,00% para mantener la resistencia del concreto.

Se identificó que el porcentaje óptimo de reemplazo de ceniza de bagazo de caña de azúcar en lugar del cemento es del 2,50%, lo cual genera un incremento máximo del 4,90% a los 28 días de edad.

El análisis estadístico de los resultados confirmó que la la resistencia a la compresión, respecto al concreto patrón, disminuye en más el 5,00% en reemplazos de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en el orden del 15,00% y 20,00%; siendo que entre valores del 2,50% y 10,00% existen incrementos de la resistencia a compresión que no superan el 5,00%. Esto valida la hipótesis planteada inicialmente, y demuestra que el efecto de la ceniza de bagazo sobre la resistencia del concreto no es despreciable; proporcionando evidencia científica sobre el uso de residuos agroindustriales como alternativa viable para optimizar la calidad del concreto.

RECOMENDACIONES

Continuar con la investigación, abordando la determinación de propiedades resistentes a la flexión y tracción del concreto al reemplazar el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Abordar la ejecución de ensayos de durabilidad, para determinar la implicancia en dicha propiedad del reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Replicar la investigación tomando en cuenta los costos que se podrían asociar a la implementación del uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en la cadena productiva del concreto.

Estandarizar el proceso de preparación de la ceniza de bagazo de caña de azúcar y elaborar una ficha técnica que respalde su uso en el concreto, de modo que sirva como referencia en el diseño de mezclas y garantice un comportamiento mecánico confiable del concreto elaborado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adrin, J. y Bartolo, R. (2021). *Cenizas de bagazo de caña de azúcar como sustitución del cemento Portland en elaboración de concreto hidráulico* [Universidad Nacional del Santa]. Repositorio de la Universidad Nacional del Santa. https://hdl.handle.net/20.500.14278/3633

American Concrete Institute. (2011). *Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto (ACI 214RS-11).* ACI. https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/214RS-11_preview.pdf

Alvarado, J. y Roque, B. (2020). *Uso de polvo de grafito como aditivo en el concreto f´c 210 kg/cm2 a fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto* [Universidad San Martín de Porres]. https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/7017/alvarado_rjd-roque_bba.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Aranda, P. y Miranda, Y. (2023). Resistencia a la compresión del concreto f'c=210 kg/cm2, con adiciones de cenizas de afrecho de cebada y cenizas de bagazo de caña de azúcar, Cajamarca 2023 [Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. https://hdl.handle.net/11537/37172

Arbeláez, O., Delgado K. y Castañeda, J. (2023). Efecto de la incorporación de ceniza de bagazo de caña en las propiedades mecánicas y las emisiones de dióxido de carbono del hormigón preparado con residuos de vidrio. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, *62*(5), 443-451. https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2022.08.001.

Arbeláez, O., Senior-Arrieta V., Rúa A., Carvajal J. y Arley C. (2024). Influencia del polvo de vidrio en el comportamiento ambiental, térmico y mecánico del hormigón que contiene ceniza de cascarilla de arroz. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, *63*(5), 85-95. https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2023.06.004

Asocem. (2023). Reporte Estadístico. Industria del cemento en Perú. Asocem. 2023. https://www.asocem.org.pe/archivo/files/Reporte-Estad%C3%ADstico-Mensual/2023%20-%2012/2312_Reporte-Estadistico-Mensual.pdf

Chávez, C. (2017). *Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico* [Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1048/T016_44477012_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Correa-Zeña, A., Hurtado-Bravo, A. y Muñoz-Pérez, S. (2023). *Revisión sistemática de las propiedades físico-mecánicas del hormigón con incorporación de Ceniza de Madera*. https://www.redalyc.org/journal/2913/291376231013/html/

Defensoría del Pueblo. (2020, 4 de junio). *Urgen acciones inmediatas para evitar daño a la salud por quema de caña de azúcar en La Libertad*. Defensoría del Pueblo - Perú. https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-urgen-acciones-inmediatas-para-evitar-dano-a-la-salud-por-quema-de-cana-de-azucar-en-la-libertad/

Dietrichson A. (2019) *Métodos Cuantitativos.* Bow Street Destillery. https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/

Espinoza V. y Lazaro, O. (2022). *Ceniza de bagazo de caña de azúcar para mejorar las propiedades-mecánicas del concreto estructural* [Universidad Ricardo Palma]. Repositorio de la Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/75de33f4-64e1-4f3a-a2ca-ad7b45d8a44a/content

Exactitude Consultancy. (2023, 26 de abril). *El mercado de aditivos para hormigón crecerá a una tasa compuesta anual del 6.7% hasta 2029*. https://exactitudeconsultancy.com/es/reports/17222/concrete-admixtures-market/

Gallego-Quintana, P.; Ojeda-Farias, O.; Alvarez-Rosario, A.; Alvarez-Sánchez, E.; Landa-Ruiz, L.; Terán-Torres, B.; Mendoza-Rangel, J.; Baltazar-Zamora, M. (2023) Analysis of the Mechanical Properties of a Stabilized Subgrade Type Soil under a Sustainable Approach for Construction *[Análisis de las propiedades mecánicas de un suelo tipo subrasante estabilizado bajo un enfoque sostenible para la construcción]*. Materials, 16(6395). 1-17. https://doi.org/10.3390/ma16196395

Gobierno Regional de Cajamarca (2017). *Informe económico del departamento de Cajamarca para la zonificación ecológica y económica.* Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca

Gutiérrez, R. y Mosqueira, M. (2022). *Resistencia del mortero c:a 1:3 al reemplazar parte del cemento por: Sika tipo I, penca sábila y ceniza de bagazo de caña de azúcar*. Proceedings Of The LACCEI International Multi-conference For Engineering, Education And Technology, 2022. https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.75

Harmsen, T., (2017) *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Hidalgo, A., Loayza, J. (2019) *Tecnología del concreto I.* Arequipa: Universidad Católica de Santa María.

Indecopi. (2024a). *NTP 334.009.2023. CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2021a). *NTP 339.034.2021. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2022). *NTP 339.035.2022. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*. Lima: Indecopi.

Indecopi. (2019). *NTP 339.046.2019 (revisada el 2013). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2023). *NTP 339.047.2023 (revisada el 2019). HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2024b). *NTP 339.088.2024 HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2021b). *NTP 339.183.2021. HORMIGÓN. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2021c). *NTP 339.185.2021. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable del agregado por secado.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2020a). *NTP 400.010.2020 AGREGADOS. Extracción y preparación de muestras.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2020b). *NTP 400.011.2020 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos).* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2021d). *NTP 400.012.2021 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2020c). *NTP 400.017.2020 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso unitario") y los vacíos en los agregados.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2020d). *NTP 400.018.2020 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75µ (N° 200).* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2020e). *NTP 400.021.2020 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2024c). *NTP 400.022.2024 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.* Lima: Indecopi.

Indecopi. (2025). *NTP 400.037.2024 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto).* Lima: Indecopi.

INEI. (2022, 3 marzo). Producción Nacional. *INEI.* https://www.inei.gob.pe/media/principales_indicadores/03-informe-tecnico-produccion-nacional-ene-2022.pdf

Mantallana, R. (2023). *El Concreto Fundamentos y Nuevas Tecnologías*. Bogotá: Corona.

Martinez, E. y Vega, R. (2022). *Cenizas volantes para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural* [Universidad Ricardo Palma]. Repositorio de la Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/02770fef-73d4-412b-9d9d-7f84d2db4197/content

Microfinanzas. (2024, 24 de enero). *Asocem: Despacho nacional de cemento disminuyó 11% en el 2023 por falta de confianza y de inversión*. Microfinanzas. https://microfinanzas.pe/asocem-despacho-nacional-de-cemento-disminuyo-11-en-el-2023-por-falta-de-confianza-y-de-inversion/

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica de Edificación E-060 Concreto Armado.* Lima: MVCS.

Minitab. (2025) *Métodos y fórmulas para Transformación de Box-Cox para Series de Tiempo.* (C) Minitab, LLC. All Rights Reserved. 2025. https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/time-series/how-to/box-cox-transformation/methods-and-formulas/methods-and-formulas/

Mosqueira M. y Cacho R. (2022), Resistencia del mortero C:A 1:3 al reemplazar parte del cemento por: Sika Tipo I, penca sábila y ceniza de bagazo de caña de azúcar. *LACCEI International Multi-Conference for Engineering,Education, and Technology*, 1-7. http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.75

National Geographic. (29 de agosto de 2011). *National Geographic*. Obtenido de National Geographic: https://www.nationalgeographic.es/ciencia/buscando-un-futuro-mas-seguro-para-la-ceniza-desechada-de-las-centrales-electricas-de

National Ready Mixed Concrete Association. (2019). CIP30 - Adiciones al Cemento. *El Concreto en la Práctica, ¿Qué, Por qué y cómo?*, 59-60.

Neville, A. (2013). *Tecnología del Concreto.* México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Packham, J., Shell, S. y Scrivener, K. (2023, 14 noviembre). *Este nuevo material podría reducir un 40% las emisiones de CO2 del cemento de aquí a 2030*. Foro Económico Mundial. https://es.weforum.org/agenda/2023/11/este-nuevo-material-podria-reducir-en-40-las-emisiones-de-co2-del-cemento-de-aqui-a-2030/

Palomino, E. y Torres, J. (2021). *Ceniza de bagazo de caña de azúcar para mejorar las propiedades mecánicas del concreto* [Ricardo Palma]. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4839/T030_73447396_T%20%20%20PALOMINO%20LAZO%20EVELIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Riva, E. (2022). *Materiales para el Concreto.* Lima: Fondo Editorial ICG.

Statista. (2024, 28 de febrero). *Países líderes en producción de cemento a nivel mundial 2023*. https://es.statista.com/estadisticas/600158/paises-lideres-en-produccion-de-cemento-a-nivel-mundial-2022/

Zea, J., Hernández, D., Mandujano, J., & Cabrera, J. (2023). Desempeño de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autocompactantes. *Revista ALCONPAT*, *13*(1), 80-96. https://doi.org/10.21041/ra.v13i1.642

APÉNDICES

Apéndice 1: Prueba de hipótesis para determinar la existencia de variación entre tratamientos con reemplazo de ceniza de bagazo de caña y el tratamiento patrón para especímenes ensayados a 7 días.

A) Prueba de normalidad y varianzas iguales

a) Prueba de normalidad

H0: Los ensayos siguen una distribución normal

H1: Los ensayos no siguen una distribución normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0{,}05$

A continuación, se muestra la prueba de normalidad por el método Shapiro-Wilks (modificado) para especímenes ensayados a 7 días:

Tabla 13

Prueba de normalización Shapiro-Wilks (modificado) para ensayos a 7 días

Porcentaje de Reemplazo	Variable	n	Media (Kg/cm²)	Desviación Estándar (Kg/cm²)	W*	p valor (Unilateral D)
T00,00%	Resistencia	10	210,398	18,9377	0,912	0,4272
T02,50%	Resistencia	10	232,595	16,3786	0,907	0,3980
T05,00%	Resistencia	10	225,125	12,4796	0,809	0,0241
T07,50%	Resistencia	10	223,454	16,4261	0,854	0,1025
T10,00%	Resistencia	10	212,035	9,1338	0,898	0,3222
T15,00%	Resistencia	10	212,974	17,7260	0,930	0,5853
T20,00%	Resistencia	10	171,397	18,7321	0,916	0,4550

Nota: W* se refiere al estadístico de prueba que se calcula para determinar si los datos se desvían de la normalidad.

De la tabla precedente, se puede observar que el p valor de la resistencia determinada con un remplazo de ceniza al 5,00% es menor al 0,05, en consecuencia, no sigue una distribución normal al 5,00%; sin embargo, siendo que todos los resultados arrojan un p valor mayor a 0,01; se puede afirmar que sigue una distribución normal al 1%.

b) Prueba de igualdad de varianzas

H0: Todas las varianzas son iguales

H1: Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Tabla 14

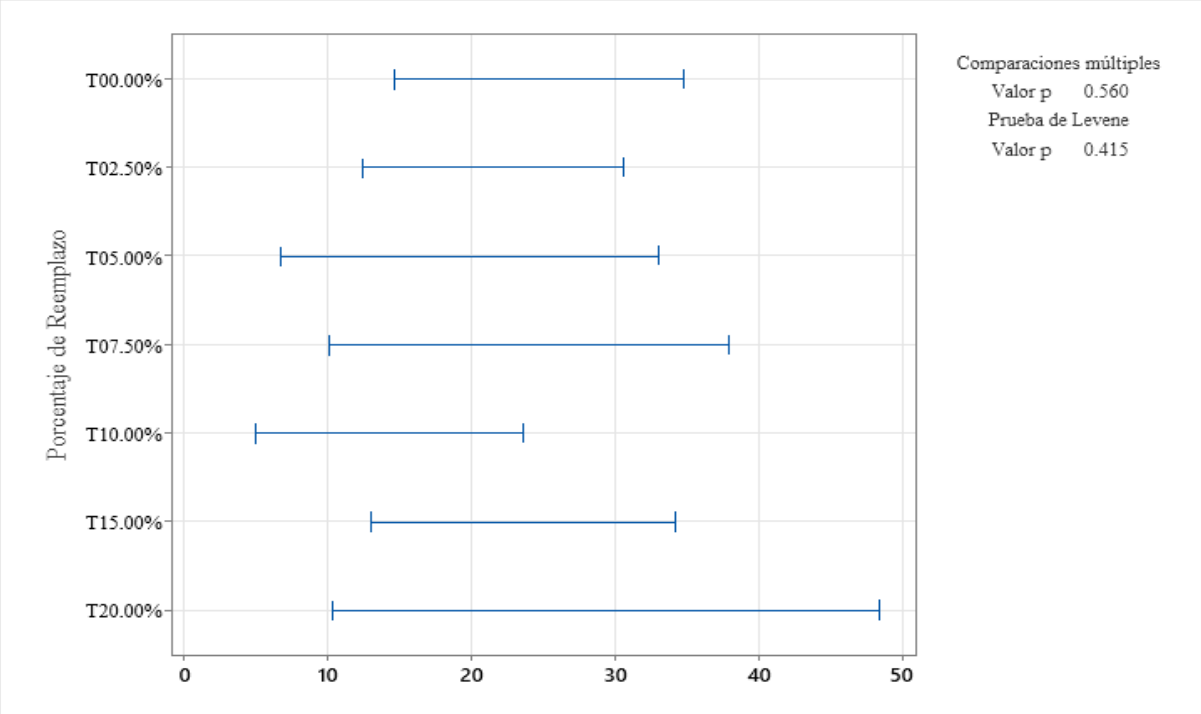
*Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar y ensayos a **7** días*

Porcentaje de Reemplazo	n	Desviación Estándar (Kg/cm²)	Intervalos de Confianza
T00,00%	10	18,9377	(9,75535; 50,29220)
T02,50%	10	16,3786	(8,45740; 43,39180)
T05,00%	10	12,4796	(3,24534; 65,64930)
T07,50%	10	16,4261	(6,09722; 60,53780)
T10,00%	10	9,1338	(4,33983; 26,29800)
T15,00%	10	17,7260	(8,57932; 50,10230)
T20,00%	10	18,7321	(6,44389; 74,49270)

Nota: Nivel de confianza individual = 99,2857%.

