

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO**

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



TESIS

**ANÁLISIS DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CENIZAS DE ASERRÍN
POR CEMENTO TIPO IP EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO
F'C=210 KG/CM2 PROCEDENTE DE LAS LADRILLERAS DEL
DISTRITO DE SAN JERÓNIMO PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE
CUSCO - 2023**

Presentado por:

Bach. Sullca Condori, Victor

**Para optar al título profesional de
INGENIERO CIVIL**

Asesor:

PhD. Ing. Aida Zapata Mar

Cusco – Perú

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Análisis de la Sustitución parcial de cenizas de aserrín por Cemento Tipo IP en la resistencia del concreto F'c = 210 KG/CM² Procedente de las ladrilleras del Distrito de San Jerónimo Provincia y Departamento de Cusco - 2023

presentado por: Bacho Víctor Sulca Condori con DNI Nro.: 42966251 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de Ingeniería Civil

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 18 de Abril de 2024

Aida Zapata de Canio

Firma
Post firma Ph.D Ing. AIDA ZAPATA MAR

Nro. de DNI 46939604

ORCID del Asesor 0000-0002-5500-0134

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:348209644

NOMBRE DEL TRABAJO
TESIS

AUTOR
VICTOR SULLCA CONDORI

RECUENTO DE PALABRAS
34117 Words

RECUENTO DE CARACTERES
171910 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS
173 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO
15.3MB

FECHA DE ENTREGA
Apr 18, 2024 12:21 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME
Apr 18, 2024 12:24 PM GMT-5

● **6% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

Aida Zapata de Cevallos

DEDICATORIA

Agradezco a mis seres queridos por estar siempre presente en los momentos más difíciles de mi vida, confiar en mí y ayudarme a alcanzar esta importante meta que gracias a su lucha constante y sacrificio no sería posible. También me enseñaron a no rendirme y luchar siempre para alcanzar cada meta que me proponga.

A mi madre que guía cada uno de mis pasos que doy y cada vez que miro al cielo siempre la recuerdo y llevo en mi corazón ella que en vida me formo para alcanzar cada meta que me proponga.

AGRADECIMIENTOS

Primer que nada doy gracias a Dios por guiarme por el camino correcto y darme la fuerza para levantarme y seguir adelante en los momentos más difíciles de mi vida.

Agradezco a mis padres y hermanos por ser las principales motivaciones y brindarme orientación, amor y cariño para lograr este sueño tan ansiado. A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por acogerme en sus filas y abrirme las puertas para iniciar y culminar mi carrera profesional.

A mi Asesora de Tesis Phd. Ing. Aida Zapata Mar, quien me brindo todo su apoyo y conocimiento en la elaboración de la presente tesis.

RESUMEN

En este trabajo de investigación el objetivo general fue determinar el diseño de una mezcla de concreto con una resistencia a compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, reemplazando parcialmente al cemento tipo IP con diferentes proporciones en peso de ceniza de aserrín, la metodología de investigación fue con un enfoque cuantitativo, correlacional y con un diseño cuasi – experimental, la muestra de estudio fue de 126 testigos cilíndricos de concreto de 6” x 12” divididos en porcentajes de contenido de ceniza de aserrín de: 0”, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15%, también se realizaron 21 vigas de hormigón con remplazo parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín en porcentajes de 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15%, para lo cual se realizó el diseño de mezcla con un esfuerzo a compresión de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y la dosificación del remplazo parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín, se realizó los ensayos de resistencia a compresión de los testigos cilíndricos y el ensayo de resistencia a flexión de las vigas de concreto con contenido de ceniza. Los resultados mostraron que el porcentaje óptimo de remplazo parcial del cemento tipo IP es con 10% de ceniza de aserrín alcanzando su valor máximo de 219.55 kg/cm^2 presentando una reducción del 2.05% con respecto al valor promedio del testigo de referencia, en cuanto para la viga su valor máximo es de 9.58 M.pa. Presentando un incremento de 3.78% con respecto al valor promedio de la muestra de referencia, en cuanto a la temperatura del concreto fresco presenta una reducción gradual del calor de hidratación con respecto a la muestra de referencia. Se concluye que, si es posible el remplazar parcialmente del cemento tipo IP con cenizas de aserrín, pero no se logra alcanzar la resistencia a compresión de la muestra de referencia.

Palabras claves: sustitución parcial del cemento por cenizas de aserrín, temperatura del concreto fresco, consistencia normal del cemento, tiempo de fraguado del cemento, resistencia a compresión, resistencia a flexión.

ABSTRACT

In this research work, the general objective was to determine the design of a concrete mixture with a concrete compressive strength $f_c=210$ kg/cm², partially replacing the IP type cement with different weight proportions of sawdust ash, the The research methodology was with a quantitative, correlational approach and with a quasi-experimental design, the study sample was 126 6" x 12" cylindrical concrete cores divided into sawdust ash content percentages of: 0%, 2.5 %, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% and 15%, 21 concrete beams were also made with partial replacement of type IP cement with sawdust ashes in percentages of: 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% and 15%, for which the mix design was carried out with a compressive stress of $f_c=210$ kg/cm² and the dosage of the partial replacement of the IP type cement with sawdust ashes, the compression resistance tests of the cylindrical cores and the flexural resistance test of the concrete beams with ash content. The results showed that the optimal percentage of partial replacement of type IP cement is with 10% of sawdust ash, reaching its maximum value of 219.55 kg/cm², presenting a reduction of 2.05% with respect to the average value of the reference witness, as for The maximum value of the beam is 9.58 Mpa. Presenting an increase of 3.78% with respect to the average value of the reference sample, in terms of the temperature of the fresh concrete, it presents a gradual reduction in the heat of hydration with respect to the reference sample. It is concluded that, if it is possible to partially replace the IP type cement with sawdust ashes, but the compressive strength of the reference sample is not achieved.

Keywords: partial replacement of cement with sawdust ash, temperature of fresh concrete, normal consistency of cement, cement setting time, compressive strength, flexural strength.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
GLOSARIO DE NTP	20
INTRODUCCIÓN.....	21
CAPITULO I. GENERALIDADES.....	22
1.1 Justificación de la Investigación.....	22
1.1.1. Justificación Práctica.....	22
1.1.2. Justificación Metodológica.....	22
1.1.3. Justificación Teórica.	22
1.2 Planteamiento y Formulación del Problema de Investigación	23
1.2.1. Planteamiento del Problema de Investigación.....	23
1.2.2. Formulación del Problema de Investigación	23
1.2.2.1 Problema General.....	23
1.2.2.2 Problemas específicos	24
1.3 Objetivos de la Investigación	24
1.3.1. Objetivo General	24
1.3.2. Objetivos específicos.....	24
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	25
2.1 Antecedentes de la Investigación	25
2.1.1. Antecedentes internacionales	25
2.1.2. Antecedentes nacionales	28
2.2 TEORÍA RELACIONADO AL TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	31
2.2.1. Cenizas de aserrín.....	31
2.2.1.1 Producción de ceniza de aserrín de madera.....	32
2.2.1.2 Almacenaje de la ceniza de aserrín	32
2.2.1. Concreto	33
2.2.2. Cemento	34
2.2.2.1 Cemento Tipo IP	35
2.2.3. Agregado	35
2.2.3.1 Clasificación de los agregados	36
a. Agregado fino.....	36

b.	Agregado grueso	36
2.2.4.	Agua	36
2.3	Base Teórica de las Propiedades del Concreto.....	37
2.3.1.	Trabajabilidad.....	37
2.3.2.	Consistencia.	37
2.3.3.	Segregación.....	37
2.3.4.	Relación agua cemento (a/c)	38
2.3.5.	Temperatura del concreto.....	38
2.3.6.	Consistencia normal del cemento.....	39
2.3.7.	Tiempo de fraguado del cemento.	39
2.3.8.	Resistencia a la Compresión del Concreto	39
2.3.9.	Resistencia a la flexión del concreto	40
2.3.9.1	Cálculo del Módulo de Ruptura (fr).....	41
CAPITULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN		42
3.1	Hipótesis y Variables de la Investigación	42
3.1.1.	Hipótesis general	42
3.1.2.	Hipótesis específica.....	43
3.2	Identificación de Variables de la Investigación.....	43
3.2.1.	Variable independiente.....	43
3.2.2.	Variable dependiente.....	43
3.3	Metodología	45
3.3.1.	Enfoque de Investigación	45
3.3.2.	Nivel de Investigación.....	45
3.3.3.	Tipo de Investigación.....	45
3.3.4.	Diseño Metodológico	45
3.4	Delimitación de la Investigación.....	46
3.4.1.	Delimitación Conceptual.....	46
3.4.2.	Delimitación Espacial	46
3.4.3.	Delimitación Temporal	46
3.5	Limitaciones de Estudio	46
•	Manual de ensayo de materiales del MTC.....	46
•	Norma técnica peruana para el concreto.	46
•	American Society for Testing and Materials (ASTM).....	47
•	American Concrete Institute (ACI), entre otros.	47
3.6	Alcance.....	47
3.7	Ensayos de Laboratorio:.....	47

3.9	Viabilidad de Abastecimiento de la Ceniza de Aserrín.....	48
3.10	Costo de Concreto Tradicional y Concreto con Ceniza de Aserrín.....	48
3.11	Población y Muestra.....	49
3.11.1.	Población.....	49
3.11.2.	Muestra.....	49
3.11.3.	Tamaño de la Muestra	50
3.12	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	51
3.12.1.	Técnicas de Recolección de Datos	51
3.12.1.1	Observación.....	51
3.12.1.2	Análisis Documental	52
3.12.2.	Instrumentos de Recolección de Datos	52
CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN		53
4.1	Descripción de la Muestra.....	53
4.2	Ensayos de laboratorio	53
4.2.1.	Análisis granulométrico del agregado grueso y fino.....	53
4.2.2.	Densidad relativa y Absorción de Agregados Finos	56
4.2.3.	Peso Específico y Absorción de los Agregados Gruesos	58
4.2.4.	Método de Ensayo Para Contenido de Humedad total de los Áridos por Secado.....	59
4.2.5.	Determinación del Peso Unitario y Vacíos de los Áridos	60
4.3	Diseño de Mezcla Método ACI 211.1	62
4.3.1.	Factor de Seguridad.....	62
4.3.2.	Verificación del Tamaño Máximo Nominal	63
4.3.3.	Selección del Asentamiento	63
4.3.4.	Volumen Unitario de Agua	63
4.3.6.	Contenido de Aire	64
4.3.7.	Selección de Relación agua - cemento	64
4.3.8.	Cálculo del Factor Cemento	65
4.3.10.	Cálculo de Contenido del Árido Grueso	66
4.3.11.	Cálculo de Volúmenes Absolutos	67
4.3.12.	Determinación del Contenido de Agregado Fino.....	67
4.3.13.	Corrección del Contenido de Humedad del Agregado.....	67
4.4	Resultados de Ensayos en Estado Fresco del Concreto.....	69
4.4.1.	Resultados del Ensayo de Revenimiento del Concreto.	69
4.4.3.	Resultados del ensayo del control de temperatura del concreto.....	71
4.4.4.	Resultados de la Prueba de Consistencia Normal del Cemento.....	72
4.4.5.	Resultados de la Prueba de Tiempo de Fraguado del Cemento y Cemento con Adición de Cenizas de Aserrín.....	74

4.5	Resultados de ensayos en estado endurecido del concreto.....	76
4.5.1.	Resultados de la Resistencia a la Compresión de Concreto Patrón.....	77
4.5.2.	Resultados de ensayos de concreto con 2.5% de ceniza de aserrín.....	81
4.5.3.	Resultados de ensayos de concreto con 5.0% de ceniza de aserrín.....	86
4.5.4.	Resultados de ensayos de concreto con 7.5% de ceniza de aserrín.....	91
4.5.5.	Resultados de ensayos de concreto con 10% de ceniza de aserrín.....	95
4.5.6.	Resultados de ensayos de concreto con 12.5% de ceniza de aserrín.....	100
4.5.7.	Resultados de ensayos de concreto con 15% de ceniza de aserrín.....	104
4.5.8.	Resultados de Ensayo de Resistencia a la Flexión de Vigas Simplemente Apoyadas con Carga a los Tercios del Tramo.....	109
CAPITULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		120
5.1	Análisis de Resultados	120
5.1.1.	Testigos de Referencia	120
5.1.2.	Testigos con 2.5% de Contenido de Ceniza de Aserrín	120
5.1.3.	Testigos con 5% de Contenido de Ceniza de Aserrín	121
5.1.4.	Testigos con 7.5% de Contenido de Cenizas de Aserrín.....	122
5.1.5.	Testigos con 10% de Contenido de Cenizas de Aserrín.....	122
5.1.6.	Testigos con 12.5% de Contenido de Ceniza de Aserrín	123
5.1.7.	Testigos con 15% de Contenido de Cenizas de Aserrín.....	124
5.2	Discusión de Resultados.....	124
5.2.1.	Discusión del Objetivo General de la Investigación	124
5.2.2.	Discusión de los Objetivos Específicos.....	125
5.2.3.	Discusión de la Hipótesis General.....	126
5.2.4.	Discusión de la Hipótesis Específica.....	128
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		129
6.1	Conclusiones	129
6.2	Recomendaciones.....	130
Referencia Bibliográficas		131
ANEXOS.....		134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Compuestos Químicos que Forman al Cemento Portland.....	35
Tabla 2 Valores de λ para Hormigón Liviano con Base en la Densidad de Equilibrio....	41
Tabla 3 Valores de λ para Hormigón Liviano con Base en la Composición de los Agregados.....	42
Tabla 4 Operacionalización de Variables Dependiente e Independientes.....	44
Tabla 5 Aglomerantes para un Metro Cubico de Concreto de $f'c=210$ kg/cm ²	48
Tabla 6 Costo de Materiales por m ³ del Concreto	49
<i>Tabla 7 Muestras Cilíndricas de Concreto - Testigos Patrón y Testigos con Sustitución Parcial de Ceniza de Aserrín</i>	<i>50</i>
Tabla 8 Muestras de vigas de Hormigón de 15x15x65 cm.....	50
Tabla 9 Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	54
Tabla 10 Análisis Granulométrico del Agregado Fino.....	55
Tabla 11 Datos de las Muestras a Ensayar Agregado Fino	57
Tabla 12 Cálculo de la Densidad Relativa del Agregado Fino.....	57
Tabla 13 Cálculo del Porcentaje de Absorción Agregado Fino	58
Tabla 14 Datos de las Muestras a Ensayar Agregado Grueso	58
Tabla 15 Cálculos de Densidades Agregado Grueso.....	58
Tabla 16 Cálculo del Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso	59
Tabla 17 Contenido de Humedad del Agregado Fino	59
Tabla 18 Contenido de Humedad del Agregado Grueso	60
Tabla 19 Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.....	60
Tabla 20 Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.....	61
Tabla 21 Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso	61
Tabla 22 Datos Principales de los materiales para el diseño.....	62

Tabla 23 Determinación de la Resistencia Promedio Requerida.....	62
Tabla 24 Volumen Unitario de Agua	63
Tabla 25 Contenido de Aire Atrapado.....	64
Tabla 26 Relación Agua-Cemento por Resistencia.....	65
Tabla 27 Interpolación para hallar la Relación a/c	65
Tabla 28 Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen del Concreto	66
Tabla 29 Tabulación para obtener el volumen del agregado grueso seco compactado.	66
Tabla 30 Volúmenes de cada material.....	67
Tabla 31 Proporcionamiento para el Diseño de Mezcla Con 0% de contenido de Ceniza	68
Tabla 32 Proporcionamiento de sustitución en peso del cemento por cenizas de aserrín	68
Tabla 33 Resultados del ensayo de Revenimiento de la Mezcla de Concreto.....	69
Tabla 34 Temperatura del Concreto en Estado Fresco.....	71
Tabla 35 Ensayo Realizado a la Pasta de Cemento Tipo IP.....	73
Tabla 36 Tiempo de Fraguado del Cemento más Ceniza de Aserrín	75
Tabla 37 Resultados de la Resistencia a la Compresión del Testigo Patrón a los 7 días de Curado	77
Tabla 38 Resultados de la Resistencia a la Compresión del Testigo Patrón a los 14 Días de Curado.....	79
Tabla 39 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 2.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.....	82
Tabla 40 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 2.5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.....	84

Tabla 41 | Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 2.5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado. 85

Tabla 42 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado..... 87

Tabla 43 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado..... 88

Tabla 44 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado..... 90

Tabla 45 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado. 91

Tabla 46 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado..... 93

Tabla 47 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado. 94

Tabla 48 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 10% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado..... 96

Tabla 49 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 10% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado..... 97

Tabla 50 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 10% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado..... 99

Tabla 51 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado. 100

Tabla 52 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado. 102

Tabla 53 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.	103
Tabla 54 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 15% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.....	105
Tabla 55 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 15% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.....	106
Tabla 56 Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 15% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.....	108
Tabla 57 Módulo de Rotura de Concreto Patrón Después de 28 Días de Curado.....	110
Tabla 58 Modula de Rotura de Concreto con 2.5% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días.....	111
Tabla 59 Modula de Rotura de Concreto con 5% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días.....	113
Tabla 60 Modula de Rotura de Concreto con 7.5% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días.....	114
Tabla 61 Modula de Rotura de Concreto con 10% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días.....	116
Tabla 62 Modula de Rotura de Concreto con 12.5% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días.....	117
Tabla 63 Modula de Rotura de Concreto con 15% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días.....	119
Tabla 64 Resistencia a la Compresión con 0% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días ...	120
Tabla 65 Resistencia a la Compresión con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días	121
Tabla 66 Resistencia a la Compresión con 5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días ...	121
Tabla 67 Resistencia a la Compresión con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días	122

Tabla 68 Resistencia a la Compresión con 10% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días .	123
Tabla 69 Resistencia a la Compresión con 12.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días	123
Tabla 70 Resistencia a la Compresión con 15% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días .	124
Tabla 71 Análisis del Costo de Ceniza de Aserrín	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva Granulométrica del Agregado Grueso.....	54
Figura 2 Curva Granulométrica del Agregado Fino.....	56
Figura 3 Variación de la Determinación del Slump para Cada Tipo de Concreto.....	70
Figura 4 Variación de la Temperatura del Concreto en Estado Fresco.....	72
Figura 5 Ensayo de Consistencia Normal del Cemento Tipo IP.....	73
Figura 6 Ensayo de Tiempo de Fraguado del Cemento más Cenizas de Aserrín.....	74
Figura 7 Variación del Tiempo de Fraguado del Cemento más Cenizas	75
Figura 8 Esquema de los Patrones de Tipos de Fracturas	76
Figura 9 Tipo de Falla en Briqueta con 0% de Ceniza de Aserrín a los 7 Días de Curado.	77
Figura 10 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 0% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.	78
Figura 11 Tipo de falla en briqueta con 0% de ceniza de aserrín a los 14 días de curado	78
Figura 12 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 0% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.	79
Figura 13 Tipo de falla en briqueta con 0% de ceniza de aserrín a los 28 días de curado	80
Figura 14 Resultados de la Resistencia a la Compresión del Testigo Patrón a los 28 Días de Curado.....	80

Figura 15 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 0% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado	81
Figura 16 Tipo de Falla en Testigo con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 7 días de curado	82
Figura 17 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 2.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.	83
Figura 18 Tipo de Falla en Testigo con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 14 días de curado	83
Figura 19 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 2.5% de cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado	84
Figura 20 Tipo de Falla de Testigo con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	85
Figura 21 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 2.5% de cenizas de aserrín a los 28 Días de Curado.	86
Figura 22 Tipo de Falla de Testigo con 5% de Ceniza de Aserrín a los 7 Días de Curado.	86
Figura 23 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.	87
Figura 24 Tipo de Falla de Testigo con 5% de Ceniza de Aserrín a los 14 Días de Curado.	88
Figura 25 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.	89

Figura 26 Tipo de Falla de Testigo con 5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	89
Figura 27 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.	90
Figura 28 Tipo de Falla de Testigo con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 7 Días de Curado.	91
Figura 29 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.	92
Figura 30 Tipo de Falla de Testigo con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 14 Días de Curado.	92
Figura 31 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado	93
Figura 32 Tipo de Falla de Testigo con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	94
Figura 33 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.	95
Figura 34 Tipo de Falla de Testigo con 10% de Ceniza de Aserrín a los Días de Curado.	95
Figura 35 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 10% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado	96
Figura 36 Tipo de Falla de Testigo con 10% de Ceniza de Aserrín a los 14 Días de Curado.	97

Figura 37 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 10% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado	98
Figura 38 Tipo de Falla de Testigo con 10% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	98
Figura 39 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 10% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.	99
Figura 40 Tipo de Falla de Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 7 Días de Curado.	100
Figura 41 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.	101
Figura 42 Tipo de Falla de Testigo con 12.5% de Ceniza de Aserrín a los 14 Días de Curado.	101
Figura 43 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.	102
Figura 44 Tipo de Falla de Testigo con 12.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	103
Figura 45 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.	104
Figura 46 Tipo de Falla de Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 7 Días de Curado.	104
Figura 47 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 15% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.	105

Figura 48 Tipo de Falla de Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 14 Días de Curado.	106
Figura 49 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 15% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.	107
Figura 50 Tipo de Falla de Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 28/ Días de Curado.	107
Figura 51 Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 15% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.	108
Figura 52 Ensayo a Flexión de Testigo prismático con 0% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado	109
Figura 53 Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 0% de Ceniza de Aserrín (Patrón) a los 28 Días de Curado.....	110
Figura 54 Ensayo a Flexión del Testigo con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado	111
Figura 55 Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	112
Figura 56 Ensayo a Flexión del Testigo con 5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado	112
Figura 57 Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	113
Figura 58 Ensayo a Flexión del Testigo con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado	114

Figura 59 Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	115
Figura 60 Ensayo a Flexión del Testigo con 10% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado	115
Figura 61 Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 10% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	116
Figura 62 Ensayo a Flexión del Testigo con 12.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.....	117
Figura 63 Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 12.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	118
Figura 64 Ensayo a Flexión del Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado	118
Figura 65 Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.	119

GLOSARIO DE NTP

Descripción	Norma	Año	Edición	Referencia
CEMENTOS. Métodos de ensayo para la cantidad de agua requerida para determinar la consistencia normal en pastas de cemento hidráulico	NTP 334.074	2019	4ta	-
AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones.	NTP 400.037	2021	5ta	-
CEMENTOS. Cementos hidráulicos adicionados. Requisitos.	NTP 334.090	2020	8va	-
Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo	NTP 400.012	2021	4ta	MTC E-204
AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo.	NTP 400.022	2021	4ta	MTC E-205
AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo	NTP 400.021	2020	-	MTC E-206
AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados	NTP 400.017	2020	-	MTC E-203
Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.	NTP 339.034	2021	5ta	MTC E-704
Cementos. Cementos hidráulicos adicionados. Requisitos	NTP 334.090	2020	8va	-
CONCRETO. Elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. Práctica.	NTP 339.033	2021	5ta	-
Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado	NTP 339.185		-	MTC E-215
CEMENTOS: Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico utilizando la aguja de vicat	NTP 334.006	2019	4ta	MTC E-605
(CONCRETO). Práctica normalizada para el refrentado de testigos cilíndricos de hormigón (concreto).	NTP 339.037	2018	4ta	MTC E-703
(CONCRETO), Método de ensayo normalizado para la determinación de resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas	NTP 339.034	2021	5ta	MTC E-704
(CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland.	NTP 339.035	2019	3ra	MTC E-705
HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.	NTP 339.078	2022	4ta	MTC E-709
HORMIGON (CONCRE). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto).	NTP 339.184	2021	3ra	MTC E-724
HORMIGON. Método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en obra.	NTP 339.033	2021	5ta	MTC E-723

INTRODUCCIÓN

En la región de Cusco se cuenta con un escaso estudio de nuevas metodologías de elaboración del hormigón, con remplazo parcial o total del cemento con nuevos materiales aglomerantes para la mezcla de hormigón. El cambio económico y el crecimiento poblacional que viene siendo reflejado por nuevas y modernas obras de infraestructuras como obras viales, aéreas, hospitalarias, etc. Estas Obras de infraestructura que tienen como principal aglomerante; al cemento, motivándonos así a realizar un nuevo concreto con remplazo parcial del cemento por un porcentaje de cenizas de aserrín procedentes de las ladrilleras del distrito de San Jerónimo. Con la finalidad de reducir los desechos de contaminación ambiental ocasionado por las cenizas de aserrín, y ser una alternativa sostenible para la producción del concreto.

El tema de investigación surge de la búsqueda de nuevos materiales de construcción como remplazo parcial del cemento con cenizas de aserrín, como elemento aglomerante para la elaboración del concreto con mejores y/o iguales resultados de la resistencia a la compresión y durabilidad que un hormigón convencional.

El concreto es el material más utilizado en el sector de la construcción siendo el cemento su principal material aglomerante ¿Cuál es el porcentaje óptimo de sustitución parcial del cemento por cenizas de aserrín? Con la variación del porcentaje en peso de la ceniza de aserrín como sustituto parcial del cemento tipo IP, incrementara la resistencia a la compresión del concreto.

El tema de investigación es del tipo cuantitativo y cuasiexperimental, al momento de la recolección de datos, presentando formatos de registro para los ensayos de laboratorio a realizar.

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1 Justificación de la Investigación

Se pretende realizar un análisis comparativo de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido: Slump, relación agua cemento (a/c), temperatura de mezcla de hormigón en estado fresco, resistencia a la compresión del hormigón de referencia y hormigón con remplazo parcial del cemento tipo IP por cenizas de aserrín.

1.1.1. Justificación Práctica.

El estudio determinará la viabilidad del remplazo parcial del cemento tipo IP con un porcentaje de cenizas de aserrín dando como resultado un requerimiento menor del contenido de cemento para el preparado del hormigón sin contenido de ceniza de aserrín. Asimismo, se obtendrán dosificaciones que permita la obtención de un nuevo hormigón con nuevas proporciones de cemento y cenizas de aserrín en el concreto convencional.

Por otro lado, existe la necesidad de poner en valor los desechos de los hornos de las ladrilleras del distrito de San Jerónimo como las cenizas de aserrín reciclándolas y poniéndolas en uso como material cementante.

1.1.2. Justificación Metodológica.

El presente proyecto de investigación se basa en el análisis bibliográfico del conjunto de datos de tesis, informes y artículos nacionales y extranjeros que realizaron de forma experimental la sustitución o adición de las cenizas de diferentes procedencias al concreto.

1.1.3. Justificación Teórica.

Se realiza la presente investigación buscando contribuir con un avance teórico en las futuras investigaciones de la tecnología de materiales con un análisis del estudio de

las ventajas y desventajas del remplazo parcial del cemento tipo IP por cenizas de aserrín en el concreto de resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

1.2 Planteamiento y Formulación del Problema de Investigación

1.2.1. Planteamiento del Problema de Investigación

El hormigón es el material de construcción más utilizado en el mundo debido a su versatilidad para adaptarse a diferentes formas en estado fresco y su alta resistencia a la compresión. La permeabilidad y la estanqueidad al aire lo convierten en un elemento constructivo ideal. Todo esto ha creado una enorme demanda de hormigón en la industria de la construcción, que ha crecido rápidamente en los últimos años. (Pérez & Ochoa, 2021, pag.32).

“En abril del 2022, la demanda del cemento aumentó en 2,25% en comparación con similar mes del año anterior, debido, principalmente, a la ejecución de nuevas obras que se vienen ejecutando” (INEI, 2022, párrafo primero)

Los residuos de los hornos de las ladrilleras del distrito de San Jerónimo provincia de Cusco como las cenizas de aserrín depositados en el fondo de los hornos, contribuirán con el diseño y producción del hormigón, como remplazo parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín, por lo que el uso de las cenizas aserrín reducirá los impactos negativos que tienen la producción del cemento al medio ambiente y la acumulación de las cenizas de aserrín en los vertederos de la región.

1.2.2. Formulación del Problema de Investigación

1.2.2.1 Problema General

PG: ¿De qué manera influye en el concreto la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$?

1.2.2.2 Problemas específicos

PE₁: ¿Cómo afecta la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín a la consistencia plástica del concreto?

PE₂: ¿Cuál es la relación que existe de la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín en la relación agua cemento (a/c) del diseño de mezcla del concreto?

PE₃: ¿Cuál es el impacto de la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín sobre la temperatura del concreto?

PE₄: ¿De qué manera influyen las cenizas de aserrín en el costo de producción del concreto al sustituir parcialmente al cemento tipo IP?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

OG: Diseñar una mezcla de concreto por sustitución parcial del cemento tipo IP por cenizas de aserrín con resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

1.3.2. Objetivos específicos

OE₁: Analizar la influencia de la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín en la consistencia plástica de la mezcla concreto fresco.

OE₂: Determinar la relación que existe por la sustitución parcial del cemento tipo IP por cenizas de aserrín en la relación agua cemento (a/c), del diseño de mezcla del concreto.

OE₃: Establecer la influencia de la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín en la temperatura del concreto.

OE4: Determinar el costo de producción del concreto con una sustitución parcial del cemento por cenizas de aserrín.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes de la Investigación

A continuación, se describen diversos estudios a nivel internacional y nacional. Con el problema de investigación adición o sustitución parcial del cemento con cenizas de aserrín, cenizas de cascara de arroz, cenizas de bagazo de la caña de azúcar, etc.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ma-tay, (2014) en su tesis titulada: “Valorización De Cenizas De Bagazo Procedentes De Honduras: Posibilidades De Uso En Matrices De Cemento Pórtland”. Como principal objetivo de este estudio es indagar el valor potencial de las diferentes muestras de bagazo de caña de azúcar procedentes de Choluteca y San Pedro Sulo (Honduras). Con lo cual se pretende realizar una caracterización fisicoquímica y evaluar su reactividad puzolánica para su adicción en morteros y hormigones. Se prepararon un total de 144 testigos de mortero de 4x4x4 cm, 48 testigos de referencia, 48 testigos con 25% de remplazo en peso del cemento por ceniza de bagazo de caña que fueron curados en un ambiente húmedo a 20 °C, y que fueron ensayados a los 7, 28, 60 y 90 días y 48 testigos con 25% de remplazo en peso del cemento por ceniza de bagazo de caña que fueron curados en un ambiente de baño térmico a 40 °C, y fueron ensayados a 3, 7, 14 y 28 días. Se concluye que los testigos prismáticos de mortero curados a 40 °C y con una sustitución del 25% de cemento por ceniza de bagazo de caña mejoran en su esfuerzo de compresión en un 15% con respecto al testigo patrón a la edad de 28 días siendo la ceniza procedente de San Pedro Sulo el de mejor resistencia con referencia a los demás testigos. Los testigos prismáticos de mortero curados a 20 °C y con una sustitución del 25% de

cemento por ceniza de bagazo de caña mejora su resistencia a la compresión en un 14% con respecto al testigo de referencia en todas las edades ensayadas siendo la ceniza de bagazo de caña procedente de San Pedro Sulo el que obtuvo la mejor resistencia a la compresión.

Vivas, (2016) en su tesis titulada: “Diseño de un hormigón liviano elaborado con ceniza de madera como sustituto parcial del agregado fino”. Se tuvo como objetivo general el diseño de un concreto con un esfuerzo especificado a la compresión de 180 kg/cm² con porcentajes de remplazo del 30%, 50% y 70% del agregado fino con ceniza de madera. Con un diseño de nivel exploratorio descriptivo, con una muestra de estudio de 36 testigos cilíndricos de concreto. Se concluye, que el hormigón obtenido mediante el remplazo parcial del árido fino por ceniza de madera no cumple con la clasificación de hormigón ligero, ya que su densidad no se encuentra dentro del rango de 1200 a 2000 kg/m³. La densidad del hormigón con un remplazo parcial del 30%, 50% y 70% se redujo en un 2,66%, 3,68% y 5,13% respectivamente en comparación con el hormigón de referencia. Los testigos cilíndricos de concreto con 30%, 50% y 70% de remplazo parcial de agregado fino con ceniza de madera presentaron una reducción en la resistencia a la compresión en 3,45%, 7,31% y 16,67% respectivamente.

Coyasamin, (2016). En su tesis titulada: “Análisis Comparativo de la Resistencia a Compresión del Hormigón Tradicional, con Hormigón Adicionado con Cenizas de Cáscara de Arroz (CCA) y Hormigón Adicionado con Cenizas de Bagazo de Caña de Azúcar (CBC)”. Como objetivo general fue el diseño de un concreto por intermedio de la adición de un material (CCA y CBC) con características puzolánicas en remplazo del cemento. Con un diseño del tipo exploratorio, descriptivo, explicativo y experimental. Investigó a la ceniza de la cascarilla de arroz, con el objetivo de evaluar su comportamiento al adicionar al concreto, y determinar cuál es la mejor relación de

porcentajes entre el cemento y las cenizas para su mejor resistencia a flexión. Su metodología de estudio fue el descriptivo, explicativo y experimental. Con un remplazo del 15% y 30% de las cenizas de cascarilla de arroz a los 14 y 28 días se alcanzó una resistencia máxima de 221.53 kg/cm² y 262.30 kg/cm² respectivamente. Con un remplazo del 15% y 30% de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBC) a los 14 y 28 días alcanzo una resistencia máxima de 248.23 kg/cm² y 304.30 kg/cm² respectivamente. Cabe indicar que el costo de producción del concreto con remplazo parciales del 15% y 30 % son más económicas que el concreto patrón en un 7.45% y 7.29% respectivamente de beneficio económico. Se concluye, que con las adiciones de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar (CBC) y cenizas de cascarilla de arroz (CCA) se obtiene mejores resultados que un concreto sin adición de cenizas.

Barron, (2017) en su tesis titulada: “Evaluación Del Tamaño De Partícula Y Porcentaje De Sustitución Óptimo De Ceniza De Bagazo De Caña De Azúcar En La Variación De La Resistencia De Un Mortero Sostenible”. El objetivo general del estudio fue estimar un porcentaje óptimo de reemplazo de ceniza de caña de azúcar por cemento para lograr la máxima resistencia a la compresión de la mezcla de mortero. Con un enfoque de estudio cuantitativo y tipo experimental y correlacional, con un tamaño muestral de 165 testigos cilíndricos de concreto y 12 testigos prismáticos de concreto. El curado de los testigos de concreto se dio en un ambiente abierto, de los testigos cilíndricos de concreto con remplazo parcial del 10%, 15%, 20% y 25% se obtuvo una reducción en los esfuerzos de compresión de 2.52%, 6.49%, 12.78% y 32.64% a los 28 días, y con curado de ambiente sumergido de los testigos cilíndricos de concreto se obtuvo una reducción de la resistencia a la compresión en 14.11%, 9.99% y 23.04% a los 28 días. Se concluye que los testigos cilíndricos curados en un ambiente a la intemperie con porcentajes de 10% y 15% de remplazo obtuvieron mayor resistencia que los testigos con

un remplazo de 20% y 25% y que los resultados de los ensayos a flexión con remplazo de 15% y 20% tienen la mayor resistencia a la flexión con un aumento del 4% con respecto al testigo prismático de referencia.

Mayoral, (2022) en su tesis titulada: “Efecto de sustitución parcial de cemento Portland por cenizas de bagazo de agave en morteros evaluados a compresión como alternativa de uso en la industria de la construcción”. Como objetivo general se tuvo la preparación de un mortero que contenga la ceniza de bagazo de agave como reemplazo parcial del cemento Portland para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas y obtener un contenido óptimo de remplazo del cemento por ceniza y este sea una alternativa en la industria de la construcción. El diseño de la investigación fue del tipo experimental, y el número de muestras en estudio fueron de 72 testigos de concreto. Con una relación agua cemento (a/c) de 0.6 y con un remplazo parcial de 10%, 20% y 30% de cemento portland por ceniza de bagazo de agave se obtuvo una pérdida de la resistencia a la compresión de 7.52%, 13% y 42.29% respectivamente a los 28 días, con una reducción de 5.95%, 4.59 y 32.55% respectivamente a los 56 días y una pérdida de la resistencia a la compresión de 6.57%, 9.5% y 31.35% respectivamente a los 92 días. Con un relación - agua cemento (a/c) de 0.45 con un remplazo parcial del cemento portland por ceniza de bagazo de agave de 10%, 20% y 30% se obtuvo reducciones en la resistencia a la compresión de 17.55%, 27.48% y 36.87% respectivamente a los 28 días, una disminución a la resistencia a la compresión de 11.22%, 28.41% y 31.71% respectivamente a los 56 días y una disminución de la resistencia a la compresión a de 19.21%, 24.20% y 37.21% respectivamente a los 92 días. Se concluye que en todos los casos de sustitución a las diferentes edades se obtuvo una disminución a la resistencia a la compresión de los testigos de hormigón y hormigón con ceniza de bagazo de agave.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Franz, (2018). En su tesis titulada: “Resistencia de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de viruta de madera Huaraz – 2017.” Investigo la adición de cenizas de viruta de madera tornillo en el concreto de diseño de $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, en porcentajes de 1%, 2% y 3% se observó que a los 7, 14 y 28 días de edad la probeta con 1% de adición de ceniza alcanzo mayor resistencia a la compresión que las probetas de 0%, 2% y 3%. El comportamiento que presentaron fue: la probeta con 1% de adición de ceniza de viruta de madera tornillo tiene un aumento de la resistencia a la compresión de 7.33% con respecto a la probeta de referencia. La probeta con 2% de adición de ceniza de viruta de madera tornillo tiene un aumento de la resistencia a la compresión de 4.59% con respecto a la probeta de referencia. La probeta con adición del 3% de adición de ceniza de viruta de madera tornillo tiene un aumento de 2.29% con respecto a la probeta de referencia. Su metodología de estudio fue cuantitativa y de nivel explicativo. Concluye que, la relación a/c disminuye ligeramente con la adición de la ceniza de viruta de madera tornillo, la resistencia a la compresión aumenta con la adición de la ceniza de viruta de madera tornillo en 1%, 2% y 3% siendo el porcentaje óptimo de adición en 1%.

Silva, (2018) en su Tesis titulada: “Resistencia del mortero $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ sustituyendo al cemento en 15 % por ceniza de material no maderable de Schimus Molle L.” Cajamarca 2018. El objetivo de la investigación fue desarrollar una alternativa de remplazo del cemento con ceniza de Schimus Molle que fue elaborado con los frutos, hojas y ramas de Schimus Molle y obtener una resistencia óptima a la compresión. Su metodología de estudio fue la experimentación y con un número total de 9 muestras. En sus resultados se señala que a los 3, 7 y 28 días la resistencia promedio a la compresión alcanzo el 36.83%, 43.52% y 57.93%. Se concluye que, si es posible sustituir el cemento por ceniza de molle, pero no logra alcanza la resistencia a la compresión deseada. La ceniza de material no maderable no forma materiales que contiene puzolana porque los

componentes encontrados (CaO , Al_2O_3 , SiO_2) no superan el 60% de la composición del cemento.

Lopez & Salcedo, (2021). En su tesis titulada: “Comportamiento mecánico de concreto con adición de ceniza de cascarilla de arroz”. Con el objetivo de determinar si es posible agregar ceniza de cascaras de arroz para mejorar el comportamiento mecánico del hormigón. El tipo de investigación fue descriptiva, explicativa y correlacional, con muestra de 0%, 10% y 15% de adición. Los resultados del esfuerzo a la compresión y resistencia a la flexión determinaron un incremento de la resistencia con la adición del 10% de ceniza. Se concluye que, se logra un mejor esfuerzo a la compresión con un porcentaje óptimo de adición del 10% de ceniza y una mejora al tiempo de fraguado del hormigón con un porcentaje óptimo de adición del 5% de ceniza.

Tuesta & Vasquez, (2021) en su tesis titulada: “Diseño de mezcla de concreto simple adicionando ceniza de aserrín para mejorar la resistencia a la compresión, Lamas 2021”. Cuyo objetivo general es determinar si se puede aumentar la resistencia a la compresión del concreto remplazando el cemento por ceniza de aserrín en porcentajes de 1.5%, 2.5% y 5%. El diseño de investigación es del tipo experimental – cuantitativo utilizando un total de 36 muestras de testigos de concreto. Con resultados a los 28 días al añadir 1.5% de ceniza de aserrín se tuvo un incremento de la resistencia a la compresión de 3.38%, con una adición del 2.5% de ceniza de aserrín se tuvo un incremento de la resistencia del 5.04%, y con una adición de ceniza del 5% se obtuvo un incremento en la resistencia del 6.82%. Se concluye que, se obtuvo mejorías en la resistencia a la compresión del concreto siendo el porcentaje óptimo de adición 5% de ceniza de aserrín.

Pintado & Siesquen, (2021) en su tesis titulada: “Caracterización física – mecánica de concreto adicionando aserrín de madera y ceniza de cascarilla de arroz en la ciudad de

san Ignacio – Cajamarca”. El objetivo del programa de investigación fue investigar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón que contiene aserrín y Ceniza de cascarilla de arroz. La investigación es del tipo experimental y con un total de 117 probetas de muestra. Se concluyó que la adición óptima de aserrín fue 2% en peso del cemento para aumentar la resistencia a la compresión en 1.44% a los 28 días de edad con un asentamiento de 3 pulgadas para el hormigón fresco. La adición de ceniza de cascarilla de arroz en un 2% con relación a su peso del cemento tuvieron un aumento en la resistencia a la compresión de 4.06% con respecto al concreto de referencia y con un slump de 3.5” en estado fresco del hormigón, se realizó testigos de concreto con adición de aserrín y CCA en un 2% cada uno con relación al peso del cemento dando un aumento a la resistencia a la compresión de 5.57% con respecto al hormigón de referencia y un slump de 3 pulgadas, y la resistencia a flexión optima es de la combinación de 2% de aserrín y 2% CCA dando un incremento en el módulo de ruptura del 5% con respecto al hormigón de referencia y con un revenimiento (slump) de 3” en estado fresco del hormigón.