Figura 10

Prueba de igualdad de varianzas: Resistencia vs. Porcentaje de Reemplazo



Nota: Si los intervalos no se sobreponen, las desviaciones estándar correspondientes son significativamente diferentes.

Del gráfico anterior, se advierte que todas las gráficas se sobreponen; así mismo, el p valor es igual a 0,56; el cual es mayor al nivel de significancia de 0,05; en consecuencia, se comprueba la hipótesis nula; por consiguiente, las varianzas son iguales.

De todo lo señalado precedentemente, se pudo advertir que a excepción del tratamiento con el 5,00% de reemplazo de ceniza, el p valor determinado en la prueba de normalidad es superior al nivel de significancia, por lo que los demás tratamientos tendrían una distribución normal; siendo además que las varianzas son iguales, en ese contexto, dado que el p valor determinado en la prueba de normalidad para el reemplazo de ceniza del orden del 5,00% es el único inferior al 0,05, se efectuó un análisis de varianza bajo el modelo lineal general, a fin de determinar la necesidad de normalizar los datos, siendo los resultados los siguientes:

Tabla 15

λ estimado y redondeado para la aplicación de la transformación de Box-Cox para ensayos a 7 días

Codificación de factores	(-1; 0; +1)
Transformación de Box-Cox	
λ redondeado	1
λ estimado	0.996429
IC de 95% para λ	(-0.552071; 2.71693)

De la tabla precedente, se advierte que el λ redondeado (óptimo) es 1, valor que es mayor a cero; en ese contexto y bajo el modelo de transformación Box-Cox, los datos a trabajar serán los datos registrado elevados al λ óptimo. Al respecto, dado que todo número elevado a la unidad resulta siendo el mismo número, se puede afirmar que los datos no necesitan ser transformados (normalizados), por lo que se puede afirmar que siguen una distribución normal al 1%.

B) Análisis de varianzas de un solo factor

H0: No hay variación entre los tratamientos o control

H1: Al menos un tratamiento se distingue de los demás

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Tabla 16

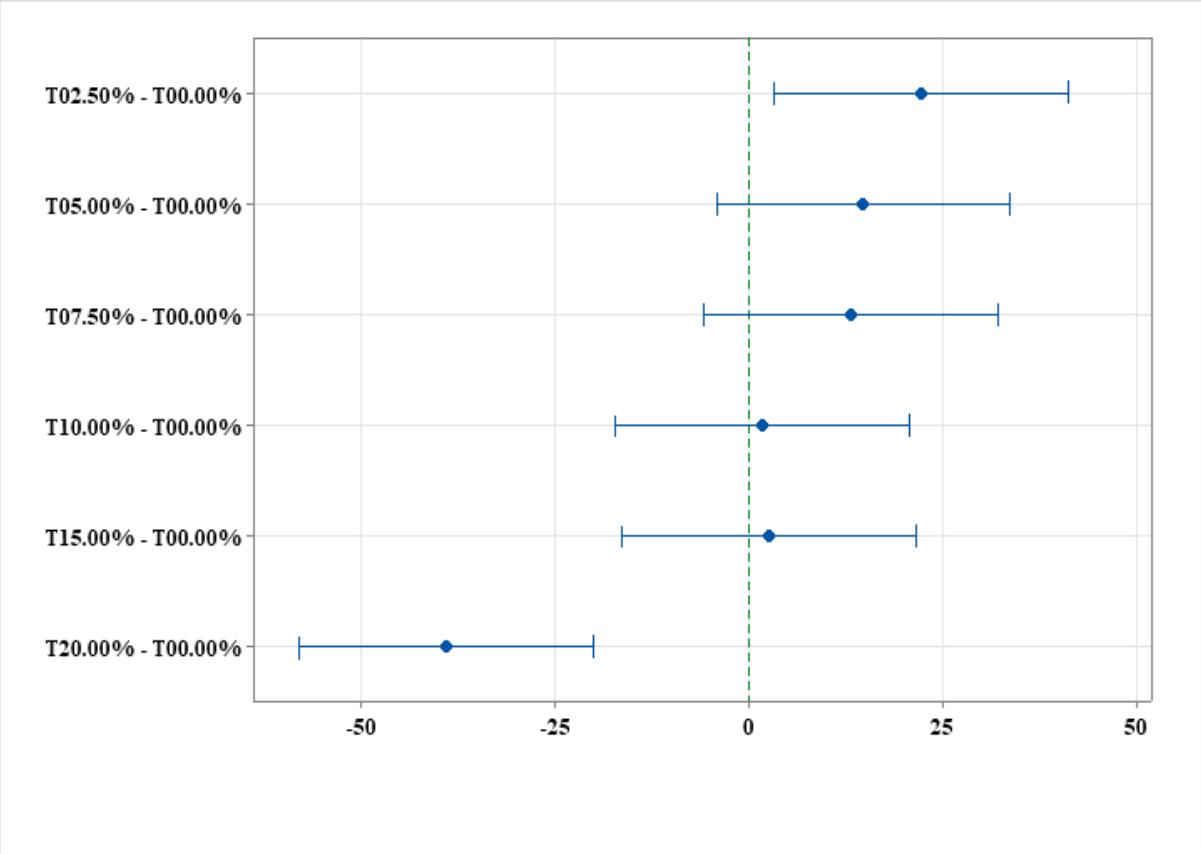
Análisis de varianzas para ensayos a 7 días

	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Porcentaje de Reemplazo	6	23775	3962,5	15,40	0.000
Error	63	16209	257,3		
Total	69	39984			

La tabla anterior muestra el análisis de varianzas para los ensayos a 7 días, advirtiéndose que el p-valor es 0, siendo menor al nivel de significancia 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula, aceptándose la hipótesis alternativa; en ese sentido, al menos un tratamiento se distingue de los demás.

Figura 11

Intervalos de Confianza simultáneos de 95% de Dunnett



Nota: Si un intervalo no contine cero, la media correspondiente es significativamente diferente de la media de control.

Del gráfico y tabla precedentes, se advierte que, según la prueba de Dunnet, el reemplazo del 2,50% de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar se distingue significativamente del grupo de control, generando un incremento de resistencia significativo; de otro lado, el reemplazo del 20,00% de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar se distingue significativamente del grupo de control, generando un decremento de resistencia significativo.

C) Contratación de la hipótesis de la tesis

i. **Hipótesis:** La resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² varía en más del 5% al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

ii. **Determinación del 5% materia de análisis respecto del tratamiento patrón:**

Media patrón $= 210{,}398 \mathrm{kg/cm^2}$

Variación analizada $= 5\% \ (210{,}398) \ \mathrm{Kg/cm^2} = 10{,}52 \ \mathrm{Kg/cm^2}$

iii. **Prueba de hipótesis**

µ1: media de población de tratamiento A

µ2: media de población de tratamiento B

H0: µ1 - µ2 = 10,52

H1: µ1 - µ2 > 10,52

Nivel de confianza: 95,00%

Tabla 17

Análisis por el método T-student para determinar la existencia de variación del 5% para ensayos a 7 días

Comparación		Valor T	GL	p-valor
Tratamiento A	**Tratamiento B**			
T02,50%	T00,00%	1,47	18	0,079
T05,00%	T00,00%	0,59	18	0,282
T07,50%	T00,00%	0,32	18	0,376
T10,00%	T00,00%	-1,34	18	0,901
T15,00%	T00,00%	-0,97	18	0,827
T20,00%	T00,00%	-5,88	18	1,000
T00,00%	T02,50%	-4,13	18	1,000
T00,00%	T05,00%	-3,52	18	0,999
T00,00%	T07,50%	-2,97	18	0,996
T00,00%	T10,00%	-1,83	18	0,958
T00,00%	T15,00%	-1,60	18	0,936
T00,00%	T20,00%	3,38	18	0,002

De la tabla precedente se advierte que, únicamente durante el reemplazo del 20,00% de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, se obtiene un decremento estadístico superior al 5% en especímenes ensayados a 7 días, ello dado a que el p-valor es inferior al nivel de significancia de 5%, pudiendo afirmar que los demás porcentajes de reemplazo no generan una variación estadística fuera del 5% en la resistencia a la compresión del concreto.

Apéndice 2: Prueba de hipótesis para determinar la existencia de variación entre tratamientos con reemplazo de ceniza de bagazo de caña y el tratamiento patrón para especímenes ensayados a 14 días.

A) Prueba de normalidad y varianzas iguales

a) Prueba de normalidad

H0: Los ensayos siguen una distribución normal

H1: Los ensayos no siguen una distribución normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

A continuación, se muestra la prueba de normalidad por el método Shapiro-Wilks (modificado) para especímenes ensayados a 14 días:

Tabla 18

Prueba de normalización Shapiro-Wilks (modificado) para ensayos a 14 días

Porcentaje de Reemplazo	Variable	n	Media (Kg/cm²)	Desviación Estándar (Kg/cm²)	W*	p valor (Unilateral D)
T00,00%	Resistencia	10	273,775	21,9226	0,8902	0,2670
T02,50%	Resistencia	10	275,670	24,3995	0,9649	0,8848
T05,00%	Resistencia	10	262,620	16,5477	0,9058	0,3763
T07,50%	Resistencia	10	278,404	20,2241	0,8799	0,2118
T10,00%	Resistencia	10	255,912	15,1693	0,9241	0,5301
T15,00%	Resistencia	10	235,674	14,01580	0,9375	0,6570
T20,00%	Resistencia	10	182,505	11,4748	0,8955	0,3005

Nota: W* se refiere al estadístico de prueba que se calcula para determinar si los datos se desvían de la normalidad.

En todos los tratamientos con reemplazo de ceniza, el p valor determinado es superior al nivel de significancia, por lo que se afirma que siguen una distribución normal con un nivel de significación del 5%.

b) Prueba de igualdad de varianzas

H0: Todas las varianzas son iguales

H1: Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Tabla 19

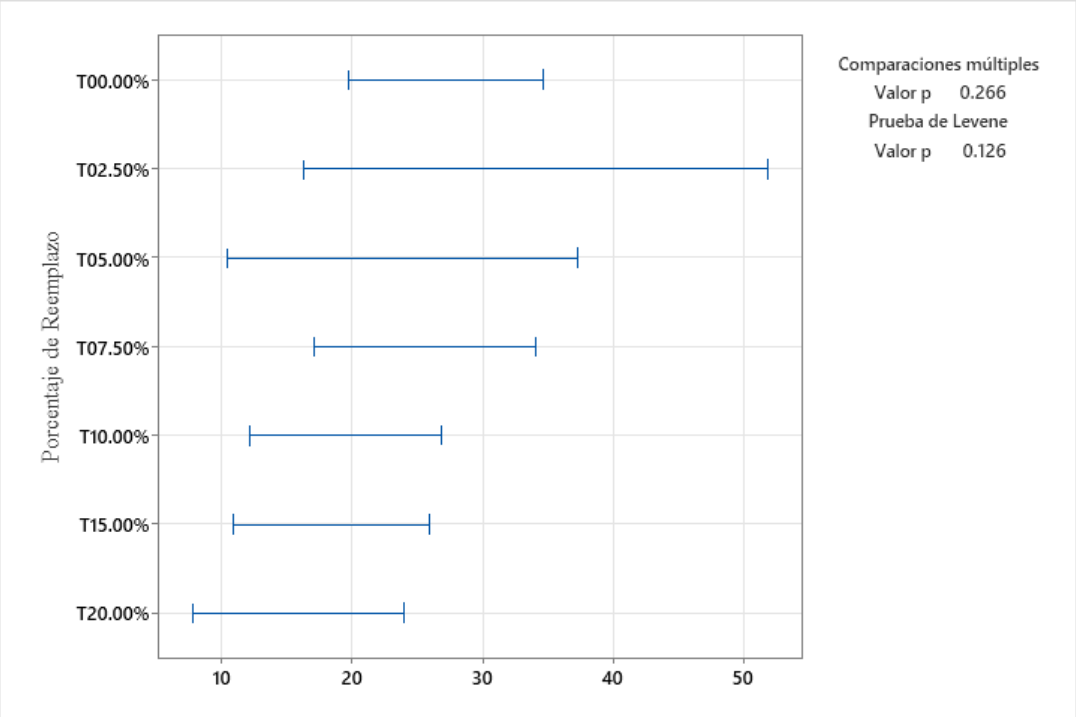
Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar y ensayos a 14 días

Porcentaje de Reemplazo	n	Desviación Estándar (Kg/cm²)	Intervalos de Confianza
T00,00%	10	21,9226	(14,8616; 44,2395)
T02,50%	10	24,3995	(12,4060; 65,6477)
T05,00%	10	16,5477	(6,3947; 58,5794)
T07,50%	10	20,2241	(12,6050; 44,3900)
T10,00%	10	15,1693	(9,3549; 33,6498)
T15,00%	10	14,1580	(8,4185; 32,5731)
T20,00%	10	11,4748	(4,9780; 36,1846)

Nota: Nivel de confianza individual = 99,2857%.