2.2 TEORÍA RELACIONADO AL TEMA DE INVESTIGACIÓN.

2.2.1. Cenizas de aserrín

Perez , (2021) menciona que las cenizas de aserrín son los residuos orgánicos que se producen al quemar diversos tipos de astillas de madera procedentes de los aserraderos urbanos. La ceniza de aserrín contiene varios minerales, los más importantes son: calcio, potasio, fósforo, silicio, magnesio y hierro; también consisten en óxidos, hidróxidos y carbonatos. (pág. 20 y 21)

Perez , (2021) también menciona que las cenizas de aserrín también son llamadas cenizas de fondo ya que estos después de la combustión de las virutas de madera son

depositados al fondo de los hornos de las ladrilleras que a menudo estos se mezclan con impurezas de los hornos. (pág. 20 y 21)

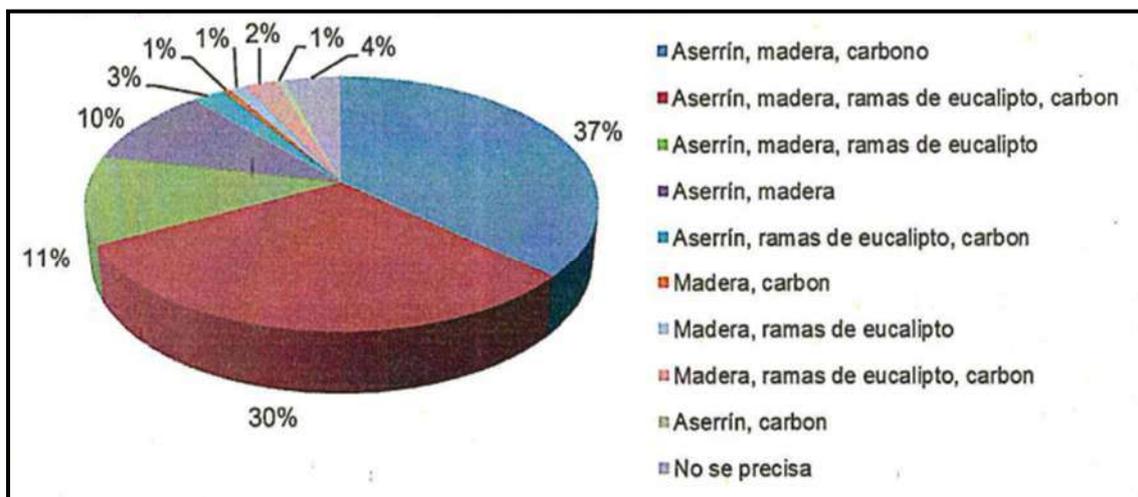
2.2.1.1 Producción de ceniza de aserrín de madera

Lujan et al. (2006), Plantea que, para la producción de las cenizas de aserrín, inicia cuando las virutas de madera ingresan a los hornos de las ladrilleras, es ahí que inicia el proceso de calcinación y se añaden continuamente residuos de madera al horno durante 2 a 3 días, durante los cuales la temperatura en el horno alcanza los 800 °C - 1300 °C (pág. 199).

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA, (2018) menciona que “En el distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco existe alrededor de 168 unidades productoras en operación que utilizan los siguientes insumos como combustibles de calcinación en los hornos” (pag.3) Se muestran en la figura 1.

Figura 1

Tipo de Insumos Usados por los Hornos de las Ladrilleras del Distrito de San Jerónimo.



Nota: Reproducida de tipos de insumos y mezclas de insumos combustibles utilizados de los hornos, 2018 (informe de OEFA)

2.2.1.2 Almacenaje de la ceniza de aserrín

Según Carevic et al. (2021) El adecuado almacenamiento de las cenizas de madera debe incluir no sólo la prevención de la contaminación y los problemas de salud, sino que

también pueden afectar significativamente a la calidad de la ceniza, por lo que una caracterización detallada es el primer paso para decidir sobre el correcto manejo y uso de esta ceniza de madera. Es importante comprender que el envejecimiento de las cenizas de madera como resultado de los cambios químicos o mineralógicos provocados por diferentes condiciones de almacenamiento. La ceniza de madera tiene propiedades hidráulicas y puzolánicas que la convierten en un material ideal para reemplazar parcialmente al cemento y así mejorar el impacto ambiental de los materiales de construcción. Estos materiales absorben vapor de agua, provocando una hidratación parcial de la superficie segmentada, que al igual que el cemento, provoca un envejecimiento acelerado de las cenizas de aserrín. Las cenizas con un mayor contenido de óxido de calcio (CaO) reaccionan más rápidamente con la humedad del aire que en las cenizas almacenadas en un ambiente cerrado. Por lo tanto, se recomiendan que las cenizas se recojan inmediatamente y se almacenen en recipientes herméticos para evitar la pre hidratación y carbonatación.

2.2.1. Concreto

El comité ACI 318-19, (2019) Menciona que el concreto es una mezcla de cemento Pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, árido fino, árido grueso y agua, con o sin aditivos. (pág. 37)

Rochel, (2007) considera al hormigón que es un material de construcción heterogéneo formado por una mezcla de cemento, arena, grava y agua. El cemento es el material aglutinante; arena y grava son materiales de relleno, también conocidos como áridos; El agua es un elemento catalizador que reacciona con el cemento y le permite utilizar sus propiedades aglutinantes. (pág. 15)

Abanto, (2009) Plantea que el concreto es un material maleable en estado fresco y a temperatura ambiente, lo que le permite adaptarse a diversas formas. Tiene alta

resistencia a la compresión y buena adherencia a otros materiales como el acero, lo que le confiere la resistencia a la tracción necesaria. Tiene un comportamiento flexible y plástico y puede utilizarse en situaciones especiales. (pág. 7)

2.2.2. Cemento

Comité ACI 116, (1997) Considera al cemento como cemento hidráulico que endurece y fragua mediante interacción química con el agua y puede hacerlo bajo el agua (pág. 23).

Rivera L., (2021) considera que el cemento es un material en polvo que además de óxido de calcio también contiene: Sílice, aluminio y óxido de hierro. Añadiendo una cantidad adecuada de agua se forma un aglutinante con propiedades de adherencia y cohesión, que puede endurecerse en el agua y aire. No se incluyen cal hidráulica, cal aérea ni yeso (pág. 18).

Tamabien Rivera L., (2021) menciona que el cemento, es una mezcla de varios ingredientes. Sin embargo, hay cuatro componentes fundamentales que representan más del 90% del peso del cemento, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla1*Compuestos Químicos que Forman al Cemento Portland*

Compuesto Químico	Formula	Abreviatura	Definición
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C3S	Esto le da al cemento Portland hidratado una alta resistencia inicial. El C3S reacciona con el agua liberando una gran cantidad de calor (calor de hidratación). La velocidad de fraguado de la pasta de cemento es directamente proporcional al calor de hidratación.
Silicato di cálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C2S	Ésta es la razón principal de la posterior resistencia de la lechada de cemento.
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} : \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A	El yeso agregado al cemento Portland durante la trituración o molienda en el proceso de fabricación se combina con el C ₃ A para controlar el tiempo de fraguado.
Alumino ferrita tricálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF	Es similar al C ₃ A, ya que se hidrata rápida y simplemente crece. baja resistencia.

NOTA. Adaptado del Libro Tecnología del Concreto ing. Flavio Abanto Castillo

2.2.2.1 *Cemento Tipo IP*

Según la NTP 334.090, (2020) Plantea que, es un tipo de cemento hidráulico en el que el componente puzolánico constituye del 20% al 40% de la masa total de cemento añadido (pág. 11).

2.2.3. **Agregado**

De acuerdo con Rivera L., (2021), los agregados, llamados también como áridos, son materiales inertes, naturales o artificiales en forma granular, que son aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua para formar una masa densa y compacta (piedra artificial) llamada mortero u hormigón. (pág. 41)

2.2.3.1 Clasificación de los agregados

Los agregados o áridos se han clasificado de diversas maneras a lo largo del tiempo siendo desde el punto de vista de su procedencia, densidad, tamaño, forma y textura. Este informe los clasificaremos como a continuación.

a. Agregado fino

NTP 400.037, (2018) Considera que el árido fino es obtenido de la descomposición natural o artificial de áridos, este material deberá ser tamizado a través de un tamiz estándar de 9.5 mm (3/8 de pulgada) y retenido en un tamiz estándar de 75 micras (N°. 200), estos tamices deben cumplir con los límites especificados en las normas vigentes. (pág. 6)

b. Agregado grueso

NTP 400.037, (2018) Considera al agregado grueso como un árido retenido sobre el tamiz normalizado de 4,75 mm (Nro. 4) por desdoblamiento natural o mecánico de la piedra y se ajusta a los límites especificados en la norma peruana. (pág. 6)

2.2.4. Agua

Rivera L., (2021) Generalmente se acepta que en la mezcla de hormigón se puede utilizar agua que sea potable y que no tenga color, olor o sabor perceptibles. El agua utilizada en las mezclas de hormigón debe estar limpia y libre de cantidades nocivas de: aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos u otras sustancias que puedan dañar el hormigón. El agua de amasado para el hormigón pretensado o el hormigón que contenga elementos de aluminio embebidos, o el agua resultante de los áridos libres de humedad no deberá contener cantidades nocivas de iones cloruro. (pág. 143)

2.4 Base Teórica de las Propiedades del Concreto.

2.4.1. Trabajabilidad

Portugal Barriga, (2007) considera que la trabajabilidad es una propiedad de una mezcla de concreto o mortero que determina la facilidad con la que se puede mezclar, colocar y compactar, debido a su consistencia, uniformidad en la producción del concreto y resistencia a la separación de materiales. (pág. 199)

ACI 116R-90, (1990) Propone que la trabajabilidad es una característica del hormigón recién mezclado que determina cuan fácil y uniformemente se puede mezclar, colocar, consolidar y terminar la mezcla de hormigón. (pág. 35)

2.4.2. Consistencia.

Abanto Castillo, (2009) Menciona que la consistencia del concreto Está determinada por el grado de humectación de la mezcla de concreto, que depende principalmente de la cantidad de agua utilizada. (pág. 47)

Comité ACI 116, (1997) Refiere que la consistencia es la relativa fluidez o su capacidad de fluir del hormigón o mortero fresco; los indicadores comúnmente son el asentamiento para el hormigón, el flujo del mortero y la resistencia a la penetración de la pasta de cemento pura. (pág. 30)

2.4.3. Segregación

Sanchez de Guzmán, (2001) Plantea que la segregación es la separación de materiales que forman una mezcla heterogénea (como el hormigón) para que, debido a la falta de adherencia, la distribución ya no es uniforme. Las diferencias en el tamaño de las partículas y su distribución de tamaños, así como la densidad de los componentes de la

mezcla y sus proporciones, son las principales causas de la segregación del hormigón. (pág. 123)

2.4.4. Relación agua cemento (a/c)

Comité ACI 116, (1997) menciona que la relación agua cemento es la cantidad de agua por unidad de volumen del concreto fresco, generalmente expresada en libras o galones por yarda cúbica; la cantidad de agua en la que se basa la relación agua-cemento, excluyendo el agua absorbida por el agregado. (pág. 31)

Portugal Barriga, (2007) Da a conocer que la relación agua cemento (a/c) se obtiene dividiendo el agua total de amasado de mezcla de concreto entre el peso del cemento más el peso de los aditivos utilizados, que pueden ser polvo de microsilíce, cenizas volantes, puzolanas naturales, áridos calizos, etc. (pág. 18)

2.4.5. Temperatura del concreto

NTP 339.189, (2021) Considera que el dispositivo debe poder medir la temperatura del concreto fresco con una precisión de $\pm 0,5$ °C (± 1 °F), en de todo el rango de temperatura de 0 °C a 50 °C (30 °F a 120 °F). los medidores de temperatura estarán diseñados para permitir una inmersión de 75 mm o más durante el proceso de medición de temperatura. (pág. 3)

Sanchez de Guzmán, (2001) menciona que la temperatura del hormigón fresco depende del aporte de calor de sus componentes, porque el efecto de cada material depende de su calor específico, masa y temperatura, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía adicional que se absorbe en el proceso de mezcla del hormigón o transferir calor al medio ambiente. La norma especifica una temperatura media para mezclas de hormigón fresco entre 10 y 29 °C con un ajuste máximo de 32 °C. Esto está relacionado con la tasa de hidratación y endurecimiento del cemento, ya que a

temperaturas más altas se produce una mayor hidratación. Se acelera una solidificación rápida pero menos eficiente, lo que da como resultado una estructura física menos uniforme y más pobre. (pág. 124)

2.4.6. Consistencia normal del cemento.

Rivera L., (2021) recomienda que la consistencia normal del cemento es la prueba necesaria para conocer el porcentaje de contenido de agua en relación a la masa de cemento utilizado (500 gramos), la pasta de cemento debe ser tal que al insertarla en la herramienta "Vicat", el diámetro de la punción de la sonda es de 1 cm. y masa de 300 g el juego completo, la penetración de la sonda será de 10 mm \pm 1 mm, en 30 segundos por lo general, el porcentaje de agua varía entre 23% y 33%. (pág. 29)

2.4.7. Tiempo de fraguado del cemento.

Rivera L., (2021) recomienda la prueba más comúnmente más recomendada para comprobar el tiempo de fraguado y la calidad del cemento es el uso del instrumento Vicat. La prueba consiste en perforar una pasta de consistencia normal con una aguja de 1 mm de diámetro y una masa de 300 g (conjunto completo) en diferentes intervalos de tiempo. Cuando una aguja de 1 mm de diámetro penetra 25 mm en 30 segundos, se considera que ha transcurrido el tiempo de fraguado inicial. Para cualquier tipo de cemento, el tiempo de fraguado inicial no debe ser inferior a 45 minutos. Cuando la aguja (diámetro 1 mm) no penetra, pero deja una pequeña hendidura, habrá pasado el tiempo de fraguado final. Para cualquier tipo de cemento, el tiempo de fraguado final no debe exceder las 8 horas. (pág. 29)

2.4.8. Resistencia a la Compresión del Concreto

Rochel Awad, (2007) Menciona que la resistencia a la compresión del concreto es la propiedad que mide la calidad del concreto es su resistencia a la compresión, expresada

como f'_c , que representa la resistencia a la compresión de una preforma cilíndrica de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto para comprobar a los 28 días de edad. (pág. 30)

Según el ACI 318-19 & ACI 318R-19, (2019), Establece que la resistencia a la compresión requerida (f'_c) del concreto endurecido de una determinada categoría se considera satisfactoria si se cumplen los dos requisitos establecidos por el ACI (pág. 569).

La primera condición que el ACI 318-19 & ACI 318R-19, (2019), menciona es que el promedio de tres pruebas de resistencia a la compresión consecutivas es igual o mayor que la resistencia a la compresión requerida f'_c (pág. 569).

Como segunda condición que el ACI 318-19 & ACI 318R-19, (2019), Considera que cuando la resistencia a la compresión requerida (f'_c) es igual o inferior a 35 MPa, el resultado de una prueba de resistencia a la compresión única, no es inferior a la resistencia a la compresión requerida (f'_c) por más de 3,5 MPa (pág. 569).

2.4.9. Resistencia a la flexión del concreto

ACI 318-19 & ACI 318R-19, (2019), Considera al módulo de ruptura o resistencia a la tracción por flexión del hormigón como una propiedad más variable que la resistencia a la compresión y es aproximadamente igual al 10 a 15 por ciento de la resistencia a la compresión. Al calcular la resistencia a flexión, la resistencia a la tracción del hormigón durante el ensayo a flexión se ignora de forma conservadora. Sin embargo, la resistencia a la tracción del hormigón es importante para evaluar el agrietamiento y deformación en los niveles de cargas de servicio. (pág. 412)

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón. Mide la capacidad de vigas de hormigón no reforzado para resistir la falla por momento flector. Se mide aplicando una carga a una viga de hormigón de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal con una luz de al menos tres veces su espesor. La

resistencia a la flexión se expresa como módulo de ruptura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa). El módulo de ruptura es de aprox. 10% a 20% de la resistencia a la compresión (National Ready Mixed Concrete Association, 2017 primer párrafo).

2.4.9.1 Cálculo del Módulo de Ruptura (f_r)

Según el ACI 318-19 & ACI 318R-19, (2019). El módulo de ruptura, f_r , para el hormigón debe calcularse con:

$$f_r = 0.62\lambda\sqrt{f'_c} \text{ ecuación del ACI 318-19}$$

donde el valor del factor de modificación (λ) debe estar basado en la composición del árido de la mezcla de hormigón cumplir con la tabla 2 y tabla 3.

Tabla 2

Valores de para Hormigón Liviano con Base en la Densidad de Equilibrio.

Wc (kg/m ³)	λ	-
≤ 1600	0.75	(a)
$1600 < Wc \leq 2160$	$0.00047Wc \leq 1.0$	(b)
> 2160	1.0	(c)

Nota: Reproducida del ACI 318-19 & ACI 318R-19, (2019) (pág. 369)

Tabla 3

Valores de λ para Hormigón Liviano con Base en la Composición de los Agregados

<i>Hormigón</i>	<i>Composición de los áridos</i>	<i>λ</i>
<i>Todos livianos</i>	<i>Fino: ASTM C-330M</i> <i>Grueso: ASTM C-330M</i>	<i>0.75</i>
<i>Livianos, mezcla fina</i>	<i>Fino: Combinación de ASTM C-330M y C-33M</i> <i>Grueso: ASTM C330</i>	<i>0.75 a 0.85^[1]</i>
<i>Arena, liviana</i>	<i>Fino: ASTM C-33M</i> <i>Grueso: ASTM C-330M</i>	<i>0.85</i>
<i>Arena, liviana, mezcla gruesa</i>	<i>Fino: ASTM C-33M</i> <i>Grueso: Combinación de ASTM C-330M y C-33M</i>	<i>0.85 a 1.00^[2]</i>
<i>Peso normal</i>	<i>Fino: ASTM C-330</i> <i>Grueso: ASTM C-33M</i>	<i>1.00</i>

Nota: Reproducida del ACI 318-19 & ACI 318R-19, (2019) (pág. 369)

^[1]Se permite una interpolación lineal entre 0.75 a 0.85 basada en la relación entre el volumen absoluto del árido fino de peso normal como una fracción del volumen absoluto total de árido fino. (ACI 318-19 & ACI 318R-19, 2019 pág. 369)

^[2]Se permite una interpolación lineal entre 0.80 a 1.00 basada en la relación entre el volumen absoluto del árido grueso de peso normal como una fracción del volumen absoluto total de árido grueso. (ACI 318-19 & ACI 318R-19, 2019 pág. 369)

CAPITULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Hipótesis y Variables de la Investigación

3.1.1. Hipótesis general

HG: La variación del porcentaje en peso de la ceniza de aserrín como sustituto parcial del cemento tipo IP, incrementará la resistencia a la compresión del concreto.

3.1.3. Hipótesis específica

HE₁: El remplazo parcial del cemento tipo IP con ceniza de aserrín afectará en la consistencia plástica del concreto.

HE₂: La sustitución parcial del cemento tipo IP por ceniza de aserrín está relacionado con la relación agua - cemento (a/c) en el diseño de mezcla.

HE₃: Existe relación entre la sustitución parcial del cemento por la ceniza de aserrín que influya en la temperatura del concreto.

HE₄: Será más económico el concreto parcialmente sustituido con ceniza de aserrín que un concreto tradicional.

3.2 Identificación de Variables de la Investigación

3.2.1. Variable independiente

- Ceniza de aserrín.

3.2.2. Variable dependiente

- Resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 4

Operacionalización de Variables Dependiente e Independientes

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medición
Variable independiente X: Cenizas de aserrín.	Se define a las cenizas de aserrín como el residuo de los fondos de los hornos de las ladrilleras, producto de la combustión del aserrín.	Se empleará cenizas de aserrín en diferentes proporciones con respecto al peso del cemento que será incluido a la mezcla de hormigón.	Cantidad de ceniza de aserrín	Porcentaje de sustitución en peso	%
Variable Dependiente Y: resistencia a la compresión $f'c= 210$ kg/cm ²	La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de hormigón en la máquina de ensayos de compresión. Se obtiene dividiendo la carga de ruptura entre el área de la sección.	Consiste en hallar el cálculo de la resistencia a la compresión aplicando una carga de compresión axial a muestras de probetas cilíndricas ensayadas en el laboratorio de concreto. (NTP. 339. 034, 2021).	Relación agua - cemento	Consistencia plástica	pulg.
			Comparación de costo entre el hormigón tradicional y el hormigón con ceniza de aserrín	Costo de producción	soles
			Resistencia a la compresión del concreto	$f'c=210$ kg/cm ² a los 7, 14 y 28 días de curado	kg/cm ²

3.3 Metodología

3.3.1. Enfoque de Investigación

Hernández et al., (2014) El enfoque cuantitativo se basa en la recopilación de datos utilizados para probar o validar las hipótesis que fueron originalmente formuladas de manera numérica, es decir, que el procedimiento de datos recopilados en el campo es medido a través de cuantificaciones numéricas, también hay demostraciones numéricas de procedimientos estadísticos o análisis de resultados.

3.3.2. Nivel de Investigación

Carrasco, (2019) La investigación a nivel experimental se realiza después de comprender las propiedades del fenómeno en estudio y sus causas que determinaron esas características. El propósito de la investigación descriptiva es para analizar que es un fenómeno, sus componentes y cómo se comportan. Básicamente especifica el fenómeno en estudio midiendo una o más de sus propiedades.

3.3.3. Tipo de Investigación

Vargas, (2009) la investigación aplicada se denomina también como “investigación práctica o empírica”, y se caracteriza por la búsqueda de la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos al mismo tiempo que se adquiere otros conocimientos luego de implementar y sistematizar la práctica basada en la investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación crea una comprensión rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad. (pág. 159)

3.3.4. Diseño Metodológico

El diseño de la investigación es cuasi - experimental en el sentido de que las variables independientes serán manipuladas experimentalmente utilizando porcentajes en

peso para determinar en qué medida el remplazo parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín afecta en la prueba de resistencia a compresión del concreto.

3.4 Delimitación de la Investigación

3.4.1. Delimitación Conceptual

Para la investigación, se realizará la incorporación de cenizas de aserrín a la mezcla de hormigón como remplazo parcial del cemento tipo IP, para el estudio de la relación agua – cemento (a/c), revenimiento del hormigón fresco, temperatura del hormigón, consistencia plástica del cemento, esfuerzo a la compresión del hormigón y ensayo a flexión de vigas de hormigón y de esta manera poder saber si se puede utilizar a la ceniza de aserrín como material aglutinante.

3.4.2. Delimitación Espacial

El alcance espacial de esta investigación incluye a la ciudad de Cusco, provincia de Cusco y departamento de Cusco, donde se realizará todos los estudios pertinentes para la obtención de los resultados.

3.4.3. Delimitación Temporal

Está previsto que el estudio se pretenda realizar durante el periodo de septiembre hasta diciembre del año 2023.

3.5 Limitaciones de Estudio

Este estudio se encuentra limitado por fuentes bibliográficas tales como libros, especificaciones técnicas, normas, manuales, entre otros:

- Manual de ensayo de materiales del MTC.
- Norma técnica peruana para el concreto.

- American Society for Testing and Materials (ASTM)
- American Concrete Institute (ACI), entre otros.

3.6 Alcance

Evaluar las diferentes mezclas de hormigón por remplazo parcial del cemento tipo IP con ceniza de aserrín: trabajabilidad, slump, temperatura, tiempo de fraguado.

Elaboración de especímenes de concreto con diferentes porcentajes en peso de ceniza de aserrín para obtener resultados de la resistencia a la compresión.

3.7 Ensayos de Laboratorio:

Los ensayos de laboratorio a realizar para desarrollar de este tema de investigación de análisis de la sustitución parcial del cemento por ceniza de aserrín son los métodos convencionales de ensayos estándar usados para hormigón simple los cuales nos servirán como base de la investigación a realizar:

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422, MTC E 107 y MTC E 202
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso ASTM C-127, MTC E206
- Gravedad específica y absorción del agrado fino ASTM C-128, MTC E205
- Peso unitario del agregado grueso ASTM C-29, MTC E203
- Peso unitario del agregado fino ASTM C-29, MTC E203
- Elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto) en el laboratorio.
MTC E 702
- Refrentado de cilindros de concreto (Capping). MTC E 703
- Asentamiento del concreto (SLUMP). MTC E 705
- Resistencia a compresión de testigos cilíndricos. MTC E 704
- Resistencia a flexión de testigos cilíndricos. MTC E 704

3.8 Viabilidad de Abastecimiento de la Ceniza de Aserrín

Swisscontact (2012). Indica que en el Perú existen alrededor de 2000 hornos para la elaboración y cocción de los ladrillos artesanales. Los cuales generan 53,500 toneladas/año de ceniza de fondo.

Swisscontact (2012). Indica que, en la provincia de Cusco, distrito de San Jerónimo, existen alrededor de 200 hornos. Que produce un promedio de 6,900 toneladas/año de ceniza de fondo al año. Por lo tanto, las cenizas de aserrín se pueden suministrar para el consumo interno en la producción del hormigón.

Tabla 5

Aglomerantes para un Metro Cubico de Concreto de $f'c=210$ kg/cm²

Materiales	unidad	peso
Concreto con cemento	kg	367.12
Concreto con 2.5% de ceniza	kg	9.18
Concreto con 5% de ceniza	kg	18.36
Concreto con 7.5% de ceniza	kg	27.53
Concreto con 10% de ceniza	kg	36.71
Concreto con 12.5% de ceniza	kg	45.89
Concreto con 15 % de ceniza	kg	55.07

El uso de la ceniza de aserrín como aglomerante de remplazo parcial del cemento tipo IP en el hormigón es bastante menor en comparación con el peso del cemento por tal razón sería viable el abastecimiento de la ceniza para su comercialización.

3.9 Costo de Concreto Tradicional y Concreto con Ceniza de Aserrín

La extracción de la ceniza no tiene costo ya que las ladrilleras lo desechan, pero si tiene costo la labor del peón para la extracción de la ceniza de aserrín del horno de la ladrillera. Luego de extraer la ceniza es transportada al laboratorio de mecaniza de suelos de la facultad de ingeniería civil donde se realizará el tamizado por la malla N°100, por

un periodo de 4 días (5 hora de jornal) lo cual nos produjo una ceniza tamizada de aproximadamente de 250 kg de este proceso nos dio el costo de la ceniza de aserrín. Revisar anexo B.

Tabla 6

Costo de Materiales por m3 del Concreto

Materiales	Unidad	P.U.	Concreto patrón		Con 10% de ceniza de aserrín	
			Cantidad	Parcial	Cantidad	Parcial
Cemento	bolsa	S/ 27.50	8.64	S/ 237.60	7.78	S/ 213.95
Agua	M3	S/ 1.04	0.229	S/ 0.24	0.229	S/ 0.24
Agregado fino	m3	S/ 60.00	0.276	S/ 16.56	0.276	S/ 16.56
Agregado grueso	m3	S/ 50.00	0.373	S/ 18.65	0.373	S/ 18.65
Ceniza de aserrín	kg	S/ 0.50	0	S/ 0.00	36.72	S/ 18.36
Costo total por m3				S/ 273.05		S/ 267.76

El concreto con 10% de ceniza de aserrín es más económico que un concreto tradicional en S/ 5.29 por metro cubico de hormigón.

3.10 Población y Muestra

3.10.1. Población

La población de estudio para la presente investigación es el hormigón tradicional y el hormigón con remplazo del cemento tipo IP por ceniza de aserrín con un diseño de la resistencia a compresión de $F'c=210\text{kg/cm}^2$.

3.10.2. Muestra

Las muestras estarán constituidas por el conjunto de especímenes cilíndricas de concreto con diámetro de 6" (150 mm) y altura de 12" (300 mm).

3.10.3. Tamaño de la Muestra

Para el presente estudio el tamaño de la muestra será **126 unidades** de probetas cilíndricas de 15 cm de base y 30 cm de altura, y 21 vigas de mezcla de concreto (15 x 15 x 65 cm) 3 vigas de concreto con 0% de contenido de ceniza y 18 vigas con remplazo parcial de cemento tipo IP por ceniza de aserrín en diferentes proporciones con un diseño de resistencia a compresión de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. El tamaño muestral se aprecia en las tablas 7 y 8.

Tabla7

Muestras Cilíndricas de Concreto - Testigos Patrón y Testigos con Sustitución Parcial de Ceniza de Aserrín

Edad del concreto	Muestra Patrón	Muestras Con Sustitución de Cemento por Ceniza de Aserrín						Sub Total
		2.50%	5%	7.5%	10%	12.5%	15%	
7 días	6	6	6	6	6	6	6	42
14 días	6	6	6	6	6	6	6	42
28 días	6	6	6	6	6	6	6	42
Total								126

Tabla8

Muestras de vigas de Hormigón de 15x15x65 cm

Edad del concreto	Muestra Patrón	Muestras Con Sustitución de Cemento por Ceniza de Aserrín						Sub Total
		2.50%	5%	7.5%	10%	12.5%	15%	
28 días	3	3	3	3	3	3	3	21
Total								21

3.11 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Es un conjunto de normas, reglas, pautas y herramientas que serán utilizados como guía en el proceso de la investigación y en sus acciones que permitan la recolección de datos pertinentes.

3.11.1. Técnicas de Recolección de Datos

Serán las actividades y procedimientos que nos permitan en el estudio de investigación obtener la información que necesitamos para alcanzar nuestros objetivos de investigación. Además, de prácticos y aplicables en el campo de la investigación.

3.11.1.1 Observación

La observación como técnica de investigación científica es un proceso riguroso que permite comprender directamente el objeto de investigación para luego describir y analizar de la realidad de la situación del objeto en estudio. En cualquier proceso de la investigación la observación de los elementos que conforman el proceso de estudio y requieran una definición clara por parte del observador incluyen lo siguiente:

- El sujeto que investiga.
- El objeto de estudio.
- Los medios en los que se da la observación.
- Los instrumentos que se van a utilizar.
- El marco teórico del estudio.

3.11.1.2 *Análisis Documental*

Se basa en la revisión bibliográfica de libros, revistas, artículos, periódicos, NTP, RNE, MTC, etc. Para recopilar información con el objetivo de complementar las necesidades de información.

3.11.2. Instrumentos de Recolección de Datos

Son todos los métodos o instrumentos de recolección de datos que consisten en las herramientas que utilizaremos en la investigación para obtener la información que nos permita desarrollar el proyecto de investigación. Su función principal es la de obtener o construir datos directos sobre las muestras en estudio que deseamos comprender. Al mismo tiempo, las herramientas de recolección deben ser sistemáticas y organizadas, para que las características esenciales de las muestras en estudio queden estrechamente relacionadas con la utilidad y confiabilidad de la información recolectada para su posterior análisis. (Tesis y Master, 2022, párrafo segundo y tercero).

Las herramientas de recolección de datos serán los formatos de:

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422, MTC E 107 y MTC E 202
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso ASTM C-127, MTC E206
- Gravedad específica y absorción del agregado fino ASTM C-128, MTC E205
- Peso unitario del agregado grueso ASTM C-29, MTC E203
- Peso unitario del agregado fino ASTM C-29, MTC E203
- Elaboración y curado de especímenes de hormigón (concreto) en el laboratorio.
MTC E 702
- Refrentado de cilindros de concreto (Capping). MTC E 703
- Asentamiento del concreto (SLUMP). MTC E 705
- Resistencia a compresión de testigos cilíndricos. MTC E 704

- Resistencia a flexión de testigos. MTC E 704

CAPÍTULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Descripción de la Muestra

Los agregados que fueron adquiridos para el diseño de mezcla fueron de la cantera de Vicho que está ubicado en el distrito de San Salvador, provincia de Calca, departamento de Cusco. Cantera de Cunyac que está ubicado en las riberas del río Apurímac y la carretera que conduce a la provincia de Abancay.

4.2 Ensayos de laboratorio

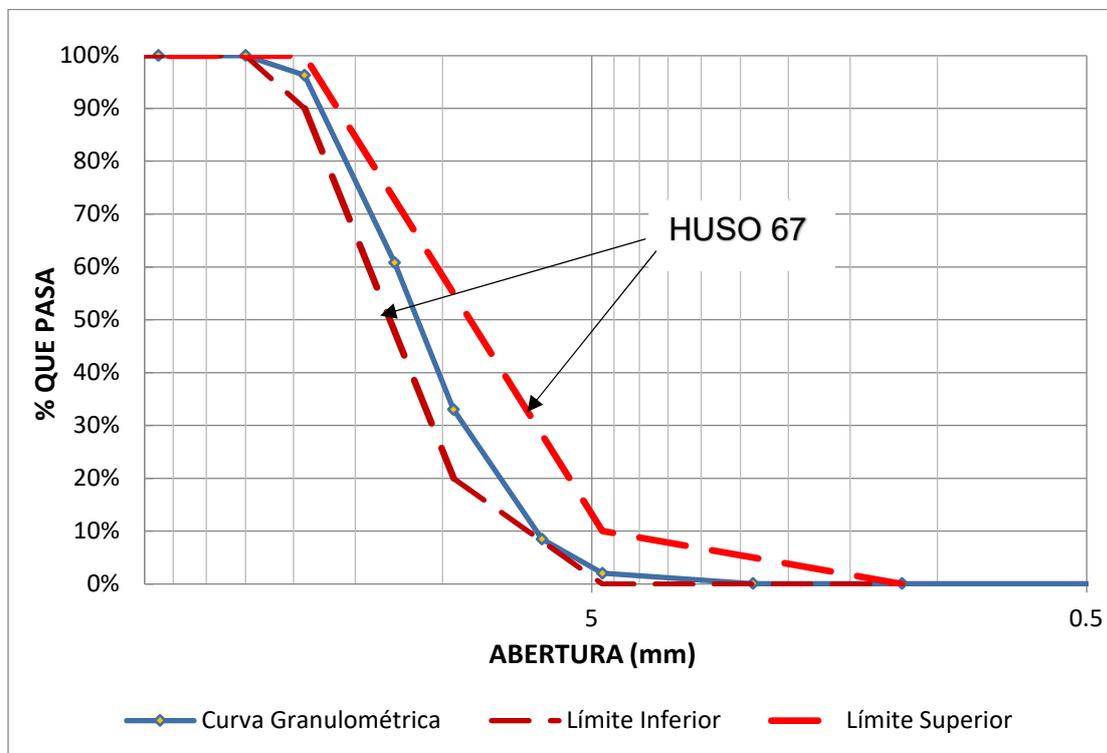
4.2.1. Análisis granulométrico del agregado grueso y fino

El objetivo general es determinar la distribución de partículas de los áridos gruesos y finos en una muestra seca de peso conocido utilizando una serie de tamices cuadrados de acuerdo como lo estipulan las normas: ASTM C-136, MTC E204 y NTP 400.012.

- Peso de la muestra seca 5027.04 gramos
- Tamaño máximo $TM=1''$
- Tamaño máximo nominal $TMN =3/4''$
- Módulo de finura del árido grueso $MF=6.03$
- Módulo de finura del árido fino $Mf=2.90$

Tabla 9*Análisis Granulométrico del Agregado Grueso*

Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido (g)	Peso Retenido Corregido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1"	25.00	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.00	187.03	187.27	3.73%	3.73%	96.27%
1/2"	12.70	1783.78	1784.01	35.49%	39.21%	60.79%
3/8"	9.50	1396.68	1396.91	27.79%	67.00%	33.00%
1/4"	6.35	1210.09	1210.32	24.08%	91.08%	8.92%
N° 4	4.75	313.47	313.71	6.24%	97.32%	2.68%
N° 8	2.36	99.52	99.75	1.98%	99.30%	0.70%
Fondo	0.00	35.07	35.07	0.70%	100.00%	0.00%
TOTAL		5025.65	5027.04	100%		

Figura 1*Curva Granulométrica del Agregado Grueso*

Nota: Este grafico muestra que el perfil de tamaño de las partículas del agregado grueso con la Norma ASTM C-33, ya que se encuentra dentro del rango especificado.

Para mantener las partículas del agregado fino dentro del rango especificado por la ASTM C-33, el árido fino de procedencia de la cantera de Vicho, primeramente, se tamizo el agregado fino de Vicho a través de la malla de 3/8" de pulgada para luego mezclar 84.02% en peso del total del agregado fino tamizado con arena fina de Cunyac en un 15.98% en peso del total.

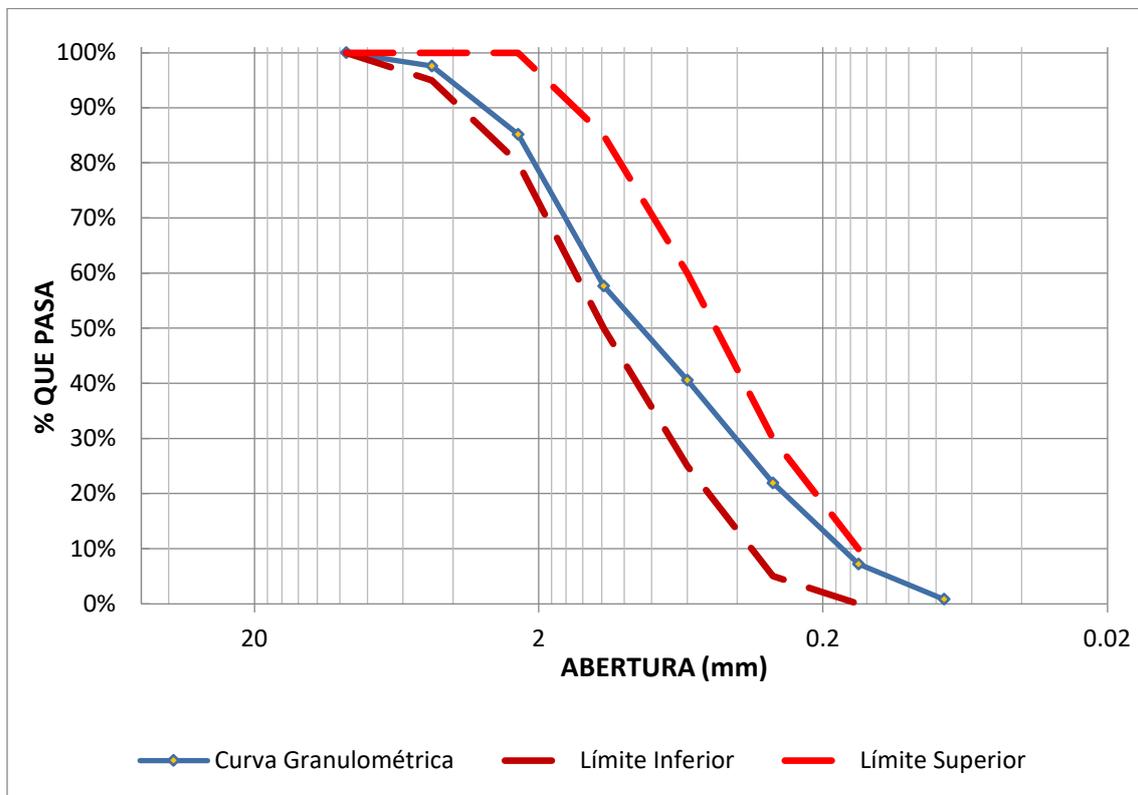
Tabla 10

Análisis Granulométrico del Agregado Fino

N° de Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Huso	
						Límite Inferior	Limite Superior
3/8"	9.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100%	100%
N° 4	4.75	42.85	2.43%	2.43%	97.57%	95%	100%
N° 8	2.36	218.72	12.41%	14.84%	85.16%	80%	100%
N° 16	1.18	484.98	27.51%	42.35%	57.65%	50%	85%
N° 30	0.600	300.79	17.06%	59.41%	40.59%	25%	60%
N° 50	0.300	329.28	18.68%	78.09%	21.91%	5%	30%
N° 100	0.150	259.03	14.69%	92.79%	7.21%	0%	10%
N° 200	0.075	112.54	6.38%	99.17%	0.83%	-	-
Bandeja		14.58	0.83%	100.00%	-	-	-

Figura 2

Curva Granulométrica del Agregado Fino



Nota: Este gráfico muestra que el perfil de tamaño de las partículas del árido fino está en base con la Norma ASTM C-33, ya que se encuentra dentro del rango especificado.

4.2.2. Densidad relativa y Absorción de Agregados Finos

El objetivo general fue determinar la densidad seca, densidad saturada en superficie seca, densidad aparente y absorción de humedad después de 24 horas de inmersión en agua para el agregado fino de acuerdo a las normas establecidas como la NTP 400.022, MTC E 205 y ASTM C-128.

Procedimiento, primero cuartear el árido fino para obtener una muestra representativa de tamaño suficiente, luego tamizar, por la malla de 3/8" y luego juntar todo lo retenido en el tamiz # 200, para posteriormente dejar remojar el árido fino en el agua por 24 horas, luego hacer el proceso de secado y comprobar si la superficie del árido se encuentra en estado saturado superficialmente seco, por lo cual se medirá el estado

SSS en el cono apisonando, después se retira el cono metálico y el árido fino debe desmoronarse parcialmente, posteriormente se pesa el matraz con agua. Luego se retira el agua y agregamos el árido fino en estado SSS al matraz para luego añadir agua hasta su marca. Posterior se saca el aire retenido con la bomba de vacío, enseguida se realiza el pesado del matraz más agua más árido fino. Finalmente, la muestra se lleva al horno para el secado a temperatura de 110°C por un lapso de 24 horas para luego medir su peso seco. Con los resultados obtenidos se efectúa las operaciones necesarias para determinar los parámetros requeridos del agregado, todo esto se detalla en la tabla 11, 12 y 13

Tabla 11*Datos de las Muestras a Ensayar Agregado Fino*

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Muestra secada al horno. (A)	525.81 g	525.10 g	525.94 g
Muestra saturada de superficie seca (SSS). (B)	537.90 g	537.85 g	538.52 g
Muestra sumergida. (C)	318.39 g	316.74 g	318.39 g

Tabla 12*Cálculo de la Densidad Relativa del Agregado Fino*

Descripción	Símbolo	Formula	Peso Específico 01 (P.e) g/cm ³	Peso Específico 02 (P.e) g/cm ³	Peso Específico 03 (P.e) g/cm ³	Promedio P.e g/cm ³
<i>Peso específico - Masa seca</i>	γ	$\frac{A}{B - C}$	2.40	2.37	2.39	2.39
<i>Peso específico saturado superficialmente seco</i>	γ_{SSS}	$\frac{B}{B - C}$	2.45	2.43	2.45	2.44
<i>Peso específico aparente</i>	γ_a	$\frac{A}{A - C}$	2.54	2.52	2.53	2.53

Tabla 13*Cálculo del Porcentaje de Absorción Agregado Fino*

Descripción	Símbolo	Formula	Resultado 01	Resultado 02	Resultado 03
Porcentaje de absorción	%A _b	$\frac{B-A}{A} * 100$	2.30 %	2.43 %	2.39 %
Promedio (%A _b)			2.37%		

4.2.3. Peso Específico y Absorción de los Agregados Gruesos

El objetivo general es establecer los procedimientos para determinar la densidad seca del árido grueso, la densidad seca de la superficie saturada, la densidad aparente y la absorción de agua de la superficie saturada se basan en el material (árido) remojado en agua durante 24 horas. Siguiendo las recomendaciones de las normas NTP 400.021, MTC E-206 y ASTM C-127.

Tabla 14*Datos de las Muestras a Ensayar Agregado Grueso*

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Muestra secada al horno (A)	2990.37 g	2807.21 g	2983.10 g
Muestra saturada de superficie seca (SSS). (B)	3055.19 g	2868.20 g	3047.20 g
Muestra sumergida (C)	1935.50 g	1814.60 g	1935.90 g

Tabla 15*Cálculos de Densidades Agregado Grueso*

Descripción	Símbolo	Formula	Peso Específico 01 (P.e) g/cm ³	Peso Específico 02 (P.e) g/cm ³	Peso Específico 03 (P.e) g/cm ³	Promedio (P.e) g/cm ³
Peso Específico - Masa Seca	γ	$\frac{A}{B - C}$	2.67	2.66	2.68	2.67
Peso Específico Saturado Superficialmente Seco	γ_{SSS}	$\frac{B}{B - C}$	2.73	2.72	2.74	2.73
Peso Específico Aparente	γ_a	$\frac{A}{A - C}$	2.83	2.83	2.85	2.84

Tabla 16*Cálculo del Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso*

Descripción	Símbolo	Formula	Resultado 01	Resultado 02	Resultado 03
Porcentaje de absorción	%A _b	$\frac{B-A}{A} * 100$	2.17 %	2.17 %	2.15 %
Promedio (%A _b)			2.16%		

4.2.4. Método de Ensayo Para Contenido de Humedad total de los Áridos por Secado

De acuerdo con las normas MTC E-215, NTP 339.185 y ASTM D-2216 se desarrolló un procedimiento para la determinación en seco del porcentaje de humedad total evaporable en una muestra de material fino o grueso que se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 17*Contenido de Humedad del Agregado Fino*

DESCRIPCIÓN	TARA		
	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de la Tara (g)	352.39	331.98	345.23
Peso de la Tara + Muestra (g)	2237.97	2240.76	2282.50
Peso de la Muestra (gr) [A]	1885.58	1908.78	1937.27
Peso de la Tara + Muestra Seca (g)	2221.15	2223.26	2265.08
Peso de la Muestra seca (g) [B]	1868.76	1891.28	1919.85
% de Humedad [(A-B)/B]	0.900 %	0.925 %	0.907 %
% de Humedad Final	0.911 %		

Tabla 18*Contenido de Humedad del Agregado Grueso*

DESCRIPCIÓN	TARA		
	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de la Tara (g)	253.60	332.24	162.38
Peso de la Tara + Muestra (g)	5944.14	3484.28	4051.46
Peso de la Muestra (g) [A]	5690.54	3152.04	3889.08
Peso de la Tara + Muestra Seca (g)	5902.47	3461.37	4023.54
Peso de la Muestra seca (g) [B]	5648.87	3129.13	3861.16
% de Humedad [(A-B)/B]	0.74 %	0.73 %	0.72 %
% de Humedad Final	0.73 %		

4.2.5. Determinación del Peso Unitario y Vacíos de los Áridos

De acuerdo con las normas MTC E 203, NTP 400.017 Y ASTM C-29 se llevó a cabo los ensayos de determinación del peso unitario suelto, compactado y el porcentaje de vacíos de los áridos fino y áridos gruesos o una mezcla de ambos que se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 19*Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso*

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 2
Peso Del Recipiente (g) [A]	8,029.00	8,029.00	8,029.00
Volumen Del Recipiente (Cm ³) [V]	3,048.50	3,048.50	3,048.50
Peso De La Muestra + Recipiente (g) [B]	12,448.00	12,483.00	12,477.00
Peso De La Muestra (g) [M= B-A]	4,419.00	4,454.00	4,448.00
Peso Unitario Suelto (g/cm ³) [Pus=M/V]	1.449	1.461	1.459
Promedio ((g/cm³))	1.456		

Nota: Procedimiento, se realizó el pesado del molde de metal, luego llenar el molde sin compactar y luego pesarlo en la balanza. Con base a los resultados obtenidos y conociendo el volumen del molde, se realizan los cálculos para determinar los parámetros requeridos del árido grueso.

Tabla 20

Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 2
Peso Del Recipiente (g) [A]	8,029.00	8,029.00	8,029.00
Volumen Del Recipiente (Cm ³) [V]	3,048.50	3,048.50	3,048.50
Peso De La Muestra + Recipiente (g) [B]	12,922.00	12,958.00	13,043.00
Peso De La Muestra (g) [M= B-A]	4,893.00	4,929.00	5,014.00
Peso Unitario Comp. (g/cm ³) [Pus=M/V]	1.605	1.617	1.645
Promedio (g/cm³)		1.622	

Nota: Para el procedimiento, se realizó el pesado del molde de metal, luego llenar el molde en 3 capas de 1/3 de la altura compactando con 25 golpes con una varilla lisa de metal de 5/8" hasta llenar el molde de metal en su totalidad, luego pesarlo en la balanza. Con base en los resultados obtenidos y conociendo el volumen del molde, se realizan los cálculos para determinar los parámetros requeridos del árido grueso.

Tabla 21

Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 2
Peso Específico (Adimensional) [G]	2.60	2.60	2.60
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³) [U]	1,605.05	1,616.86	1,644.74
Peso Unitario Del Agua (Kg/m ³) [W]	1,000.00	1,000.00	1,000.00
% De Vacíos [(G*W)-U/(G*W)]	38.27 %	37.81 %	36.74 %
Promedio de % de Vacíos		38.04 %	

Nota: el procedimiento consiste primer, en realizar el cuarteo del árido, para obtener una muestra representativa de tamaño suficiente, seguido de un procedimiento para calcular el peso unitario suelto seco de la muestra y el peso unitario compacto de la muestra seca, después de lo cual se llena el molde con

tres capas, cada capa se compacta golpeando 25 veces con una varilla de metal liso de 5/8". A partir de los pesos obtenidos de la muestra, se realiza los cálculos para determinar los parámetros del agregado.

4.3 Diseño de Mezcla Método ACI 211.1

El objetivo general es realizar un diseño de mezcla de $f'c=210$ kg/cm² con cemento tipo IP y cenizas de aserrín siguiendo las especificaciones del método ACI 211.1.

Tabla 22

Datos Principales de los materiales para el diseño

Descripción	A.F.	A.G.
Peso Específico de Masa	2.39 g/cm ³	2.67 g/cm ³
% de Absorción	2.37%	2.16%
Contenido de Humedad	0.91%	0.73%
Módulo de Fineza	2.90	6.03
Peso Seco Compactado	-	1622.22 kg/m ³
Tamaño Máximo Nominal	-	3/4"
Peso específico del cemento	2.85 g/cm ³	

4.3.1. Factor de Seguridad

El factor de seguridad (desviación estándar) para la mezcla de hormigón se realizará según la tabla 23 para un diseño especificada de hormigón de 210 kg/cm².

Tabla 23

Determinación de la Resistencia Promedio Requerida

Resistencia específica a la Compresión kg/cm ²	Resistencia Promedio Requerida a la compresión kg/cm ²
$f'c < 210$	$f'cr = f'c + 70$
$210 \leq f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 84$
$f'c > 350$	$f'cr = f'c + 98$

$$f'cr = 210 + 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$$

4.3.2. Verificación del Tamaño Máximo Nominal

El tamaño máximo nominal del árido grueso se obtuvo del ensayo de granulometría realizado en el laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil dando como resultado de $TMN = 3/4''$

4.3.3. Selección del Asentamiento

Es el grado o medida de la fluidez de la mezcla de hormigón haciendo referencia al contenido de agua en la mezcla utilizaremos una consistencia plástica (Slump de 3'' a 4'') que nos dará una trabajabilidad aceptable.

4.3.4. Volumen Unitario de Agua

Para hallar el volumen unitario de agua se utilizaremos la tabla 10.2.1 del comité 211 del ACI que nos designa para una consistencia plástica de 3'' a 4'' (Slump) un volumen unitario (Vu) de 205 l/m³

Tabla 24

Volumen Unitario de Agua

Agua, en l/m ³ para los tamaños máx nominales del árido grueso y consistencia indicados								
Revenimiento	3/8''	1/2''	3/4''	1''	1 1/2''	2''	3''	6''
Hormigón sin aire incorporados								
1'' a 2''	207	199	190	179	166	154	130	113
3'' a 4''	228	216	205	193	181	169	145	124
6'' a 7''	243	228	216	202	190	178	160
Hormigón con aire incorporado								
1'' a 2''	181	175	168	160	150	142	122	107
3'' a 4''	202	193	184	175	165	157	133	119
6'' a 7''	216	205	197	184	174	166	154

Nota: Reproducida del comité ACI 211

4.3.6. Contenido de Aire

Para encontrar el contenido de aire utilizaremos la tabla 11.2.1 del comité 211 del ACI que nos designa de acuerdo al tamaño máximo nominal (TMN = 3/4") un contenido de aire del 2.0% de aire atrapado en la mezcla de concreto.

Tabla 25

Contenido de Aire Atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Nota: Reproducida del comité ACI 211

4.3.7. Selección de Relación agua - cemento

La relación agua – cemento se tomará en cuenta el diseño por resistencia ya que no existe problemas de eflorescencias, exposición a sulfatos u otras acciones que perjudiquen al hormigón. Por esta razón utilizaremos la tabla 12.2.2 del comité 211 del ACI para hallar la relación agua- cemento de la mezcla de hormigón.

Tabla 26*Relación Agua-Cemento por Resistencia*

F'cr 28 días	Relación agua – cemento de diseño en peso	
	Hormigón sin aire Incorporado	Hormigón con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	---
450	0,38	---

Nota: Reproducida del comité ACI 211

Tabla 27*Interpolación para hallar la Relación a/c*

Descripción	f'cr 28 días kg/cm ²	Concreto sin Aire incorporado
Límite Inferior	250	0.62
Valor	294	a/c
Limite Superior	300	0.55

Interpolando obtenemos una relación a/c de 0.5584

4.3.8. Cálculo del Factor Cemento

La obtención del contenido de cemento en el diseño de mezcla lo realizaremos mediante la relación:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Agua de Mezclado (l/m}^3\text{)}}{\text{a/c(para f'cr)}}$$

$$\text{Contenido de cemento} = 367.12 \text{ kg/m}^3$$

4.3.10. Cálculo de Contenido del Árido Grueso

Con el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino utilizaremos la tabla 16.2.2 del comité 211 del ACI, tabularemos los valores de la tabla 28 para la obtención del volumen del árido grueso seco compactado

Tabla 28

Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen del Concreto

<i>Tamaño Máximo Nominal del árido grueso</i>	<i>Volumen del árido grueso, árido seco y compactado, por unidad de volumen de hormigón, aplicable a diferentes módulos de finura del árido fino</i>			
	<i>2,40</i>	<i>2,60</i>	<i>2,80</i>	<i>3,00</i>
<i>3/8"</i>	<i>0,50</i>	<i>0,48</i>	<i>0,46</i>	<i>0,44</i>
<i>1/2"</i>	<i>0,59</i>	<i>0,57</i>	<i>0,55</i>	<i>0,53</i>
<i>3/4"</i>	<i>0,66</i>	<i>0,64</i>	<i>0,62</i>	<i>0,60</i>
<i>1"</i>	<i>0,71</i>	<i>0,69</i>	<i>0,67</i>	<i>0,65</i>
<i>1 1/2"</i>	<i>0,76</i>	<i>0,74</i>	<i>0,72</i>	<i>0,70</i>
<i>2"</i>	<i>0,78</i>	<i>0,76</i>	<i>0,74</i>	<i>0,72</i>
<i>3"</i>	<i>0,81</i>	<i>0,79</i>	<i>0,77</i>	<i>0,75</i>
<i>6"</i>	<i>0,87</i>	<i>0,85</i>	<i>0,83</i>	<i>0,81</i>

Nota: Reproducida del comité ACI 211

Tabla 29

Tabulación para obtener el volumen del agregado grueso seco compactado

<i>Descripción</i>	<i>MF</i>	<i>TMN 3/4"</i>
<i>Límite Inferior</i>	<i>2.80</i>	<i>0.62</i>
<i>Valor</i>	<i>2.90</i>	<i>X</i>
<i>Límite Superior</i>	<i>3.00</i>	<i>0.60</i>

Interpolando obtenemos volumen del árido grueso seco compactado $X = 0.61$

Para la obtención del peso del árido grueso seco multiplicaremos el volumen del árido grueso seco compactado por el peso unitario seco compactado ($0.61 \times 1622.22 \text{ kg/m}^3$).

Peso del agregado grueso seco = 989.55 kg/m^3

4.3.11. Cálculo de Volúmenes Absolutos

Para el cálculo de los volúmenes absolutos utilizaremos la relación del peso seco de cada material sobre el peso específico de cada material obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 30

Volúmenes de cada material

Descripción	Peso de Material kg/m ³	Peso Especifico kg/m ³	Volumen (m ³)
Cemento	367.12	2850	0.129
Agua	205	1000	0.205
Agregado Grueso	989.55	2673	0.37
Aire			0.02
Volumen Total			0.724

4.3.12. Determinación del Contenido de Agregado Fino

El volumen del árido fino seco será igual a $1 - \sum$ (Vol. De cemento, agua, aire y agregado grueso).

$$\text{Vol. Agregado Fino} = 0.276 \text{ m}^3$$

El peso de agregado fino será igual al Vol. De agregado fino por el peso específico del agregado fino.

$$\text{Peso del agregado fino} = 659.65 \text{ kg/m}^3$$

4.3.13. Corrección del Contenido de Humedad del Agregado

- $\text{Peso húmedo del A. fino} = 659.647 \text{ kg/m}^3 + \frac{0.91}{100} \times 659.647 = 665.665 \text{ kg/m}^3$
- $\text{Peso húmedo del A. grueso} = 989.55 \text{ kg/m}^3 + \frac{0.73}{100} \times 989.55 = 996.77 \text{ kg/m}^3$

- Humedad superficial del A. fino = $0.91\% - 2.37\% = -1.46\%$
- Humedad superficial del A. grueso = $0.73\% - 2.16\% = -1.43\%$
- Agua efectiva = Vu. agua - \sum del aporte húmedo de los agregados
- Agua efectiva = $205 \text{ l/m}^3 - (-9.712 - 14.254) = 228.97 \text{ l/m}^3$

Los pesos de los materiales corregidos por humedad de los agregados húmedos a ser empleados en el diseño de mezcla son:

Tabla 31

Proporcionamiento para el Diseño de Mezcla Con 0% de contenido de Ceniza

Descripción	Peso para 1 m ³	Peso para 1 briqueta	Peso para 1 viga
cemento	367.12 kg	1.946 kg	5.369 kg
A. fino	665.66 kg	3.529 kg	9.735 kg
A. grueso	996.78 kg	5.284 kg	14.578 kg
Agua	228.97 kg	1.214 kg	3.349 kg

Nota: se muestra el Proporcionamiento en peso de los materiales para el diseño de mezcla de concreto patrón con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 32

Proporcionamiento de sustitución en peso del cemento por cenizas de aserrín

Descripción	% de ceniza	Peso para 1 m ³	Peso para 1 briqueta	Peso para 1 viga
Cemento	0%	367.12 kg	1.946 kg	5.369 kg
A. fino	-	665.66 kg	3.529 kg	9.735 kg
A. grueso	-	996.78 kg	5.284 kg	14.578 kg
Aguas	-	228.97 kg	1.214 kg	3.349 kg
Ceniza	2.50%	9.18 kg	0.05 kg	0.13 kg
Ceniza	5.00%	18.36 kg	0.10 kg	0.27 kg
Ceniza	7.50%	27.53 kg	0.15 kg	0.40 kg
Ceniza	10.00%	36.71 kg	0.19 kg	0.54 kg
Ceniza	12.50%	45.89 kg	0.24 kg	0.67 kg
Ceniza	15.00%	55.07 kg	0.29 kg	0.81 kg

Nota: La tabla muestra la proporción de cada uno de los materiales constituyentes para el diseño de mezcla del concreto, con remplazo parcial del cemento con cenizas de aserrín en diferentes proporciones con una resistencia indicada a la compresión de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

4.4 Resultados de Ensayos en Estado Fresco del Concreto

Para determinar y evaluar las propiedades del concreto en estado fresco realizaremos los ensayos de revenimiento o Slump (ASTM C-143) y temperatura del concreto (ASTM C-1064).

4.4.1. Resultados del Ensayo de Revenimiento del Concreto.

Portland Cement Assosiation, (2004) menciona que es la consistencia de la mezcla de concreto en estado fresco es una propiedad importante con la cual podemos estimar la cantidad de agua necesaria para obtener una consistencia trabajable, es decir, si la mezcla de concreto se encuentra en estado plástico, seco o líquido. (pág. 378)

La mezcla de concreto se preparó para la elaboración de briquetas y vigas de referencia y con remplazo parcial del cemento con cenizas de aserrín, en la cual se trabajó con una relación a/c de 0.56 para todas las mezclas de concreto. Se evidencio que el asentamiento se mantuvo dentro del rango de 3" a 4" manteniendo su consistencia plástica los detalles de los resultados se muestran en la tabla 33.

Tabla 33

Resultados del ensayo de Revenimiento de la Mezcla de Concreto.

Descripción	Slump (pulg)	Slump (cm)	Variación (%)	Consistencia
Muestra de referencia	3 ¼"	8.26	-	Plástica
Muestra de 2.5% de CA	3 ¾"	9.53	15.38%	Plástica
Muestra de 5% de CA	3 ¼"	8.26	0%	Plástica
Muestra de 7.5% de CA	3 ½"	8.89	7.63%	Plástica
Muestra de 10% de CA	3 ⅝"	9.21	11.50%	Plástica
Muestra de 12.5% de CA	3 ⅙"	7.78	-5.81%	Plástica

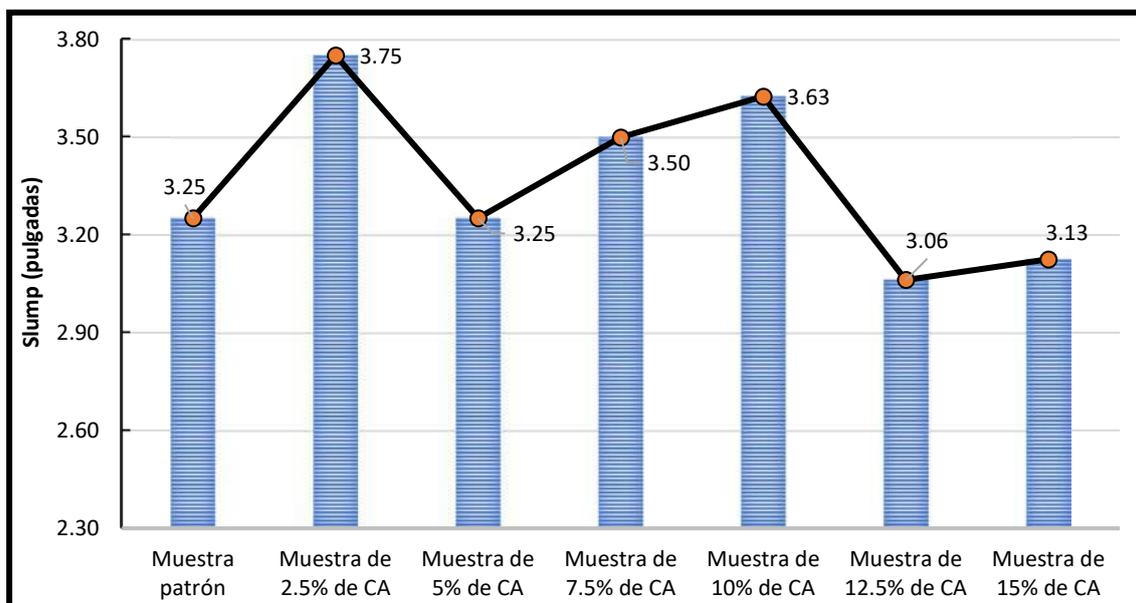
Muestra de 15% de CA	$3 \frac{1}{8}$ "	7.94	-3.87%	Plástica
----------------------	-------------------	------	--------	----------

Nota: Se evidencia que el Slump del concreto al sustituir al cemento con cenizas de aserrín varia aleatoriamente teniendo un incremento de su consistencia de 15.38%, 11.5% y 7.63% para una sustitución de 2.5%, 7.5% y 10% respectivamente, una reducción del Slump de 5.81% y 3.87% para una sustitución parcial de 12.5% y 15% respectivamente y manteniendo la consistencia igual al concreto patrón con una sustitución parcial del 5%.

Se puede ver en la figura 3 que la fluidez del concreto con 2.5% de ceniza de aserrín aumento en comparación con la mezcla de concreto estándar, seguida por la mezcla de concreto con 10% de ceniza de aserrín y por último por la mezcla de concreto con 7.5% de ceniza de aserrín; la fluidez de la mezcla de concreto con 12.5% de ceniza de aserrín disminuyó ligeramente, seguida por la mezcla de concreto con 15% de cenizas de aserrín, pero en toda la consistencia plástica de la mezcla de concreto fresco se mantuvo de acuerdo al diseño de 3 a 4 pulgadas.

Figura 3

Variación de la Determinación del Slump para Cada Tipo de Concreto



4.4.3. Resultados del ensayo del control de temperatura del concreto.

Como se sabe que la temperatura de la mezcla del concreto fresco depende de la temperatura de sus componentes participantes y temperatura del ambiente; los cuales influyen en la temperatura de la mezcla de concreto en estado fresco. Podemos verificar los resultados en la tabla 34.

Tabla 34

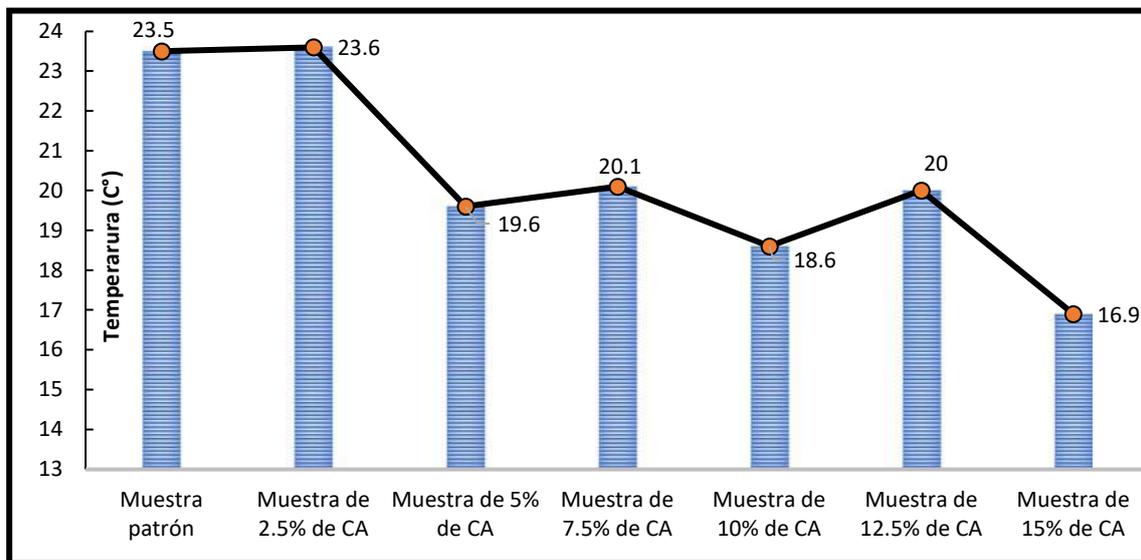
Temperatura del Concreto en Estado Fresco

Descripción	Temperatura (°C)	Variación (%)	Consistencia
Muestra de referencia	23.50	-	Plástica
Muestra con 2.5% de CA	23.60	0.43%	Plástica
Muestra con 5% de CA	19.60	-16.6%	Plástica
Muestra con 7.5% de CA	20.10	-14.47%	Plástica
Muestra con 10% de CA	18.60	-20.85%	Plástica
Muestra con 12.5% de CA	20.00	-14.89%	Plástica
Muestra con 15% de CA	16.90	-28.09%	Plástica

Nota: Por lo tanto, el calor de hidratación de la mezcla de concreto con 2.5% de contenido de ceniza de aserrín es ligeramente superior a la mezcla de referencia en 0.43%, presentando la mayor energía interna convirtiéndolo en el material de más reactivo e inestable y con mayor contracción, seguido de la mezcla de concreto patrón, luego de la mezcla de concreto con 7.5% de contenido de ceniza de aserrín.

Figura 4

Variación de la Temperatura del Concreto en Estado Fresco



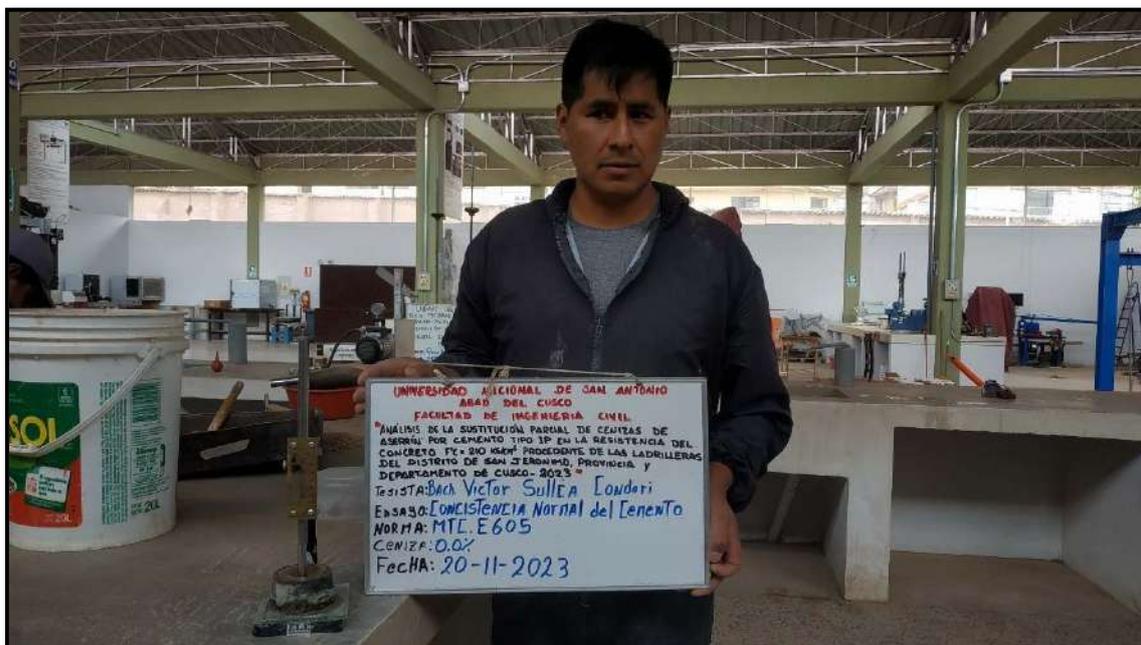
Nota. los registros de variación de temperatura para las mezclas de concreto con cenizas de aserrín reemplazando parcialmente al cemento, utilizados para la estimación del calor de hidratación mostraron un valor máximo cuando el cemento fue reemplazado parcialmente con 2.5% de cenizas de aserrín y un valor mínimo cuando el cemento fue reemplazado parcialmente con 15% de ceniza de aserrín.

4.4.4. Resultados de la Prueba de Consistencia Normal del Cemento

MTC E 605, (2016). Menciona que este ensayo se define como la cantidad de agua necesaria para producir una pasta de cemento, que permita a la sonda descender 10 ± 1 mm en 30 segundos de liberada la sonda y vástago.

Figura 5

Ensayo de Consistencia Normal del Cemento Tipo IP.

**Tabla 35**

Ensayo Realizado a la Pasta de Cemento Tipo IP

N° de Ensayo	Peso del Cemento (g)	Volumen de Agua (ml)	Descenso de la Sonda (mm)
1	650	245	38
2	650	223	21
3	650	X	10
4	650	207	8.5

Nota: para hallar el peso de agua para 10 mm de descenso de la sonda interpolaremos los ensayos número 2 y 4.

$$\frac{223 - 207}{X - 207} = \frac{21 - 8.5}{10 - 8.5}$$

Resolviendo la interpolación $X = 208.92$ ml.

Utilizando 210 ml de agua mezclamos 650 g de cemento para obtener un descenso de la sonda de 9.5 mm.

4.4.5. Resultados de la Prueba de Tiempo de Fraguado del Cemento y Cemento con Adición de Cenizas de Aserrín.

MTC E 606, (2016). Menciona que esta prueba se define como el periodo de tiempo que ha transcurrido desde el momento en que el agua es mezclada con el cemento hasta que inicia el momento de endurecimiento y se vuelve sólido.

Figura 6

Ensayo de Tiempo de Fraguado del Cemento más Cenizas de Aserrín.



La Tabla 36 muestra los resultados de las pruebas de consistencia normal y tiempos de fraguado del cemento. los resultados de consistencia estándar de la pasta de cemento con porcentajes de ceniza de aserrín muestran el aumento de la consistencia de la mezcla cementante este efecto en la variación de la consistencia normal de la pasta de cemento con remplazo del cemento del 15% de ceniza de aserrín, demandará mayor cantidad de agua para el amasado y obtener la consistencia de 10 ± 1 mm. Por otra parte, la pasta de cemento con remplazo parcial del cemento con 2.5% de ceniza de aserrín, disminuye su consistencia normal en un 21.05% cuyo efecto será la disminución del

volumen de agua requerida para alcanzar la consistencia estándar de $10 \pm 1\text{mm}$ en la mezcla de la pasta de cemento con 2.5% de ceniza de aserrín.

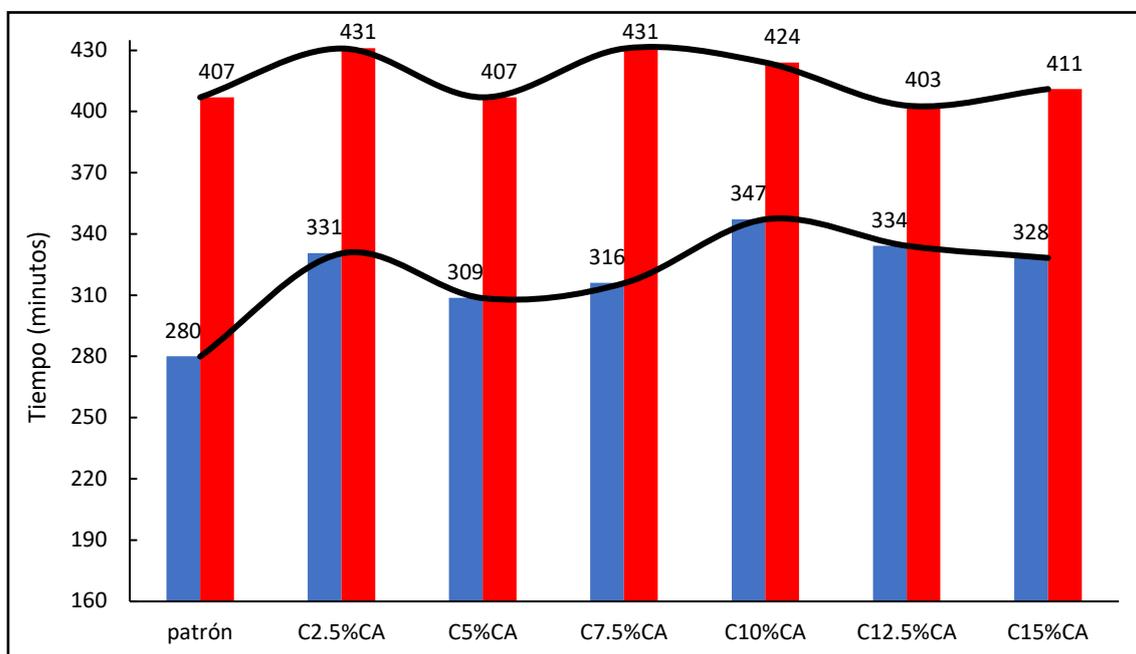
Tabla 36

Tiempo de Fraguado del Cemento más Ceniza de Aserrín

Descripción	Contenido de Ceniza	Consistencia Normal (mm)	Variación (%)	Fraguado Inicial (min)	Fraguado Final (min)
Patrón	0%	9.5	-	280	407
C2.5%CA	2.5%	11.5	21.05%	331	431
C5%CA	5.0%	8.5	-10.53%	309	407
C7.5%CA	7.5%	6.5	-31.58%	316	431
C10%CA	10.0%	8	-15.79%	347	424
C12.5%CA	12.5%	6	-36.84%	334	403
C15%CA	15.0%	4.5	-52.63%	328	411

Figura 7

Variación del Tiempo de Fraguado del Cemento más Cenizas



Nota: De los resultados de la mezcla de cemento con ceniza de aserrín. La mezcla de cemento con 10% de ceniza de aserrín es el que presenta menor velocidad e intensidad en las reacciones de hidratación de la mezcla de cemento, retrasándose al inicio y el final del fraguado de la mezcla. La velocidad de hidratación es casi similar para las mezclas con 2.5% y 7.5% de contenido de ceniza de aserrín.

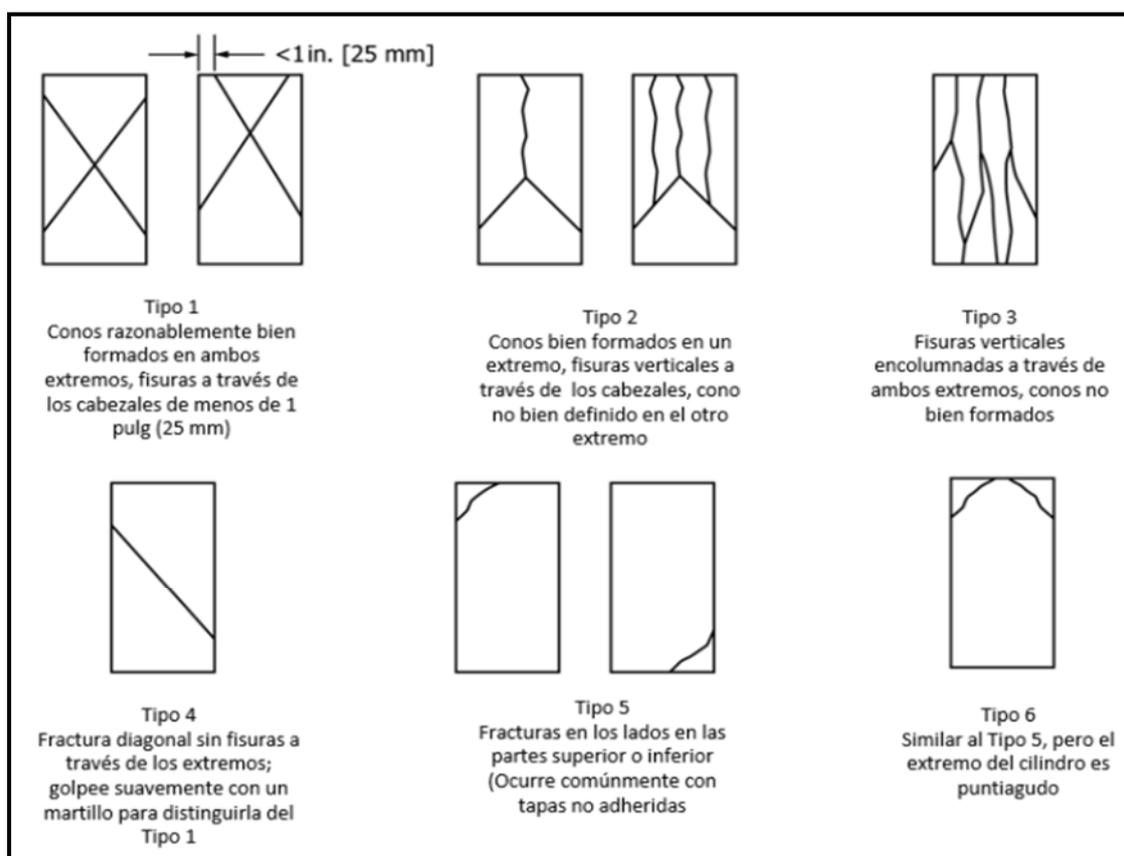
4.5 Resultados de ensayos en estado endurecido del concreto

Los ensayos realizados a los testigos de concreto patrón y concreto con sustitución parcial del cemento por cenizas de aserrín fueron realizadas de acuerdo a las guías del MTC E-704, NTP 339.034, ASTM C-39, ASTM C-78.

Para los ensayos de la resistencia a la compresión los tipos de fracturas de los testigos cilíndricos de concreto y concreto con cenizas de aserrín se consideran los establecidos en la norma técnica peruana NTP 339.034 que detallamos en la figura 8.

Figura 8

Esquema de los Patrones de Tipos de Fracturas



Nota: Reproducida de la Norma Técnica Peruana NTP 339.034, 2021 (pág. 21)

4.5.1. Resultados de la Resistencia a la Compresión de Concreto Patrón

Para la prueba de ensayo experimental de la resistencia a compresión de las briquetas de hormigón de referencia se prepararon 18 testigos con 0% de contenido de ceniza de aserrín los cuales se ensayaron a los 7, 14 y 28 días de curado cuyos resultados se presentan en las tablas 31, 32 y 33 respectivamente.

Figura 9

Tipo de Falla en Briqueta con 0% de Ceniza de Aserrín a los 7 Días de Curado.