Figura 12

Prueba de igualdad de varianzas: Resistencia vs. Porcentaje de Reemplazo



Nota: Si los intervalos no se sobreponen, las desviaciones estándar correspondientes son significativamente diferentes.

Del gráfico anterior, se advierte que todas las gráficas se sobreponen; así mismo, el p valor es igual a 0,266, el cual es mayor al nivel de significancia de 0,05; en consecuencia, se comprueba la hipótesis nula; por consiguiente, las varianzas son iguales.

En consecuencia, al verificarse que los ensayos siguen una distribución normal y que las varianzas son significativamente iguales, los datos no necesitaron ser normalizados.

B) Análisis de varianzas de un solo factor

H0: No hay variación entre los tratamientos o control

H1: Al menos un tratamiento se distingue de los demás

Nivel de significancia: $\alpha = 0{,}05$

Tabla 20

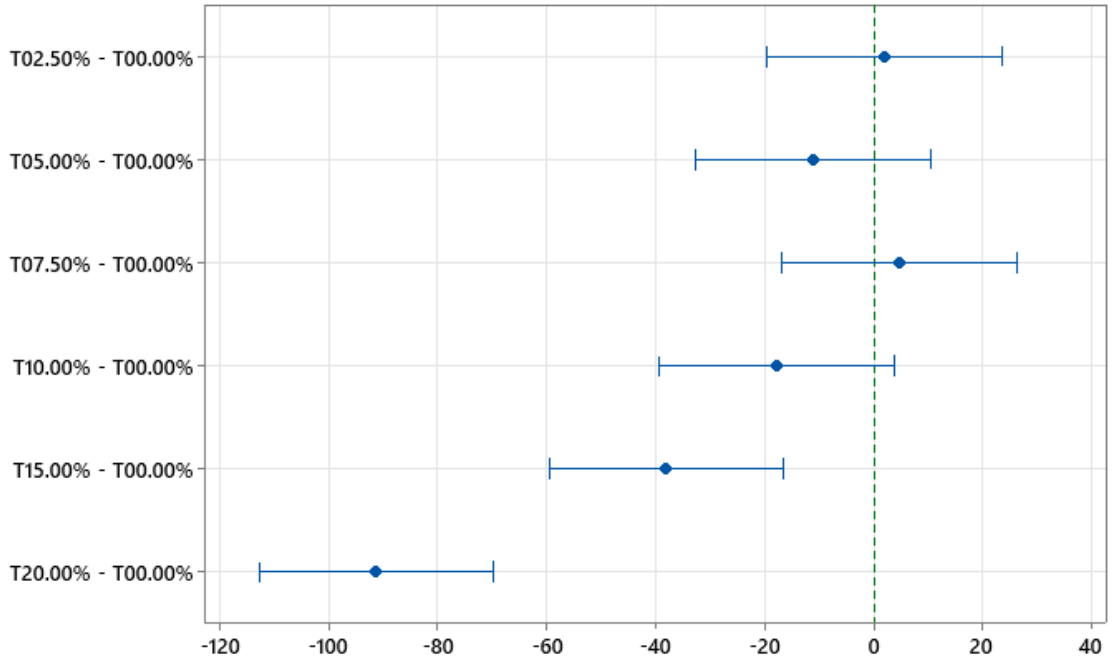
Análisis de varianzas para ensayos a 14 días

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Porcentaje de Reemplazo	6	69557	11592,9	34,96	0.000
Error	63	20889	331,6		
Total	69	90446			

La tabla anterior muestra el análisis de varianzas para los ensayos a 14 días, advirtiéndose que el p-valor es 0, siendo menor al nivel de significancia 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula aceptándose la hipótesis alternativa; en ese sentido, al menos un tratamiento se distingue de los demás.

Figura 13

Intervalos de Confianza simultáneos de 95% de Dunnett



Nota: Si un intervalo no contine cero, la media correspondiente es significativamente diferente de la media de control.

Del gráfico precedente, se advierte que, según la prueba de Dunnet, el reemplazo del 15,00% y el 20,00% de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar se distingue significativamente del grupo de control, generando un decremento de resistencia significativo.

C) Contrastación de la hipótesis de la tesis

i. **Hipótesis:** La resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² varía en más del 5% al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

ii. **Determinación del 5% materia de análisis respecto del tratamiento patrón:**

$\textbf{Media patrón} = \mathbf{273,775 kg/cm^2}$

$\textbf{Variación analizada} = \mathbf{5\%\ (273,775)\ Kg/cm^2 = 13,69\ Kg/cm^2}$

iv. **Prueba de hipótesis**

μ1: media de población de tratamiento A

μ2: media de población de tratamiento B

H0: μ1 - μ2 = 13,69

H1: μ1 - μ2 > 13,69

Nivel de confianza: 95,00%

Tabla 21

Análisis por el método T-student para determinar la existencia de variación del 5% para ensayos a 14 días

Comparación		Valor T	GL	p-valor
Tratamiento A	**Tratamiento B**			
T02,50%	T00,00%	-1,14	18	0,865
T05,00%	T00,00%	-2,86	18	0,995
T07,50%	T00,00%	-0,96	18	0,825
T10,00%	T00,00%	-3,74	18	0,999
T15,00%	T00,00%	-6,28	18	1,000
T20,00%	T00,00%	-13,41	18	1,000
T00,00%	T02,50%	-1,50	18	0,925
T00,00%	T05,00%	0,29	18	0,613
T00,00%	T07,50%	-1,94	18	0,966
T00,00%	T10,00%	0,49	18	0,313
T00,00%	T15,00%	2,96	18	0,004
T00,00%	T20,00%	9,91	18	0,000

De la tabla precedente se advierte que, durante el reemplazo del 15,00% y 20,00% de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, se obtiene un decremento estadístico superior al 5% en especímenes ensayados a 14 días, ello dado a que el p-valor es inferior al nivel de significancia de 5%, pudiendo afirmar que los demás porcentajes de reemplazo no generan una variación estadística fuera del 5% en la resistencia a la compresión del concreto.

Apéndice 3: Prueba de hipótesis para determinar la existencia de variación entre tratamientos con reemplazo de ceniza de bagazo de caña y el tratamiento patrón para especímenes ensayados a 28 días.

A) Prueba de normalidad y varianzas iguales

a) Prueba de normalidad

H0: Los ensayos siguen una distribución normal

H1: Los ensayos no siguen una distribución normal

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

A continuación, se muestra la prueba de normalidad por el método Shapiro-Wilks (modificado) para especímenes ensayados a 28 días:

Tabla 22

Prueba de normalización Shapiro-Wilks (modificado) para ensayos a 28 días

Porcentaje de Reemplazo	Variable	N	Media (Kg/cm²)	Desviación Estándar (Kg/cm²)	W*	p valor (Unilateral D)
T00,00%	Resistencia	10	308,891	20,2480	0,8313	0,0503
T02,50%	Resistencia	10	324,033	12,1908	0,8157	0,0302
T05,00%	Resistencia	10	311,009	11,1916	0,9001	0,3375
T07,50%	Resistencia	10	296,950	15,6164	0,9698	0,9171
T10,00%	Resistencia	10	293,634	11,9402	0,9071	0,3858
T15,00%	Resistencia	10	280,416	7,6826	0,8843	0,2319
T20,00%	Resistencia	10	209,455	11,7532	0,8911	0,2714

Nota: W* se refiere al estadístico de prueba que se calcula para determinar si los datos se desvían de la normalidad.

De la tabla precedente, se puede observar que el p valor de la resistencia determinada con un remplazo de ceniza al 2,50% es menor al 0,05, en consecuencia, no sigue una distribución normal al 5%; sin embargo, siendo que todos los resultados arrojan un p valor mayor a 0,01; se puede afirmar que sigue una distribución normal al 1%.

b) Prueba de igualdad de varianzas

H0: Todas las varianzas son iguales

H1: Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Tabla 23

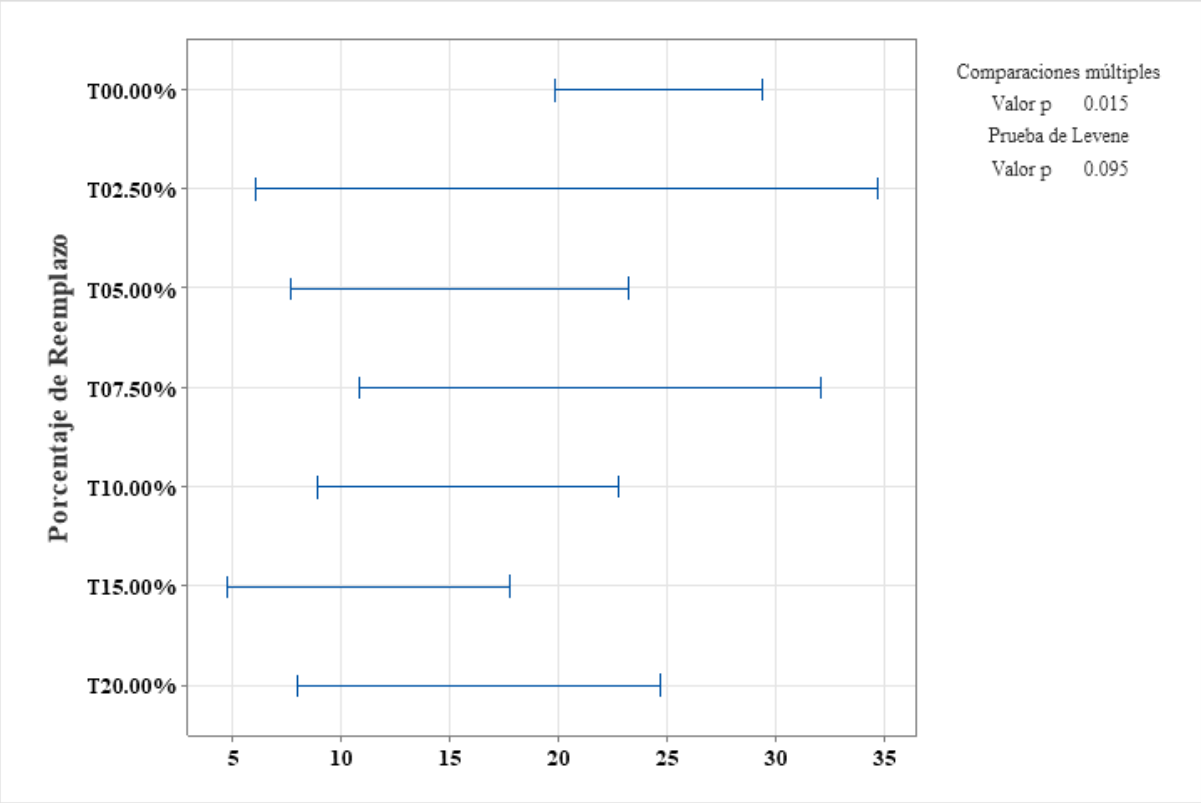
Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar y ensayos a 28 días

Porcentaje de Reemplazo	n	Desviación Estándar (Kg/cm²)	Intervalos de Confianza
T00,00%	10	20,2480	(14,2484; 39,3628)
T02,50%	10	12,1908	(3,2631; 62,3055)
T05,00%	10	11,1916	(4,9746; 34,4442)
T07,50%	10	15,6164	(7,3152; 45,6065)
T10,00%	10	11,9402	(6,1951; 31.4825)
T15,00%	10	7,6826	(4,5658; 17,6840)
T20,00%	10	11,7532	(5,0489; 37,4283)

Nota: Nivel de confianza individual = 99,2857%.

Figura 14

Prueba de igualdad de varianzas: Resistencia vs. Porcentaje de Reemplazo



Nota: Si los intervalos no se sobreponen, las desviaciones estándar correspondientes son significativamente diferentes.

Del gráfico anterior, se advierte que las gráficas no se sobreponen; así mismo, el p-valor es igual a 0,015, el cual es menor al nivel de significancia de 0,05; en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula; por consiguiente, las varianzas son significativamente diferentes; sobre el particular.