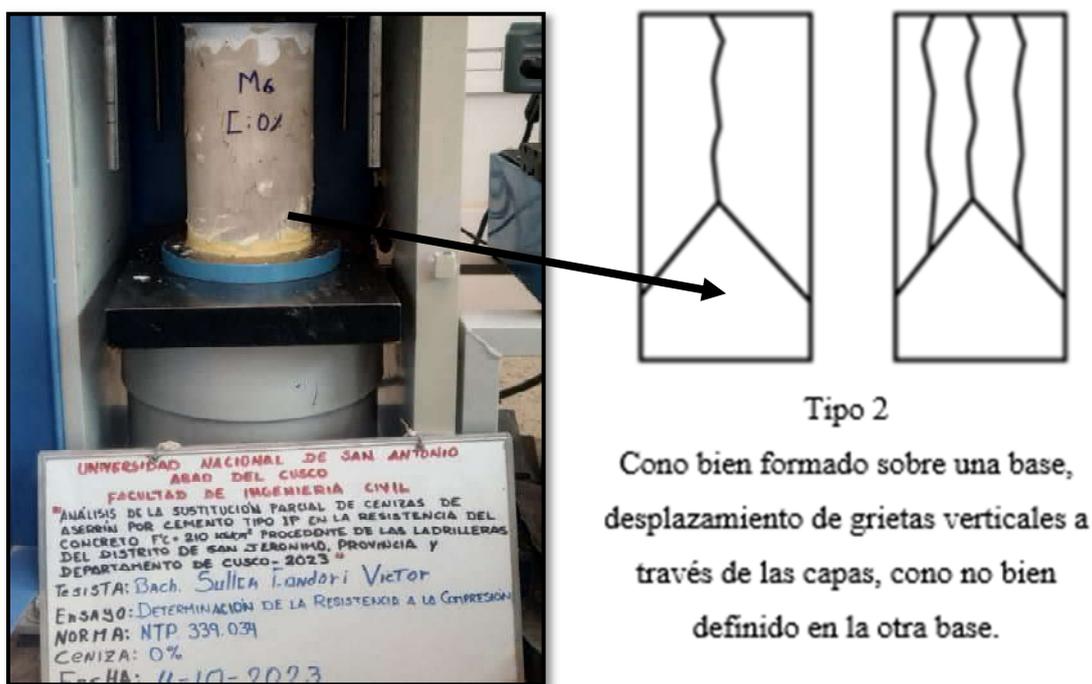


Tabla 37

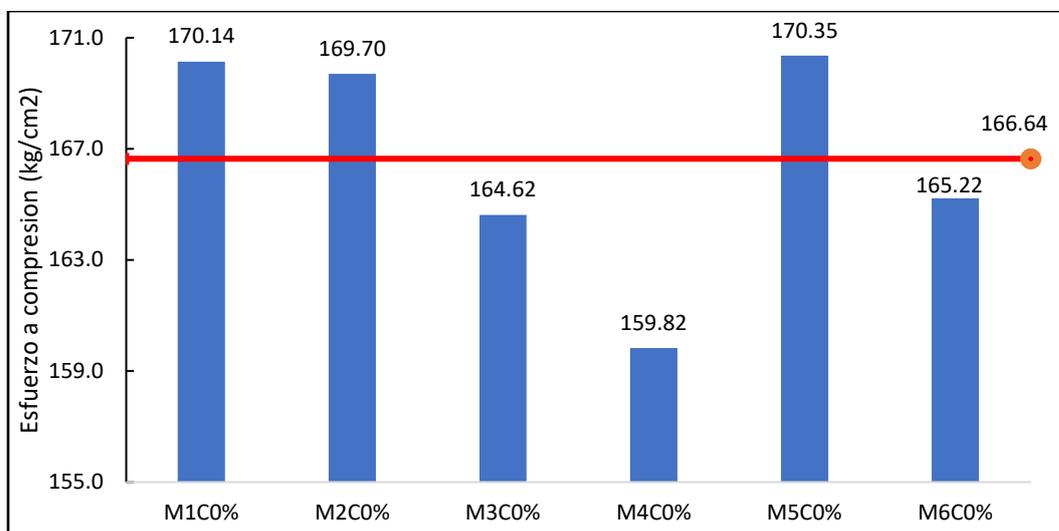
Resultados de la Resistencia a la Compresión del Testigo Patrón a los 7 días de Curado

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	F'c Promedio
M1C0%	15.3	30.1	12.789	2310.987	31280	170.14	
M2C0%	15.3	30.2	12.985	2338.635	31200	169.70	
M3C0%	15.1	30.1	13.005	2412.683	29480	164.62	
M4C0%	15.1	30.2	13.102	2422.629	28620	159.82	166.64
M5C0%	15.3	30.1	12.898	2330.683	31320	170.35	
M6C0%	15.2	30.1	12.996	2379.393	29980	165.22	

Nota: Los ensayos de los testigos de referencia de la resistencia a la compresión se realizó siguiendo las especificaciones de la norma NTP 339.034 y ASTM C-39, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 10

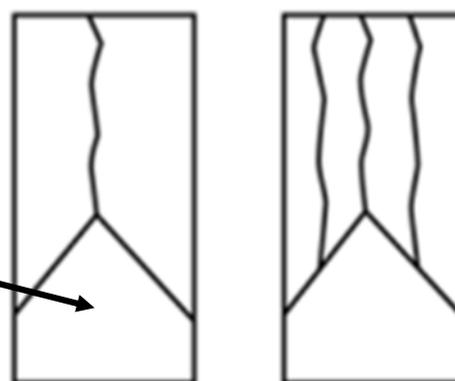
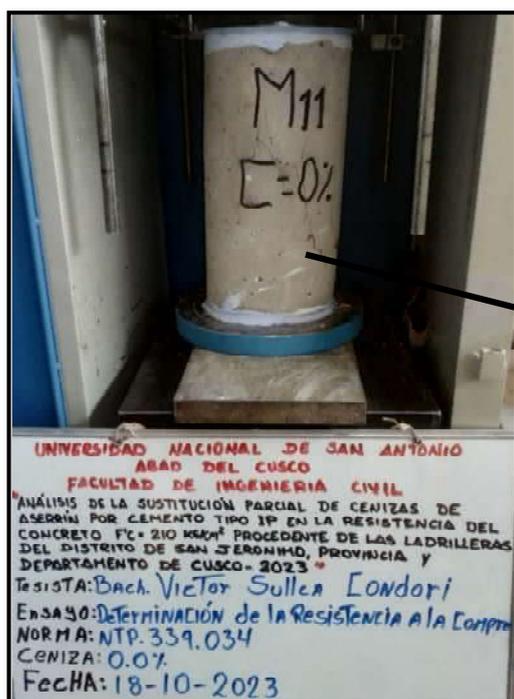
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 0% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.



Nota. De la figura 10 podemos observar que la resistencia máxima es de 170.35 kg/cm² y una mínima de 159.82 kg/cm² obteniendo un rango de 10.53 kg/cm², la resistencia estimada a los 7 días es del 65% de f'_c que equivale 136.5 kg/cm².

Figura 11

Tipo de falla en briqueta con 0% de ceniza de aserrín a los 14 días de curado



Tipo 2

Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, como no bien definido en la otra base.

Tabla 38

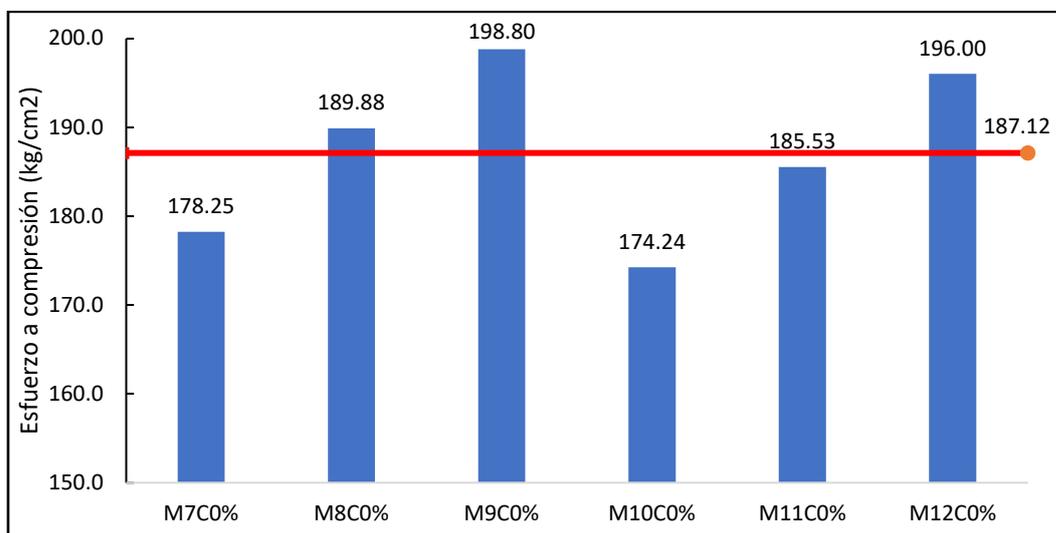
Resultados de la Resistencia a la Compresión del Testigo Patrón a los 14 Días de Curado

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	F'c Promedio
M7C0%	15.1	30	12.889	2399.133	31920	178.25	187.12
M8C0%	15.3	30.2	13.256	2387.442	34910	189.88	
M9C0%	15.3	30.3	13.365	2399.129	36550	198.80	
M10C0%	15	30.2	13.182	2470.029	30790	174.24	
M11C0%	15.3	30.1	12.985	2346.404	34110	185.53	
M12C0%	15.1	30.3	12.998	2395.467	35100	196.00	

Nota: Los ensayos de testigos patrón de la resistencia a la compresión se realizó siguiendo las especificaciones de la norma NTP 339.034 y ASTM C-39, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 12

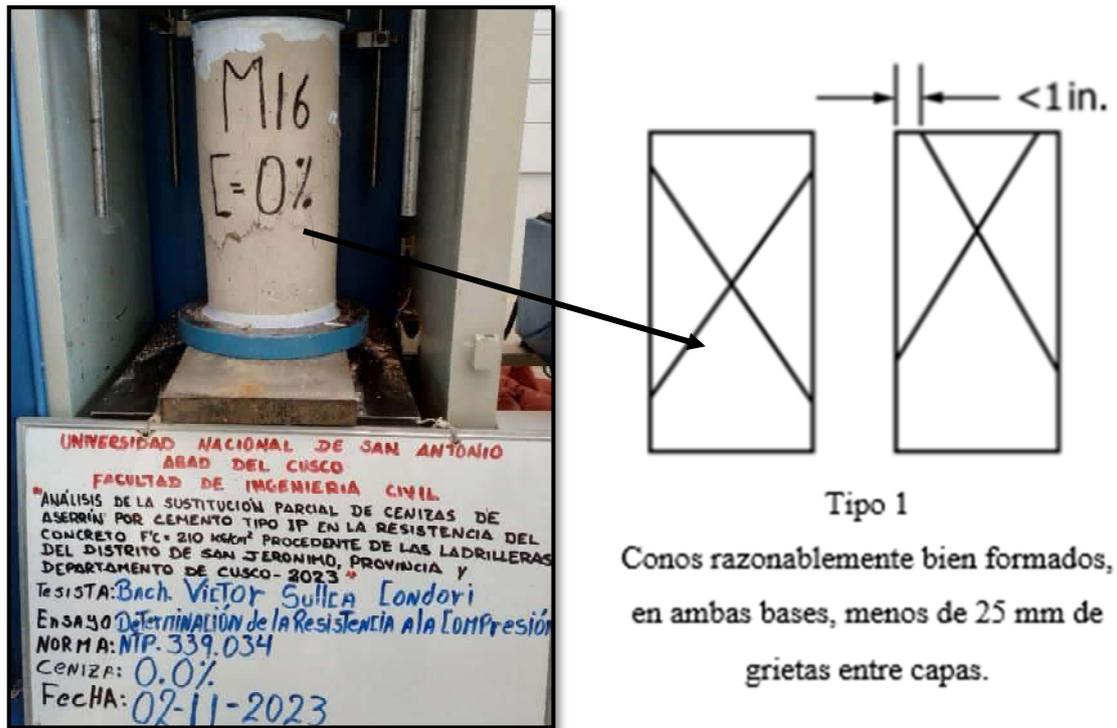
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 0% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.



Nota. En la figura 12 podemos observar que la resistencia máxima es de 198.80 kg/cm² y una mínima de 174.24 kg/cm² con un rango de 24.56 kg/cm²

Figura 13

Tipo de falla en briqueta con 0% de ceniza de aserrín a los 28 días de curado

**Figura 14**

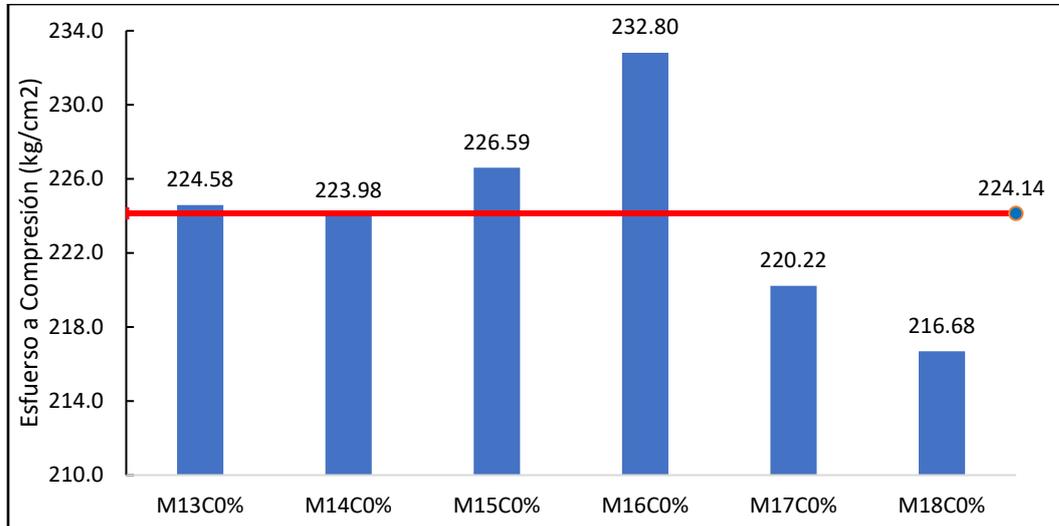
Resultados de la Resistencia a la Compresión del Testigo Patrón a los 28 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	F'c Promedio
M13C0%	15.3	30.2	13.245	2385.461	41290	224.58	
M14C0%	15	30.2	12.982	2432.553	39580	223.98	
M15C0%	15.3	30.3	13.125	2356.047	41660	226.59	
M16C0%	15.1	30.2	12.963	2396.927	41690	232.80	224.14
M17C0%	15.2	30.1	12.914	2364.380	39960	220.22	
M18C0%	15	30.1	12.987	2441.575	38290	216.68	

Nota: Los ensayos de testigos patrón de la resistencia a la compresión se realizó siguiendo las especificaciones de la norma NTP 339.034 y ASTM C-39, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 15

Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 0% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado



Nota. En la figura 15 podemos observar los resultados a los 28 días de curado que la resistencia máxima es de 232.80 kg/cm² y una mínima de 216.68 kg/cm². la resistencia estimada a los 14 días es del 90% de f'_c que equivale a 189 kg/cm².

4.5.2. Resultados de ensayos de concreto con 2.5% de ceniza de aserrín

Para el ensayo de esfuerzo a la compresión se prepararon 18 testigos cilíndricos de hormigón con remplazo parcial del cemento con 2.5% cenizas de aserrín los cuales se ensayaron a los 7, 14 y 28 días de curado los resultados se presentan en las tablas 32, 33 y 34 respectivamente.

Figura 16

Tipo de Falla en Testigo con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 7 días de curado

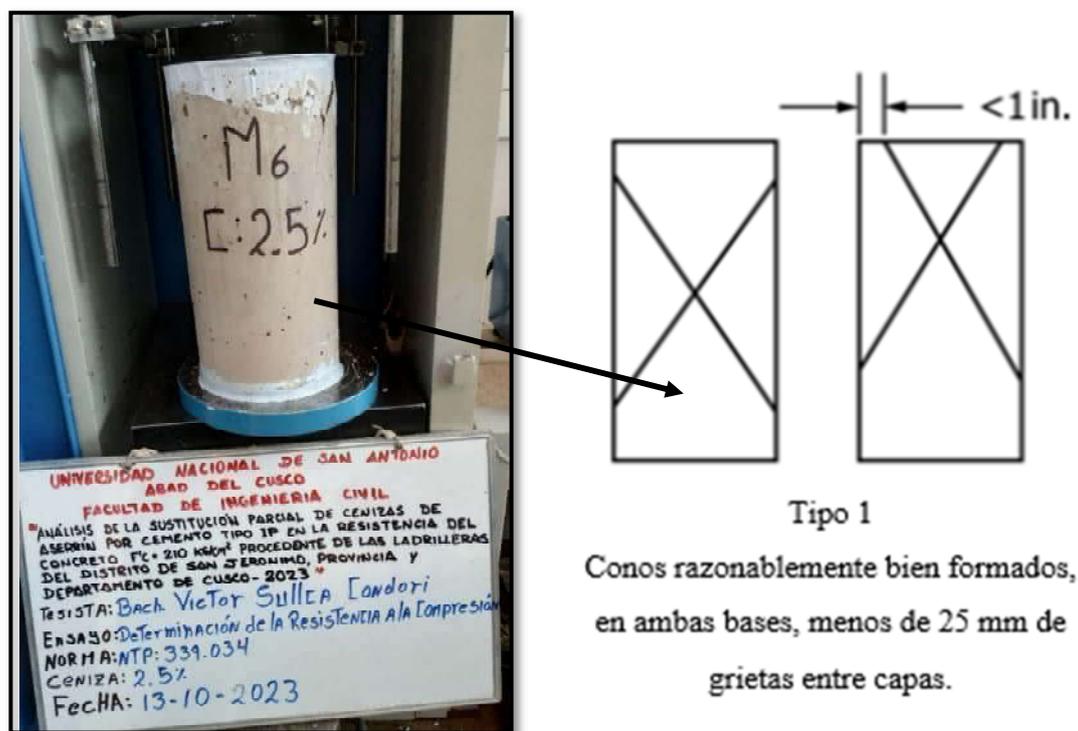


Tabla 39

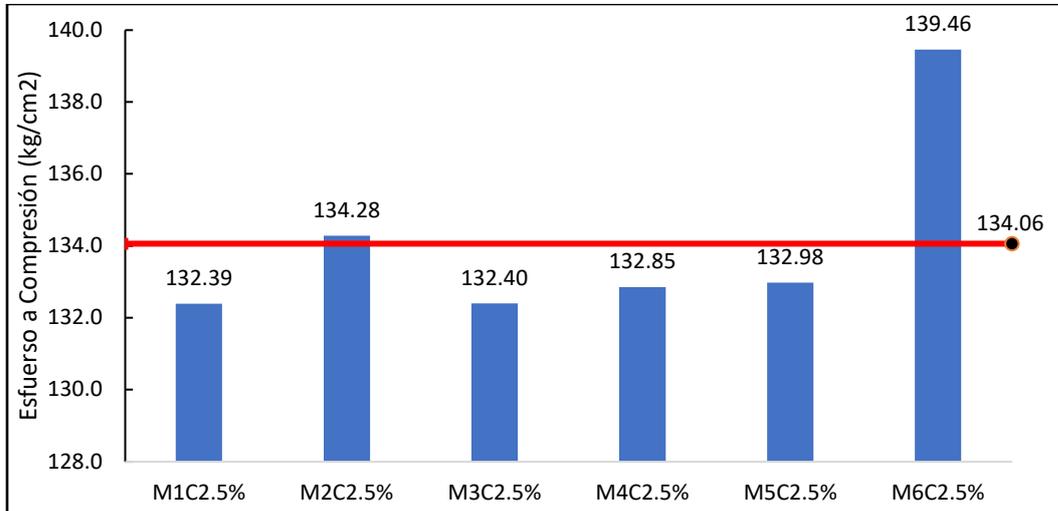
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 2.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)	Variación
M1C2.5%	15.3	30.2	12.789	2303.334	24340	132.39	-20.55%
M2C2.5%	15	30.1	12.986	2441.387	23730	134.28	-19.42%
M3C2.5%	15.1	30.1	12.897	2392.646	23710	132.40	-20.55%
M4C2.5%	15.1	30.2	13.102	2422.629	23790	132.85	-20.28%
M5C2.5%	15.2	30.1	12.998	2379.760	24130	132.98	-20.20%
M6C2.5%	15.3	30.3	13.314	2389.975	25640	139.46	-16.31%
Promedio de $f'c$						134.06	-19.55%

Nota: Se puede observar que el uso de un 2,5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto reduce significativamente su resistencia a la compresión en un 19,55% en comparación con el valor promedio del concreto patrón, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 17

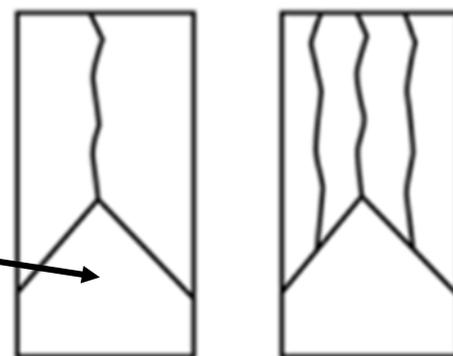
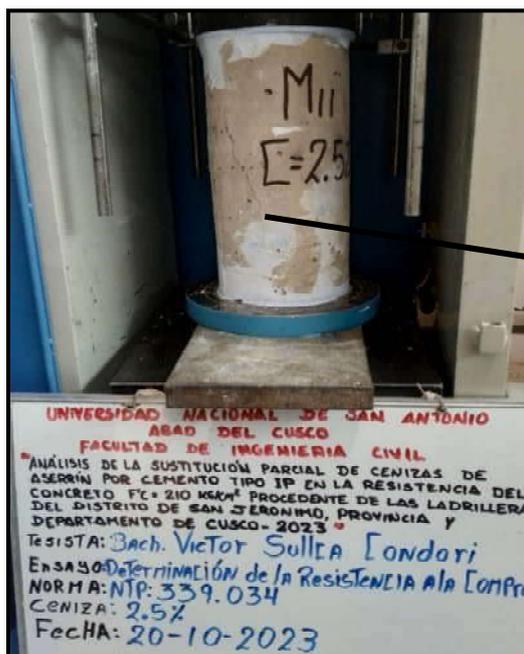
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 2.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.



Nota. En la figura 17 el esfuerzo a compresión máximo es de 139.46 kg/cm² que representa una reducción del 16.31% y una mínima de 132.39 kg/cm² que representan una reducción del 20.55% respecto al valor promedio del concreto de referencia, la resistencia estimada a los 7 días es del 65% de f'_c que equivale 136.5 kg/cm².

Figura 18

Tipo de Falla en Testigo con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 14 días de curado



Tipo 2

Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, como no bien definido en la otra base.

Tabla 40

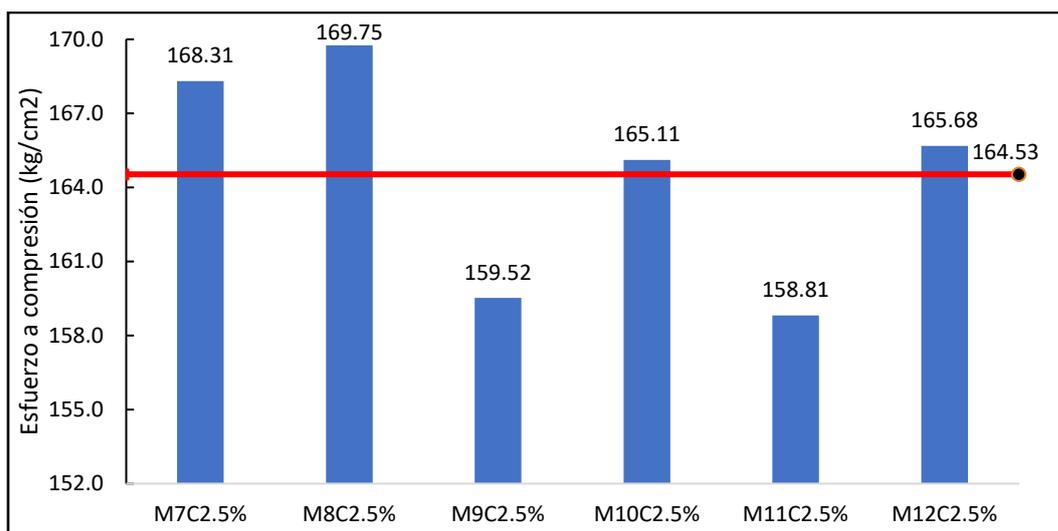
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 2.5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M7C2.5%	15.1	30.2	12.889	2383.244	30140	168.31	-10.05%
M8C2.5%	15.3	30.1	13.256	2395.374	31210	169.75	-9.28%
M9C2.5%	15	30.1	13.365	2512.639	28190	159.52	-14.75%
M10C2.5%	15.2	30.2	13.102	2390.857	29960	165.11	-11.76%
M11C2.5%	15.1	30.2	12.985	2400.995	28440	158.81	-15.13%
M12C2.5%	15.3	30.3	12.996	2332.891	30460	165.68	-11.46%
Promedio de f'c						164.53	-12.07%

Nota: Se puede observar que el uso de un 2,5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto reduce notablemente su resistencia a la compresión en un 12.07% en comparación con el valor promedio del concreto patrón, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 19

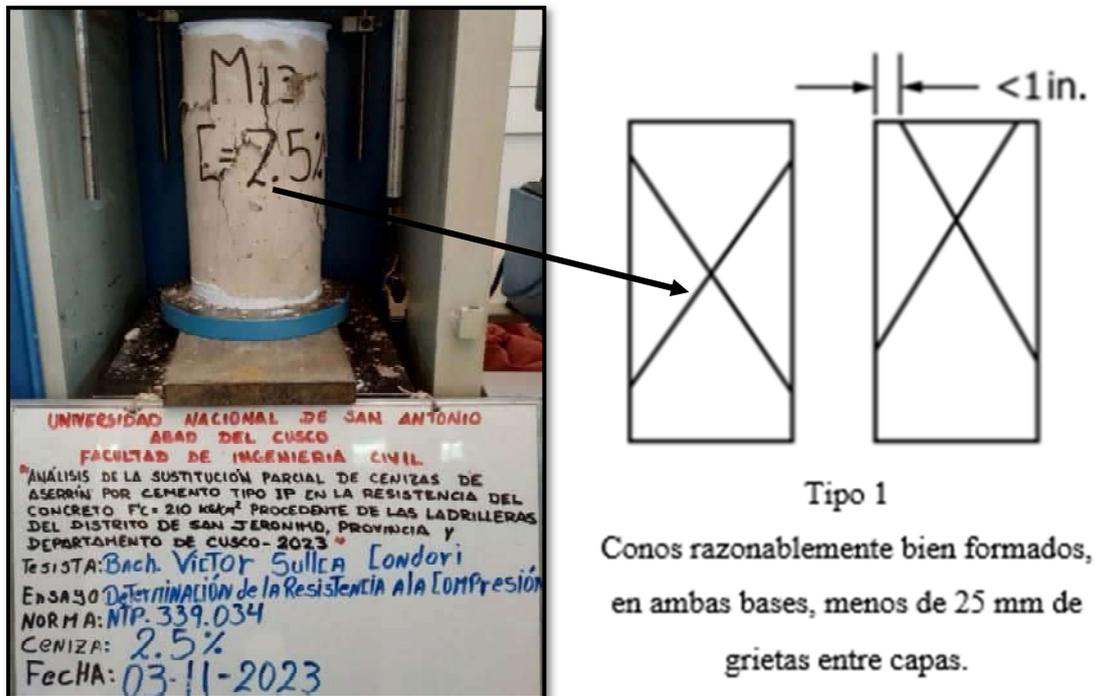
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 2.5% de cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado



Nota. En la figura 19 el esfuerzo a compresión máximo es de 169.75 kg/cm² que representa una reducción del 9.28% y una mínima de 158.81 kg/cm² que representan una reducción del 15.13% respecto al valor promedio del concreto de referencia, la resistencia estimada a los 14 días es del 90% de f'c que equivale a 189 kg/cm².

Figura 20

Tipo de Falla de Testigo con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.

**Tabla 41**

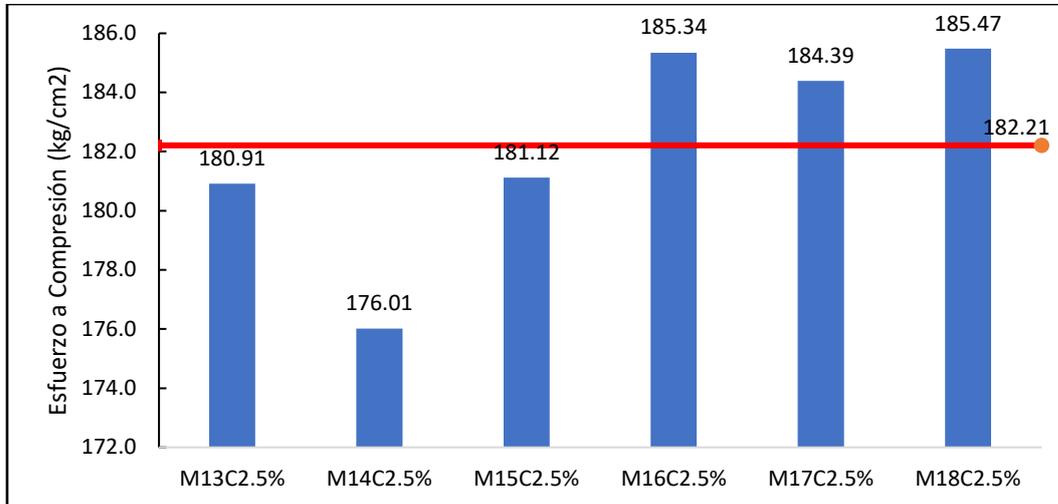
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 2.5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m^3)	Carga (kg)	f_c (kg/cm^2)	Variación
M13C2.5%	15	30	12.798	2414.063	31970	180.91	-19.29%
M14C2.5%	15.1	30.2	12.896	2384.539	31520	176.01	-21.47%
M15C2.5%	15.3	30.3	12.979	2329.839	33300	181.12	-19.19%
M16C2.5%	15.1	30.2	12.963	2396.927	33190	185.34	-17.31%
M17C2.5%	15.3	30.3	13.125	2356.047	33900	184.39	-17.74%
M18C2.5%	15.3	30.2	12.894	2322.245	34100	185.47	-17.25%
Promedio de f_c						182.21	-18.71%

Nota: Se puede observar que el uso de un 2,5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto reduce considerablemente su resistencia a la compresión en un 18.71% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 21

Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 2.5% de cenizas de aserrín a los 28 Días de Curado.

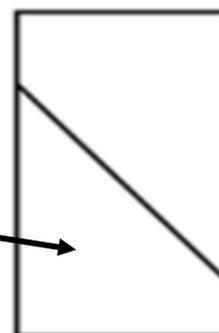
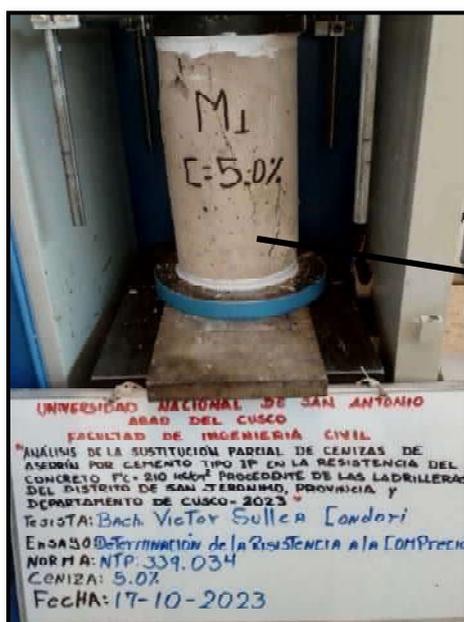


Nota. En la figura 21 el esfuerzo a compresión máximo es de 185.47 kg/cm² que representa una reducción del 17.25% y una mínima de 176.01 kg/cm² que representan una reducción del 21.47% respecto al valor promedio del concreto patrón.

4.5.3. Resultados de ensayos de concreto con 5.0% de ceniza de aserrín

Figura 22

Tipo de Falla de Testigo con 5% de Ceniza de Aserrín a los 7 Días de Curado.



Tipo 4

Fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos; golpee suavemente con un martillo para distinguirla del tipo 1

Tabla 42

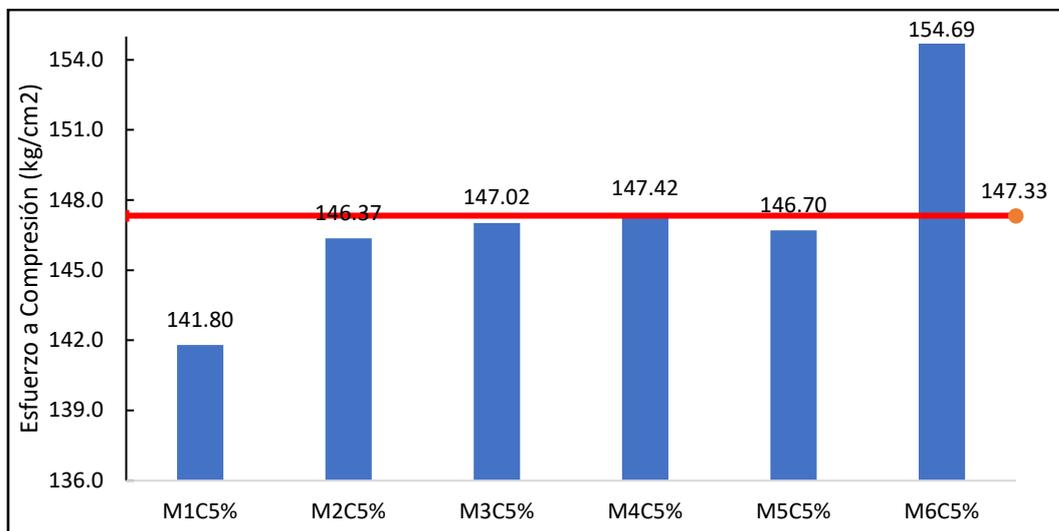
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M1C5%	15.3	30.2	12.886	2320.804	26070	141.80	-14.91%
M2C5%	15.3	30.1	12.921	2334.839	26910	146.37	-12.17%
M3C5%	15.3	30.3	12.991	2331.993	27030	147.02	-11.77%
M4C5%	15.1	30.2	12.798	2366.418	26400	147.42	-11.53%
M5C5%	15.2	30.1	13.025	2384.703	26620	146.70	-11.97%
M6C5%	15.3	30.1	12.912	2333.213	28440	154.69	-7.17%
Promedio de f'c						147.33	-11.59%

Nota: Se puede observar que el uso de un 5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto reduce notoriamente su resistencia a la compresión en un 11.59% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 23

Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.



Nota. En la figura 23 el esfuerzo a compresión máximo es de 154.69 kg/cm² que representa una reducción del 7.17% y una mínima de 141.80 kg/cm² que representan una reducción del 14.91% respecto al valor promedio del hormigón de referencia, la resistencia estimada a los 7 días es del 65% de f'c que equivale 136.5 kg/cm².

Figura 24

Tipo de Falla de Testigo con 5% de Ceniza de Aserrín a los 14 Días de Curado.

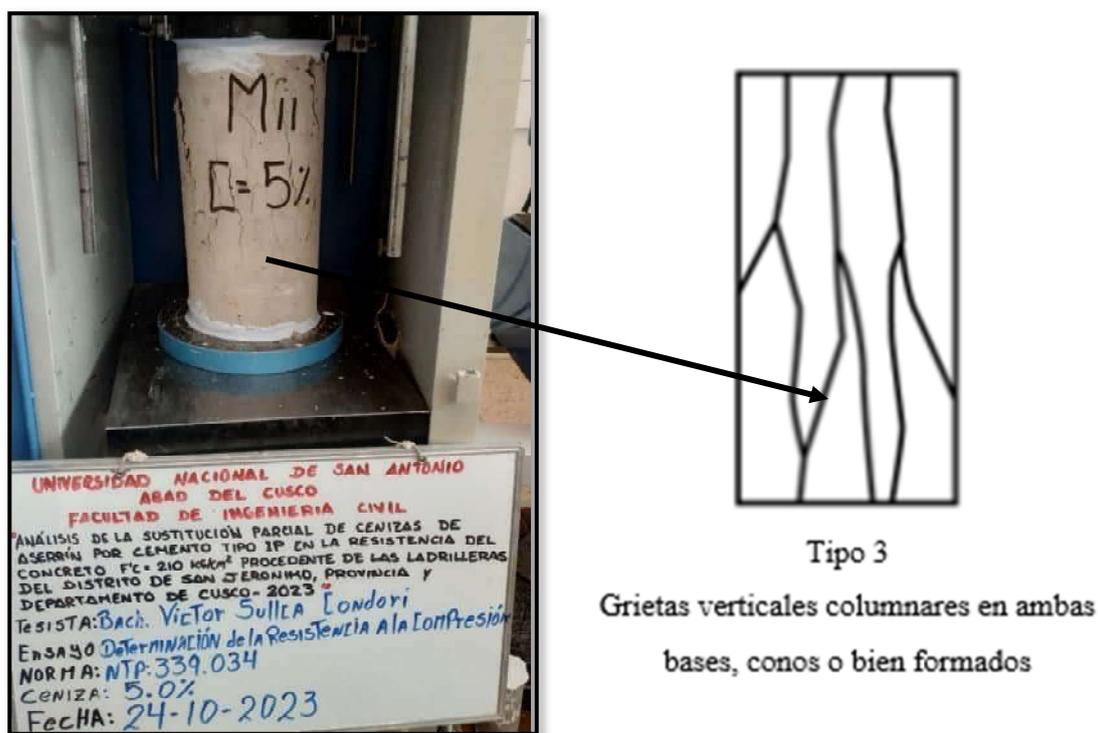


Tabla 43

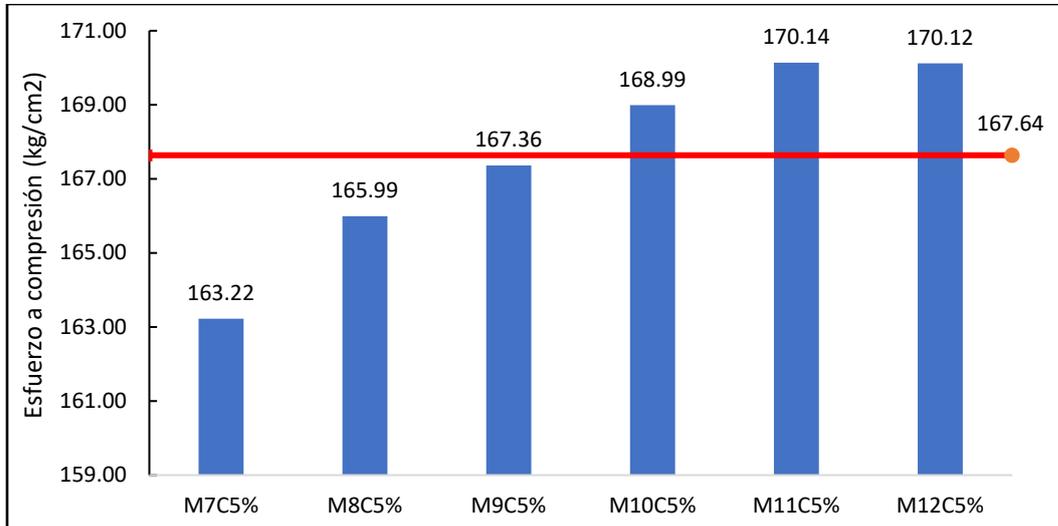
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m^3)	Carga (kg)	f'_c (kg/cm^2)	Variación
M7C5%	15.1	30.1	12.756	2366.488	29230	163.22	-12.77%
M8C5%	15.2	30.1	12.965	2373.718	30120	165.99	-11.29%
M9C5%	15.3	30	12.737	2309.262	30770	167.36	-10.56%
M10C5%	15.3	30.1	12.823	2317.131	31070	168.99	-9.69%
M11C5%	15.3	30.2	12.945	2331.430	31280	170.14	-9.07%
M12C5%	15.2	30.2	12.798	2335.383	30870	170.12	-9.08%
Promedio de f'_c						167.64	-10.41%

Nota: Se puede observar que el uso de un 5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente al cemento en la mezcla de hormigón reduce considerablemente su resistencia a la compresión en un 10.41% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 25

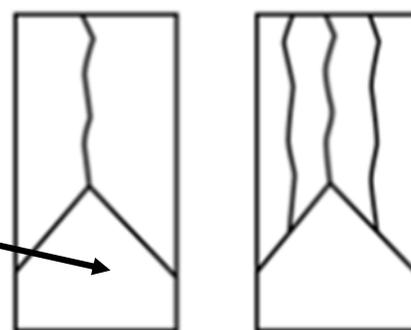
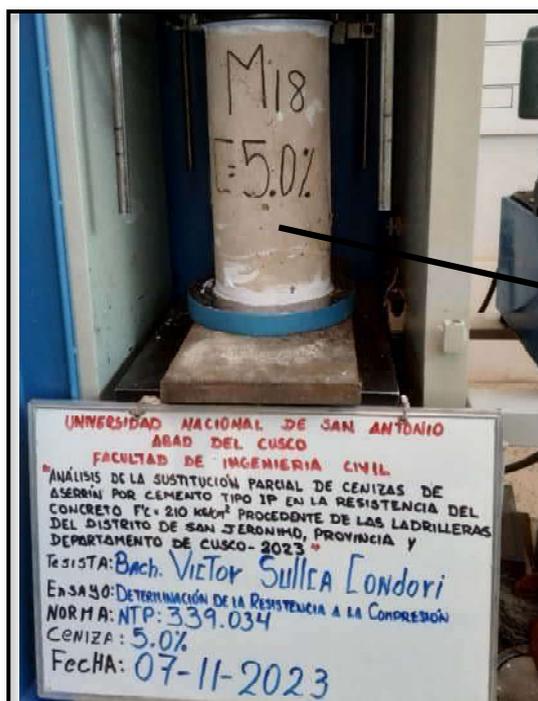
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.



Nota. En la figura 25 el esfuerzo a compresión máximo es de 170.14 kg/cm² que representa una reducción del 9.07% y una mínima de 163.22 kg/cm² que representan una reducción del 12.77% respecto al valor promedio del hormigón de referencia, la resistencia estimada a los 14 días es del 90% de f'_c que equivale a 189 kg/cm².