De todo lo señalado precedentemente, se pudo advertir que a excepción del tratamiento con el 2,50% de reemplazo de ceniza, el p-valor determinado en la prueba de normalidad es superior al nivel de significancia, por lo que los demás tratamientos tendrían una distribución normal; sin embargo las varianzas son significativamente diferentes, en ese contexto, se efectuó un análisis de varianza bajo el modelo lineal general, a fin de determinar la necesidad de normalizar los datos, siendo los resultados los siguientes:

Tabla 24

λ estimado y redondeado para la aplicación de la transformación de Box-Cox para ensayos a 28 días

Codificación de factores	(-1; 0; +1)

Transformación de Box-Cox	
λ redondeado	0,50
λ estimado	0,415666
IC de 95% para λ	(-0.,560834; 1,56317)

De la tabla precedente, se advierte que el **λ** redondeado (óptimo) es 0,50; valor que es mayor a cero, en ese contexto y bajo el modelo de transformación Box-Cox, los datos a trabajar serán los datos registrado elevados al **λ** óptimo, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 25

Resistencia a la compresión de especímenes de concreto normalizada, ensayada a los 28 días de curado

Muestra	**Porcentaje de Reemplazo y Resistencia (Kg/cm²)**						
	0,00%	**2,50%**	**5,00%**	**7,50%**	**10,00%**	**15,00%**	**20,00%**
1	16,77826	17,90363	17,38102	18,12043	16,51484	17,01000	14,85968
2	17,06370	17,88659	17,52655	17,41494	17,31329	16,75798	14,44022
3	18,10580	17,98221	17,89078	17,47541	17,06605	16,96526	14,20986
4	18,18268	17,84993	17,41551	16,56261	17,55506	16,47422	14,68264
5	17,50943	17,67569	17,73387	16,88609	16,66553	16,36551	14,58252
6	18,22279	18,28715	17,45107	17,15517	16,96879	16,96938	13,66272
7	17,23543	17,98638	17,46940	17,29624	17,48456	16,59277	13,93557
8	18,28032	18,80931	18,25267	16,99029	17,34503	16,90828	14,64957
9	17,25514	17,93739	17,95828	17,57498	17,40833	16,83211	14,72786
10	17,03467	17,66296	17,24993	16,79315	17,00382	16,56653	14.92247

B) Análisis de varianzas de un solo factor

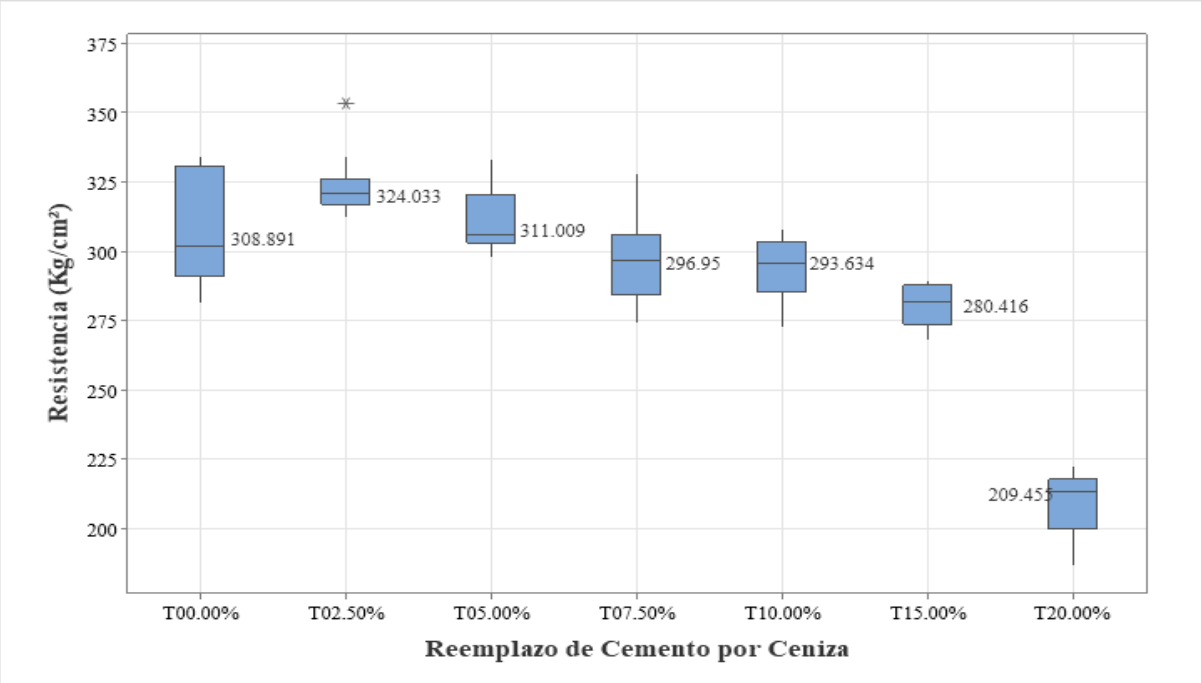
H0: No hay variación entre los tratamientos o control

H1: Al menos un tratamiento se distingue de los demás

Nivel de significancia: $\alpha = 0{,}05$

Figura 15

Gráfico de caja de resistencia vs porcentaje de reemplazo



El gráfico de caja anterior muestra la media estadística por cada uno de tratamientos, pudiéndose advertir que los tratamientos con reemplazo de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar al 2,50% y 5,00% son superiores al tratamiento patrón, siendo que los tratamientos con un reemplazo del 7,50%, 10,00% y 15,00% son similares al concreto patrón, siendo que únicamente el tratamiento con reemplazo de 20,00% es inferior al concreto patrón.

Tabla 26

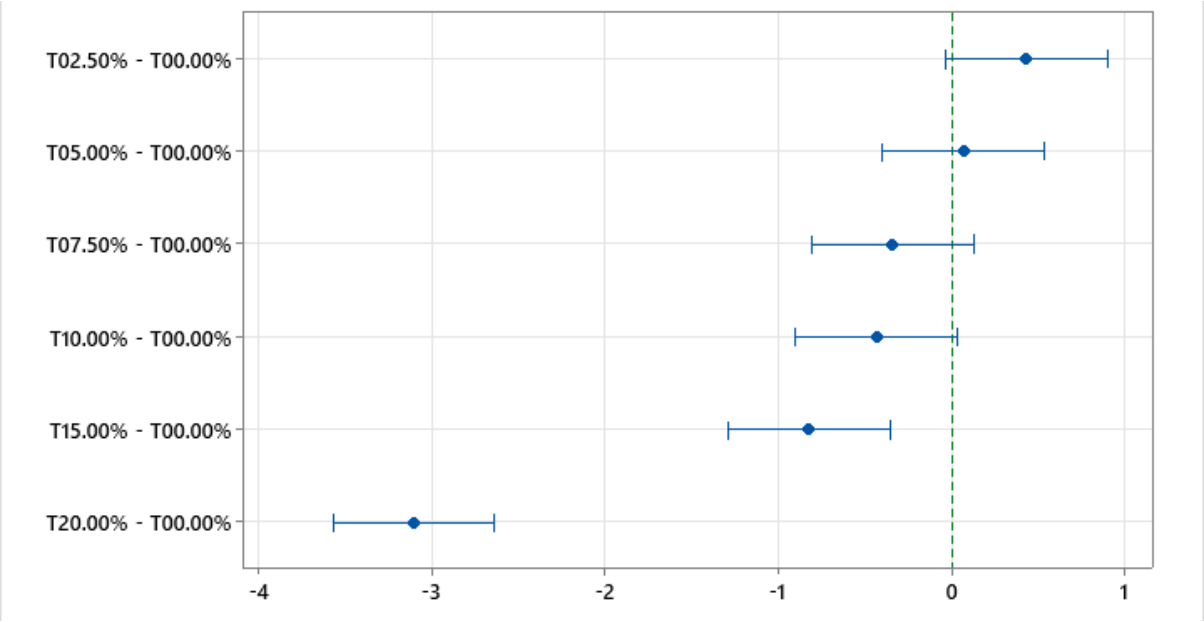
Análisis de varianzas para ensayos a 28 días

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Porcentaje de Reemplazo	6	82,595	13,7658	88,45	0.000
Error	63	9,805	0,1556		
Total	69	92,400			

La tabla anterior muestra el análisis de varianzas para los ensayos a 28 días, advirtiéndose que el p-valor es 0, siendo menor al nivel de significancia 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula, aceptándose la hipótesis alternativa; en ese sentido, al menos un tratamiento se distingue de los demás.

Figura 16

Intervalos de Confianza simultáneos de 95% de Dunnett



Nota: Si un intervalo no contine cero, la media correspondiente es significativamente diferente de la media de control.

Del gráfico precedente, se advierte que, según la prueba de Dunnet, el reemplazo del 15,00% y el 20,00% de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar se distingue significativamente del grupo de control, generando un decremento de resistencia significativo.

C) Contrastación de la hipótesis de la tesis

i. **Hipótesis:** La resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² varía en más del 5% al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

ii. **Determinación del 5% materia de análisis respecto del tratamiento patrón:**

Media patrón $= 308{,}891 \mathrm{kg/cm^2}$

Variación analizada $= 5\% \ (308{,}891) \ \mathrm{Kg/cm^2} = 15{,}44 \ \mathrm{Kg/cm^2}$

iii. Prueba de hipótesis

μ1: media de población de tratamiento A

μ2: media de población de tratamiento B

H0: μ1 - μ2 = 15,44

H1: μ1 - μ2 > 15,44

Nivel de confianza: 95,00%

Tabla 27

Análisis por el método T-student para determinar la existencia de variación del 5% para ensayos a 28 días

Comparación		Valor T	GL	p-valor
Tratamiento A	**Tratamiento B**			
T02,50%	T00,00%	-0,04	18	0,516
T05,00%	T00,00%	-1,82	18	0,957
T07,50%	T00,00%	-3,39	18	0,998
T10,00%	T00,00%	-4,13	18	1,000
T15,00%	T00,00%	-6,41	18	1,000
T20,00%	T00,00%	-15,52	18	1,000
T00,00%	T02,50%	-4,09	18	1,000
T00,00%	T05,00%	-2,40	18	0,986
T00,00%	T07,50%	-0,43	18	0,665
T00,00%	T10,00%	-0,02	18	0,510
T00,00%	T15,00%	1,90	18	0,037
T00,00%	T20,00%	11,35	18	0,000

De la tabla precedente se advierte que, durante el reemplazo del 15,00% y 20,00% de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, se obtiene un decremento estadístico superior al 5% en especímenes ensayados a 28 días, ello dado a que el p-valor es inferior al nivel de significancia de 5%, pudiendo afirmar que los demás porcentajes de reemplazo no generan una variación estadística fuera del 5% en la resistencia a la compresión del concreto.

Apéndice 4: Panel Fotográfico

Figura 17
Obtención de ceniza

Nota: Después de la combustión de la ceniza, se tritura y tamiza por la malla N° 100 para uniformizarla, se obtuvo del distrito de Chancay, provincia de Santa Cruz.

Figura 18
Obtención del agregado fino

Nota: El agregado se obtuvo de la cantera Margarita en el distrito de Chilete de la provincia de Contumazá con coordenadas 0739127E y 9200727N.

Figura 19
Obtención del agregado grueso

Nota: El agregado se obtuvo de la cantera Margarita en el distrito de Chilete de la provincia de Contumazá con coordenadas 0739127E y 9200727N.

Figura 20
Ensayos de los agregados

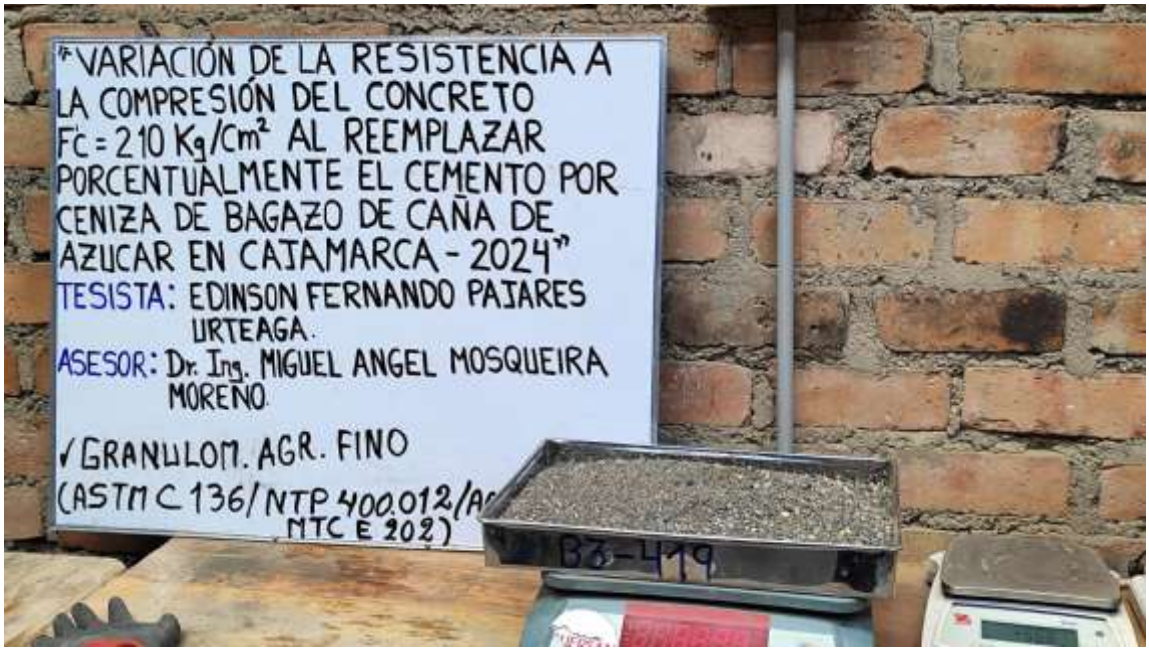


Figura 21
Ensayo de revenimiento o asentamiento

Nota: Se efectuó el ensayo de asentamiento de todas las tandas para controlar la trabajabilidad

Figura 22
Ensayo de densidad del concreto fresco

Nota: Se efectuó el ensayo de densidad del concreto fresco de todas las tandas para controlar la trabajabilidad

Figura 23
Elaboración de especímenes de concreto

Nota: Los especímenes fueron elaborados del 23 al 26 de octubre de 2024

Figura 24

Ensayo a compresión de los especímenes de concreto

ANEXOS

Anexo 1

Determinación de las propiedades del agregado grueso

PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS PARA CONCRETO

ASTM C33 - NTP 400.037

DATOS GENERALES

TESIS	: Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	: Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	: Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	: Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ENSAYO	: 04 de octubre de 2024
CANTERA	: Margarita, distrito de Chilete, provincia de Contumazá, Departamento de Cajamarca
COORDENADAS	: 0739127E y 9200727N

MATERIAL : AGREGADO GRUESO - PIEDRA CHANCADA

A) CALCULO DEL PESO ESPECIFICO DEL AGUA

Peso de la fiola en (g) =	164.05
Peso de la fiola +agua (g) =	661.16
Volumen de la fiola (cm3) =	500.00
Peso especifico (g/cm3) =	0.99422
P.e en (Kg/m3) =	994.22