Figura 26

Tipo de Falla de Testigo con 5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.

**Tipo 2**

Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, como no bien definido en la otra base

Tabla 44

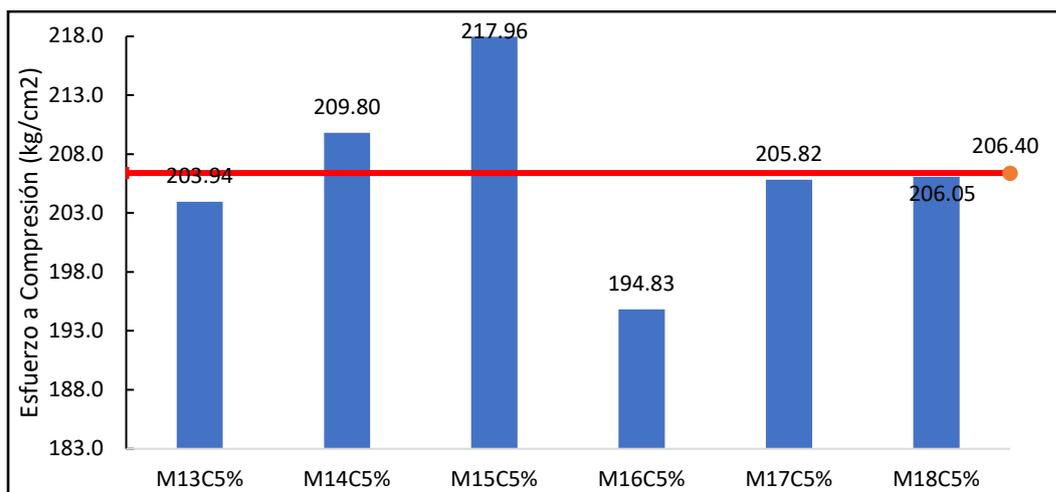
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M13C5%	15	30.1	12.791	2404.727	36040	203.94	-9.01%
M14C5%	15.2	30.2	12.956	2364.215	38070	209.80	-6.40%
M15C5%	15.2	30.1	12.961	2372.985	39550	217.96	-2.76%
M16C5%	15	30.1	12.823	2410.743	34430	194.83	-13.08%
M17C5%	15.3	30.2	13.189	2375.375	37840	205.82	-8.18%
M18C5%	15.1	30.3	12.865	2370.956	36900	206.05	-8.07%
Promedio de f'c						206.4	-7.91%

Nota: Se puede observar que el uso de un 5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto reduce notablemente su resistencia a la compresión en un 7.91% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 27

Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.



Nota. En la figura 27 el esfuerzo a compresión máximo es de 217.96 kg/cm² que representa una reducción del 2.76% y una mínima de 194.83 kg/cm² que representan una reducción del 13.08% respecto al valor promedio del hormigón de referencia.

4.5.4. Resultados de ensayos de concreto con 7.5% de ceniza de aserrín

Figura 28

Tipo de Falla de Testigo con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 7 Días de Curado.

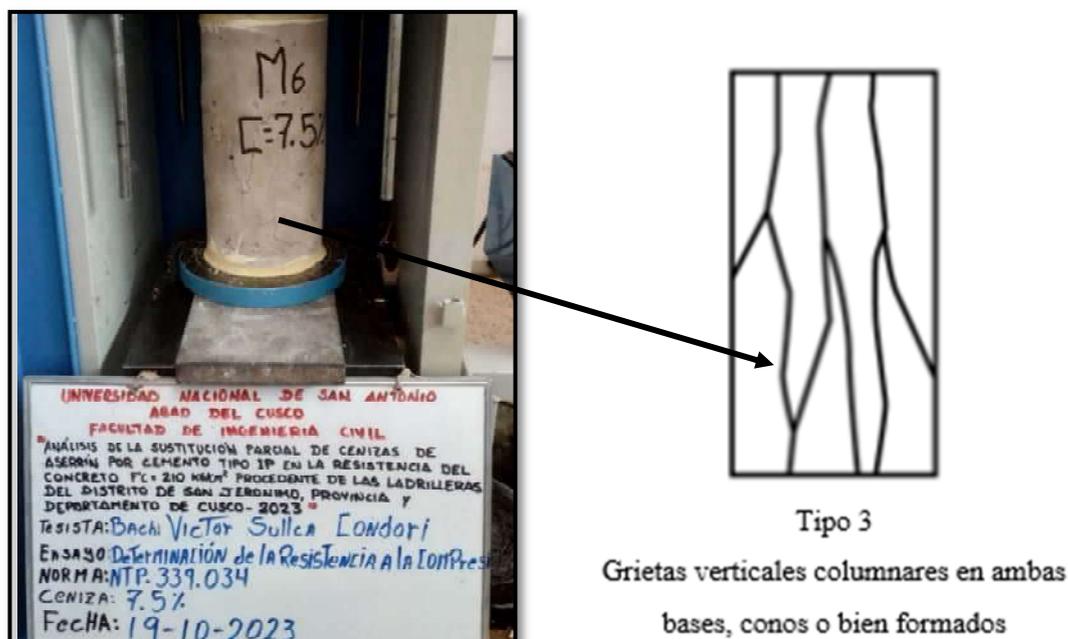


Tabla 45

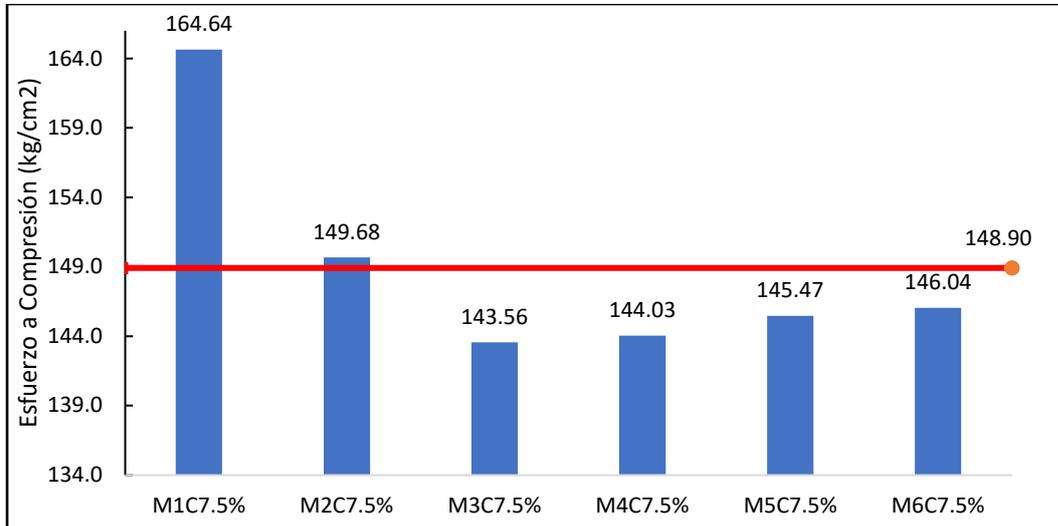
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m^3)	Carga (kg)	f'_c (kg/cm^2)	Variación
M1C7.5%	15.3	30.1	12.962	2342.248	30270	164.64	-1.20%
M2C7.5%	15.2	30	12.917	2372.813	27160	149.68	-10.18%
M3C7.5%	15	30.1	12.896	2424.467	25370	143.56	-13.85%
M4C7.5%	15.3	30.2	13.123	2363.489	26480	144.03	-13.57%
M5C7.5%	15.1	30	12.736	2370.654	26050	145.47	-12.71%
M6C7.5%	15.3	30.1	12.978	2345.139	26850	146.04	-12.36%
Promedio de f'_c						148.90	-10.64%

Nota: Se puede observar que el uso de un 7.5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto reduce notablemente su resistencia a la compresión en un 10.64% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 29

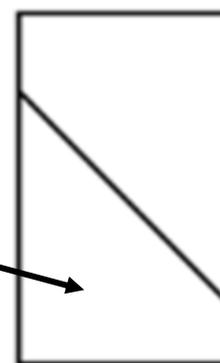
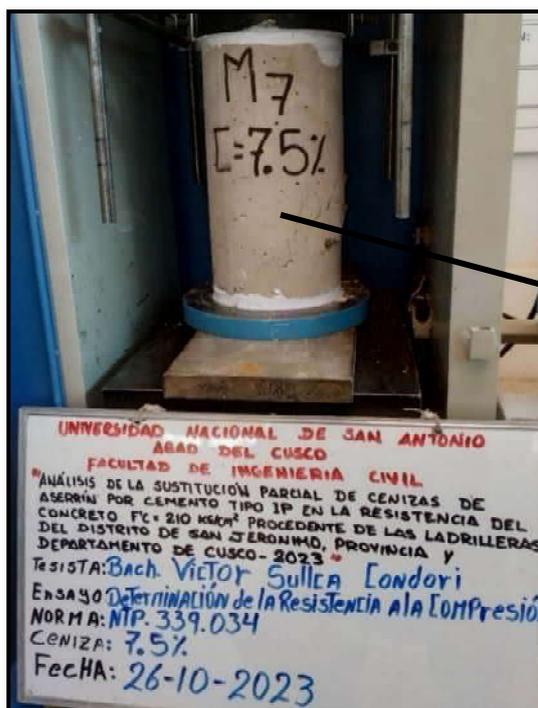
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.



Nota. En la figura 29 el esfuerzo a compresión máximo es de 164.64 kg/cm² que representa una reducción del 1.20% y una mínima de 143.56 kg/cm² que representan una reducción del 13.85% respecto al valor promedio del hormigón de referencia, la resistencia estimada a los 7 días es del 65% de f'_c que equivale 136.5 kg/cm².

Figura 30

Tipo de Falla de Testigo con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 14 Días de Curado.



Tipo 4

Fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos; golpee suavemente con un martillo para distinguirla del tipo 1

Tabla 46

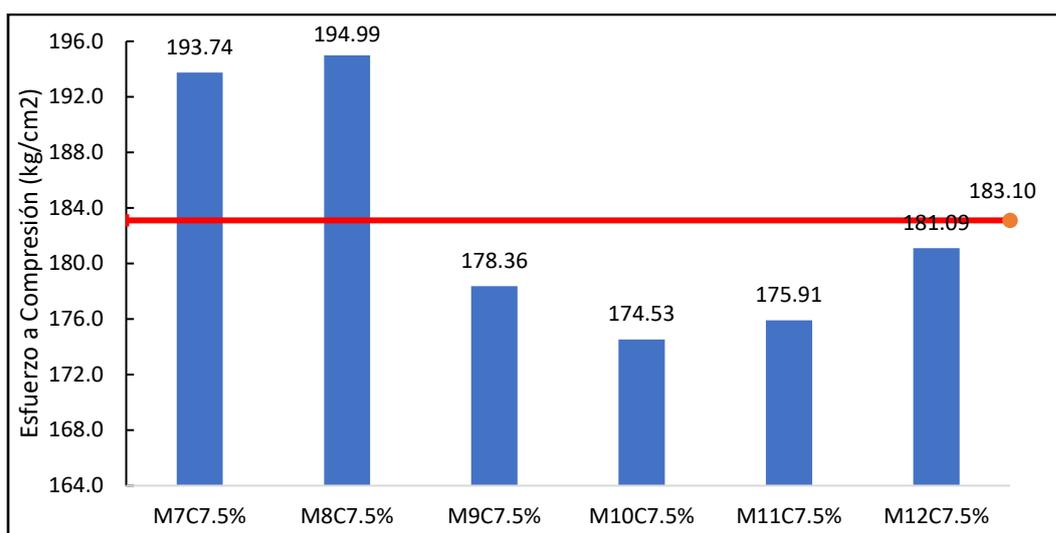
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M7C7.5%	15.3	30.2	12.793	2304.055	35620	193.74	3.54%
M8C7.5%	15.3	30.1	12.898	2330.683	35850	194.99	4.21%
M9C7.5%	15.1	30.1	12.823	2378.918	31940	178.36	-4.68%
M10C7.5%	15.2	30.3	13.235	2407.157	31670	174.53	-6.73%
M11C7.5%	15.2	30.1	12.947	2370.422	31920	175.91	-5.99%
M12C7.5%	15.1	30.2	12.865	2378.807	32430	181.09	-3.22%
Promedio de f'c						183.10	-2.14%

Nota: Se puede observar que el uso de un 7.5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto redujo su resistencia a la compresión en un 2.14% en comparación con el valor promedio del concreto patrón, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 31

Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado



Nota. En la figura 31 el esfuerzo a compresión máximo es de 194.99 kg/cm² que representa un incremento del 4.21% y una mínima de 174.53 kg/cm² que representan una reducción del 6.73% con respecto al valor promedio del hormigón de referencia, la resistencia estimada a los 14 días es del 90% de f'c que equivale a 189 kg/cm².

Figura 32

Tipo de Falla de Testigo con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.

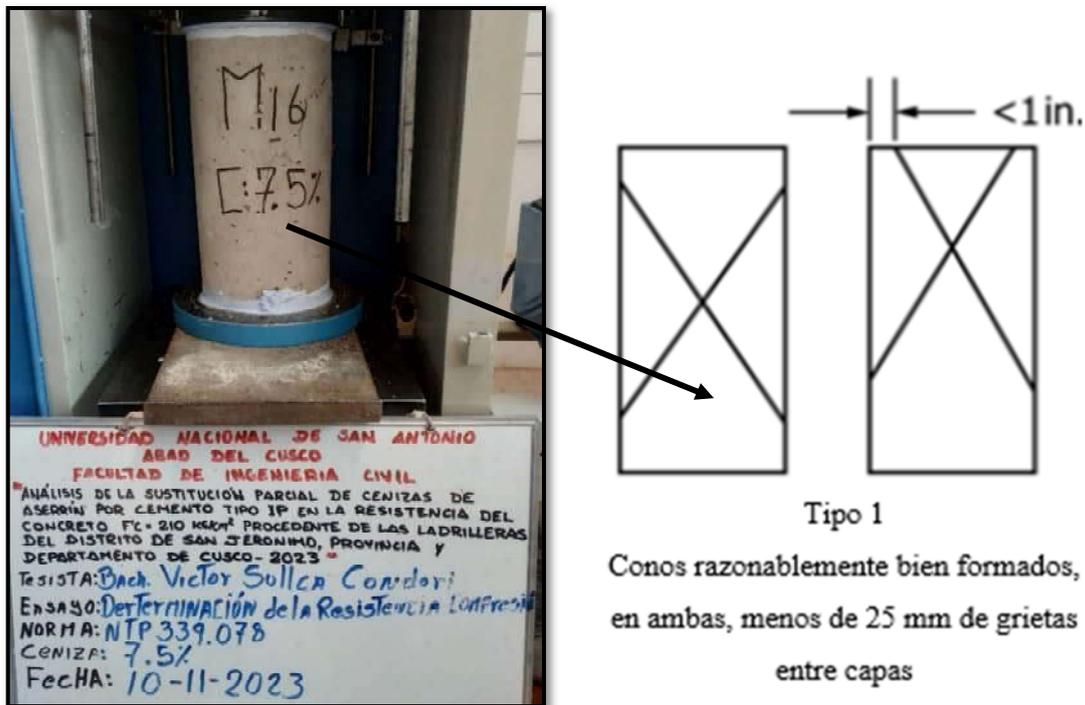


Tabla 47

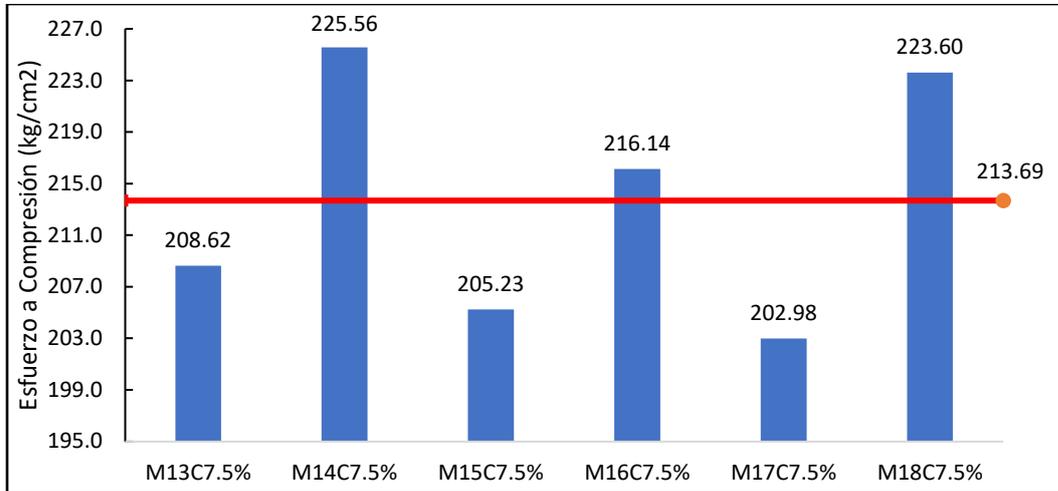
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M13C7.5%	15.1	30.1	12.899	2393.017	37360	208.62	-6.92%
M14C7.5%	15.3	30.2	13.201	2377.537	41470	225.56	0.63%
M15C7.5%	15.2	30.3	13.348	2427.709	37240	205.23	-8.44%
M16C7.5%	15.2	30.1	12.936	2368.408	39220	216.14	-3.57%
M17C7.5%	15	30.2	13.189	2471.341	35870	202.98	-9.44%
M18C7.5%	15.3	30.3	13.361	2398.411	41110	223.60	-0.24%
Promedio de f'c						213.69	-4.66%

Nota: Se puede observar que el uso de un 7.5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto redujo su resistencia a la compresión en un 2.14% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 33

Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 7.5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.

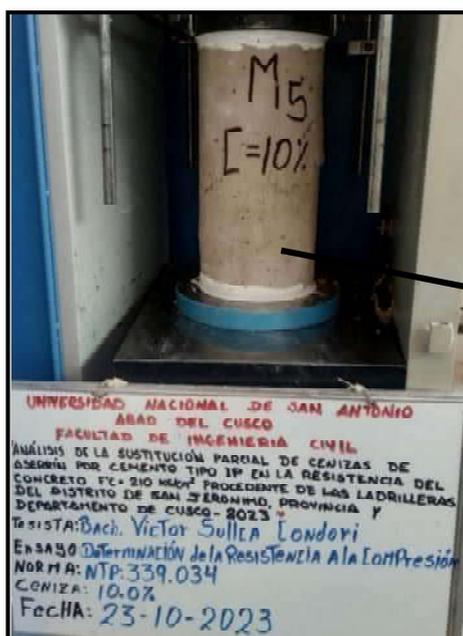


Nota. En la figura 33 el esfuerzo a compresión máximo es de 225.56 kg/cm² que representa un incremento del 0.63% y una mínima de 202.98 kg/cm² que representan una reducción del 9.44% con respecto al valor promedio del hormigón de referencia.

4.5.5. Resultados de ensayos de concreto con 10% de ceniza de aserrín

Figura 34

Tipo de Falla de Testigo con 10% de Ceniza de Aserrín a los Días de Curado.



Tipo 3

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados

Tabla 48

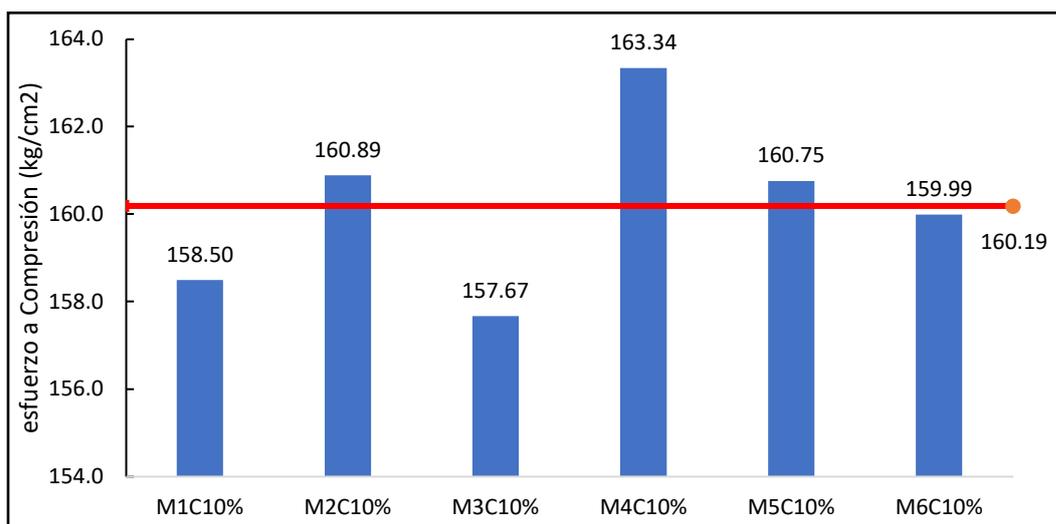
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 10% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M1C10%	15.3	30.1	12.821	2316.769	29140	158.50	-4.89%
M2C10%	15.3	30.1	12.737	2301.590	29580	160.89	-3.45%
M3C10%	15.2	30.2	13.056	2382.463	28610	157.67	-5.38%
M4C10%	15.3	30.2	13.238	2384.201	30030	163.34	-1.98%
M5C10%	15.2	30.1	12.896	2361.085	29170	160.75	-3.53%
M6C10%	15.1	30.2	12.996	2403.029	28650	159.99	-3.99%
Promedio de f'c						160.19	-3.87%

Nota: Se puede observar que el uso de un 10% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto redujo su resistencia a la compresión en un 3.87% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 35

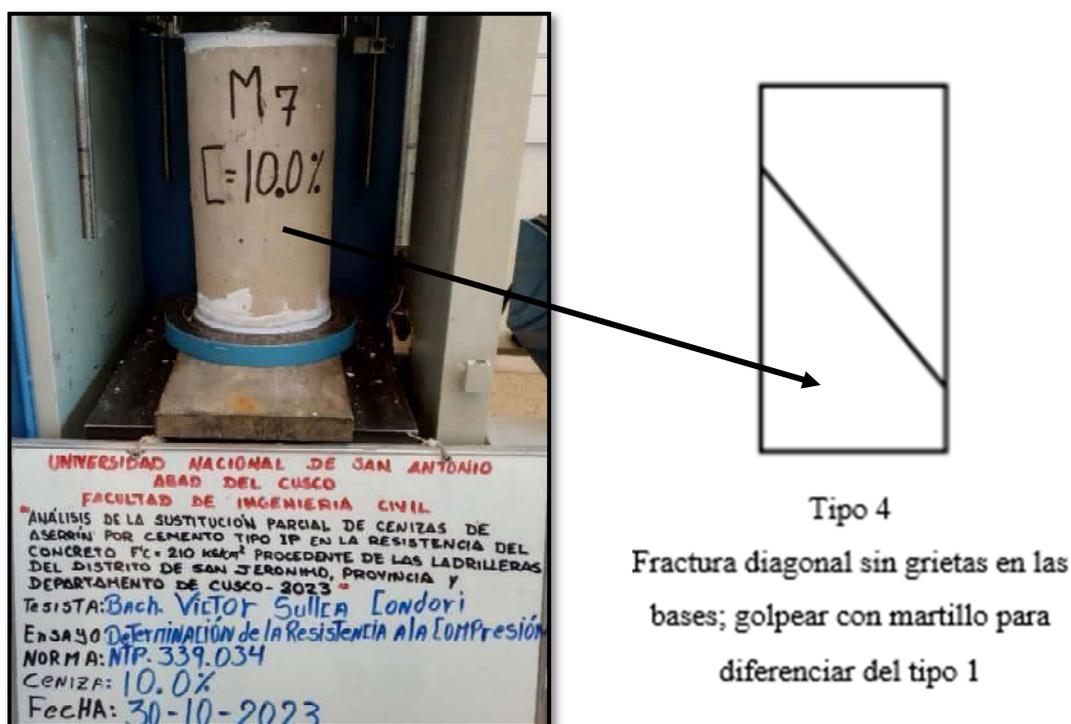
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 10% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado



Nota. En la figura 35 el esfuerzo a compresión máximo es de 163.34 kg/cm² que representa una reducción del 1.98% y una mínima de 157.67 kg/cm² que representan una reducción del 5.38% con respecto al valor promedio del hormigón de referencia, la resistencia estimada a los 7 días es del 65% de f'c que equivale 136.5 kg/cm².

Figura 36

Tipo de Falla de Testigo con 10% de Ceniza de Aserrín a los 14 Días de Curado.

**Tabla 49**

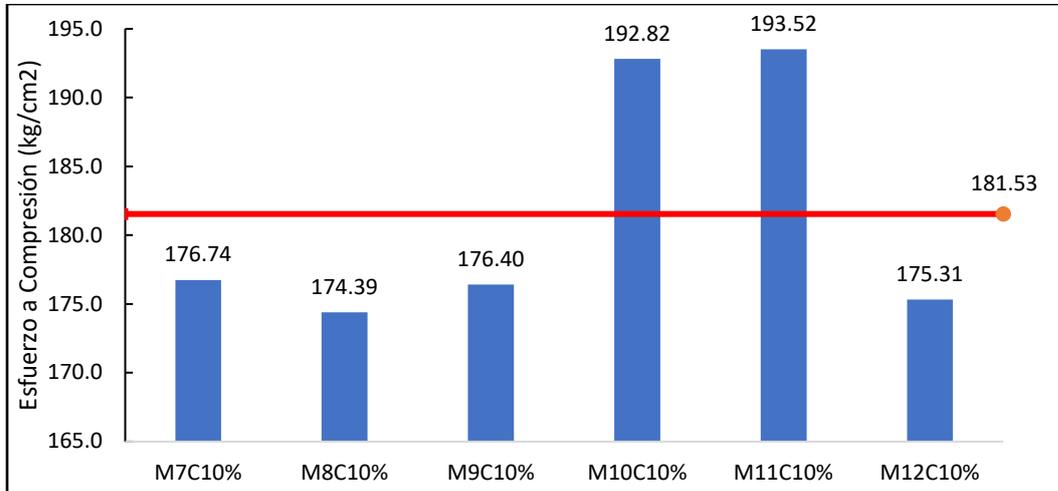
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 10% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M7C10%	15.1	30.1	12.863	2386.339	31650	176.74	-5.55%
M8C10%	15.1	30.2	12.928	2390.456	31230	174.39	-6.80%
M9C10%	15.1	30.3	13.365	2463.103	31590	176.40	-5.72%
M10C10%	15.3	30.1	12.987	2346.765	35450	192.82	3.05%
M11C10%	15.3	30.2	12.993	2340.075	35580	193.52	3.42%
M12C10%	15	30.2	12.899	2417.001	30980	175.31	-6.31%
Promedio de f'c						181.53	-2.98%

Nota: Se puede observar que el uso de un 10% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto redujo su resistencia a la compresión en un 2.98% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 37

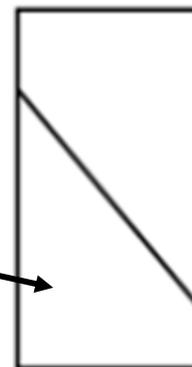
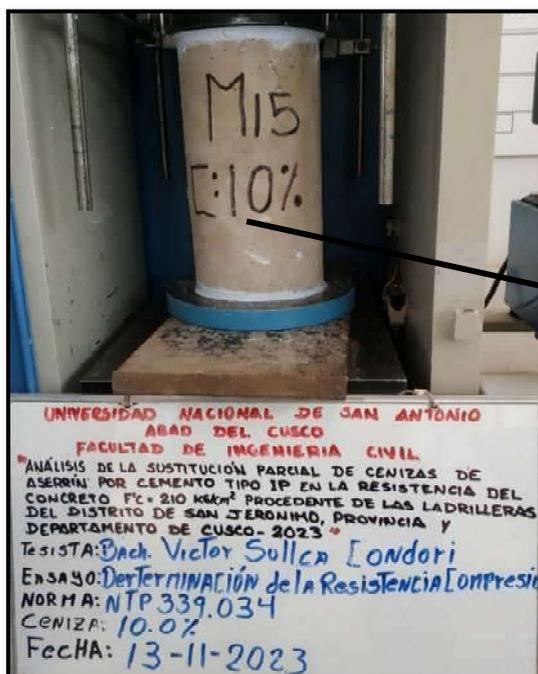
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 10% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado



Nota. En la figura 37 el esfuerzo a compresión máximo es de 193.52 kg/cm² que representa un aumento del 3.42% y una mínima de 174.39 kg/cm² que representan una reducción del 6.80% con respecto al valor promedio del hormigón de referencia, la resistencia estimada a los 14 días es del 90% de f'_c que equivale a 189 kg/cm².

Figura 38

Tipo de Falla de Testigo con 10% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.

**Tipo 4**

Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo 1

Tabla 50

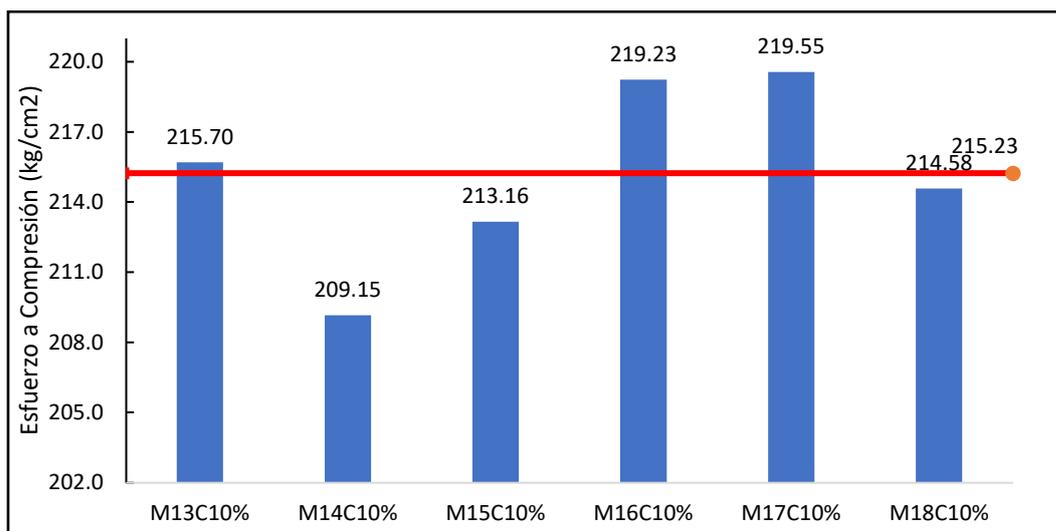
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 10% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M13C10%	15.2	30.3	12.912	2348.410	39140	215.70	-3.77%
M14C10%	15	30.2	12.985	2433.115	36960	209.15	-6.69%
M15C10%	15.3	30.3	13.223	2373.639	39190	213.16	-4.90%
M16C10%	15.1	30.1	12.769	2368.900	39260	219.23	-2.19%
M17C10%	15.2	30.1	12.857	2353.944	39840	219.55	-2.05%
M18C10%	15	30.1	12.984	2441.011	37920	214.58	-4.26%
Promedio de f'c						215.23	-3.98%

Nota: Se puede observar que el uso de un 10% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto redujo su esfuerzo a la compresión en un 3.98% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 39

Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 10% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.



Nota. En la figura 39 el esfuerzo a compresión máximo es de 219.55 kg/cm² que representa una reducción del 2.05% y una mínima de 209.15 kg/cm² que representan una reducción del 6.69% con respecto al valor promedio del hormigón de referencia.

4.5.6. Resultados de ensayos de concreto con 12.5% de ceniza de aserrín

Figura 40

Tipo de Falla de Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 7 Días de Curado.

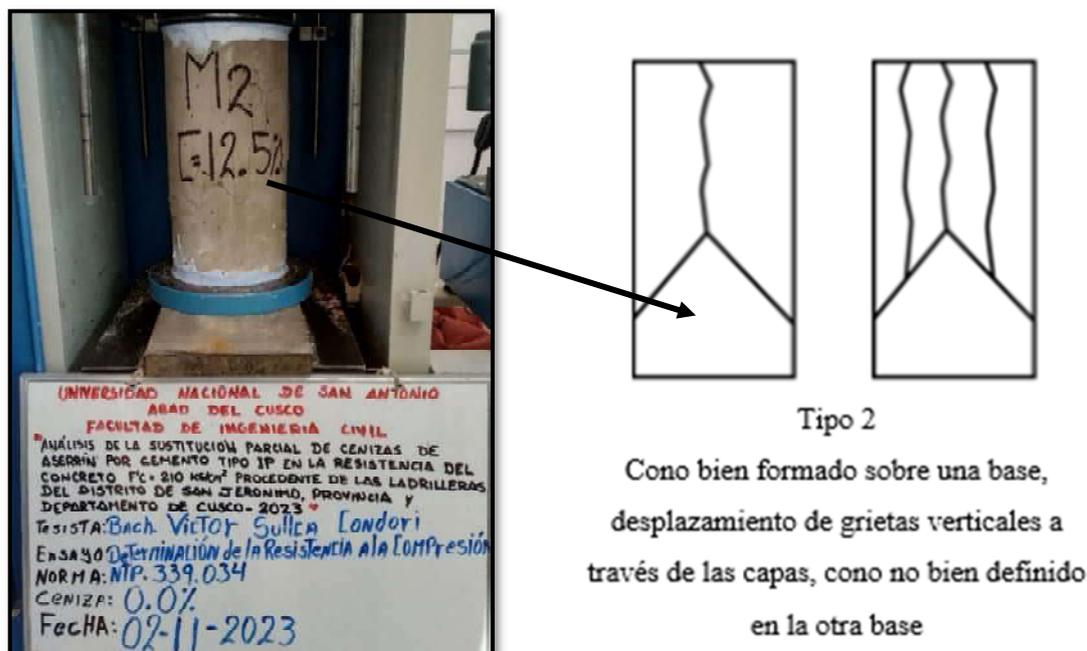


Tabla 51

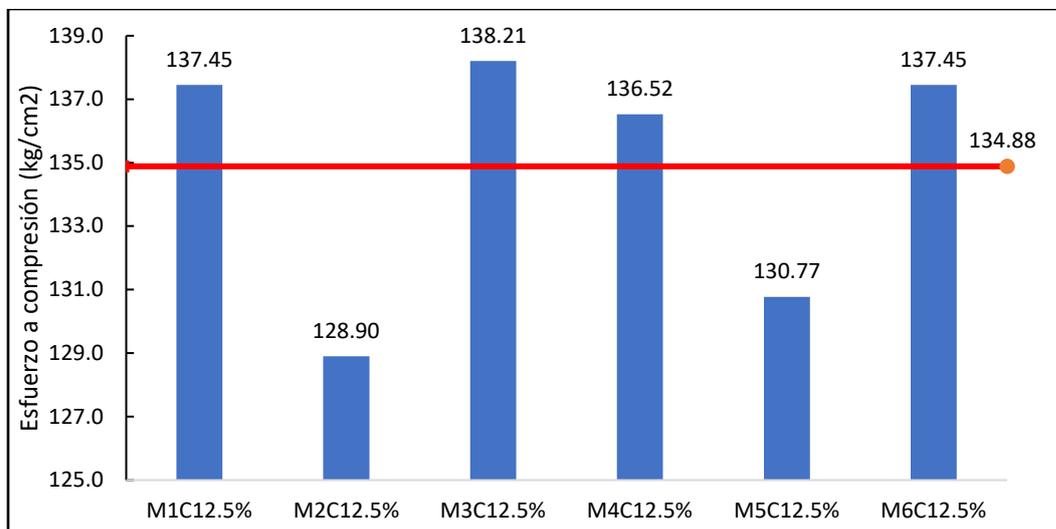
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto más 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m^3)	Carga (kg)	f_c (kg/cm^2)	Variación
M1C12.5%	15.3	30.1	12.885	2328.334	25270	137.45	-17.52%
M2C12.5%	15.2	30	12.972	2382.916	23390	128.90	-22.65%
M3C12.5%	15.3	30.1	13.356	2413.444	25410	138.21	-17.06%
M4C12.5%	15.3	30.2	13.192	2375.916	25100	136.52	-18.07%
M5C12.5%	15.2	30	12.836	2357.933	23730	130.77	-21.52%
M6C12.5%	15.3	30.1	12.962	2342.248	25270	137.45	-17.52%
Promedio de f_c						134.88	-19.06%

Nota: Se puede observar que el uso de un 12.5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto redujo notoriamente su esfuerzo a la compresión en un 19.06% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 41

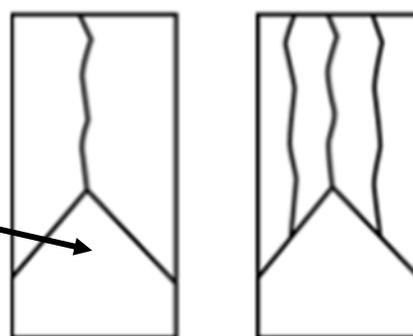
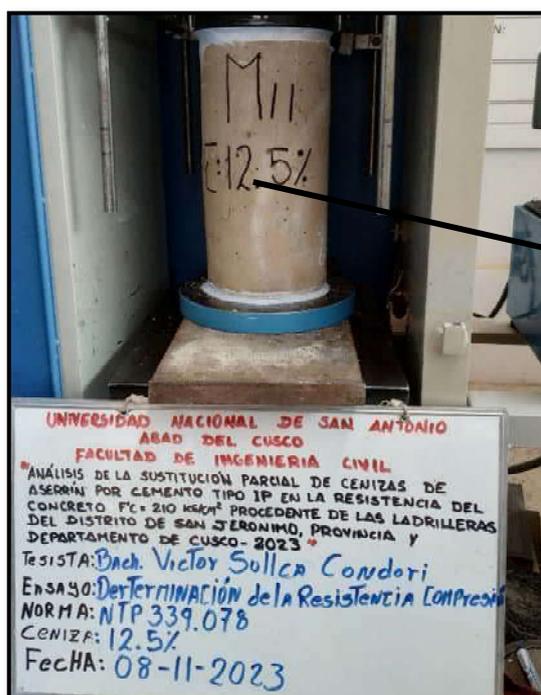
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.



Nota. En la figura 41 el esfuerzo a compresión máximo es de 138.21 kg/cm² que representa una reducción del 17.06% y una mínima de 128.90 kg/cm² que representan una reducción del 22.65% con respecto al valor promedio del hormigón de referencia, la resistencia estimada a los 7 días es del 65% de f'_c que equivale 136.5 kg/cm².

Figura 42

Tipo de Falla de Testigo con 12.5% de Ceniza de Aserrín a los 14 Días de Curado.

**Tipo 2**

Como bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, como no bien definido en la otra base

Tabla 52

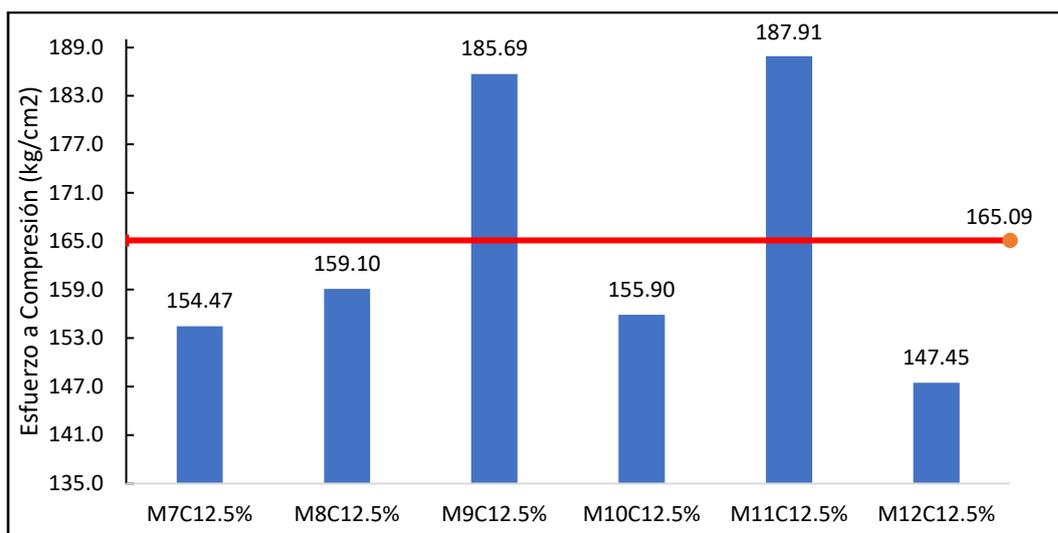
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M7C12.5%	15.2	30.2	12.946	2362.391	28030	154.47	-17.45%
M8C12.5%	15.2	30.1	12.999	2379.943	28870	159.10	-14.97%
M9C12.5%	15.3	30.1	13.323	2407.481	34140	185.69	-0.76%
M10C12.5%	15.2	30.3	13.226	2405.520	28290	155.90	-16.68%
M11C12.5%	15.1	30.1	12.945	2401.551	33650	187.91	0.42%
M12C12.5%	15.3	30.2	12.861	2316.302	27110	147.45	-21.20%
Promedio de f'c						165.09	-11.77%

Nota: Se puede observar que el uso de un 12.5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto redujo notoriamente su esfuerzo a la compresión en un 11.77% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 43

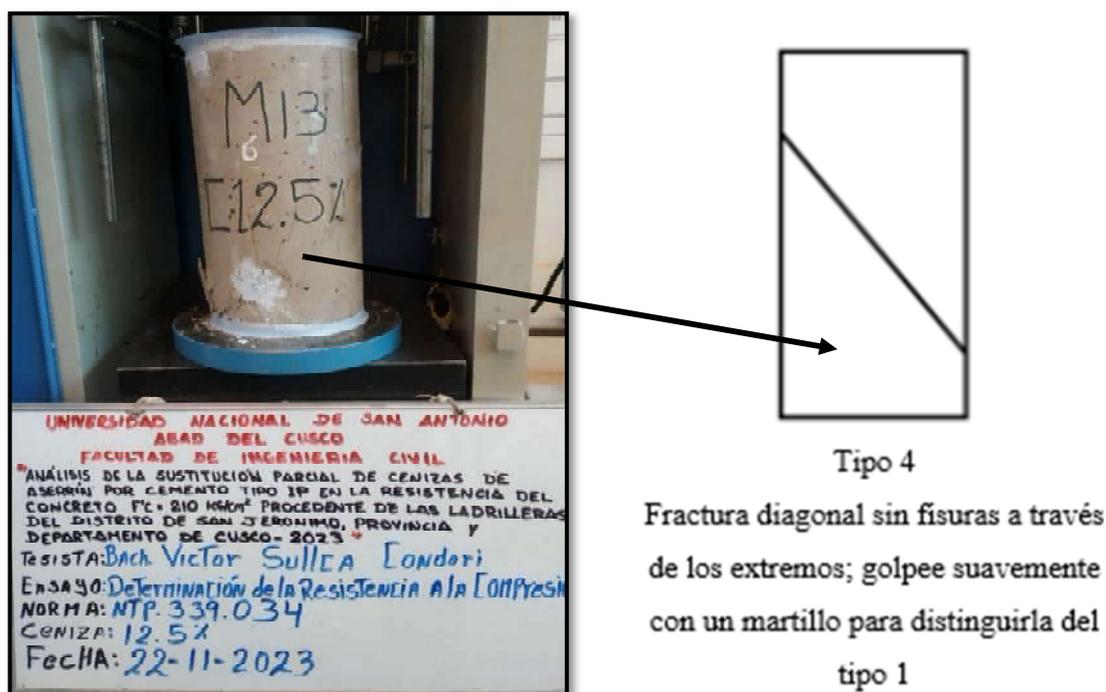
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.