B) CALCULO DEL Factor f

Peso del Molde (g) =	4220.00
Peso del Molde +Agua (g) =	13772.00
Peso Agua (Kg) =	9.5520
f (1/m3) =	104.085

1 .00 Peso Unitario Suelto (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	4220.00	4220.00	4220.00	
1.03	Peso de muestra suelta + recipiente	g	19620.00	19605.00	19615.00	
1.04	Peso de la muestra suelta	g	15400.00	15385.00	15395.00	
1.05	Factor (f)	1/m3	104.09	104.09	104.09	
1.06	Peso Unitario Suelto	g/cm³	1.60	1.60	1.60	1.60
	Peso Unitario Suelto	**Kg/m³**	1602.91	1601.35	1602.39	**1602.22**

2 .00 Peso Unitario Compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
2.01	Peso del recipiente	g	4220.00	4220.00	4220.00	
2.02	Peso de muestra Compactada + recipiente	g	20687.00	20702.00	20790.00	
2.03	Peso de la muestra suelta	g	16467.00	16482.00	16570.00	
2.04	Factor (f)		104.09	104.09	104.09	
2.05	Peso Unitario Compactado	g/cm³	1.71	1.72	1.72	1.72
	Peso Unitario Compactado	**Kg/m³**	1713.97	1715.53	1724.69	**1718.06**

3 .00 Peso Específico - ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
3.01	Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	2743.74	2743.85	2743.93	
3.02	Peso de canastilla sumergida	g	875.00	875.00	875.00	
3.03	Peso de la muestra superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
3.04	Peso de la muestra secada al horno	g	2965.11	2966.10	2966.30	
3.05	Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1868.74	1868.85	1868.93	
Peso Específico de Masa		**g/cm³**	2.62	2.62	2.62	**2.62**
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco		**g/cm³**	2.65	2.65	2.65	**2.65**
Peso Específico de Aparente		**g/cm³**	2.70	2.70	2.70	**2.70**

PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS PARA CONCRETO

ASTM C33 - NTP 400.037

DATOS GENERALES

TESIS	: Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	: Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	: Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	: Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ENSAYO	: 04 de octubre de 2024
CANTERA	: Margarita, distrito de Chilete, provincia de Contumazá, Departamento de Cajamarca
COORDENADAS	: 0739127E y 9200727N

4 .00 Absorción (%) ASTM C -127 / MTC E 204 / NTP 400.021

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
4.01	Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
4.02	Peso de la muestra secada al horno	g	2965.11	2966.10	2966.30	
Absorción (%)		**%**	1.177	1.143	1.136	**1.200**

5 .00 Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
5.01	Peso del Recipiente	g	420.00	419.00	363.00	
5.02	Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	7820.00	6814.00	6563.00	
5.03	Peso del Recipiente + muestra seca	g	7674.00	6689.00	6453.00	
Contenido de Humedad		**W %**	2.01	1.99	1.81	1.94

6 .00 Ensayo Partículas < N° 200 para el Agregado Grueso ASTM C117 - NTP 400.018

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
6.01	Peso de Muestra Original	g	3000.00	3000.00	3000.00	
6.02	Peso de la muestra Lavada	g	2993.10	2993.40	2993.10	
6.03	Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	6.90	6.60	6.90	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200		**%**	0.23%	0.22%	0.23%	0.20%

7 .00 Ensayo de Abrasión ASTM C702 - NTP 400.019 - MTC E207

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./min)	N° de Revoluciones	Tamaño Máximo
B	Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500	3/4"

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
7.01	Peso Inicial de la muestra seca al horno (g.)	g	5000	5000	5000
7.02	Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)	g	3755	3744	3788
7.03	% Desg. =((Pi -Pf) / Pi) x 100	%	24.90	25.12	24.24
Abrasión % Desgaste Promedio		0.23%	**25,00%**		

Anexo 2

Análisis granulométrico del agregado grueso

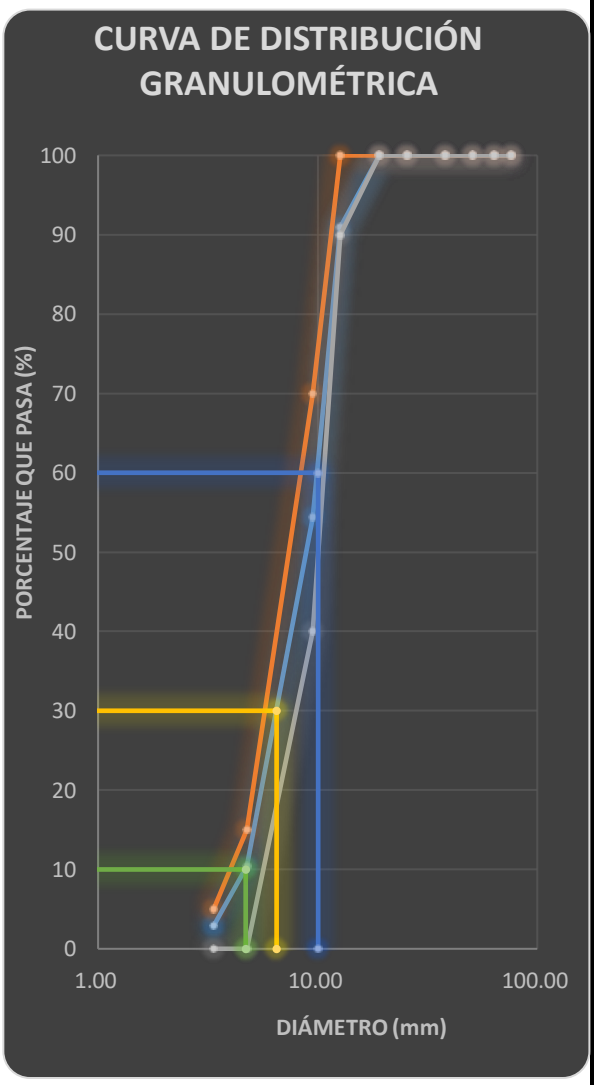
PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS PARA CONCRETO

ASTM C33 - NTP 400.037
A.S.T.M. C136 - NTP 400.012 - AASHTO T- 27 - MTC E202
DATOS GENERALES

TESIS	: Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	: Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	: Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	: Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ENSAYO	: 04 de octubre de 2024
CANTERA	: Margarita, distrito de Chilete, provincia de Contumazá, Departamento de Cajamarca
COORDENADAS	: 0739127E y 9200727N

MATERIAL : **AGREGADO GRUESO**

PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =				0.00	
Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N°	Abertura (mm)				
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	362.00	9.05	9.05	90.95
3/8"	9.53	1461.00	36.53	45.58	54.43
N°4	4.75	1761.00	44.03	89.60	10.40
N°8	3.36	300.00	7.50	97.10	2.90
N 16	1.18	44.00	1.10	98.20	1.80
N 30	0.60	19.00	0.48	98.68	1.33
N 50	0.30	15.00	0.38	99.05	0.95
N 100	0.15	15.00	0.38	99.43	0.58
N 200	0.075	23.00	0.58	100.00	0.00
Cazoleta	--	0	0.00	100.00	0.00
TOTAL		4000.00			
MÓDULO DE FINURA =			**6.276**		



D60 =	13.00	**D30 =**	6.50	**D10 =**	4.70
	Cu =	2.77	**Cc =**	0.69	

OBSERVACIONES: LA CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO CUMPLE EL USO GRANULOMETRICO N° 67 DE LA NORMA A.S.T.M. C 33M-16.
EL MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO ESTUDIADO ES DE 6.276.

Anexo 3

Determinación de las propiedades del agregado fino

PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS PARA CONCRETO

ASTM C33 - NTP 400.037

DATOS GENERALES

TESIS	: Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	: Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	: Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	: Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ENSAYO	: 04 de octubre de 2024
CANTERA	: Margarita, distrito de Chilete, provincia de Contumazá, Departamento de Cajamarca
COORDENADAS	: 0739127E y 9200727N

MATERIAL : AGREGADO FINO DE RÍO

A) CALCULO DEL PESO ESPECIFICO DEL AGUA

Peso de la fiola en (g) =	**164.05**
Peso de la fiola en (g) =	**661.16**
Volumen de la fiola (cm3) =	**500**
Peso específico (g/cm3) =	**0.99422**
P.e en (Kg/m3) =	**994.22**

B) CALCULO DEL Factor f

Peso del Molde (g) =	**1997**
Peso del Molde +Agua (g) =	**4867**
Peso Agua (Kg) =	**2.87**
f (1/m3) =	**346.42**

1 .00 Peso Unitario Suelto (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1.01	Peso del recipiente	g	1997.00	1997.00	1997.00	
1.03	Peso de muestra suelta + recipiente	g	6669.00	6603.00	6687.00	
1.04	Peso de la muestra suelta	g	4672.00	4606.00	4690.00	
1.05	Factor (f)		346.418	346.418	346.418	
1.06	Peso Unitario Suelto	g/cm^3	1.618	1.596	1.625	1.613
Peso Unitario Suelto		**Kg/m^3**	1618.47	1595.60	1624.70	**1612.92**

2 .00 Peso Unitario Compactado (NTP 400.017, NTP 400.037 /A.S.T.M.C -29 / MTC E 205)

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
2.01	Peso del recipiente	g	1997.00	1997.00	1997.00	
2.02	Peso de muestra Compactada + recipiente	g	7080.00	7106.00	7101.00	
2.03	Peso de la muestra suelta	g	5083.00	5109.00	5104.00	
2.04	Factor (f)	1/m3	346.418	346.418	346.418	
2.05	Peso Unitario Compactado	g/cm^3	1.761	1.770	1.768	1.766
Peso Unitario Compactado		**Kg/m^3**	1760.84	1769.85	1768.12	**1766.27**

3 .00 Peso Específico / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
3.01	Peso de fiola	g	164.1	164.1	164.1	
3.02	Peso de la fiola +agua hasta menizco	g	661.2	661.2	661.2	
3.03	peso de la fiola +agua + muestra	g	975.4	976.2	976.8	
3.04	Peso de la muestra superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
3.05	Peso de la muestra secada al horno	g	493.62	493.69	493.57	
3.06	volumen de agua añadida al frasco (g)	g	311.35	312.15	312.79	
Peso Específico de Masa		**g/m^3**	2.617	2.628	2.636	**2.630**
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco		**g/m^3**	2.650	2.662	2.671	**2.660**
Peso Específico de Aparente		**g/m^3**	2.708	2.719	2.730	**2.720**

4 .00 Absorción (%) / NTP 400.022 / A.S.T.M.C -128 / AASHTO T84 / MTC E 203.

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
4.01	Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
4.02	Peso de la muestra secada al horno	g	493.62	493.69	493.57	
	Absorción (%)	**%**	1.292	1.278	1.303	**1.300**

PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS PARA CONCRETO

ASTM C33 - NTP 400.037

DATOS GENERALES

TESIS	: Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	: Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	: Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	: Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ENSAYO	: 04 de octubre de 2024
CANTERA	: Margarita, distrito de Chilete, provincia de Contumazá, Departamento de Cajamarca
COORDENADAS	: 0739127E y 9200727N

5 .00 Contenido de Humedad (%) A.S.T.M.C -566 / MTC E 118 / NTP 339.185

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
5.01	Peso del Recipiente	g	452.00	425.00	355.00	
5.02	Peso del Recipiente + muestra Humeda	g	7641.00	7810.00	6665.00	
5.03	Peso del Recipiente + muestra seca	g	7571.00	7736.00	6578.00	
Contenido de Humedad		**W %**	0.98	1.01	1.40	1.13

6 .00 Ensayo Partículas < N° 200 para el Agregado Fino ASTM C117 - NTP 400.018

Ítem	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
6.01	Peso de Muestra Original	g	500.00	500.00	500.00	
6.02	Peso de la muestra Lavada	g	485.10	485.90	485.70	
6.03	Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	14.90	14.10	14.30	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200		%	2.98%	2.82%	2.86%	**2.90%**

Anexo 4

Análisis granulométrico del agregado fino

PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS PARA CONCRETO

ASTM C33 - NTP 400.037
A.S.T.M. C136 - NTP 400.012 - AASHTO T- 27 - MTC E202

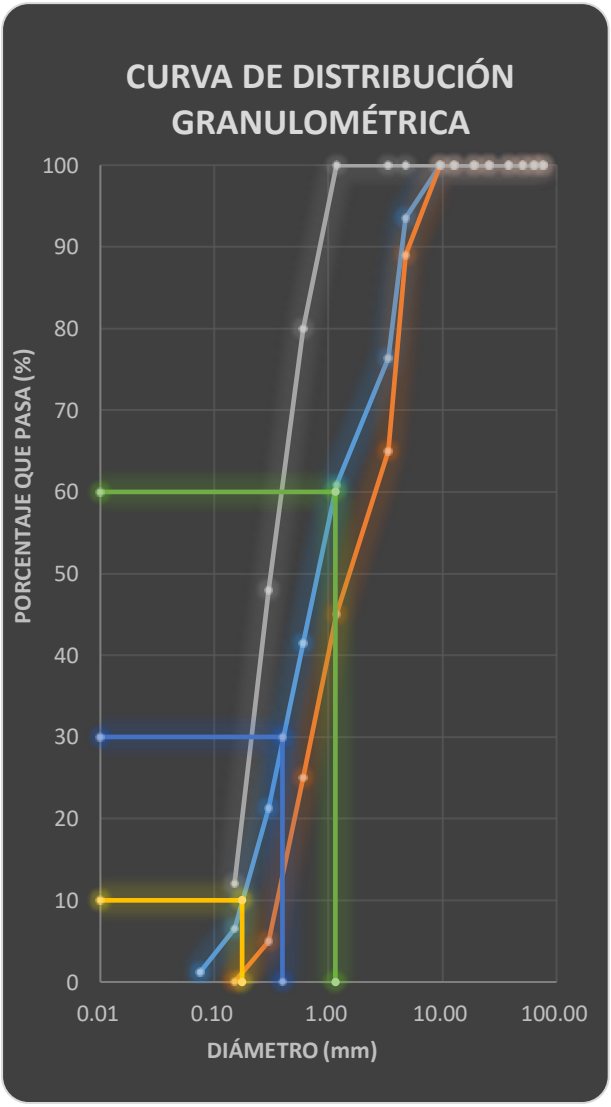
DATOS GENERALES

TESIS	: Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	: Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	: Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	: Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ENSAYO	: 04 de octubre de 2024
CANTERA	: Margarita, distrito de Chilete, provincia de Contumazá, Departamento de Cajamarca
COORDENADAS	: 0739127E y 9200727N

Peso Seco Inicial =	500.00
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =	6.10

Tamiz N°	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	32.10	6.42	6.42	93.58
N°8	3.36	86.00	17.20	23.62	76.38
N 16	1.18	77.50	15.50	39.12	60.88
N 30	0.60	96.80	19.36	58.48	41.52
N 50	0.30	101.40	20.28	78.76	21.24
N 100	0.15	73.50	14.70	93.46	6.54
N 200	0.075	26.60	5.32	98.78	1.22
Cazoleta	--	6.10	1.22	100.00	0.00
TOTAL		500.0			

MÓDULO DE FINURA =	**2.999**



D60 =	1.15	**D30 =**	0.395	**D10 =**	0.175
	Cu =	6.57	**Cc =**	0.78	

OBSERVACIONES: LA CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO CUMPLE EL HUSO GRANULOMETRICO "M" DE LA NORMA N.T.P. 400.037 - ATMC-33

EL MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO ESTUDIADO ES DE 2.999.