Nota. En la figura 43 el esfuerzo a compresión máximo es de 187.91 kg/cm² que representa un incremento del 0.42% y una mínima de 147.45 kg/cm² que representan una reducción del 21.20% con respecto al valor promedio del hormigón de referencia, la resistencia estimada a los 14 días es del 90% de f'c que equivale a 189 kg/cm².

Figura 44

Tipo de Falla de Testigo con 12.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.

**Tabla 53**

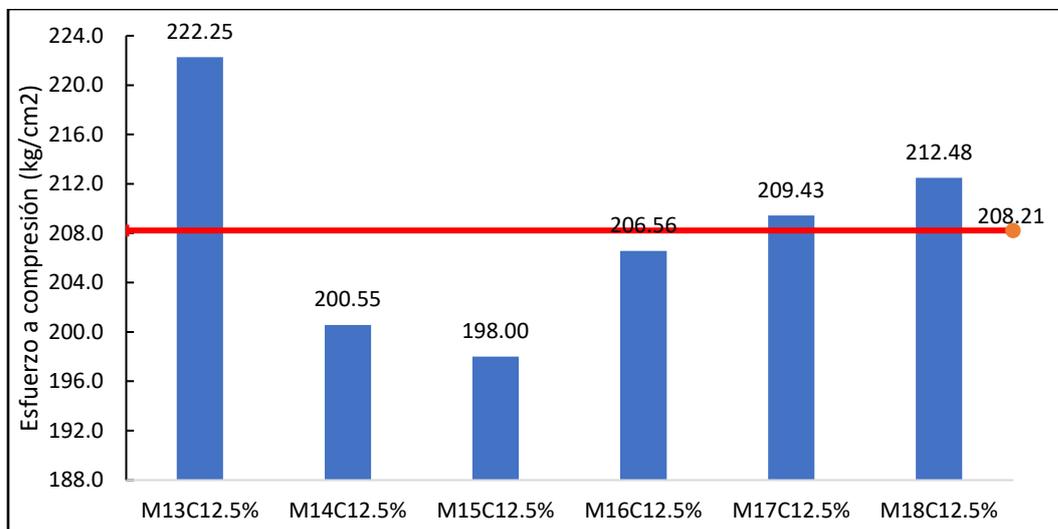
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M13C12.5%	15.2	30	12.899	2369.506	40330	222.25	-0.84%
M14C12.5%	15	30.2	13.171	2467.968	35440	200.55	-10.53%
M15C12.5%	15	30.3	13.347	2492.693	34990	198.00	-11.66%
M16C12.5%	15.1	30.2	12.931	2391.010	36990	206.56	-7.84%
M17C12.5%	15	30.2	13.189	2471.341	37010	209.43	-6.56%
M18C12.5%	15.1	30.3	13.367	2463.472	38050	212.48	-5.20%
Promedio de f'c						208.21	-7.11%

Nota: Se puede observar que el uso de un 12.5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto redujo considerablemente su esfuerzo a la compresión en un 7.11% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 45

Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 12.5% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.

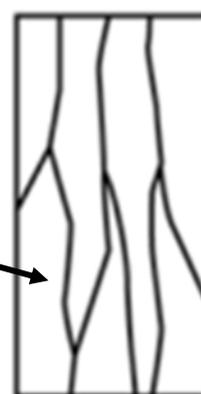
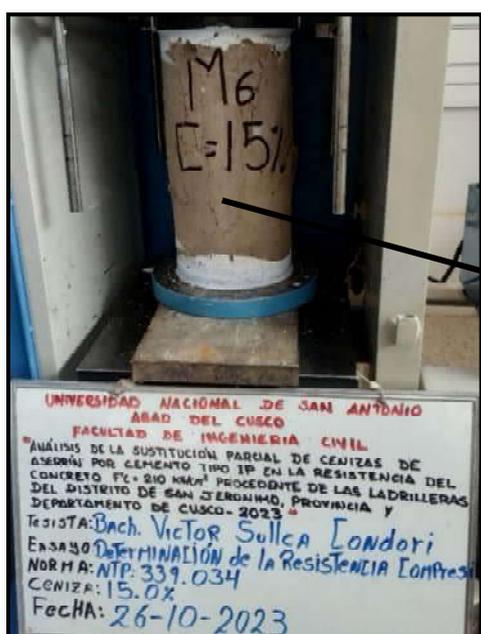


Nota. En la figura 45 el esfuerzo a compresión máximo es de 222.25 kg/cm² tuvo un descenso mínimo del 0.84% y una mínima de 198.0 kg/cm² que representan una reducción del 11.66% con respecto al valor promedio del hormigón de referencia.

4.5.7. Resultados de ensayos de concreto con 15% de ceniza de aserrín

Figura 46

Tipo de Falla de Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 7 Días de Curado.



Tipo 3

Fisuras verticales encolumnadas a traves de ambos extremos, conos no bien formados

Tabla 54

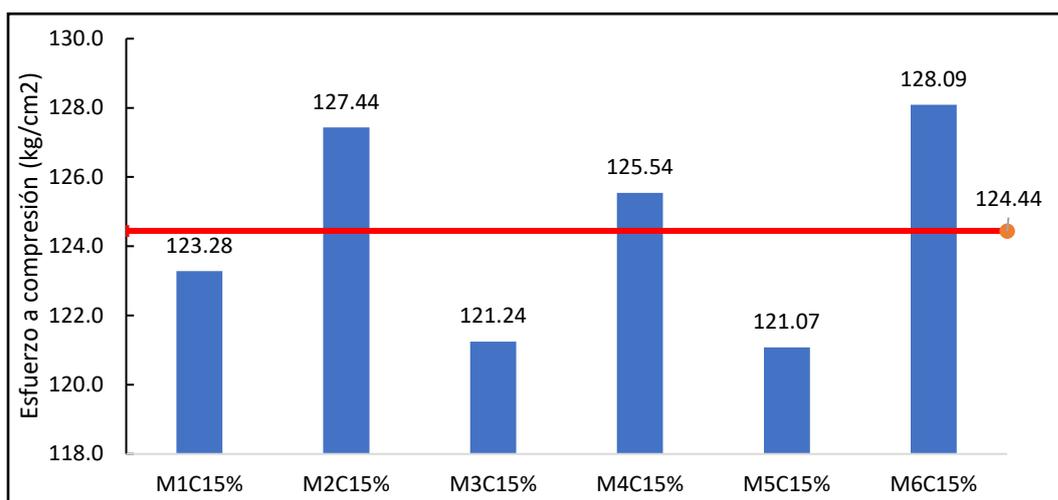
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 15% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M1C15%	15.2	30.1	12.799	2343.325	22370	123.28	-26.02%
M2C15%	15.3	30	12.876	2334.463	23430	127.44	-23.53%
M3C15%	15.2	30.3	12.991	2362.778	22000	121.24	-27.24%
M4C15%	15.2	30.2	12.823	2339.945	22780	125.54	-24.67%
M5C15%	15.2	30.1	13.009	2381.773	21970	121.07	-27.34%
M6C15%	15.3	30.2	12.941	2330.710	23550	128.09	-23.13%
Promedio de f'c						124.44	-25.32%

Nota: Se puede observar que el uso de un 15% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto redujo considerablemente su esfuerzo a la compresión en un 25.32% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 47

Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 15% de Cenizas de Aserrín a los 7 Días de Curado.



Nota. En la figura 47 el esfuerzo a compresión máximo es de 128.09 kg/cm² tuvo un descenso notable del 23.13% y una mínima de 121.07 kg/cm² que representan una reducción del 27.34% con respecto al valor promedio del hormigón de referencia, la resistencia estimada a los 7 días es del 65% de f'c que equivale 136.5 kg/cm².

Figura 48

Tipo de Falla de Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 14 Días de Curado.

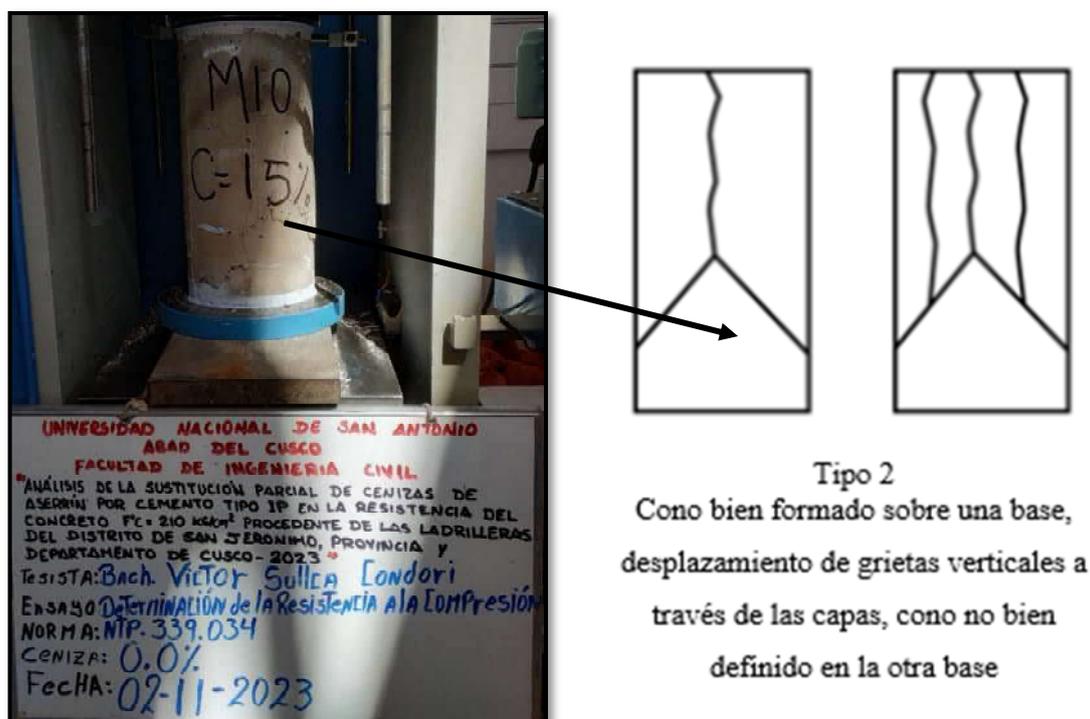


Tabla 55

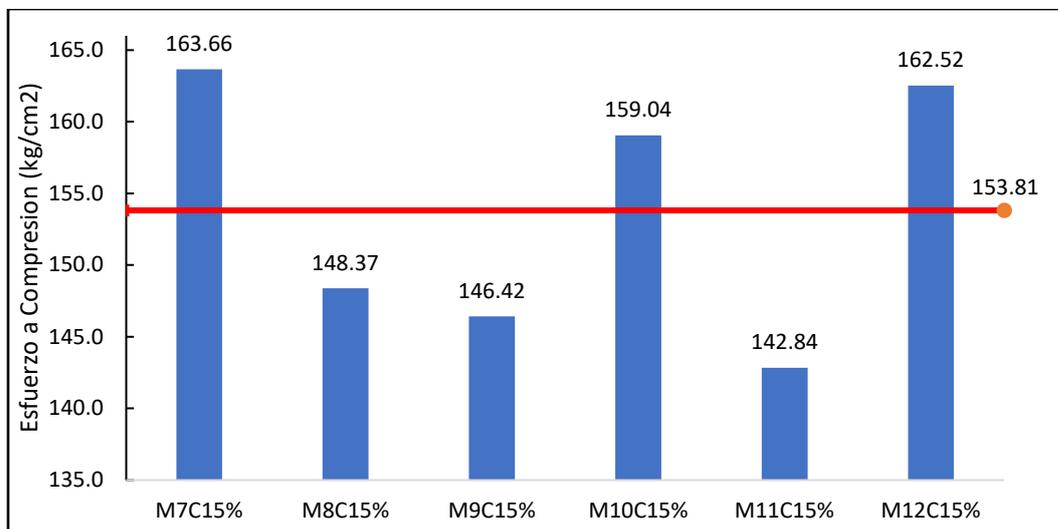
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 15% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M7C15%	15.3	30.1	12.882	2327.792	30090	163.66	-12.53%
M8C15%	15.1	30.2	12.983	2400.626	26570	148.37	-20.71%
M9C15%	15.1	30.2	13.129	2427.622	26220	146.42	-21.75%
M10C15%	15.3	30.3	12.932	2321.402	29240	159.04	-15.00%
M11C15%	15.1	30.1	12.945	2401.551	25580	142.84	-23.66%
M12C15%	15.3	30.2	12.869	2317.743	29880	162.52	-13.14%
Promedio de f'c						153.81	-17.80%

Nota: Se puede observar que el uso de un 15% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto se redujo notoriamente su esfuerzo a la compresión en un 17.80% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 49

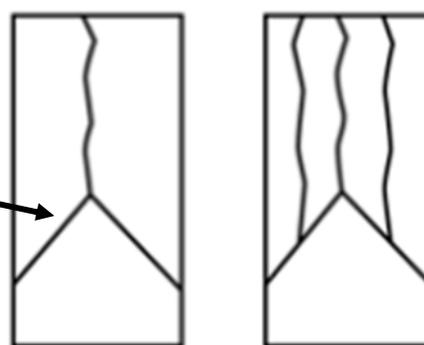
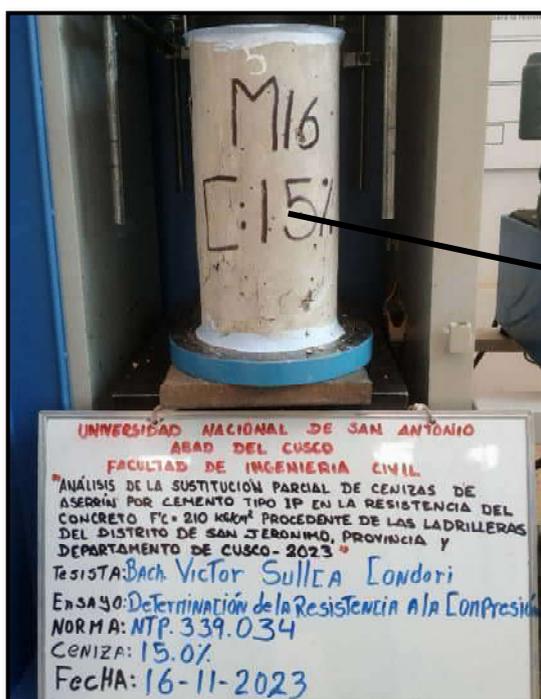
Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 15% de Cenizas de Aserrín a los 14 Días de Curado.



Nota. En la figura 49 el esfuerzo a compresión máximo es de 163.66 kg/cm² tuvo un descenso notable del 12.53% y una mínima de 142.84 kg/cm² que representan una reducción del 23.66% con respecto al valor promedio del hormigón de referencia, la resistencia estimada a los 14 días es del 90% de f'_c que equivale a 189 kg/cm².

Figura 50

Tipo de Falla de Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 28/ Días de Curado.



Tipo 2
Cono bien formado sobre una base,
desplazamiento de grietas verticales a
través de las capas, cono no bien
definido en la otra base

Tabla 56

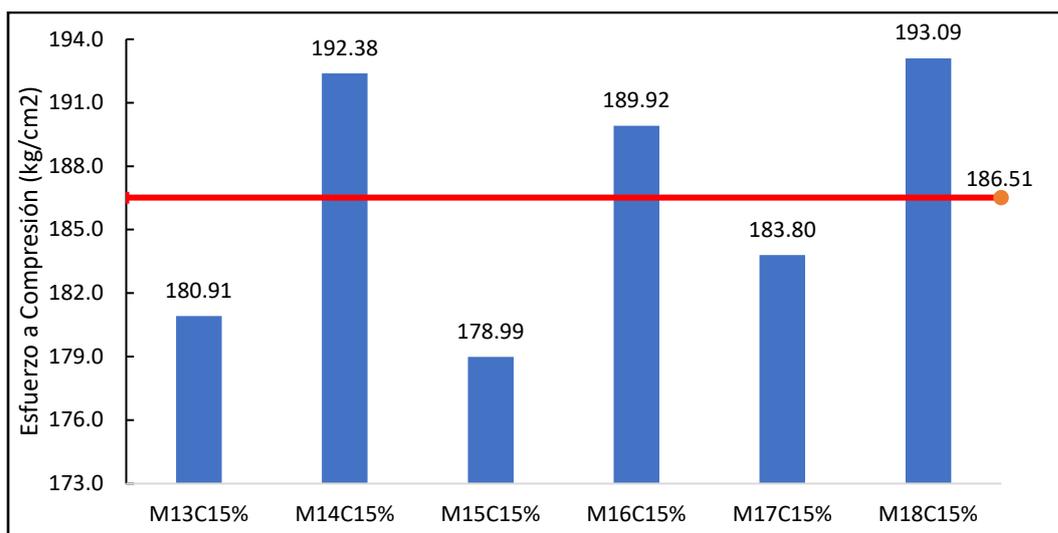
Resultados de la Resistencia a la Compresión de Testigos de Concreto con 15% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.

Descripción	Diámetro Promedio (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Variación
M13C15%	15	30.1	12.879	2421.271	31970	180.91	-19.29%
M14C15%	15.3	30	12.817	2323.766	35370	192.38	-14.17%
M15C15%	15	30.3	13.211	2467.293	31630	178.99	-20.14%
M16C15%	15.1	30.1	12.836	2381.330	34010	189.92	-15.27%
M17C15%	15	30.1	12.968	2438.003	32480	183.80	-18.00%
M18C15%	15.3	30.3	13.236	2375.973	35500	193.09	-13.85%
Promedio de f'c						186.51	-16.79%

Nota: Se puede observar que el uso de un 15% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto se redujo notoriamente su esfuerzo a la compresión en un 16.79% en comparación con el valor promedio del hormigón de referencia, con una velocidad de carga de 530 kg/s.

Figura 51

Variación de la Resistencia a la Compresión de Testigos con 15% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado.



Nota. En la figura 51 el esfuerzo a compresión máximo es de 193.09 kg/cm² tuvo un descenso notable del 13.85% y una mínima de 178.99 kg/cm² que representan una reducción del 20.14% con respecto al valor promedio de la concreta referencia.

4.5.8. Resultados de Ensayo de Resistencia a la Flexión de Vigas Simplemente Apoyadas con Carga a los Tercios del Tramo

La ceniza de aserrín se utiliza para sustituir parcialmente al cemento al producir vigas de hormigón con diferentes proporciones de cenizas de aserrín: 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15%. Se fabricaron 21 vigas de hormigón de 15x15x65 centímetros en diferentes proporciones de contenido de ceniza de aserrín, que fueron ensayados a resistencia a la flexión después de 28 días de curado siguiendo como guía la norma NTP 339.078 y ASTM C-78

Figura 52

Ensayo a Flexión de Testigo prismático con 0% de Cenizas de Aserrín a los 28 Días de Curado



Nota: cómo se puede observar en la imagen el daño está ubicado dentro del tercio central de la viga de concreto con 0% de contenido de cenizas de aserrín.

Tabla 57

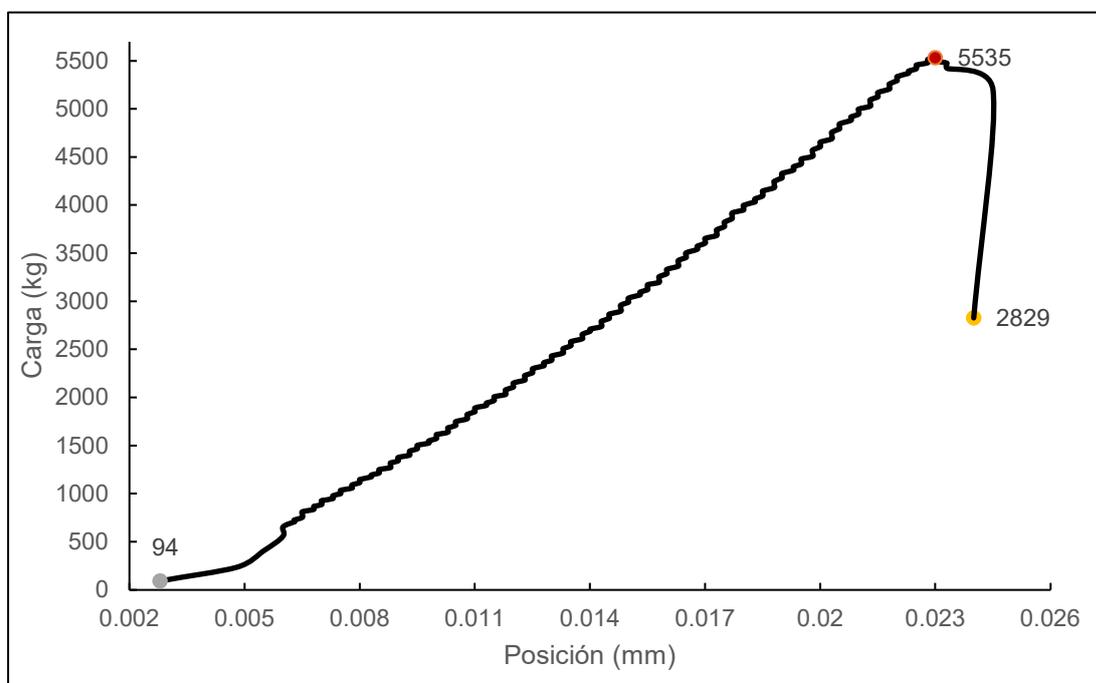
Módulo de Rotura de Concreto Patrón Después de 28 Días de Curado.

Muestra	Base Promedio (mm)	Altura Promedio (mm)	Longitud (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (N/mm ²)	Ubicación de Rotura
V1C0%	151.3	152.0	600.0	53122.35	9.118	Tercio Central
V2C0%	151.6	151.0	600.0	53092.93	9.216	Tercio Central
V3C0%	152.0	151.3	600.0	54279.53	9.360	Tercio Central
Promedio					9.231	

Nota: Como se puede observar para los testigos de referencia la resistencia a la flexión máxima obtenida es de 9.36 MPa, la resistencia a la flexión mínima de 9.12 MPa con un valor promedio de la resistencia a la flexión de 9.23 MPa.

Figura 53

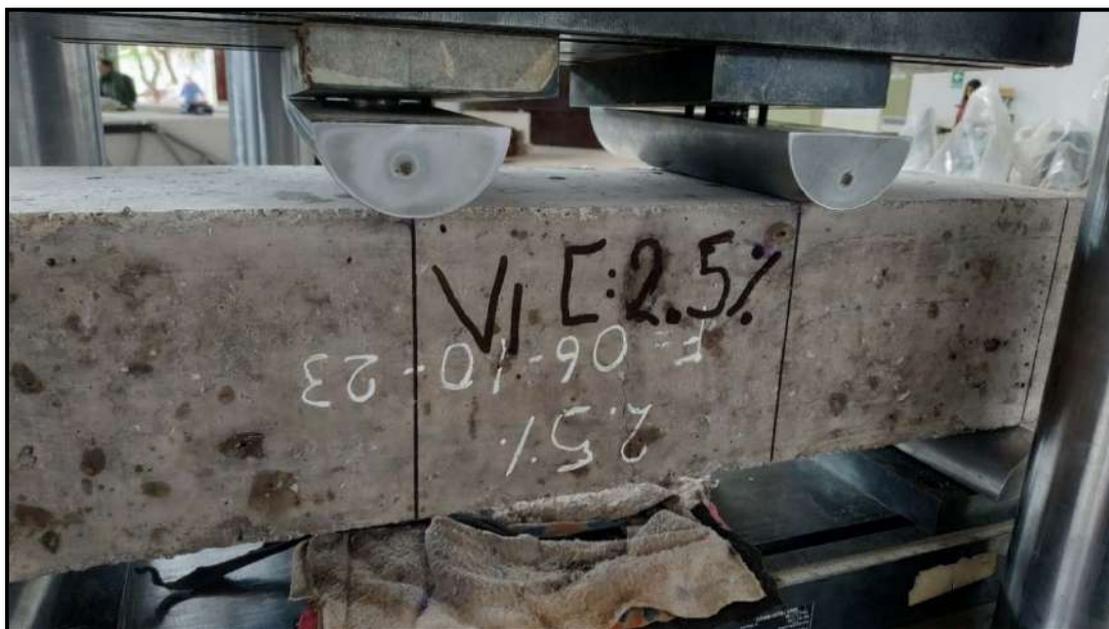
Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 0% de Ceniza de Aserrín (Patrón) a los 28 Días de Curado.



Nota: La figura 53 corresponde al testigo de control V3C0% que logró el mayor resultado del ensayo de resistencia a la flexión.

Figura 54

Ensayo a Flexión del Testigo con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado



Nota: cómo se puede observar en la imagen el daño está ubicado dentro del tercio central de la viga de concreto con 2.5% de contenido de cenizas de aserrín.

Tabla 58

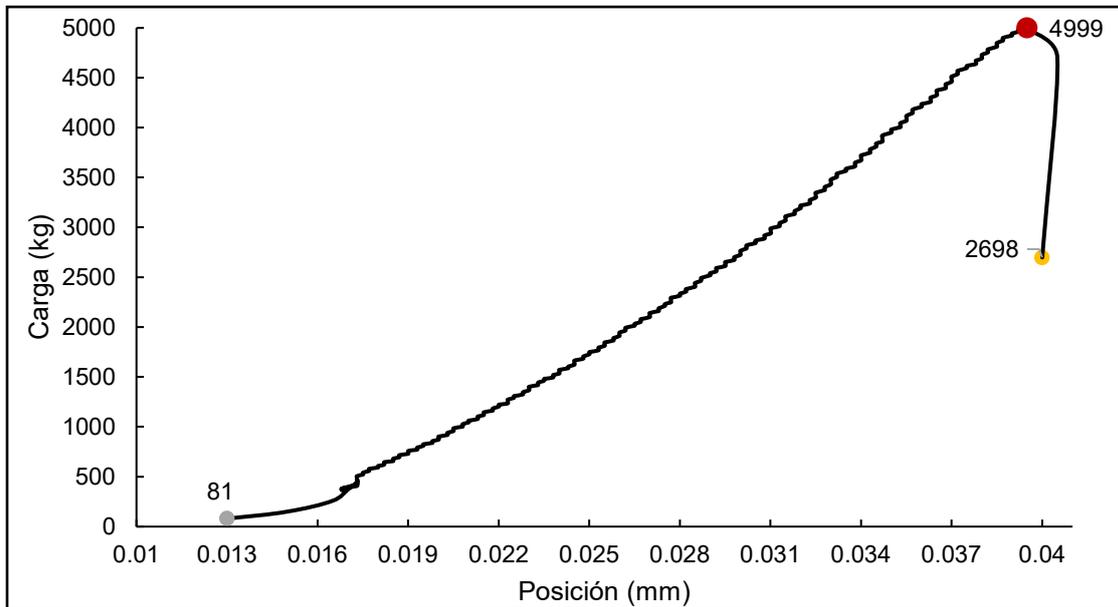
Modula de Rotura de Concreto con 2.5% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días

Muestra	Base Promedio (mm)	Altura Promedio (mm)	Longitud (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (N/mm ²)	(%)	Ubicación de Rotura
V1C2.5%	151.3	151.6	600.0	44002.21	7.593	-17.74%	Tercio Central
V2C2.5%	150.0	150.6	600.0	33832.77	5.967	-35.36%	Tercio Central
V32.50%	150.3	152.3	600.0	49023.19	8.437	-8.60%	Tercio Central
Promedio					7.332	-20.57%	

Nota: Como se puede observar con el uso de un 2.5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto se redujo notoriamente el valor promedio de la resistencia a la flexión en un 20.57% en comparación con el valor promedio del testigo de referencia.

Figura 55

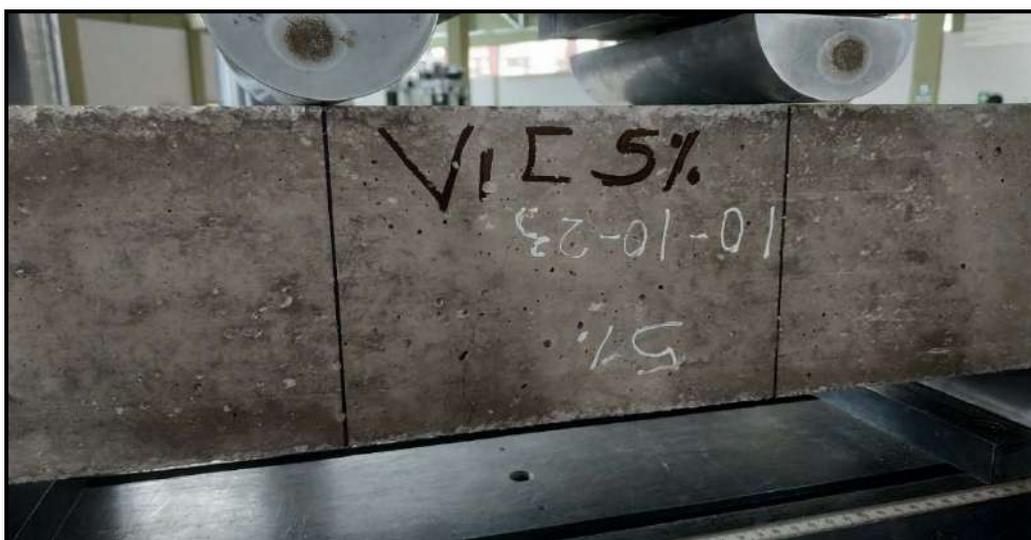
Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.



Nota: La figura 55 corresponde al testigo de control V3C2.5% que logró el mayor resultado del ensayo de resistencia a la flexión.

Figura 56

Ensayo a Flexión del Testigo con 5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado



Nota: cómo se puede apreciar en la figura el daño está ubicado dentro del tercio central de la viga de hormigón con un contenido del 5% de ceniza de aserrín

Tabla 59

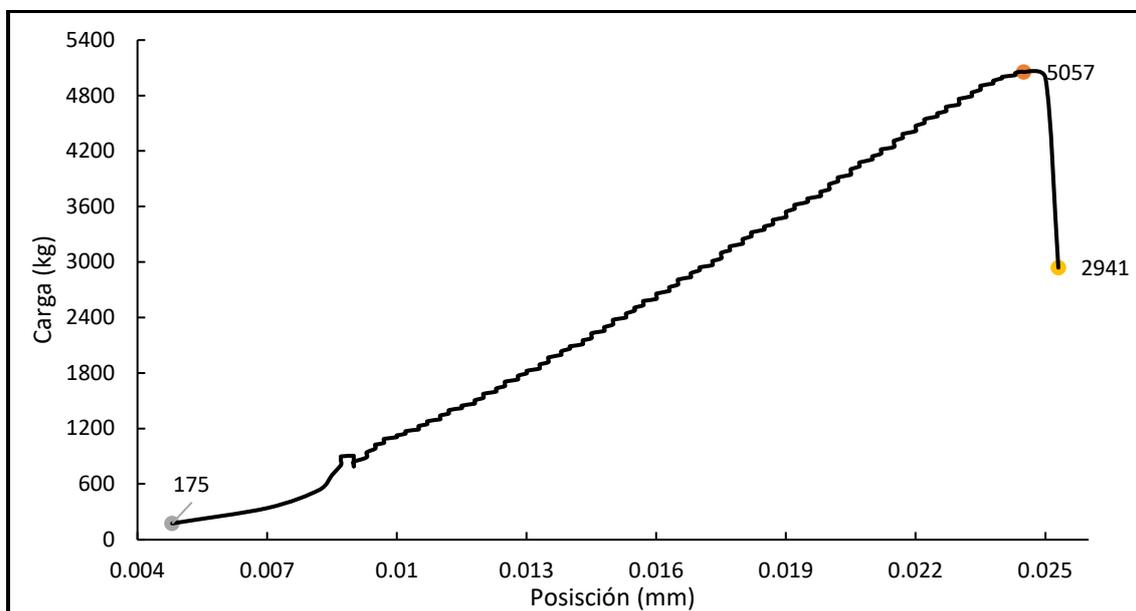
Modula de Rotura de Concreto con 5% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días

Muestra	Base Promedio (mm)	Altura Promedio (mm)	Longitud (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (N/mm ²)	%	Ubicación de Rotura
V1C5%	151.0	151.3	600.0	49542.94	8.600	-6.84%	Tercio Central
V2C5%	151.3	150.6	600.0	45179.01	7.899	-14.4%	Tercio Central
V3C5%	151.6	151.3	600.0	49591.98	8.574	-7.12%	Tercio Central
Promedio					8.358	-9.46%	

Nota: Como se puede observar con el uso de un 5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto se redujo ligeramente el valor promedio de la resistencia a la flexión en un 9.46% en comparación con el valor promedio del testigo de referencia.

Figura 57

Carga (kg) vs Posición (mm) del Testigo con 5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.



Nota: La figura 57 corresponde al testigo de control V3C5% que logró el mayor resultado del ensayo de resistencia a la flexión.

Figura 58

Ensayo a Flexión del Testigo con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado



Nota: cómo se puede apreciar en la figura el daño está ubicado dentro del tercio central de la viga de hormigón con un contenido del 7.5% de ceniza de aserrín.

Tabla 60

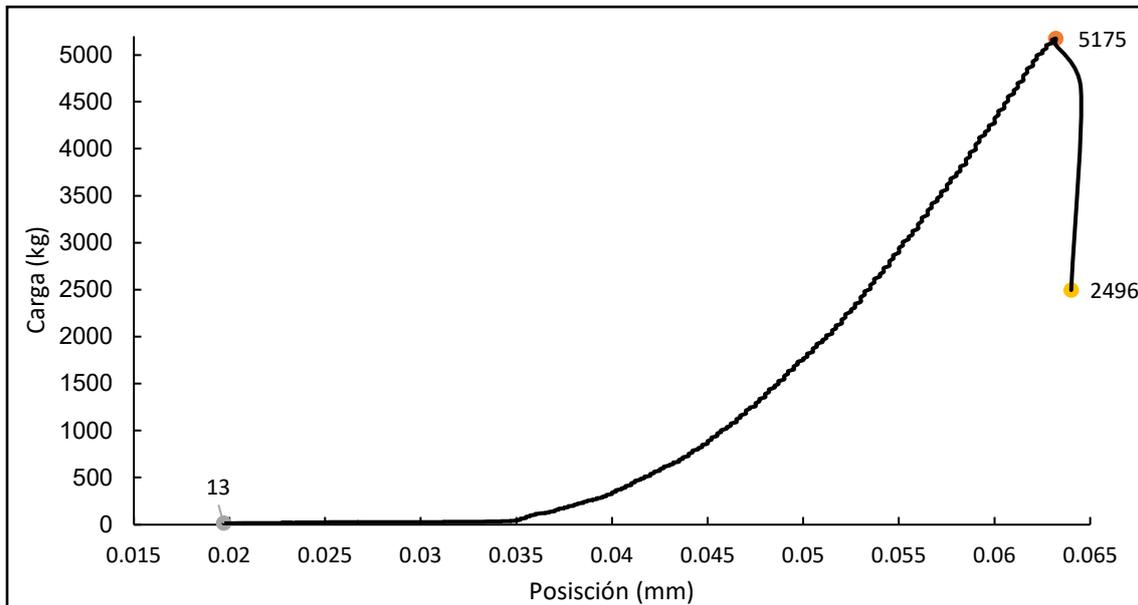
Modulo de Rotura de Concreto con 7.5% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días

Muestra	Base Promedio (mm)	Altura Promedio (mm)	Longitud (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (N/mm ²)	%	Ubicación de Rotura
V1C7.5%	151.3	152.0	600.0	48375.96	8.303	-10.1%	Tercio Central
V2C7.5%	151.6	151.3	600.0	43894.34	7.589	-17.8%	Tercio Central
V3C7.5%	152.0	151.3	600.0	50749.16	8.751	-5.19%	Tercio Central
Promedio					8.214	-11.02%	

Nota: Como se puede observar con el uso de un 7.5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto se redujo ligeramente el valor promedio de la resistencia a la flexión en un 11.02% en comparación con el valor promedio del testigo de referencia

Figura 59

Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.



Nota: La figura 59 corresponde al testigo de control V3C7.5% que logró el mayor resultado del ensayo de resistencia a la flexión.

Figura 60

Ensayo a Flexión del Testigo con 10% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado



Nota: cómo se puede apreciar en la figura el daño está ubicado en el tercio central de la viga de hormigón con un contenido del 10% de ceniza de aserrín

Tabla 61

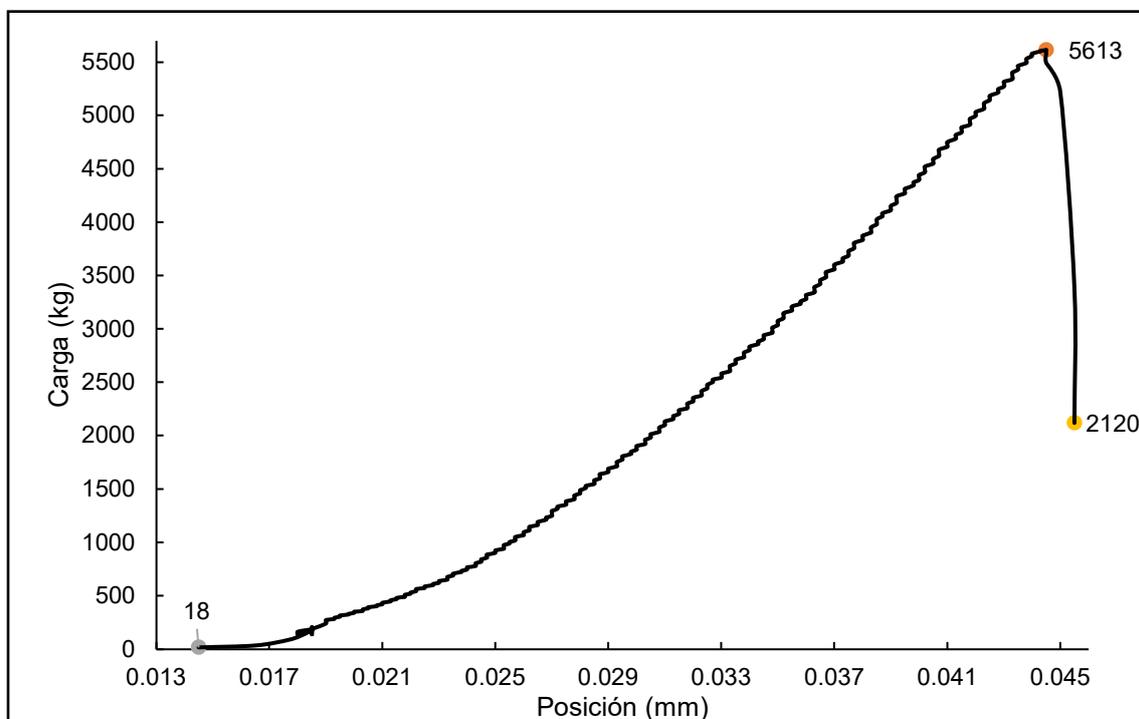
Modula de Rotura de Concreto con 10% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días

Muestra	Base Promedio (mm)	Altura Promedio (mm)	Longitud (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (N/mm ²)	%	Ubicación de Rotura
V1C10%	151.0	151.0	600.0	50043.079	8.721	-5.52%	Tercio Central
V2C10%	150.6	151.3	600.0	55044.445	9.580	3.78%	Tercio Central
V3C10%	151.6	150.3	600.0	52416.277	9.183	-0.52%	Tercio Central
Promedio					9.161	-0.76%	

Nota: Como se puede observar con el uso de un 10% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de hormigón tuvo una reducción mínima del valor promedio de la resistencia a la flexión en un 0.76% en comparación con el valor promedio del testigo de referencia.