Anexo 5

Diseño de mezcla de concreto f'c=210 kg/cm² y cálculo de pesos de ceniza

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

DATOS GENERALES

TESIS	: Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	: Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	: Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	: Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ENSAYO	: 22 de octubre de 2024
CANTERA	: Margarita, distrito de Chilete, provincia de Contumazá, Departamento de Cajamarca
COORDENADAS	: 0739127E y 9200727N

CEMENTO :	PORTLAND PACASMAYO TIPO I - A.S.T.M.C - 150	**PESO ESPECIFICO =**	**3.090**	g/cm3

PROCEDENCIA DE AGREGADOS :	
AGREGREGADO FINO	CANTERA MARGARITA - CHILETE
AGREGREGADO GRUESO	CANTERA MARGARITA - CHILETE

F'c =	210	Kg/cm2
F'cr =	252	Kg/cm2

CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCIÓN	**AGREGADO FINO**	**AGREGADO GRUESO**
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		1/2"
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.63 g/cm3	2.62 g/cm3
PESO ESPECIFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	2.66 g/cm3	2.65 g/cm3
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.72 g/cm3	2.70 g/cm3
PESO UNITARIO SUELTO	1612.92 Kg/m3	1602.22 Kg/m3
PESO UNITARIO COMPACTADO	1766.27 Kg/m3	1718.06 Kg/m3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.13	1.94
ABSORCION (%)	1.30	1.20
MODULO DE FINURA	2.999	6.276
ABRASION (%)	…	25.00
% QUE PASA MALLA Nº 200	2.90	0.20

ASENTAMIENTO =	**3" - 4"**	
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO =	**185.0**	Lt/m3
AIRE TOTAL (%) =	**2.0**	
RELACION A/Mc =	**0.650**	**POWERS**

VACIOS =	34.425
VACIOS POR CORREGIR =	-0.575
FCORR. MC=	-0.011

CEMENTO =	**284.62**	Kg/m3	**6.70**	Bolsas/m3

METODO VOLUMENES ABSOLUTOS :		
CEMENTO =	0.092109	m3
AGUA DE MEZCLADO =	0.185	m3
AIRE (%) =	0.02	m3
SUMA =	0.297109	m3
VOLUMEN DE AGREGADOS =	0.702891	m3

AGREGADO FINO SECO =	704.00	Kg/m3
AGREGADO GRUESO SECO =	1140.00	Kg/m3

MODULO DE COMBINACION :	**5.016**
MODULO DE COMBINACION :	**5.027**
% AGREGADO FINO =	**38.10**
% AGREGADO GRUESO =	**61.90**

APORTE HUMEDAD AGREGADOS	
APORTE AF =	-1.19
APORTE AG =	8.41
TOTAL =	7.22

MATERIALES DE DISEÑO

CEMENTO	284.6	Kg
AGUA DE DISEÑO	185.00	Lt
AGREGADO FINO SECO	704.00	Kg
AGREGADO GRUESO SECO	1140.00	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%

MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

CEMENTO	284.6	Kg
AGUA EFECTIVA	177.8	Lt
AGREGADO FINO HUMEDO	712.00	Kg
AGREGADO GRUESO HUMEDO	1162.00	Kg
AIRE TOTAL	2.00	%

PROPORCION EN PESO

CEMENTO	1
A. FINO	2.50
A. GRUESO	4.08
AGUA	26.5 (Lt / Bolsa)

PROPORCION EN VOLUMEN

CEMENTO	1
A. FINO	2.300
A. GRUESO	3.750
AGUA	26.500 (Lt / Bolsa)

CANTIDAD DE MATERIALES NECESARIOS PARA LA TESIS CORREGIDOS POR HUMEDAD

PORCENTAJE DE CENIZA (%)	**0%**	**2.50%**	**5.00%**	**7.50%**	**10.00%**	**15.00%**	**20.00%**
CANTIDAD DE ESPECÍMENES	30	30	30	30	30	30	30
VOLUMEN INC. 5% DE DESP.	0.05189 m³	0.05189 m³	0.05189 m³	0.05189 m³	0.05189 m³	0.05189 m³	0.05189 m³
CENIZA	0.00 kg	0.37 kg	0.74 kg	1.11 kg	1.48 kg	2.22 kg	2.95 kg
CEMENTO	14.77 kg	14.40 kg	14.03 kg	13.66 kg	13.29 kg	12.55 kg	11.82 kg
AGUA EFECTIVA	9.23 lt	9.23 lt	9.23 lt	9.23 lt	9.23 lt	9.23 lt	9.23 lt
AGREGADO FINO HUMEDO	36.95 kg	36.95 kg	36.95 kg	36.95 kg	36.95 kg	36.95 kg	36.95 kg
AGREGADO GRUESO HUMEDO	60.30 kg	60.30 kg	60.30 kg	60.30 kg	60.30 kg	60.30 kg	60.30 kg

Anexo 6

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 7 días de edad y 0,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339.034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	miércoles, 23 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	miércoles, 30 de Octubre de 2024
EDAD	:	07 días
% DE CENIZA	:	0.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.84	9.88	9.74	9.90	9.84	3605.00	19.70	148.04	5	2406.35	198.51
2	9.93	9.92	9.87	9.93	9.91	3620.00	20.00	163.09	5	2346.61	215.61
3	9.90	9.90	9.92	9.91	9.91	3597.00	20.00	162.13	5	2331.70	214.34
4	9.97	9.89	9.94	9.96	9.94	3626.00	20.00	158.92	5	2336.34	208.83
5	9.86	9.86	9.81	9.81	9.84	3582.00	19.90	139.77	5	2366.97	187.42
6	9.78	9.76	9.74	9.74	9.76	3580.00	19.00	142.63	5	2518.49	194.40
7	9.78	9.76	9.94	9.90	9.85	3636.00	19.90	182.47	5	2397.78	244.18
8	9.77	9.93	9.85	9.89	9.86	3609.00	20.00	175.99	5	2363.27	235.03
9	9.82	9.87	9.81	9.93	9.86	3602.00	19.90	162.40	5	2370.54	216.88
10	9.90	9.83	9.97	9.97	9.92	3603.00	19.90	143.08	5	2342.60	188.78

Anexo 7

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 7 días de edad y 2,50% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339.034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	jueves, 24 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	jueves, 31 de Octubre de 2024
EDAD	:	07 días
% DE CENIZA	:	2.50%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.78	9.85	9.82	9.83	9.82	#####	19.90	186.42	5	2377.95	250.99
2	9.80	9.84	9.80	9.83	9.82	#####	20.00	149.52	5	2377.28	201.31
3	9.90	9.78	9.82	9.81	9.83	#####	20.00	181.29	5	2378.37	243.59
4	9.93	9.81	9.83	9.83	9.85	#####	20.00	163.18	5	2393.66	218.37
5	9.85	9.82	9.88	9.88	9.86	#####	19.90	187.93	5	2347.50	250.98
6	9.87	9.85	9.85	9.85	9.86	#####	20.00	184.33	5	2361.30	246.17
7	9.89	9.89	9.83	9.83	9.86	#####	19.80	179.33	5	2371.93	239.49
8	9.95	9.77	9.93	9.93	9.9	#####	20.20	172.29	5	2326.79	228.23
9	9.89	9.82	9.85	9.85	9.85	#####	20.00	169.09	5	2372.01	226.27
10	9.90	9.84	9.84	9.84	9.86	#####	20.00	165.15	5	2372.44	220.55

Anexo 8

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 7 días de edad y 5,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339.034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca – 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	jueves, 24 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	jueves, 31 de Octubre de 2024
EDAD	:	07 días
% DE CENIZA	:	5.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	10.12	10.14	10.18	10.14	10.15	3880.00	20.20	175.33	5	2373.88	220.96
2	10.25	10.25	10.30	10.22	10.26	3927.00	20.30	173.48	5	2339.81	213.97
3	9.99	9.75	9.77	9.88	9.85	3573.00	19.80	166.91	5	2368.13	223.36
4	9.85	9.84	9.85	9.92	9.87	3602.00	20.20	175.17	5	2330.60	233.46
5	9.80	9.90	9.86	9.84	9.85	3577.00	19.90	166.77	5	2358.87	223.17
6	9.86	9.87	9.91	9.76	9.85	3578.00	19.90	157.96	5	2359.53	211.38
7	9.85	9.82	9.80	9.90	9.84	3573.00	19.80	166.86	5	2372.95	223.74
8	10.05	10.06	10.10	10.21	10.11	3848.00	20.00	201.80	5	2396.70	256.34
9	9.78	9.86	9.86	9.82	9.83	3564.00	20.00	164.52	5	2348.07	221.06
10	10.26	10.22	10.25	10.20	10.23	3923.00	20.20	180.40	5	2362.79	223.81

Anexo 9

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 7 días de edad y 7,50% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339.034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	sábado, 26 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	sábado, 2 de Noviembre de 2024
EDAD	:	07 días
% DE CENIZA	:	7.50%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	10.12	10.26	10.11	10.24	10.18	3875.00	20.10	194.28	5	2368.59	243.40
2	10.24	10.20	10.25	10.23	10.23	3940.00	20.40	189.43	5	2349.77	235.01
3	9.82	9.78	9.85	9.81	9.82	3560.00	19.90	166.51	5	2362.02	224.19
4	10.20	10.02	10.02	10.22	10.12	3863.00	20.10	186.29	5	2389.34	236.17
5	10.13	10.12	10.16	10.04	10.11	3793.00	20.00	177.47	5	2362.44	225.43
6	10.13	10.23	10.14	10.15	10.16	3838.00	20.00	157.47	5	2367.00	198.06
7	10.31	10.01	10.19	10.07	10.15	3796.00	20.10	184.04	5	2334.04	231.94
8	10.16	10.13	10.15	10.17	10.15	3825.00	20.10	178.84	5	2351.87	225.38
9	10.11	10.09	10.11	10.11	10.11	3803.00	20.10	150.89	5	2356.88	191.67
10	10.17	10.14	10.17	10.19	10.17	3890.00	20.30	177.88	5	2358.97	223.29

Anexo 10

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 7 días de edad y 10,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339.034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	jueves, 24 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	jueves, 31 de Octubre de 2024
EDAD	:	07 días
% DE CENIZA	:	10.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.78	9.86	9.72	9.69	9.76	3582.00	20.20	154.83	5	2370.20	211.03
2	9.86	9.80	9.79	9.81	9.82	3574.00	20.00	145.22	5	2359.45	195.52
3	9.87	9.80	9.80	9.80	9.82	3566.00	20.00	156.25	5	2354.17	210.37
4	9.82	9.82	9.85	9.77	9.82	3558.00	20.00	147.79	5	2348.89	198.98
5	9.79	9.91	9.72	9.90	9.83	3572.00	19.80	166.21	5	2377.11	223.33
6	9.75	9.92	9.82	9.82	9.83	3565.00	19.80	156.75	5	2372.45	210.62
7	9.83	9.89	9.88	9.91	9.88	3594.00	20.10	163.90	5	2332.27	218.00
8	9.85	9.85	9.80	9.85	9.84	3548.00	19.70	158.47	5	2368.30	212.49
9	9.81	9.90	9.80	9.95	9.87	3597.00	19.80	163.28	5	2374.38	217.61
10	9.75	9.85	9.80	9.82	9.81	3571.00	20.00	164.85	5	2362.28	222.40

Anexo 11

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 7 días de edad y 15,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339.034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	viernes, 25 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	viernes, 1 de Noviembre de 2024
EDAD	:	07 días
% DE CENIZA	:	15.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.91	9.98	9.90	9.95	9.94	3559.00	20.00	146.38	5	2293.17	192.35
2	9.90	9.87	9.90	9.81	9.87	3552.00	19.90	186.13	5	2332.90	248.07
3	9.84	9.87	9.85	9.83	9.85	3479.00	20.00	156.06	5	2282.77	208.84
4	9.84	9.80	9.80	9.96	9.85	3529.00	19.80	143.23	5	2338.97	191.67
5	9.93	9.83	9.94	9.90	9.9	3535.00	19.90	155.97	5	2307.68	206.61
6	9.93	9.88	9.86	9.95	9.91	3497.00	19.80	172.64	5	2289.78	228.24
7	9.93	9.84	9.76	9.84	9.84	3560.00	19.90	165.43	5	2352.43	221.83
8	9.84	9.80	9.85	9.77	9.82	3529.00	19.80	164.48	5	2353.28	221.45
9	9.90	9.94	9.89	9.87	9.9	3524.00	20.00	161.75	5	2289.00	214.27
10	9.77	9.82	9.77	9.80	9.79	3545.00	19.90	144.99	5	2366.51	196.41

Anexo 12

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 7 días de edad y 20,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339.034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	sábado, 26 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	sábado, 2 de Noviembre de 2024
EDAD	:	07 días
% DE CENIZA	:	20.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	10.15	10.14	10.15	10.21	10.16	3845.00	20.30	170.65	5	2336.27	214.64
2	9.79	9.85	9.80	9.69	9.78	3502.00	20.00	123.68	5	2330.87	167.88
3	9.87	9.85	9.79	9.90	9.85	3546.00	20.10	128.62	5	2315.16	172.12
4	9.97	9.76	9.92	9.77	9.86	3539.00	20.00	135.28	5	2317.43	180.66
5	9.80	9.82	9.83	9.80	9.81	3536.00	19.90	135.52	5	2350.88	182.83
6	9.78	9.95	9.82	9.87	9.86	3527.00	19.80	116.08	5	2332.90	155.02
7	9.76	9.83	9.86	9.70	9.79	3508.00	19.90	125.70	5	2341.81	170.28
8	9.87	9.85	9.86	9.80	9.85	3547.00	19.90	117.80	5	2339.08	157.64
9	9.82	9.89	9.88	9.77	9.84	3554.00	20.00	123.20	5	2336.72	165.20
10	9.93	9.77	9.81	9.87	9.85	3555.00	19.80	110.37	5	2356.20	147.70

Anexo 13

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 14 días de edad y 0,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	jueves, 24 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	jueves, 7 de Noviembre de 2024
EDAD	:	14 días
% DE CENIZA	:	0.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.88	9.87	9.74	9.94	9.86	3625.00	19.90	201.04	5	2385.67	268.48
2	9.83	9.85	9.82	9.85	9.84	3648.00	19.90	226.75	5	2410.58	304.05
3	9.93	9.70	9.95	9.84	9.86	3667.00	19.90	212.75	5	2413.32	284.12
4	9.95	9.82	9.75	9.90	9.86	3635.00	20.00	188.47	5	2380.29	251.70
5	9.71	9.94	9.71	9.91	9.82	3651.00	20.00	188.29	5	2410.29	253.51
6	9.92	9.83	9.80	9.84	9.85	3631.00	19.90	191.54	5	2394.48	256.32
7	9.93	9.80	9.85	9.89	9.87	3681.00	20.00	220.01	5	2405.53	293.22
8	9.90	9.83	9.89	9.82	9.86	3674.00	20.00	213.91	5	2405.83	285.67
9	9.91	9.75	9.88	9.72	9.82	3652.00	20.00	180.26	5	2410.95	242.70
10	9.82	9.79	9.72	9.81	9.79	3641.00	20.00	219.97	5	2418.44	297.98

Anexo 14

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 14 días de edad y 2,50% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	jueves, 24 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	jueves, 7 de Noviembre de 2024
EDAD	:	14 días
% DE CENIZA	:	2.50%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.73	9.91	9.90	9.79	9.83	3659.00	19.90	171.77	5	2422.77	230.80
2	9.83	9.84	9.80	9.81	9.82	3591.00	19.80	231.35	5	2394.62	311.48
3	9.80	9.91	9.79	9.90	9.85	3629.00	20.00	198.92	5	2381.19	266.19
4	9.82	9.92	9.76	9.89	9.85	3664.00	20.00	211.37	5	2404.16	282.85
5	9.89	9.78	9.80	9.79	9.82	3659.00	20.00	202.73	5	2415.57	272.95
6	9.84	9.81	9.78	9.86	9.82	3628.00	20.00	197.85	5	2395.10	266.38
7	9.78	9.93	9.79	9.84	9.84	3631.00	19.90	226.01	5	2399.35	303.06
8	9.82	9.80	9.88	9.81	9.83	3668.00	20.00	215.03	5	2416.59	288.92
9	9.73	9.88	9.74	9.87	9.81	3629.00	19.90	212.31	5	2412.71	286.43
10	9.80	9.86	9.87	9.81	9.84	3608.00	19.10	184.68	5	2484.01	247.64

Anexo 15

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 14 días de edad y 5,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	jueves, 24 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	jueves, 7 de Noviembre de 2024
EDAD	:	14 días
% DE CENIZA	:	5.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	10.13	10.13	10.13	10.17	10.14	3858.00	20.00	178.96	5	2388.73	225.98
2	9.97	10.12	9.92	10.07	10.02	3778.00	20.00	195.39	5	2395.56	252.67
3	10.10	10.24	10.83	10.19	10.34	3952.00	20.00	227.35	5	2353.18	276.09
4	10.11	10.14	10.14	10.17	10.14	3900.00	20.00	216.18	5	2414.73	272.98
5	10.15	10.16	10.18	10.10	10.15	3876.00	20.00	209.28	5	2395.14	263.75
6	10.08	10.35	10.04	10.17	10.16	3844.00	20.00	209.84	5	2370.70	263.93
7	10.10	10.15	10.15	10.16	10.14	3905.00	20.00	220.55	5	2417.83	278.50
8	10.13	10.17	10.10	10.12	10.13	3946.00	20.00	222.56	5	2448.04	281.59
9	10.20	10.10	10.16	10.15	10.15	3895.00	20.20	204.69	5	2383.06	257.96
10	10.13	10.13	10.13	10.08	10.12	3877.00	20.20	199.37	5	2386.13	252.75

Anexo 16

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 14 días de edad y 7,50% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	sábado, 26 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	sábado, 9 de Noviembre de 2024
EDAD	:	14 días
% DE CENIZA	:	7.50%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	10.28	10.16	10.22	10.16	10.21	3882.00	20.00	227.34	5	2370.74	283.15
2	10.10	10.16	10.16	10.07	10.12	3880.00	20.10	235.28	5	2399.85	298.27
3	9.78	9.88	9.86	9.83	9.84	3554.00	19.90	232.31	5	2348.47	311.51
4	9.86	9.84	9.91	9.81	9.86	3557.00	19.80	192.62	5	2352.75	257.24
5	9.78	9.85	9.85	9.85	9.83	3551.00	19.80	208.10	5	2363.14	279.61
6	10.22	10.16	10.16	10.09	10.16	3842.00	20.00	234.76	5	2369.46	295.27
7	10.20	10.09	10.13	10.21	10.16	3807.00	20.00	205.49	5	2347.88	258.46
8	10.27	10.23	10.21	10.26	10.24	3975.00	20.10	231.98	5	2401.33	287.24
9	9.89	9.80	9.84	9.78	9.83	3553.00	19.90	192.78	5	2352.58	259.03
10	10.20	10.17	10.13	10.21	10.18	3868.00	20.10	202.95	6	2364.31	254.26

Anexo 17

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 14 días de edad y 10,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	jueves, 24 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	jueves, 7 de Noviembre de 2024
EDAD	:	14 días
% DE CENIZA	:	10.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.80	9.80	9.91	9.81	9.83	3610.00	20.00	195.25	5	2378.37	262.35
2	9.78	9.93	9.83	9.83	9.84	3636.00	20.00	183.29	5	2390.64	245.78
3	9.90	9.79	9.83	9.81	9.83	3631.00	20.00	207.30	5	2392.21	278.54
4	9.73	9.95	9.65	9.86	9.8	3579.00	20.00	203.43	5	2372.41	275.01
5	9.86	9.86	9.82	9.84	9.85	3645.00	20.00	197.23	5	2391.69	263.93
6	9.81	9.77	9.78	9.77	9.78	3583.00	20.00	171.74	5	2384.78	233.12
7	9.86	9.79	9.80	9.92	9.84	3612.00	20.00	179.31	5	2374.86	240.44
8	9.81	9.73	9.85	9.67	9.77	3570.00	20.00	194.68	5	2381.00	264.80
9	9.74	9.83	9.63	9.80	9.75	3561.00	20.00	179.72	5	2384.75	245.46
10	9.82	9.91	9.83	9.81	9.84	3569.00	19.70	186.21	5	2382.32	249.69

Anexo 18

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 14 días de edad y 15,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	viernes, 25 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	viernes, 8 de Noviembre de 2024
EDAD	:	14 días
% DE CENIZA	:	15.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.74	9.85	9.89	9.76	9.81	3575.00	19.90	170.79	5	2376.81	230.42
2	9.85	9.78	9.76	9.82	9.8	3575.00	19.90	189.26	5	2381.67	255.86
3	9.85	9.76	9.89	9.84	9.84	3598.00	20.00	183.24	5	2365.65	245.71
4	9.79	9.87	9.78	9.81	9.81	3559.00	19.90	186.70	5	2366.18	251.88
5	9.84	9.80	9.82	9.80	9.82	3627.00	20.00	172.94	5	2394.44	232.84
6	9.85	9.75	9.80	9.79	9.8	3595.00	20.10	167.49	5	2371.16	226.43
7	9.76	9.81	9.73	9.74	9.76	3558.00	20.00	179.80	5	2377.86	245.06
8	9.80	9.91	9.80	9.87	9.85	3566.00	19.90	162.49	5	2351.61	217.44
9	9.79	9.78	9.84	9.88	9.82	3574.00	19.90	158.63	5	2371.31	213.58
10	9.86	9.78	9.82	9.70	9.79	3581.00	19.90	175.34	5	2390.54	237.52

Anexo 19

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 14 días de edad y 20,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	sábado, 26 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	sábado, 9 de Noviembre de 2024
EDAD	:	14 días
% DE CENIZA	:	20.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.79	9.85	9.75	9.85	9.81	3562.00	20.00	140.76	5	2356.33	189.90
2	9.89	9.84	9.77	9.98	9.87	3581.00	20.00	130.18	2	2340.18	173.50
3	9.93	9.77	9.79	9.84	9.83	3525.00	19.90	125.29	5	2334.04	168.34
4	9.71	9.85	9.82	9.84	9.81	3528.00	19.90	138.63	5	2345.57	187.03
5	9.74	9.89	9.86	9.82	9.83	3571.00	20.00	138.25	5	2352.68	185.76
6	9.82	9.81	9.78	9.85	9.82	3540.00	20.00	119.11	6	2337.01	160.37
7	9.74	9.86	9.82	9.76	9.8	3574.00	20.00	140.31	2	2369.10	189.68
8	9.76	9.86	9.86	9.75	9.81	3601.00	20.00	145.63	5	2382.13	196.47
9	9.82	9.87	9.87	9.82	9.85	3601.00	20.10	136.37	5	2351.07	182.49
10	9.82	9.86	9.81	9.81	9.83	3557.00	20.00	142.53	5	2343.46	191.51

Anexo 20

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 28 días de edad y 0,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	miércoles, 23 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	miércoles, 20 de Noviembre de 2024
EDAD	:	28 días
% DE CENIZA	:	0.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.86	9.83	9.82	9.88	9.85	3630.00	20.00	210.37	5	2381.85	281.51
2	9.94	9.79	9.91	9.83	9.87	3637.00	19.90	218.47	5	2388.72	291.17
3	9.88	9.80	9.83	9.75	9.82	3642.00	20.00	243.48	6	2404.35	327.82
4	9.80	9.85	9.87	9.83	9.84	3654.00	20.00	246.56	2	2402.47	330.61
5	9.75	9.85	9.90	9.88	9.85	3688.00	20.10	229.10	5	2407.87	306.58
6	9.86	9.76	9.85	9.75	9.81	3662.00	20.10	246.14	5	2410.43	332.07
7	9.87	9.88	9.79	9.84	9.85	3643.00	20.00	221.99	5	2390.38	297.06
8	9.83	9.80	9.87	9.78	9.82	3658.00	20.10	248.20	5	2402.89	334.17
9	9.87	9.82	9.82	9.84	9.84	3647.00	20.00	222.04	5	2397.87	297.74
10	9.86	9.91	9.82	9.90	9.87	3660.00	20.00	217.73	5	2391.81	290.18

Anexo 21

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 28 días de edad y 2,50% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	jueves, 24 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	jueves, 21 de Noviembre de 2024
EDAD	:	28 días
% DE CENIZA	:	2.50%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.90	9.82	9.87	9.84	9.86	3640.00	20.00	240.02	5	2383.57	320.54
2	9.84	9.85	9.94	9.84	9.87	3651.00	19.90	240.05	5	2397.92	319.93
3	9.83	9.82	9.82	9.81	9.82	3669.00	20.00	240.17	5	2422.17	323.36
4	9.93	9.76	9.85	9.87	9.85	3643.00	20.00	238.10	5	2390.38	318.62
5	9.85	9.90	9.94	9.81	9.88	3668.00	20.00	234.90	6	2392.19	312.43
6	9.79	9.94	9.81	9.81	9.84	3678.00	20.00	249.40	5	2418.25	334.42
7	9.79	9.83	9.97	9.80	9.85	3591.00	19.90	241.75	5	2368.10	323.51
8	9.83	9.91	9.90	9.81	9.86	3622.00	19.90	264.92	5	2383.70	353.79
9	9.83	9.87	9.90	9.77	9.84	3669.00	20.00	239.95	5	2412.34	321.75
10	9.83	9.82	9.89	9.89	9.86	3663.00	20.00	233.61	2	2398.63	311.98