Figura 61

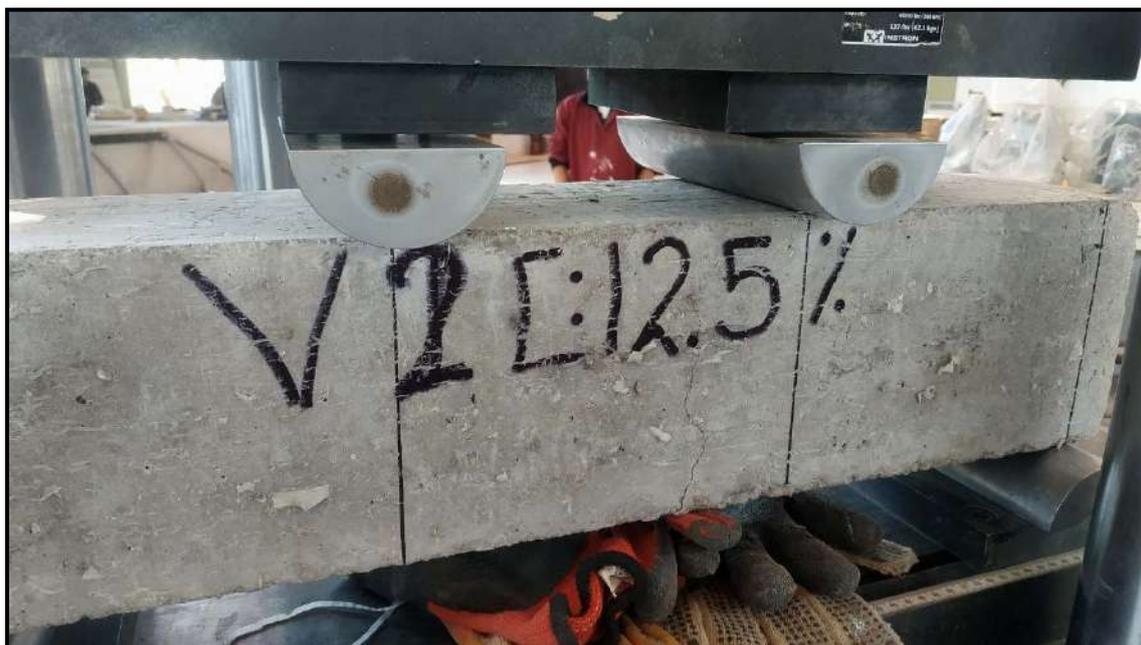
Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 10% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.



Nota: La figura 61 corresponde al testigo de control V2C10% que logró el mayor resultado del ensayo de resistencia a la flexión.

Figura 62

Ensayo a Flexión del Testigo con 12.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado



Nota: cómo se puede apreciar en la figura el daño está ubicado en el tercio central de la viga de hormigón con un contenido del 12.5% de ceniza de aserrín

Tabla 62

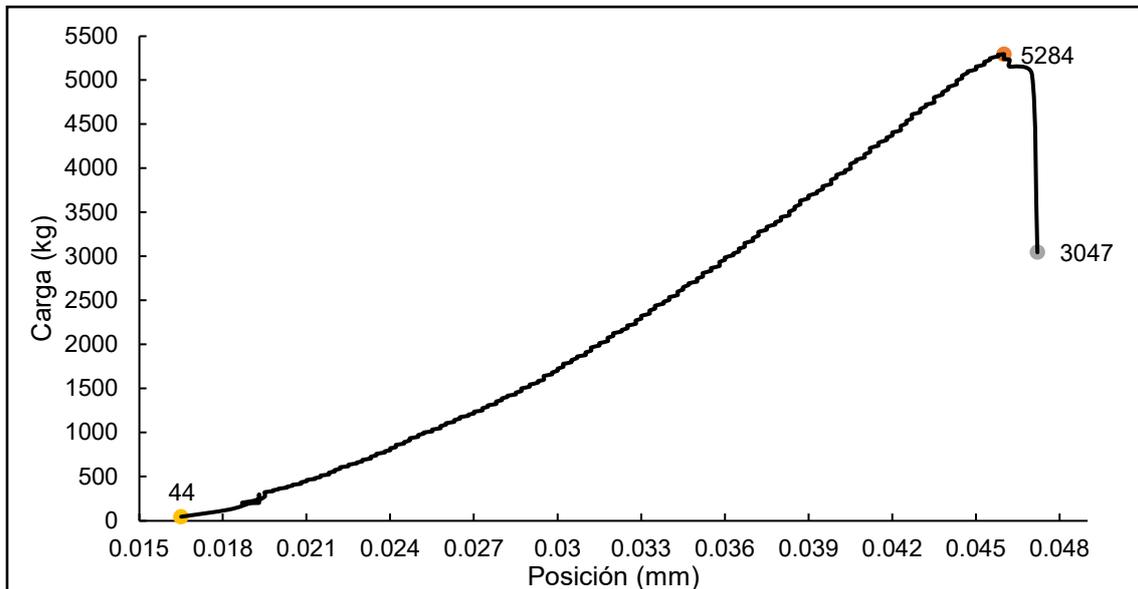
Modulo de Rotura de Concreto con 12.5% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días

Muestra	Base Promedio (mm)	Altura Promedio (mm)	Longitud (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (N/mm ²)	%	Ubicación de Rotura
V1C12.5%	151.3	151.0	600.0	51219.871	8.908	-3.49%	Tercio Central
V2C12.5%	150.3	151.3	600.0	51925.947	9.055	-1.91%	Tercio Central
V3C12.5%	151.0	150.6	600.0	51523.876	9.027	-2.21%	Tercio Central
Promedio					8.997	-2.53%	

Nota: Como se puede observar con el uso de un 12.5% de ceniza de aserrín para reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de concreto tuvo una reducción ligera del valor promedio de la resistencia a la flexión en un 2.53% en comparación con el valor promedio del testigo de referencia.

Figura 63

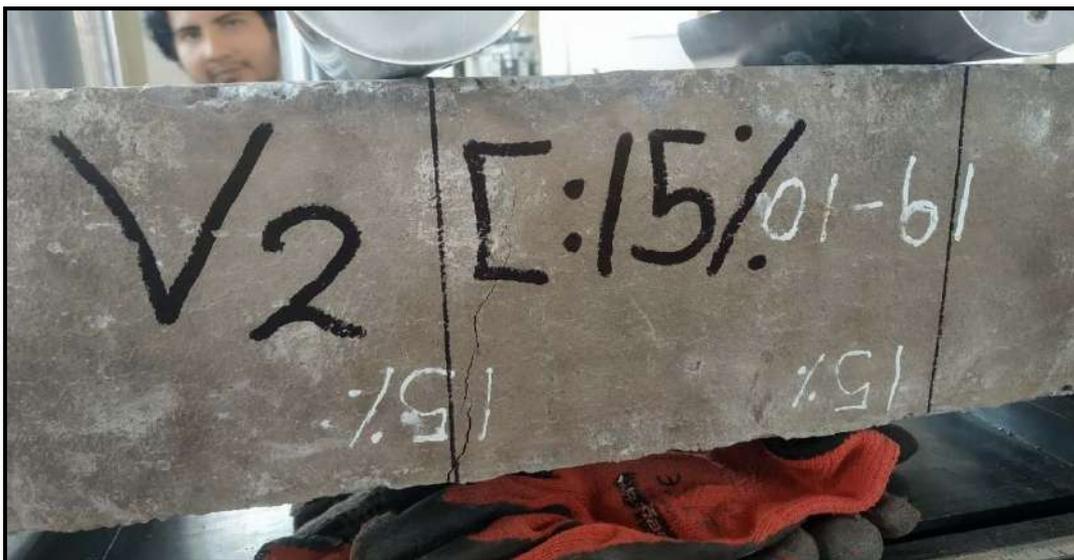
Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 12.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.



Nota: La figura 63 corresponde al testigo de control V2C12.5% que logró el mayor resultado del ensayo de resistencia a la flexión.

Figura 64

Ensayo a Flexión del Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado



Nota: cómo se puede observar en la figura el daño está ubicado dentro del tercio central de la viga de concreto con un contenido del 15% de ceniza de aserrín.

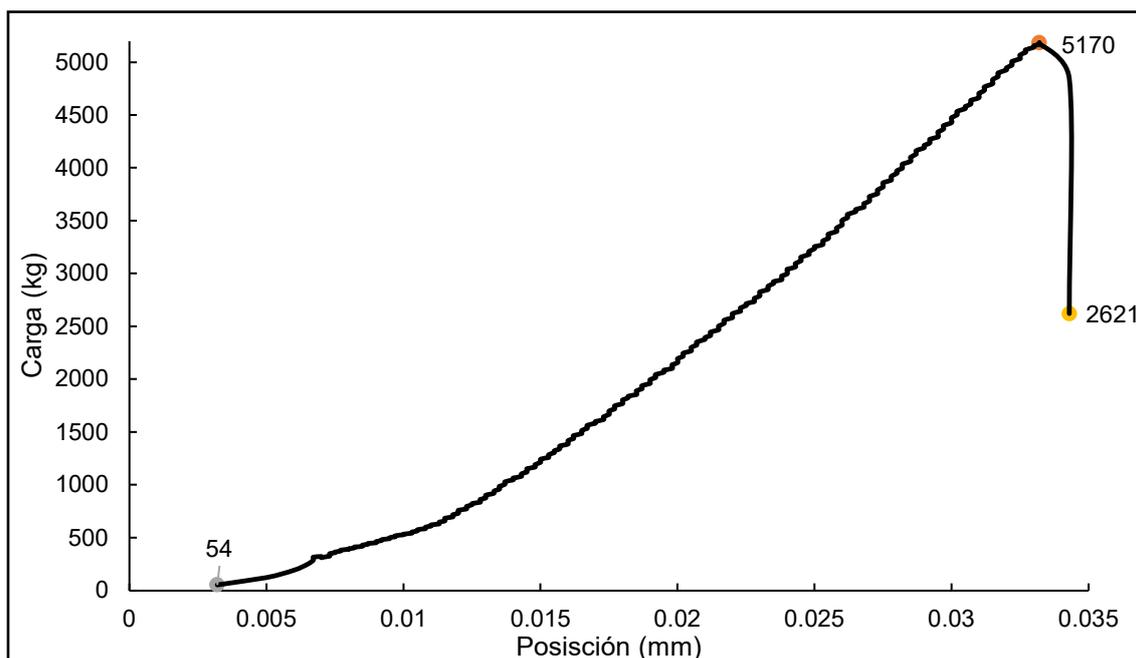
Tabla 63

Modula de Rotura de Concreto con 15% de Ceniza de Aserrín a la Edad de 28 Días

Muestra	Base Promedio (mm)	Altura Promedio (mm)	Longitud (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de Rotura (N/mm ²)	%	Ubicación de Rotura
V1C15%	150.0	151.3	600.0	42943.101	7.504	-18.7%	Tercio Central
V2C15%	150.6	151.0	600.0	50857.027	8.886	-3.74%	Tercio Central
V3C15%	150.3	151.6	600.0	47875.821	8.316	-9.91%	Tercio Central
Promedio					8.235	-10.79%	

Figura 65

Carga (kg) vs Posición(mm) del Testigo con 15% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días de Curado.



Nota: La figura 65 corresponde al testigo de control V2C15% que logró el mayor resultado del ensayo de resistencia a la flexión.

CAPITULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Análisis de Resultados

5.1.1. Testigos de Referencia

Se realizaron seis pruebas de esfuerzos a compresión de miembros de hormigón con 0% de cenizas de aserrín (testigos de referencia) a los 28 días de curado y todas cumplieron con la primera y segunda condiciones establecidas por el ACI 318-19 para que el esfuerzo a la compresión sea considerado como satisfactorio.

Tabla 64

Resistencia a la Compresión con 0% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días

Muestra	f'c (28 días)	Promedio 3 pruebas	Condición (1) f'c \geq 210kg/cm ²	Condición (2) f'c \geq 175kg/cm ²
M13C0%	224.58			Cumple
M14C0%	223.98	225.05	Cumple	Cumple
M15C0%	226.59			Cumple
M16C0%	232.80			Cumple
M17C0%	220.22	223.23	Cumple	Cumple
M18C0%	216.68			Cumple

Nota. Como se puede observar el esfuerzo a la compresión es satisfactorio ya que cumple con las dos condiciones del ACI 318-19

5.1.2. Testigos con 2.5% de Contenido de Ceniza de Aserrín

Se realizaron seis pruebas de esfuerzo a la compresión sobre testigos de hormigón con 2.5% de remplazo parcial del cemento con cenizas de aserrín a los 28 días de curado para analizar si cumplían con las condiciones especificadas por el ACI 318-19 para determinar si su esfuerzo a la compresión es considerado como satisfactorio. Ver la tabla 65.

Tabla 65

Resistencia a la Compresión con 2.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días

Muestra	f'c (28 días)	Promedio	Condición (1) f'c \geq 210kg/cm ²	Condición (2) f'c \geq 175kg/cm ²
M13C2.5%	175.25			Cumple
M14C2.5%	176.01	177.46	No Cumple	Cumple
M15C2.5%	181.12			Cumple
M16C2.5%	185.34			Cumple
M17C2.5%	184.39	185.07	No Cumple	Cumple
M18C2.5%	185.47			Cumple

Nota. Como se puede observar las muestras no cumplen con la primera condición del ACI 318-19, pero si cumplen con la segunda condición del ACI 318-19 por lo cual no es satisfactorio la resistencia a la compresión.

5.1.3. Testigos con 5% de Contenido de Ceniza de Aserrín

Se realizaron seis pruebas de esfuerzos a la compresión sobre testigos de hormigón con 5% de remplazo parcial del cemento con cenizas de aserrín a los 28 días de curado para analizar si cumplían con las condiciones especificadas por el ACI 318-19 para determinar si su esfuerzo a la compresión es considerado como satisfactorio. Ver la tabla 66.

Tabla 66

Resistencia a la Compresión con 5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días

Muestra	f'c (28 días)	Promedio	Condición (1) f'c \geq 210kg/cm ²	Condición (2) f'c \geq 175kg/cm ²
M13C5%	203.94			Cumple
M14C5%	209.80	210.57	Cumple	Cumple
M15C5%	217.96			Cumple
M16C5%	194.83			Cumple
M17C5%	205.82	202.23	No Cumple	Cumple
M18C5%	206.05			Cumple

Nota. Como se puede observar el promedio aritmético de los tres primeros ensayos cumple con la primera condición del ACI 318-19 mientras que el segundo promedio aritmético no cumple con la primera condición del ACI 318-19, pero si cumplen con la segunda condición del ACI 318-19 por lo cual no es satisfactorio el esfuerzo a compresión de los testigos con 5% de ceniza de aserrín.

5.1.4. Testigos con 7.5% de Contenido de Cenizas de Aserrín.

Se realizaron seis pruebas de esfuerzos a la compresión sobre testigos de hormigón con 7.5% de remplazo parcial del cemento con cenizas de aserrín a los 28 días de curado para analizar si cumplían con las condiciones especificadas por el ACI 318-19 para determinar si su esfuerzo a la compresión es considerado como satisfactorio. Ver la tabla 67.

Tabla 67

Resistencia a la Compresión con 7.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días

Muestra	f'c (28 días)	Promedio	Condición (1) f'c \geq 210kg/cm ²	Condición (2) f'c \geq 175kg/cm ²
M13C7.5%	208.62			Cumple
M14C7.5%	225.56	213.14	Cumple	Cumple
M15C7.5%	205.23			Cumple
M16C7.5%	216.14			Cumple
M17C07.5%	202.98	214.24	Cumple	Cumple
M18C7.5%	223.60			Cumple

Nota. Como se puede observar el esfuerzo a la compresión es satisfactorio ya que cumple con las dos condiciones del ACI 318-19

5.1.5. Testigos con 10% de Contenido de Cenizas de Aserrín

Se realizaron seis pruebas de esfuerzos a la compresión sobre testigos de hormigón con 10% de remplazo parcial del cemento con cenizas de aserrín a los 28 días de curado para analizar si cumplían con las condiciones especificadas por el ACI 318-19 para determinar si su esfuerzo a la compresión es considerado como satisfactorio.

Tabla 68*Resistencia a la Compresión con 10% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días*

Muestra	f'c (28 días)	Promedio	Condición (1) f'c \geq 210kg/cm ²	Condición (2) f'c \geq 175kg/cm ²
M13C10%	215.70			Cumple
M14C10%	209.15	212.67	Cumple	Cumple
M15C10%	213.16			Cumple
M16C10%	219.23			Cumple
M17C10%	219.55	217.79	Cumple	Cumple
M18C10%	214.58			Cumple

Nota. Como se puede observar el esfuerzo a la compresión es satisfactorio ya que cumple con las dos condiciones del ACI 318-19

5.1.6. Testigos con 12.5% de Contenido de Ceniza de Aserrín

Se realizaron seis pruebas de esfuerzos a la compresión sobre testigos de hormigón con 12.5% de remplazo parcial del cemento con cenizas de aserrín a los 28 días de curado para analizar si cumplían con las condiciones especificadas por el ACI 318-19 para determinar si su esfuerzo a la compresión es considerado como satisfactorio.

Tabla 69*Resistencia a la Compresión con 12.5% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días*

Muestra	f'c (28 días)	Promedio	Condición (1) f'c \geq 210kg/cm ²	Condición (2) f'c \geq 175kg/cm ²
M13C12.5%	222.25			Cumple
M14C12.5%	200.55	206.94	No Cumple	Cumple
M15C12.5%	198.00			Cumple
M16C12.5%	206.56			Cumple
M17C12.5%	209.43	209.49	No Cumple	Cumple
M18C12.5%	212.48			Cumple

Nota. Como se puede observar las muestras no cumplen con la primera condición del ACI 318-19, pero si cumplen con la segunda condición del ACI 318-19 por lo cual no es satisfactorio la resistencia a la compresión.

5.1.7. Testigos con 15% de Contenido de Cenizas de Aserrín

Se realizaron seis pruebas de esfuerzos a la compresión sobre testigos de hormigón con 15% de remplazo parcial del cemento con cenizas de aserrín a los 28 días de curado para analizar si cumplían con las condiciones especificadas por el ACI 318-19 para determinar si su esfuerzo a la compresión es considerado como satisfactorio. Ver la tabla 70.

Tabla 70

Resistencia a la Compresión con 15% de Ceniza de Aserrín a los 28 Días

Muestra	$f'c$ (28 días)	Promedio	Condición (1) $f'c \geq 210\text{kg/cm}^2$	Condición (2) $f'c \geq 175\text{kg/cm}^2$
M13C15%	175.25			Cumple
M14C15%	197.82	182.13	No Cumple	Cumple
M15C15%	173.33			No cumple
M16C15%	192.15			Cumple
M17C15%	172.48	185.91	No Cumple	No cumple
M18C15%	193.09			Cumple

Nota. Como se puede evidenciar las muestras no cumplen con la primera condición del ACI 318-19, pero si cumplen con la segunda condición del ACI 318-19 por lo cual no es satisfactorio la resistencia a la compresión.

5.2 Discusión de Resultados

5.2.1. Discusión del Objetivo General de la Investigación

Considerando los resultados a los 28 días de curado de los ensayos de esfuerzos a compresión de la tabla 50 y la tabla 68 podemos afirmar que el porcentaje óptimo se de

sustitución para obtener una resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ es del 10%.

También cabe señalar que de acuerdo con la tabla 61 del resultado del ensayo de la resistencia a la flexión a los 28 días de curado lo obtuvo con el remplazo parcial del 10% de ceniza de aserrín

5.2.2. Discusión de los Objetivos Específicos

OE₁: Los resultados de la tabla 33 nos muestra que cuando se remplace parcialmente el cemento tipo IP por cenizas de aserrín el revenimiento del hormigón se incrementa ligeramente en un 15.38%, 11.5% y 7.63% para una sustitución del 2.5%, 7.5% y 10% respectivamente, una reducción del Slump de 5.81% y 3.87% para una sustitución parcial de 12.5% y 15% respectivamente y manteniendo su consistencia igual al concreto patrón con una sustitución parcial del 5%.

OE₂: Sabemos que la relación agua – cemento es la relación entre el contenido de agua efectiva y el contenido del cemento, la prueba de consistencia normal (tabla 35) muestra que al mezclar un volumen de agua de 210 ml con 650 gr de cemento para obtener un descenso de la sonda de 9.5 mm lo que indica que la mezcla tiene una fluidez adecuada como indica la norma peruana, en la tabla 36, se muestra que la consistencia normal de una mezcla de cemento que contiene un 2.5% de ceniza de aserrín aumenta su consistencia en un 21.05% en comparación con la muestra de referencia lo que indica que el contenido de agua efectiva tendría que disminuir por tal motivo variar la relación agua - cemento, también la consistencia normal del cemento con contenido de ceniza de aserrín disminuye en 10.53%, 31.58%, 15.79%, 36.84% y 52.63% para un contenido de ceniza de aserrín de 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% respectivamente lo que indica que la relación

agua - cemento necesita aumentar el contenido de agua para lograr suficiente fluidez por lo que varía la relación agua – cemento.

OE3: Por lo tanto, se tiene que el calor de hidratación de una mezcla de concreto que contiene 2.5% de ceniza de aserrín, es mayor que el de una mezcla de concreto patrón. La mezcla de concreto que contiene 2.5% de ceniza de aserrín tiene mayor energía interna, lo que la convierte en el material más reactivo y por tanto el menos estable, quiere decir que presenta una mayor retracción en comparación con los demás. Le sigue la mezcla de concreto con 7.5% y 12.5% de contenido de ceniza de aserrín. La mezcla de concreto que contiene 15% de ceniza de aserrín es la mezcla de concreto con menor calor de hidratación, y menor riesgo de agrietamiento, que es la cualidad requerida para la mezcla de concreto estructural, le sigue la mezcla de concreto con 10% y 5% de contenido de ceniza de aserrín.

OE4: En la tabla 4 se aprecia los costos para el remplazo parcial del cemento con 10% de cenizas de aserrín que es el porcentaje óptimo del remplazo parcial del cemento por cenizas de aserrín, en el cual observamos que el costo de producción para un metro cubico de concreto con 10% de contenido de ceniza aserrín es menor que un concreto convencional en s/. 5.29 por metro cubico.

5.2.3. Discusión de la Hipótesis General

Los resultados de los testigos de referencia a los 7, 14 y 28 días de curado mostraron que el esfuerzo a compresión máximo alcanzado fue: 170.35 kg/cm², 198.80 kg/cm² y 232.80 kg/cm², respectivamente.

Los resultados al remplazar parcialmente al cemento con 2.5% de ceniza de aserrín a los 7, 14 y 28 días de curado mostraron que los esfuerzo a compresión máximos alcanzados fueron: 139.46 kg/cm², 169.75 kg/cm² y 185.47 kg/cm², los cuales se

disminuyeron en 16.31%, 9.28% y 17.25% con respecto al valor promedio de los testigos de referencia.

Los resultados al remplazar parcialmente al cemento con 5% de ceniza de aserrín a los 7, 14 y 28 días de curado mostraron que los esfuerzo a compresión máximos alcanzados fueron: 154.69 kg/cm², 170.14 kg/cm² y 217.96 kg/cm², los cuales se disminuyeron en 7.17%, 9.07% y 2.76% con respecto al valor promedio de los testigos de referencia.

Los resultados al remplazar parcialmente al cemento con 7.5% de ceniza de aserrín a los 7, 14 y 28 días de curado mostraron que los esfuerzo a compresión máximos alcanzados fueron: 164.64 kg/cm², 194.99 kg/cm² y 225.56 kg/cm², los cuales se disminuyeron en 3.35%, 1.92% y 3.11% con respecto al valor máximo de los testigos de referencia.

Los resultados al remplazar parcialmente al cemento con 10% de ceniza de aserrín a los 7, 14 y 28 días de curado mostraron que los esfuerzo a compresión máximos alcanzados fueron: 163.34 kg/cm², 193.52 kg/cm² y 219.55 kg/cm², los cuales se disminuyeron en 3.53%, 2.66% y 5.69% con respecto al valor máximo de los testigos de referencia.

Los resultados de remplazar parcialmente al cemento con 12.5% de ceniza de aserrín a los 7, 14 y 28 días de curado mostraron que los esfuerzo a compresión máximos alcanzados fueron: 138.21 kg/cm², 187.91 kg/cm² y 222.25 kg/cm², los cuales se disminuyeron en 18.87%, 5.48% y 4.53% con respecto al valor máximo de los testigos de referencia.

Los resultados al remplazar parcialmente al cemento con 15% de ceniza de aserrín a los 7, 14 y 28 días de curado arrojaron que los esfuerzo a compresión máximos

alcanzados fueron: 128.09 kg/cm², 163.66 kg/cm² y 193.09 kg/cm², los cuales se redujeron en 23.13%, 12.53% y 13.85% con respecto al valor promedio de los testigos de referencia.

En resumen, se rechaza la hipótesis general planteada por que el remplazo del cemento por cenizas de aserrín no incrementa los esfuerzos a compresión del concreto.

5.2.4. Discusión de la Hipótesis Específica.

HE₁: El remplazo parcial del cemento tipo IP con ceniza de aserrín afectara en la consistencia plástica del concreto.

En las pruebas de revenimiento realizadas a la mezcla de concreto de referencia y mezcla de concreto que contiene ceniza de aserrín, se observó que el revenimiento de la mezcla de concreto fresco se mantuvo en el rango de 3” a 4” de consistencia plástica por lo que rechazamos la hipótesis planteada para el presente estudio de investigación.

HE₂: La sustitución parcial del cemento tipo IP por cenizas de aserrín está relacionado con la relación agua – cemento en el diseño de la mezcla

De las pruebas de consistencia normal y tiempo de fraguado del cemento observamos que la consistencia de la mezcla de cemento con ceniza de aserrín disminuye gradualmente según se va incrementando el porcentaje de remplazo del cemento por la ceniza de aserrín por lo que aceptamos la hipótesis planteada en este estudio de investigación.

HE₃: Existe relación de la sustitución parcial del cemento por la ceniza de aserrín que influya en la temperatura de la mezcla de concreto

Teniendo en cuenta la prueba de control de temperatura de la tabla 28 y figura 4 observamos que el calor de hidratación del concreto se incrementa ligeramente para 2.5%

de contenido de ceniza de aserrín con respecto a la mezcla de concreto de referencia y en el resto de remplazo el calor de hidratación de la mezcla de concreto disminuye de forma gradual según se va incrementado el porcentaje de ceniza de aserrín por tal razón es aceptada la hipótesis planteada en este estudio de investigación.

HE4: Será más económico el concreto parcialmente sustituido con ceniza de aserrín que un concreto tradicional.

De acuerdo con la tabla 4, costo de producción para el concreto con remplazo parcial del cemento con 10% de ceniza de aserrín que es el porcentaje con mejor resultados de esfuerzos a la compresión, aceptamos la hipótesis planteada ya que el costo de producción para un metro cubico de concreto con 10% de ceniza de aserrín es más económico que un concreto sin ceniza de aserrín.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se concluye que la mejor proporción de contenido de ceniza de aserrín para remplazar parcialmente al cemento tipo IP, es el concreto con un contenido de 10% de cenizas de aserrín ya que cumple con las dos condiciones del ACI 318-19 para considerarlo como satisfactorio. Cabe indicar que la reducción de la resistencia a la compresión es de 3.87% a los 7 días de curado, una reducción de 2.98% a los 14 días de curado y una reducción de la compresión de 3.98% a los 28 días de curado. También en los ensayos de resistencia a flexión los testigos con remplazo parcial del cemento con 10% de ceniza de aserrín mostraron mejores resultados frente a los demás testigos por sustitución parcial del cemento tipo IP siendo el valor del módulo de rotura promedio de 9.161 MPa el cual se redujo en un 0.76% con respecto al valor promedio del testigo de referencia.

Podemos afirmar que el tiempo de fraguado de la mezcla de concreto influye inversamente proporcional con el revenimiento del hormigón fresco al momento del transporte de la mezcla para colocarlo y compactarlo.

Con la variación de la temperatura del concreto fresco tendremos una variación directamente proporcional con el calor de hidratación de la mezcla de concreto por lo que influirá en la energía interna de la mezcla de hormigón. Con una energía interna alta las reacciones químicas entre el agua y cemento serán más rápidas por lo que la mezcla de concreto endurecerá más rápidamente perdiendo su consistencia plástica. Caso contrario si la energía interna es baja las reacciones químicas entre el agua y el cemento se relenterizarán dando como resultado un lento endurecimiento del concreto.

La resistencia a la compresión máxima alcanzada por el remplazo parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín es de 225.56 kg/cm^2 que representa un incremento de la resistencia a compresión de 0.63% con respecto al valor promedio del esfuerzo a compresión del concreto de referencia este valor alcanzado corresponde al testigo con remplazo parcial del cemento con 7.5% de cenizas de aserrín.

6.2 Recomendaciones

Con base a los resultados obtenidos de los ensayos hechos se recomienda el uso de la mezcla de concreto con 10% de contenido de ceniza de aserrín ya que cumple con las dos condiciones del ACI 318-19, su bajo calor de hidratación y menor costo frente al concreto sin contenido de ceniza de aserrín.

Se recomienda ampliar el estudio de investigación del remplazo parcial del cemento tipo IP por cenizas procedentes de las ladrilleras del distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco quienes utilizan diversos materiales como combustible para la calcinación de los ladrillos por lo cual resulta diversos tipos de cenizas. Analizar las

diferentes condiciones y efectos que estas cenizas pueden producir en la mezcla de hormigón.

Se recomienda almacenar las cenizas de aserrín en lugares alejados de la humedad para evitar el envejecimiento de las cenizas como resultado de los cambios químicos y mineralógicos.

Referencia Bibliográficas

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del Concreto: Teoría y Problemas*. Lima: San Marcos E.I.R.L.
- ACI 116R-90. (1990). *Cement and Concrete Terminology*. (c. A. 116R, Ed.) Recuperado el 24 de enero de 2024
- ACI 318-19 & ACI 318R-19. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural & Comentario a Requisitos de Reglamento para concreto*. FARMINGTON HILLS, MICHIGAN, USA: Comité ACI 318. Recuperado el 24 de enero de 2024
- Barron Bello, A. L. (2017). *EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y PORCENTAJE DE SUSTITUCION PARCIAL OPTIMO DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR EN LA VARIACION DE LA RESISTENCIA DE UN MORTERO SOSTENIBLE*. Bogota, Colombia: Universidad la Gran Colombia. Recuperado el 18 de 12 de 2023
- Carevic, I., Kostanic juric, K., Cerkovic, S., Stirmer, N., & Santek Bajto, J. (02 de 11 de 2021). <https://doi.org/10.3390/ma14216578>, Article. Recuperado el 14 de 12 de 2023, de MDPI: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/21/6578>
- Carrasco Días, S. (2019). *Metodología de la investigación Científica*. (A. J. Galván, Ed.) Lima: San Marcos.
- Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI. (2014, 30 de diciembre). *Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. Lima: IDECOPI. Recuperado el 16 de Diciembre de 2023, de sacreclamo@indecopi.gob.pe
- Comite ACI 116. (1997). *Terminología del Cemento y el Hormigón*. Recuperado el 24 de enero de 2024
- Comite ACI 318-19. (junio de 2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19), Comentario de Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318R19))* (primera ed.). Recuperado el 24 de enero de 2024
- Coyasamin Maldonado, O. V. (2016). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGON TRADICIONAL CON HORMIGON ADICIONADO CON CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ (CCA) Y HORMIGON ADICIONADO CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR (CBC)*. Ambato, Ecuador: Universidad Tecnica de Ambato. Recuperado el 16 de 12 de 2023

- Dirección de Normalización - INACAL. (2015). *Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto en Muestras Cilíndricas*. (4 Edición ed.). Lima, Perú. Recuperado el 29 de diciembre de 2023
- Ferrocarriles, D. G. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima, Peru: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Recuperado el 19 de Diciembre de 2023
- Franz Matheus, E. A. (2018). *Resistencia de concreto $f_c=210$ kg/cm² con adición de ceniza de viruta de madera - Huaraz - 2017*. Huaraz, Peru. Recuperado el 16 de 12 de 2023
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Pilar Baptista, L. (2014). *Metodología de la Investigación* (sexta edición ed.). Mexico. Recuperado el 8 de enero de 2024
- INACAL. (2019, 28 de junio). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland. Requisitos* (Vol. 3° edición). Lima, Peru. Recuperado el 16 de Diciembre de 2023, de publicaciones@inacal.gob.pe
- INACAL. (2020, 07 de Diciembre). *PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL © INACAL 2020 NORMA TÉCNICA NTP 334.090 PERUANA 2020 Dirección de Normalización CEMENTOS. Cementos hidráulicos adicionados. Requisitos* (8° Edición ed.). Lima, Lims, Peú: INACAL. Recuperado el 14 de 12 de 2023, de www.inacal.gob.pe
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (abril de 2022). *Consumo Interno*. Recuperado el 18 de septiembre de 2023, de Informe Técnico Avance Coyuntural de la Actividad Económica: <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/consumo-interno-de-cemento-crecimiento-225-en-abril-de-2022-13716/>
- Lopez Chiroque, M. L., & Salcedo Perez, K. I. (2021). *COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE CONCRETO CON ADICIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ*. IIMA: Universidad Ricardo Palma. Recuperado el 16 de 12 de 2023
- Lujan, M., Fernandez, M., Lang, B., & Gallegos R., A. (2006). *Scielo Bolivia*. (D. d. Católica, Editor, C. a. aledañas, Productor, & Jefe del Proyecto Aire Limpio.) Recuperado el 14 de 12 de 2023, de scielo.org.bo: http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v3n2/v3n2_a04.pdf
- Ma-tay Pinel, D. E. (2014). *VALORIZACIÓN DE CENIZAS DE BAGAZO PROCEDENTES DE HONDURAS: POSIBILIDADES DE USO EN MATRICES DE CEMENTO PORTLAND*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia. Recuperado el 18 de 12 de 2023
- Mayoral Noriega, A. J. (2022). *Efecto de sustitución parcial de cemento Portland por cenizas de Bagazo de Agave en Morteros Evaluados a Compresión Como Alternativa de uso en la Industria de la Construcción*. H. Cd. De Huajuapán de León, Oaxaca: Universidad Tecnológica de la Mixteca. Recuperado el 18 de 12 de 2023
- National Ready Mixed Concrete Association. (enero de 2017). *Concrete Supply Co*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2023, de www.nrmca.org.: <https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/16pes.pdf>
- NTP 339.189. (2021). *Determinación de la Temperatura del Concreto de Cemento Hidráulico Recién Mezclado. Método de Ensayo*. Lima, Perú: inacal-2021. Recuperado el 24 de enero de 2024
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. (2018). *Evaluación ambiental en el ámbito de influencia de la zona de ladrilleras de San Jerónimo, ubicado en el distrito*

- de San Jeronimo, Provincia y Departamento de Cusco - 2018. Evaluacion Ambiental, Ministerio del Ambiente, Cusco, Cusco. Recuperado el 14 de 12 de 2023, de <https://es.scribd.com/document/451287989/Informe-OEFA-345-2018-OEFA-DEAM-STEAC>
- Perez Lopez, R. F. (2021). *“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS APLICANDO CENIZA DE MADERA DE FONDO PARA SU USO COMO SUB-RASANTE MEJORADA DE PAVIMENTO, PRODUCTO DE LADRILLERA CERÁMICA JÚPITER S.A.C. DEL DEPARTAMENTO DE UCAYALI*. Ucayali, Perú: Universidad Nacional de Ucayali. Recuperado el 24 de enero de 2024
- Pintado Gonzaga, J. H., & Siesquen Delgado, J. C. (2021). *Caracterización física - mecánica de concreto adicionando aserrín de madera y ceniza de cascarrilla de arroz en la ciudad de San Ignacio - Cajamarca*. Chiclayo, Peru: Universidad Cesar Vallejo. Recuperado el 16 de 12 de 2023
- Portland Cement Assosiation. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*.
- Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño*.
- Radió Programas de Perú. (11 de septiembre de 2023). *La Federación de Trabajadores en Construcción Civil del Perú (FTCCP) y la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) llegaron a un acuerdo*. Recuperado el 26 de enero de 2024, de <https://rpp.pe/economia/economia/sueldo-de-los-trabajadores-de-construccion-civil-aumentara-en-525-noticia-1504989>
- Rivera L., G. (2021). *Concreto Simple*. Popayán, Cauca: Universidad del Cauca.
- Rochel Awad, R. (2007). *Hormigon Reforzado*. Medellin: universidad EAFIT.
- Sanchez de Guzman, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Santa Fe de Bogota.
- Silva Reyes, P. L. (2018). *“Resistencia de mortero $f'c=210$ kg/cm² sustituyendo al cemento en 15% por ceniza de material no maderable de Schimus Molle L. Cajamarca, Peru*. Recuperado el 16 de 12 de 2023
- Tesis y Master. (13 de septiembre de 2022). *Conoce las mejores técnicas e instrumentos de recolección de datos*. Recuperado el 19 de 12 de 2023, de [tesisymasters.mx](https://tesisymasters.mx/instrumentos-de-recoleccion-de-datos/): <https://tesisymasters.mx/instrumentos-de-recoleccion-de-datos/>
- Tesis y Masters. (13 de septiembre de 2022). *Conoce las mejores técnicas e instrumentos de recolección de datos*. Recuperado el 18 de diciembre de 2023, de <https://tesisymasters.mx/instrumentos-de-recoleccion-de-datos/>
- Tuesta Ramirez, J. H., & Vasquez Silva, S. (2021). *Diseño de mezcla de concreto simple adicionando ceniza de aserrín para mejorar la resistencia a la compresión, Lamas 2021*. Tarapoto: Universidad Cesar Vallejo. Recuperado el 16 de 12 de 2023
- Vargas Cordero, Z. R. (2009). (Universidad de Costa Rica) Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- Vivas Villarreal, K. N. (2016). *DISEÑO DE UN HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON CENIZA DE MADERA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL AGREGADO FINO*. Ambato, Ecuador: Universidad Tecnica De Ambato. Recuperado el 16 de 12 de 2023

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES Y DIMENSIONES
PG: ¿De qué manera influye en el concreto la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kg/cm ² ?	OG: Diseñar una mezcla de concreto por sustitución parcial del cemento tipo IP por cenizas de aserrín con resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kg/cm ² .	HG: La variación del porcentaje en peso de la ceniza de aserrín como sustituto parcial del cemento tipo IP, incrementara la resistencia a la compresión del concreto.	<p>Variable Independiente X: Cenizas de aserrín.</p> <p>Indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Porcentaje de remplazo de las cenizas de aserrín por cemento tipo IP en 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% <p>Variable dependiente Y: Resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210$kg/cm²</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Resistencia a la compresión del concreto. ✓ Relación agua – cemento ✓ Temperatura de curado ✓ Costo de producción del concreto
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	
PE: ¿Cómo afecta la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín a la consistencia plástica del concreto?	OE: Analizar la influencia de la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín en la consistencia plástica del concreto convencional.	HE: El remplazo parcial del cemento tipo IP con ceniza de aserrín afectara en la consistencia plástica del concreto.	
PE: ¿Cuál es la relación que existe de la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín en la relación agua cemento (a/c) del diseño de mezcla del concreto?	OE: Determinar la relación que existe por la sustitución parcial del cemento tipo IP por cenizas de aserrín en la relación agua cemento (a/c), del diseño de mezcla del concreto.	HE: La sustitución parcial del cemento tipo IP por ceniza de aserrín está relacionado con la relación agua - cemento (a/c) en el diseño de mezcla.	
PE: ¿Cuál es el impacto de la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín sobre la temperatura del concreto?	OE: Establecer la influencia de la sustitución parcial del cemento tipo IP con cenizas de aserrín en la temperatura del concreto.	HE: Existe relación entre la sustitución parcial del cemento por la ceniza de aserrín que influya en la temperatura del concreto.	
PE: ¿De qué manera influye las cenizas de aserrín en el costo de producción del concreto al sustituir parcialmente al cemento tipo IP?	OE: Determinar si, el concreto parcialmente sustituido con ceniza de aserrín es más económico que un concreto tradicional.	HE: Será más económico el concreto parcialmente sustituido con ceniza de aserrín que un concreto tradicional.	

Anexo B*Análisis del costo de la Ceniza de Aserrín*

Radió Programas del Perú, (2023) Informa que el jornal de un trabajador de categoría peón haciende a la suma de S/59.80 por 8 horas de trabajo. (párrafo cuarto)

Tabla 71*Análisis del Costo de Ceniza de Aserrín*

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/)	Parcial (S/)
Peón	hh	1	28	7.48	209.30
Transporte	viaje	-	1	12	12
Ceniza	kg	-	250	-	-
total					221.3

La ceniza de aserrín obtenida es de aproximadamente de 250 kg en total.

$$\text{Costo} = \frac{\text{S/ } 221.30}{250 \text{ kg}}$$

Que nos da un costo de por kilogramo de ceniza de aserrín de S/ 0.885

Al realizar la obtención de la ceniza de aserrín de forma industrial para su comercialización los costos se reducirían notoriamente variando entre S/ 0.4 a S/ 0.60 por kilogramo.

Anexo C:**Certificado de Calibración de la Maquina Universal Utilizados en el Laboratorio**

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN****TC - 17189 - 2023**

PROFORMA : 22876A Fecha de emisión: 2023 - 08 - 31 Página : 1 de 3

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Dirección : Av. De La Cultura 773 Cusco - Cusco

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MAQUINA DE ENSAYOS (DEFORMACIÓN)
Tipo : Digital
Marca : INSTRON
Modelo : 600DX-B1-C3A-G1F
N° de Serie : 600DXR4565
Intervalo de Indicación : 0 mm a 152 mm
División de Escala : 0,00001 mm
Procedencia : U.S.A.
Identificación : No Indica
Fecha de Calibración : 2023 - 08 - 28
Ubicación : Laboratorio de Mecanica de Suelos, Rocas y Geotecnia - IG108

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa con nuestros bloques patrón calibrados y trazables al Sistema Internacional de Unidades.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	19,6 °C	19,4 °C
Humedad Relativa	31,8 %	31,8 %

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316



Certificado : TC - 17189 - 2023

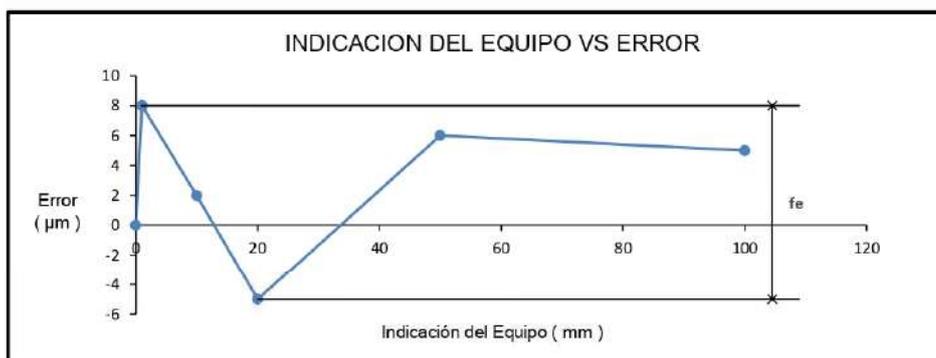
Página : 2 de 3

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Bloques Patrón Grado K DM-INACAL	Bloques Patrón de Longitud 0,5 mm a 100 mm Grado 0	LLA-C-081-2022

RESULTADOS DE MEDICIÓNError de referencia inicial = 0 μm **Error de Indicación**

Valor Patrón (mm)	Indicación del Equipo (mm)	Error (μm)
1,0000	1,0080	8
10,0000	10,0020	2
20,0000	19,9950	-5
50,0000	50,0060	6
100,0000	100,0050	5

Alcance de error de indicación (f_e): 13 μm Incertidumbre del error de indicación: 5 μm **OBSERVACIONES**

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

INCERTIDUMBRELa incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.**FIN DEL DOCUMENTO**

Certificado : TC - 17188 - 2023

Página : 2 de 2

Trazabilidad

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Patrones de Referencia de AEP TRANSDUCERS	Celda de carga de capacidad 3 MN Modelo CLFlex Indicador digital modelo MP6plus	LAT 093 9623F
Patrón de Referencia del DM-INACAL	Manómetro Digital 0 bar a 700 bar Clase de Exactitud 0,05	LFP-C-049-2023 Abril 2023

Resultados de calibración

RESULTADOS			
INDICACIÓN DEL EQUIPO BAJO CALIBRACIÓN	INDICACIÓN DEL PATRÓN	ERROR	INCERTIDUMBRE
kgf	kgf	kgf	kgf
2 185	2 215,0	-30,0	0,6
5 090	5 127,5	-37,5	0,7
10 002	10 040,2	-38,2	0,7
15 042	15 081,7	-39,7	0,7
20 150	20 193,1	-43,1	0,7
25 169	25 212,5	-43,5	0,8
30 135	30 181,8	-46,8	0,8
35 060	35 108,5	-48,5	0,9
40 081	40 130,9	-49,9	0,9

Observaciones

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

Incertidumbre expandida U

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

Anexo D**Certificado de Calibración del Equipo de Prensa de Concreto**

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

MT - LFP - 062 - 2023

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

1. Orden de trabajo	OT 0078-23	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
3. Dirección	Av. De la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco - CUSCO	
4. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	
Capacidad	100000 kgf	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Marca	ELE INTERNATIONAL	
Modelo	36-3088/06	
Número de Serie	9010000012	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Indicación	DIGITAL	
Marca	ELE INTERNATIONAL	
Modelo	NO INDICA	
Número de Serie	1886-1-3514	
Resolución	10 kgf	
5. Fecha de Calibración	2023-03-22	

Fecha de Emisión

2023-03-28

Jefe del Laboratorio de Metrología

Firmado digitalmente por
Williams Pérez
Fecha: 2023.03.29 11:18:39
-05'00'

Sello



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LFP - 062 - 2023***Área de Metrología**Laboratorio de Fuerza*

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1:2018 "Materiales metálicos. Calibración y verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Calibración y verificación del sistema de medida de fuerza". (ISO 7500-1:2018).

7. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.
Av. De la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco - CUSCO

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	19,2 °C	21,1 °C
Humedad Relativa	60 % HR	42 % HR

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania 2020-1 87747 / 2021-1 95857	CELDA DE CARGA calibrado a 1 000 kN con incertidumbre del orden de 0,24 %	LEDI-PUCP INF-LE 037-22B

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1,0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.
- Se realizó la calibración hasta el 90 % de su capacidad por motivos de seguridad.

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LFP - 062 - 2023**

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	\bar{F}_i (kgf)	F_1 (kgf)	F_2 (kgf)	F_3 (kgf)	$F_{Promedio}$ (kgf)
10	10000,0	10092,7	10082,7	10102,7	10092,7
20	20000,0	20168,6	20128,4	20158,6	20151,9
30	30000,0	30116,8	30126,9	30156,9	30133,5
40	40000,0	40110,0	40140,3	40160,5	40136,9
50	50000,0	50172,6	50232,7	50242,7	50216,0
60	60000,0	60176,7	60226,9	60297,1	60233,5
70	70000,0	70239,7	70109,3	70219,7	70189,6
80	80000,0	80142,6	80122,6	80252,5	80172,6
90	90000,0	90058,2	90138,0	90217,8	90138,0
Retorno a Cero		0,0	0,0	0,0	

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud a (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa a (%)	
10000,0	-0,9	0,2	---	0,10	0,4
20000,0	-0,8	0,2	---	0,05	0,4
30000,0	-0,4	0,1	---	0,03	0,4
40000,0	-0,3	0,1	---	0,03	0,4
50000,0	-0,4	0,1	---	0,02	0,4
60000,0	-0,4	0,2	---	0,02	0,4
70000,0	-0,3	0,2	---	0,01	0,4
80000,0	-0,2	0,2	---	0,01	0,4
90000,0	-0,2	0,2	---	0,01	0,4

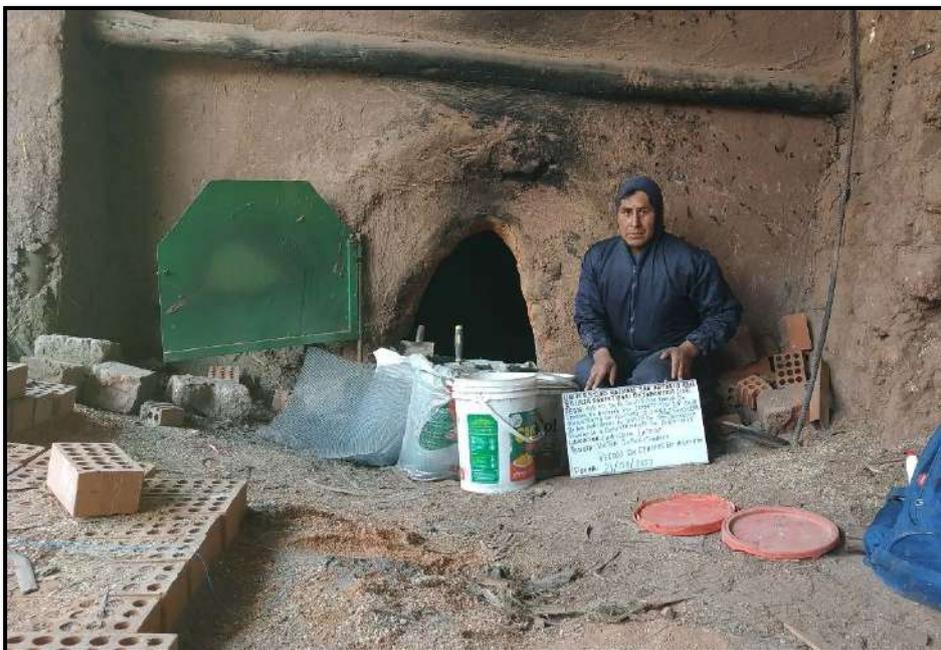
MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0)	0,00 %
---	--------

12. Incertidumbre

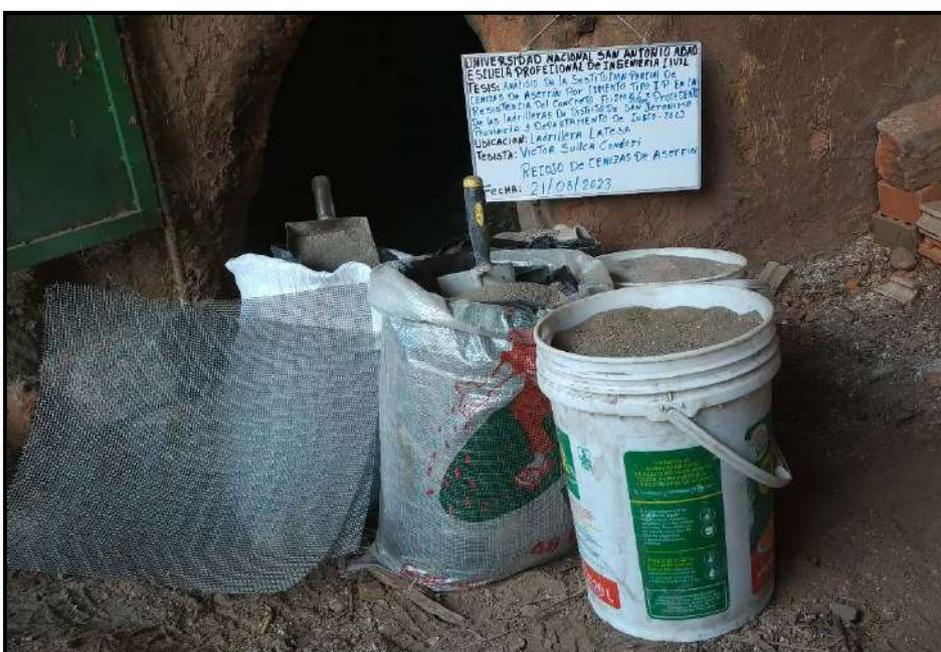
La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Anexo E: Recojo de la Ceniza de Aserrín



Fotografía 1: Recojo de la ceniza de aserrín de la ladrillera Latesa Ubicado en el distrito de San Jerónimo provincia y departamento de Cusco



Fotografía 2: Ceniza de aserrín en el horno N°1 de la Ladrillera Latesa

Anexo F: Ensayo de Análisis Granulometría del Agregado Grueso NTP 400.012



Fotografía 3: Pesado del agregado grueso para el tamizado



Fotografía 4: juego de tamices utilizados según el huso N°67 para la granulometría del agregado grueso



Fotografía 5: Agregados retenidos en los tamices según la abertura del número correspondiente.

Anexo G: Ensayo de Análisis Granulometría del Agregado Fino NTP 400.012



Fotografía 6: Fotografía 3: Pesado del agregado fino para el tamizado



Fotografía 7: juego de tamices utilizados según el huso N°67 para la granulometría del agregado fino



Fotografía 8: Agregados retenidos en los tamices según la abertura del número correspondiente.

Anexo H: Ensayo Normalizado para la Determinación de masa o densidad por unidad de volumen o densidad NTP 400.017



Fotografía 9: Colocado del agregado grueso en el molde del Proctor modificado antes del chuseado con la barrilla lisa de 5/8"



Fotografía 10: Chuseado del agregado grueso para el acomodamiento del material en el molde del Proctor modificado para la determinación del peso unitario compactado



Fotografía 11: Emparejado del agregado grueso en el molde del Proctor modificado para la determinación del peso unitario compactado



Fotografía 12: Colocado por caída libre del agregado grueso en el molde del Proctor modificado para la determinación del peso unitario suelto



Fotografía 13: Llenado del molde de Proctor modificado con agregado fino.



Fotografía 14: Chuseado del agregado fino



Fotografía 15: Emparejado del agregado fino en el molde de Proctor modificado

Anexo I: Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso NTP 400.021



Fotografía 16: Pesado del agregado grueso en estado saturado superficialmente seca

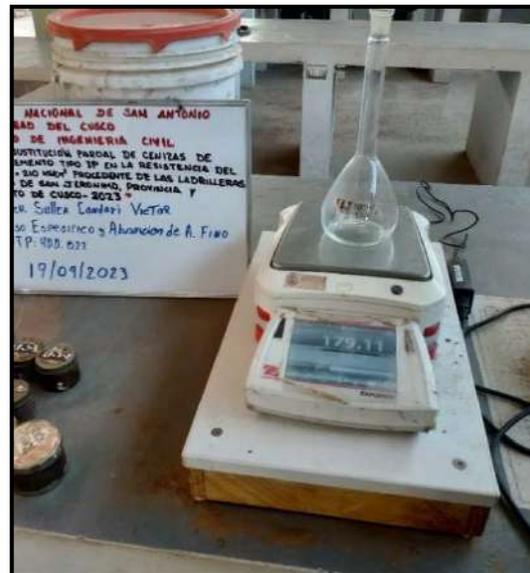


Fotografía 17: Pesado del agregado grueso en estado saturado sumergido en agua

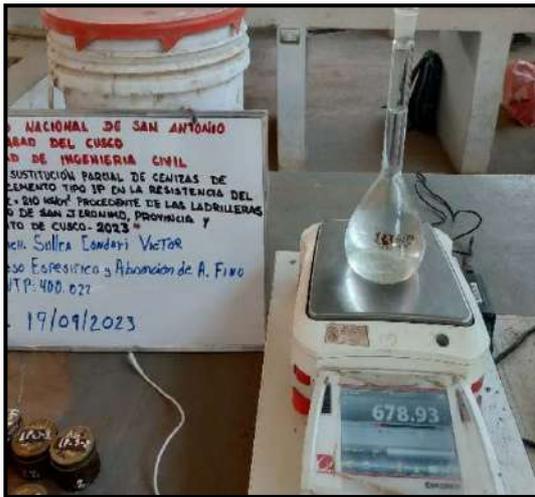
Anexo J: Ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado fino NTP 400.021



Fotografía 18: control de peso del agregado fino secado al horno después de 24 horas



Fotografía 19: Control de peso de la fiola sin contenido



Fotografía 20: control de peso de la fiola más agua



Fotografía 21: secado del agregado fino hasta obtener un agregado saturado superficialmente seco (SSS)



Fotografía 22: llenado del molde metálico con agregado fino



Fotografía 23: Compactado del agregado fino en el cono metálico para comprobar si se encuentra en estado saturado superficialmente seco.



Fotografía 24: se observa que el agregado fino aún no se encuentra en estado saturado superficialmente seco por lo que se tendrá que seguir secando hasta obtener el agregado en estado SSS.



Fotografía 25: control de peso de la fiola más agua más agregado fino saturado superficialmente.

Anexo K: Elaboración de briquetas y vigas de mezcla de concreto con 0% de ceniza de aserrín según NTP 339.033 y 339.078



Fotografía 26: chuseado con la barrilla de 5/8" a la mezcla de concreto en el cono de Abrams.



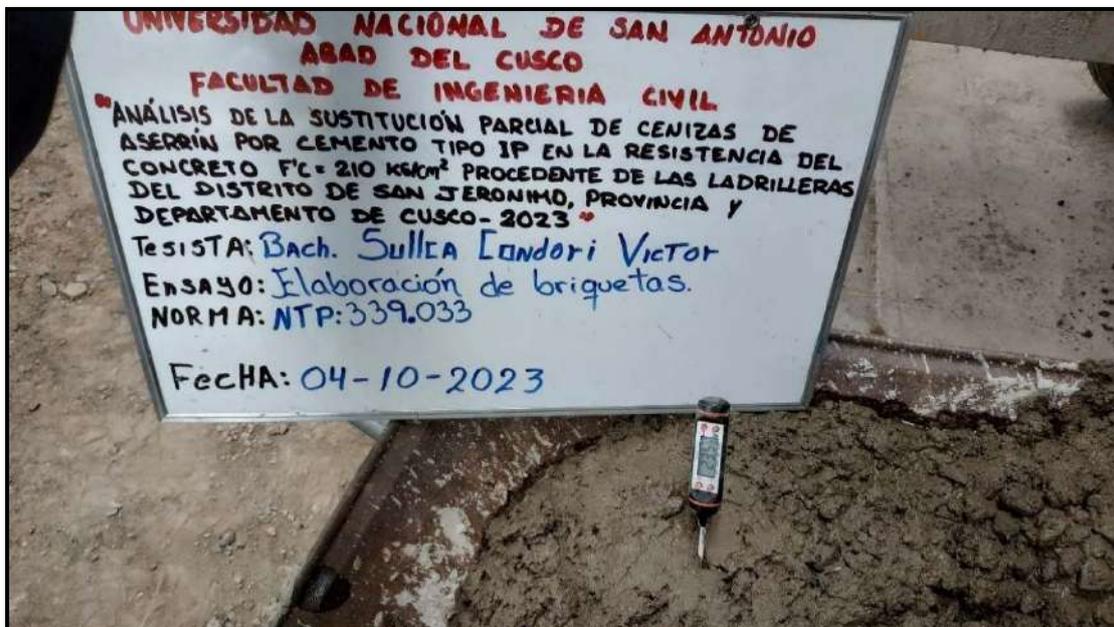
Fotografía 27: Medición de la mezcla de concreto para la comprobación del slump en la mezcla de concreto.



Fotografía 28: Llenado de la briquetera con mezcla de concreto con 0% de ceniza de aserrín.



Fotografía 29: Chuseado 25 veces con varilla de 5/8 de la mezcla de concreto con 0% de ceniza de aserrín.



Fotografía 30: Control de temperatura de la mezcla de concreto con 0% de ceniza de aserrín



Fotografía 31: Elaboración de la viga de concreto con 0% de ceniza de aserrín según la norma NTP 339.078

Anexo L: Elaboración de briquetas y vigas de mezcla de concreto con 2.5% de ceniza de aserrín según NTP 339.033 y 339.078



Fotografía 32: Materiales a utilizar para la mezcla de concreto con 2.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 33: Llenado del cono de Abrams con mezcla de concreto con 2.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 34: Medición del Slump de la mezcla de concreto con 2.5% de ceniza de aserrín.



Fotografía 35: Llenado de las briquetetas con mezcla de concreto con 2.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 36: Chuseado de la mezcla de concreto 25 veces por capa, con varilla de 5/8"



Fotografía 37: control de temperatura de la mezcla de concreto con 2.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 38: Elaboración de vigas de concreto con 2.5% de sustitución parcial del cemento por ceniza de aserrín.

Anexo M: Elaboración de briquetas y vigas de concreto con 5% de sustitución parcial del cemento por cenizas de aserrín, NTP 339.033 y NTP 339.078



Fotografía 39: Materiales para el preparado de la mezcla de concreto con 5% de ceniza de aserrín.



Fotografía 40: medición del slump de la mezcla de concreto con 5% de ceniza de aserrín.



Fotografía 41: control de temperatura de la mezcla de concreto con 5% de ceniza de aserrín.



Fotografía 42: Elaboración de briquetas con mezcla de concreto con 5% de cenizas de aserrín



Fotografía 43: Elaboración de vigas de concreto con sustitución parcial del cemento con 5% de ceniza de aserrín.

Anexo N: Elaboración de briquetas y vigas de concreto con sustitución parcial del cemento con 7.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 44: Materiales para la elaboración de la mezcla de concreto con 7.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 45: medición del slump del concreto con 7.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 46: Control de temperatura de la mezcla de concreto con 7.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 47: Elaboración de briquetas de concreto con 7.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 48: Elaboración de vigas de concreto con sustitución parcial del cemento con 7.5% de cenizas de aserrín

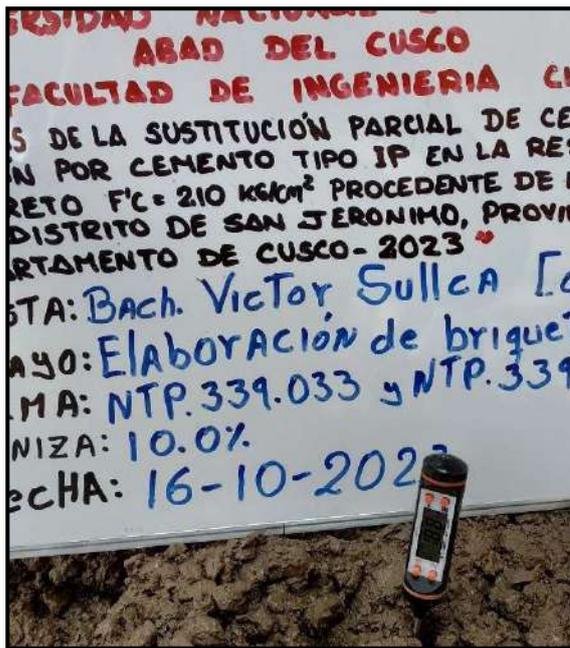
Anexo O: Elaboración de briquetas y vigas de concreto con sustitución parcial del cemento con 10% de ceniza de aserrín



Fotografía 49: Materiales a utilizar para el preparado de mezcla de concreto con 10% de ceniza de aserrín



Fotografía 50: Control del slump para la mezcla de concreto con 10% de ceniza de aserrín



Fotografía 51: Control de temperatura para el diseño de mezcla con 10% de ceniza de aserrín



Fotografía 52: elaboración de briquetas con mezcla de concreto con 10% de cenizas de aserrín



Fotografía 53: Elaboración de vigas de concreto con sustitución parcial del cemento con 10% de cenizas de aserrín

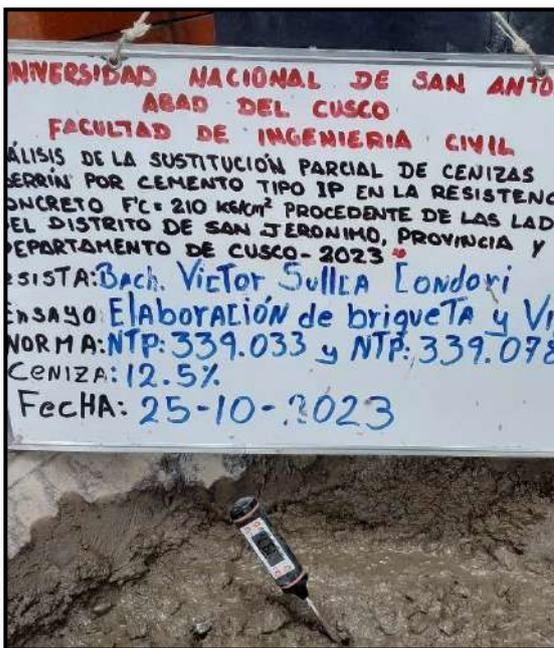
Anexo P: Elaboración de briquetas y vigas de concreto con sustitución parcial del cemento con 12.5% de ceniza de aserrín.



Fotografía 54: Materiales requeridos para la elaboración del concreto con 12.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 55: Control del slump para la mezcla de concreto con 12.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 56: control de temperatura para la mezcla de concreto con 12.5% de ceniza de aserrín

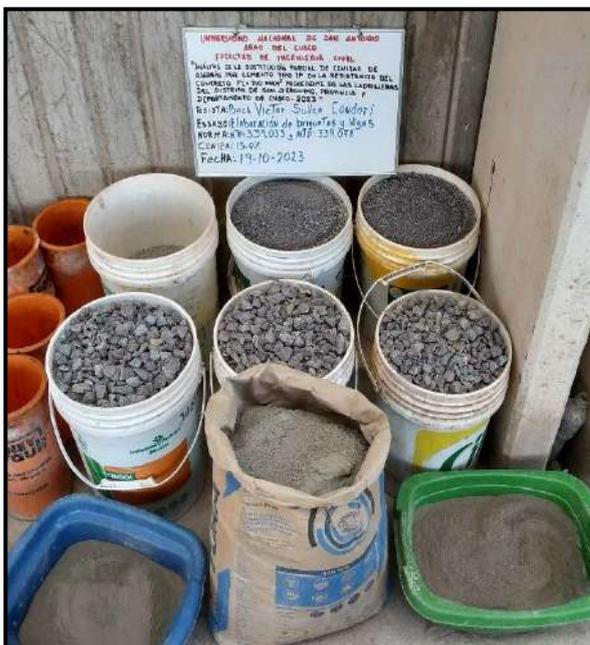


Fotografía 57: Elaboración de briquetas de concreto con 12.5% de ceniza de aserrín



Fotografía 58: Elaboración de vigas de concreto por sustitución parcial del cemento con 12.5% de ceniza de aserrín

Anexo Q: Elaboración de briquetas y vigas de concreto con sustitución parcial del cemento con 15% de ceniza de aserrín



Fotografía 59: Materiales requeridas para la preparación de mezcla de concreto con 15% de ceniza de aserrín



Fotografía 60: Control del Slump para la mezcla de concreto con 15% de ceniza de aserrín



Fotografía 61: Elaboración de briquetas con mezcla de concreto con 15% de ceniza de aserrín



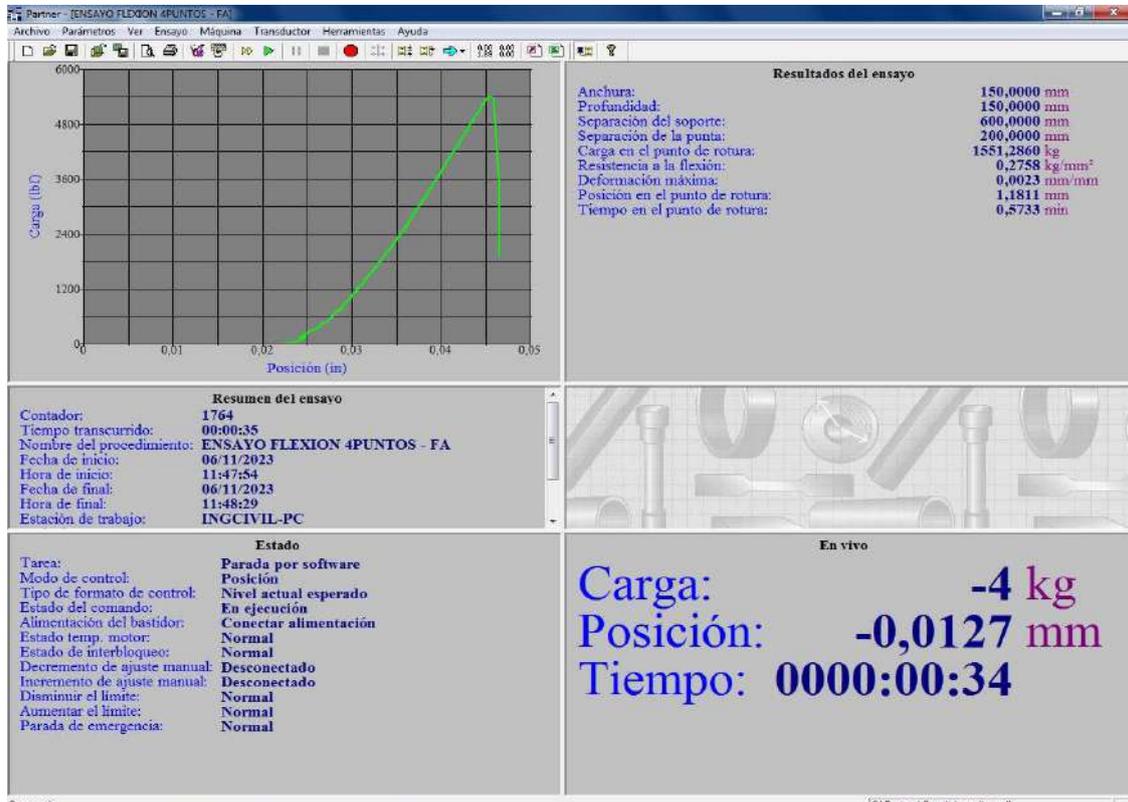
Fotografía 62: Control de temperatura de la mezcla de concreto con 15% de ceniza de aserrín

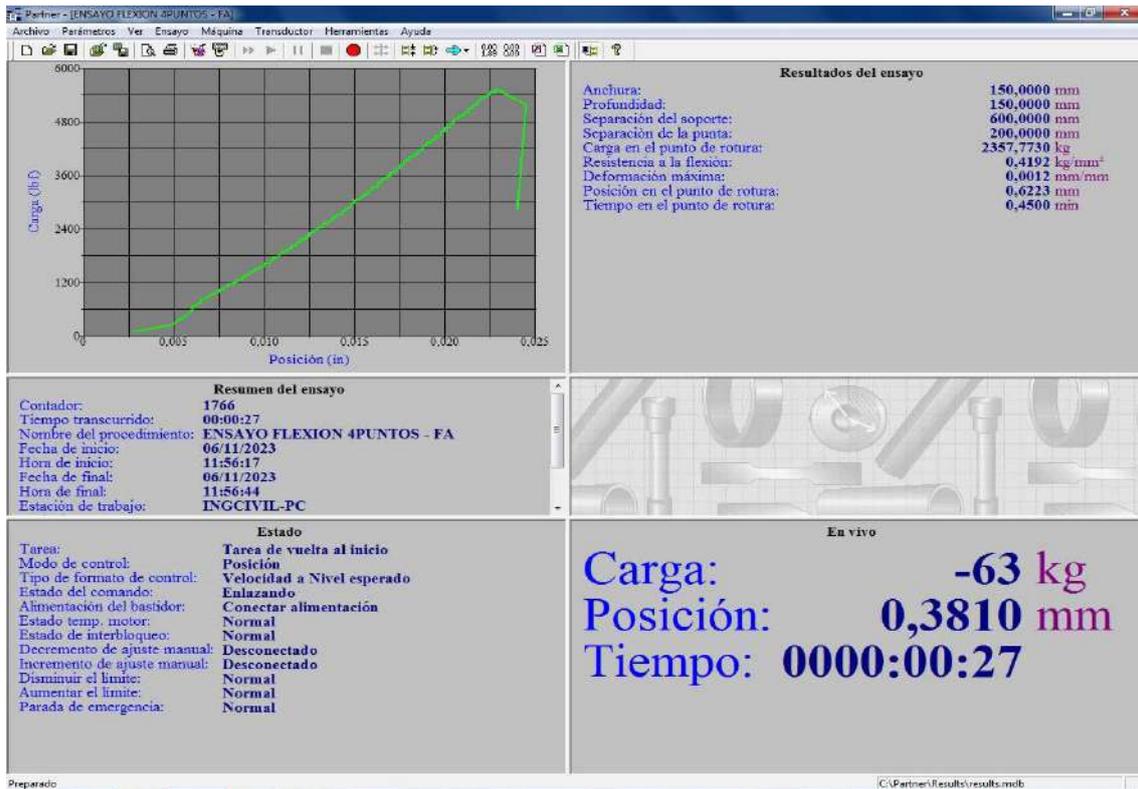


Fotografía 63: Elaboración de vigas de concreto por sustitución parcial del cemento con 15% de cenizas de aserrín.

Anexo R

Imágenes de los Resultados del Ensayo a Flexión de las Vigas de Concreto con 0% de Contenido de cenizas en la Maquina Universal

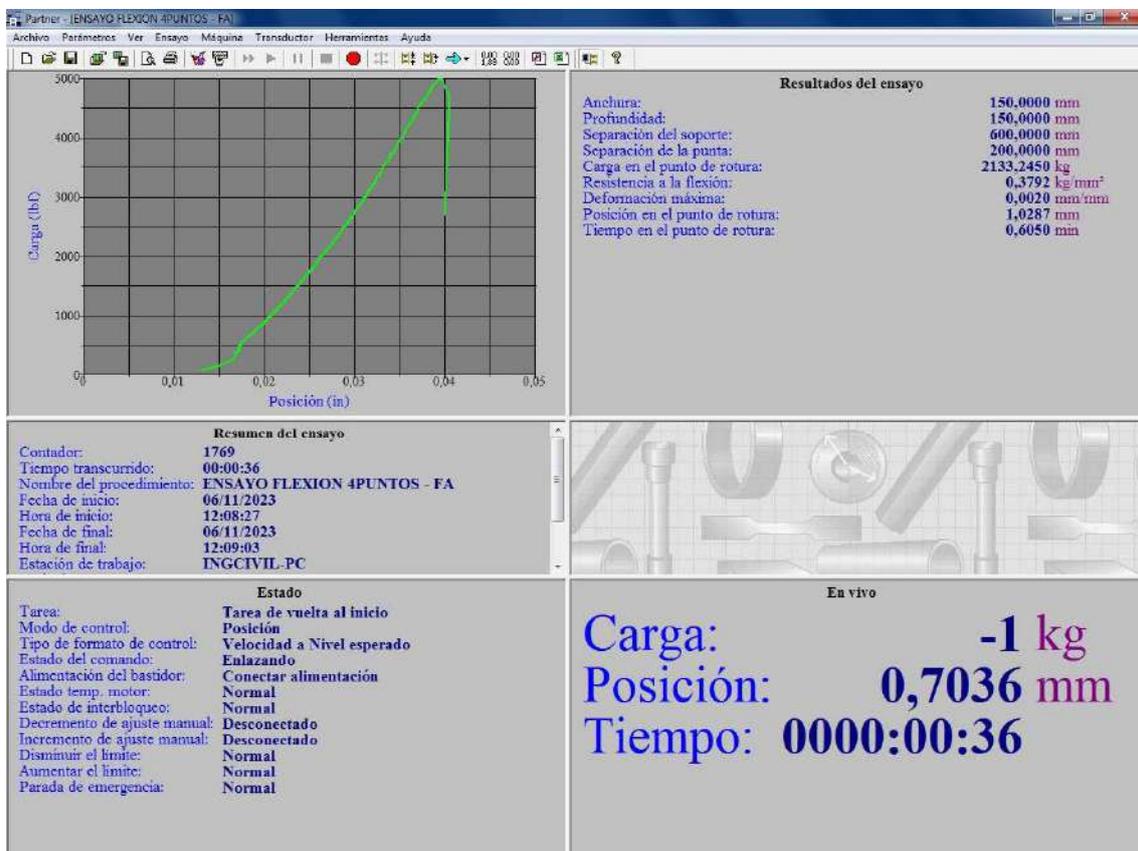
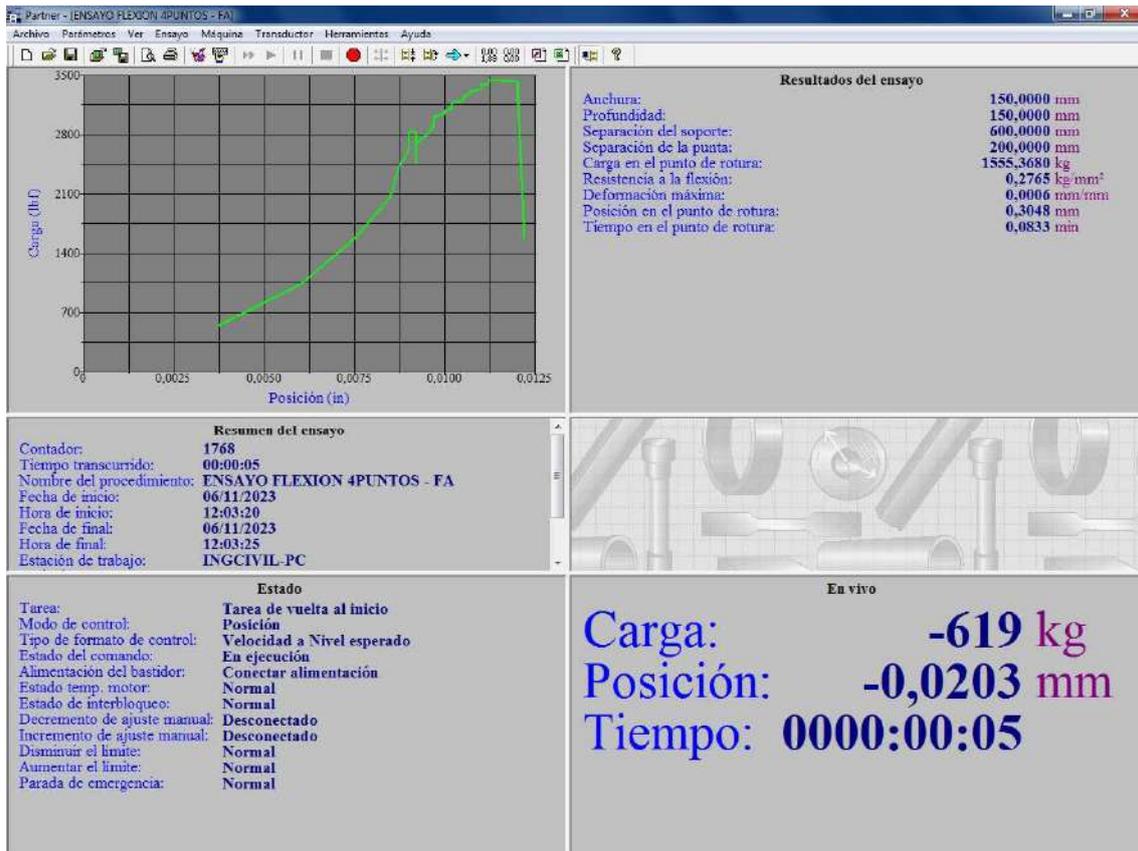




Anexo S

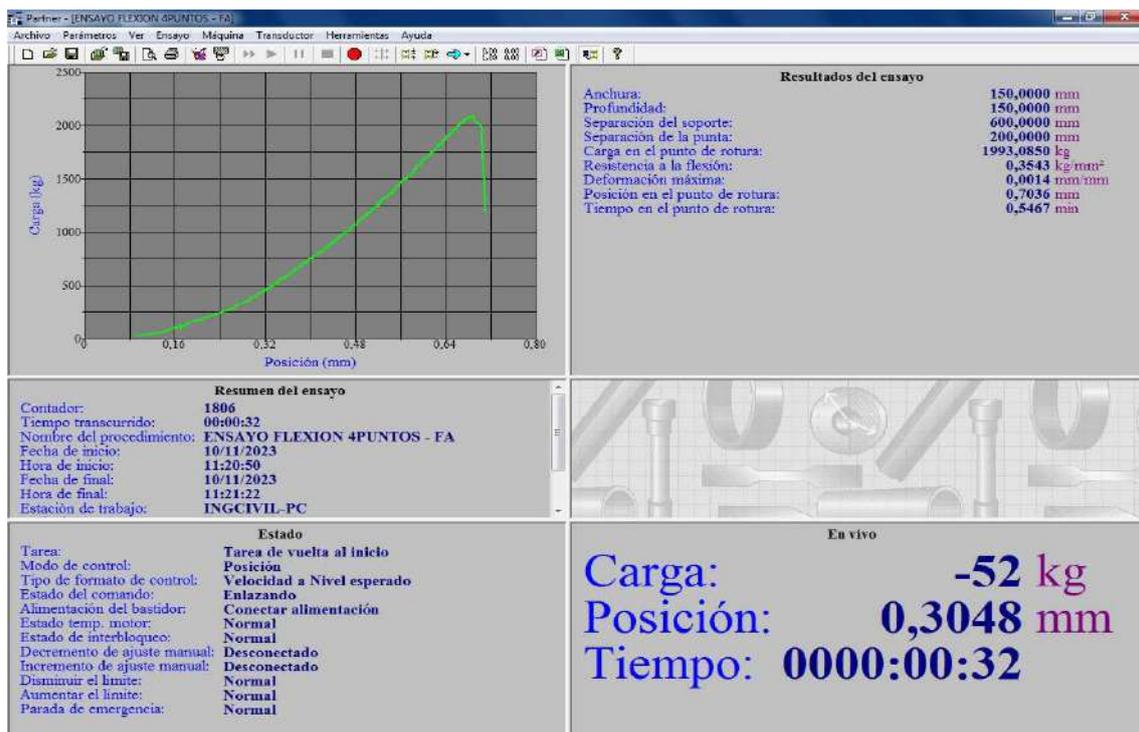