Anexo 22

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 28 días de edad y 5,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	viernes, 24 de Octubre de 2025
FECHA DE ENSAYO	:	viernes, 21 de Noviembre de 2025
EDAD	:	28 días
% DE CENIZA	:	5.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	10.24	10.26	10.28	10.24	10.26	3987.00	20.10	244.94	5	2399.20	302.10
2	10.15	10.04	10.06	10.13	10.1	3888.00	20.10	241.35	2	2414.34	307.18
3	10.21	10.22	10.24	10.18	10.21	3928.00	20.00	256.99	5	2398.83	320.08
4	10.13	10.16	10.16	10.12	10.14	3902.00	20.10	240.19	2	2403.95	303.30
5	10.25	10.18	10.24	10.21	10.22	3955.00	20.00	253.00	5	2410.60	314.49
6	9.88	9.75	9.78	9.85	9.82	3597.00	19.90	226.19	5	2386.57	304.54
7	10.18	10.25	10.22	10.19	10.21	3951.00	20.00	245.03	2	2412.88	305.18
8	10.09	10.10	10.08	10.09	10.09	3869.00	20.10	261.24	5	2407.30	333.16
9	10.02	10.22	10.00	10.22	10.12	3861.00	20.00	254.39	5	2400.04	322.50
10	10.15	10.14	10.18	10.15	10.16	3838.00	20.10	236.58	5	2355.22	297.56

Anexo 23

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 28 días de edad y 7,50% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	sábado, 26 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	sábado, 23 de Noviembre de 2024
EDAD	:	28 días
% DE CENIZA	:	7.50%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	10.14	10.12	10.13	10.16	10.14	3865.00	19.90	260.03	2	2405.09	328.35
2	10.14	10.14	10.16	10.16	10.15	3879.00	20.00	240.65	5	2397.00	303.28
3	10.16	10.13	10.19	10.17	10.16	3886.00	20.00	242.80	5	2396.60	305.39
4	9.88	9.84	9.80	9.84	9.84	3578.00	19.90	204.58	4	2364.33	274.32
5	10.20	10.13	10.11	10.16	10.15	3844.00	20.00	226.26	5	2375.37	285.14
6	10.18	10.22	10.21	10.19	10.2	3921.00	20.10	235.83	5	2387.32	294.30
7	9.82	9.79	9.93	9.81	9.84	3573.00	19.90	223.10	5	2361.02	299.16
8	9.95	9.83	9.85	9.78	9.85	3595.00	19.80	215.72	5	2382.71	288.67
9	10.03	9.96	10.04	9.95	10	3782.00	20.10	237.90	5	2395.72	308.88
10	9.89	9.84	9.78	9.85	9.84	3580.00	20.10	210.31	5	2342.11	282.01

Anexo 24

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 28 días de edad y 10,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	jueves, 24 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	jueves, 21 de Noviembre de 2024
EDAD	:	28 días
% DE CENIZA	:	10.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.75	9.86	9.78	9.83	9.81	3613.00	19.90	202.16	5	2402.08	272.74
2	9.83	9.90	9.82	9.79	9.84	3597.00	20.00	223.54	2	2365.00	299.75
3	9.78	9.80	9.84	9.85	9.82	3587.00	19.90	216.32	5	2379.94	291.25
4	9.80	9.87	9.73	9.85	9.81	3598.00	20.10	228.43	5	2368.30	308.18
5	9.84	9.90	9.79	9.86	9.85	3614.00	20.10	207.55	5	2359.55	277.74
6	9.91	9.71	9.84	9.76	9.81	3598.00	20.10	213.43	5	2368.30	287.94
7	10.01	9.81	9.82	9.83	9.87	3666.00	19.90	229.38	5	2407.77	305.71
8	9.85	9.84	9.86	9.79	9.84	3608.00	19.90	224.36	5	2384.15	300.85
9	9.85	9.94	9.81	9.78	9.85	3577.00	20.00	226.46	5	2347.07	303.05
10	9.84	9.80	9.89	9.85	9.85	3636.00	20.00	216.06	5	2385.79	289.13

Anexo 25

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 28 días de edad y 15,00% de ceniza

ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	viernes, 25 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	viernes, 22 de Noviembre de 2024
EDAD	:	28 días
% DE CENIZA	:	15.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.85	9.73	9.93	9.82	9.83	3573.00	19.90	215.34	5	2365.83	289.34
2	9.74	9.83	9.71	9.76	9.76	3535.00	19.90	206.04	5	2374.36	280.83
3	9.96	9.88	9.85	9.85	9.89	3590.00	20.00	216.83	5	2336.59	287.82
4	9.82	9.84	9.94	9.76	9.84	3543.00	20.00	202.40	2	2329.49	271.40
5	9.87	9.86	9.76	9.79	9.82	3574.00	20.00	198.93	5	2359.45	267.83
6	9.91	9.85	9.80	9.82	9.85	3557.00	19.80	215.19	5	2357.53	287.96
7	9.80	9.77	9.86	9.77	9.8	3588.00	20.00	203.66	5	2378.38	275.32
8	9.81	9.87	9.81	9.84	9.83	3566.00	19.90	212.77	5	2361.19	285.89
9	9.93	9.83	9.85	9.88	9.87	3609.00	20.00	212.58	5	2358.48	283.32
10	9.77	9.88	9.91	9.83	9.85	3614.00	20.00	205.09	4	2371.35	274.45

Anexo 26

Ensayo a la compresión de especímenes de concreto a los 28 días de edad y 20,00% de ceniza

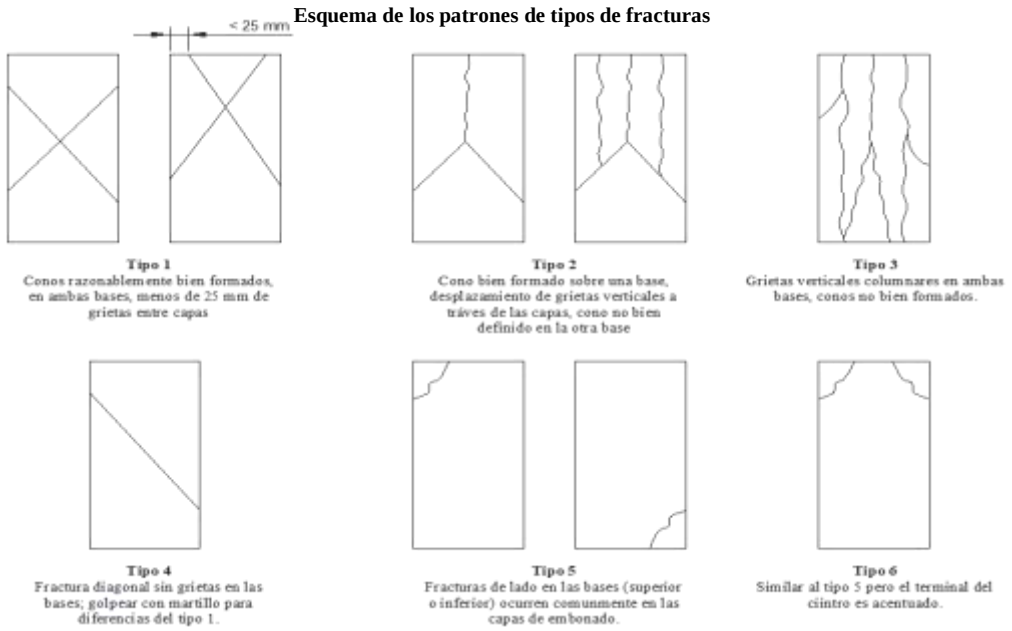
ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
ASTM C39 - NTP 339-034

DATOS GENERALES

TESIS	:	Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm2 al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024
UBICACIÓN	:	Distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca
TESISTA	:	Bach. Edinson Fernando Pajares Urteaga
ASESOR	:	Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
FECHA DE ELAB.	:	sábado, 26 de Octubre de 2024
FECHA DE ENSAYO	:	sábado, 23 de Noviembre de 2024
EDAD	:	28 días
% DE CENIZA	:	20.00%

Muestra	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Peso (gr)	Altura (cm)	Carga (KN)	Tipo de falla	P.U.C° (Kg/m³)	f´c (Kg/cm²)
1	9.79	9.80	9.85	9.85	9.82	3586.00	20.10	164.00	2	2355.60	220.81
2	9.92	9.83	9.86	9.84	9.86	3556.00	19.90	156.14	5	2340.26	208.52
3	9.84	9.83	9.76	9.87	9.83	3599.00	20.00	150.28	5	2371.13	201.92
4	9.81	9.86	9.84	9.83	9.84	3547.00	19.90	160.77	5	2343.84	215.58
5	9.81	9.80	9.81	9.79	9.8	3543.00	20.00	157.30	5	2348.55	212.65
6	9.83	9.83	9.81	9.90	9.84	3591.00	20.10	139.21	2	2349.30	186.67
7	9.87	9.86	8.80	9.83	9.59	3539.00	20.00	137.56	6	2449.76	194.20
8	9.82	9.86	9.78	9.86	9.83	3544.00	19.90	159.72	6	2346.63	214.61
9	9.84	9.89	9.79	9.87	9.85	3541.00	20.00	162.09	5	2323.45	216.91
10	9.81	9.78	9.84	9.86	9.82	3548.00	20.00	165.39	5	2342.29	222.68

Esquema de los patrones de tipos de fracturas



Anexo 27

Constancia de realización de ensayos

GUERSAN INGENIEROS SRL

SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA
ELABORACIÓN DE PERFILES Y EXPEDIENTES TÉCNICOS
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
SERVICIO DE TOPOGRAFÍA Y ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS
CEL. 939291809 / TEL. 076 633319

RUC: 20602101488
Dirección: Psj. Diego Ferre N° 295 – Barrio San Martín – Cajamarca.
CORREO: guersaningenieros@gmail.com

Yo **LEINER GUERRERO GONZÁLES**, identificado con **DNI N° 45567546**, gerente general de **GUERSAN INGENIEROS S.R.L.**, con **RUC N° 20602101488**, deja:

CONSTANCIA:

Que el señor **EDINSON FERNANDO PAJARES URTEAGA**, identificado con **DNI N° 70196051**, ha realizado sus ensayos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la empresa GUERSAN INGENIEROS SRL, para su tesis titulada **"Variación de la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² al reemplazar porcentualmente el cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Cajamarca - 2024"**. Dichos ensayos se realizaron entre los meses de agosto a noviembre del año 2024.

Se expide la presente, para los fines que estime conveniente.

Cajamarca, 21 de mayo de 2025

GUERSAN INGENIEROS S.R.L.
LEINER GUERRERO GONZALES
GERENTE GENERAL
DNI N° 45567546

Anexo 28

Análisis fisicoquímico de la ceniza de bagazo de caña de azúcar

INGECONSULT & LAB

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
CELULAR: 948818861 CORREO: amosqueira@unc.edu.pe

ANÁLISIS DE pH, CONTENIDO DE CLORUROS, SULFATOS Y SALES SOLUBLES TOTALES

(NTP 339.176 - 339.177 - 339.178 - 339.152)

SOLICITANTE	: PAJARES URTEAGA EDINSON FERNANDO
TESIS	: "VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM² AL REEMPLAZAR PORCENTUALMENTE EL CEMENTO POR CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN CAJAMARCA - 2024"
ENSAYO	: PH, SULFATOS CLORUROS Y SALES SOLUBLES EN AGREGADOS
MUESTRA	: AGREGADO FINO Y GRUESO
FECHA	: 04/11/2024

RESULTADO DEL ANÁLISIS

TIPO	pH	CLORUROS (Cl)-1		SULFATOS (SO4)-2		SALES SOLUBLES	
		(ppm)	%	(ppm)	%	(ppm)	%
AGREGADO GRUESO	7.80	44.50	0.0045	58.80	0.0059	3550.00	0.355
AGREGADO FINO	7.20	49.10	0.0049	60.20	0.0060	3100.00	0.310

NOTA : La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer el análisis respectivo.

Dr. Hugo Mosquera Extraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Anexo 29

Análisis fisicoquímico de la ceniza de bagazo de caña de azúcar

INGECONSULT & LAB

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
CELULAR: 948818861 CORREO: amosqueira@unc.edu.pe

ANÁLISIS FISICOQUIMICO DE UNA MUESTRA DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

(MÉTODO POR CALCINACIÓN)

SOLICITANTE : PAJARES URTEAGA EDINSON FERNANDO

TESIS : "VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM² AL REEMPLAZAR PORCENTUALMENTE EL CEMENTO POR CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN CAJAMARCA - 2024"

ENSAYO : COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ÓXIDOS

MUESTRA : CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR

FECHA : 04/11/2024

RESULTADO DEL ANÁLISIS

ANALISIS	Resultado (%)
Oxido de Calcio (CaO)	3.75
Óxido de Silicio (SiO_2)	49.88
Óxido de Aluminio (Al_2O_3)	5.40
Óxido de Magnesio (MgO)	0.83
Óxido de Sodio (Na_2O)	0.32
Óxido de Potasio (K_2O)	4.70
Óxido de Azufre (SO_3)	1.24

NOTA : La muestra fue alcanzada a este laboratorio por el interesado, al que luego se procedió a hacer el análisis respectivo.

Dr. Hugo Mosquera Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Anexo 30

Ficha técnica del cemento Pacasmayo Tipo I

Cemento Tipo I

Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	< 3.0
SO_3	Máximo	3.00	%	NTP 334.086	< 2.5 - 2.95 >
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	< 3.3
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	< 1.2

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Contenido de aire en Mortero	Máximo	12	%	NTP 334.048	< 7 - 10 >
Finura					
Superficie específica	Mínimo	260	m^2/kg	NTP 334.002	>= 380
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	< 0.20
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 24.1 (>= 3500)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 30.3 (>= 4400)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 37.9 (>= 5500)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	< 110 - 150 >
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	< 230 - 260 >
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	< 0.010

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 y la ASTM C150.

Pacasmayo

Para más información ingresa a:
www.cementospacasmayo.com.pe
O escanea el código QR: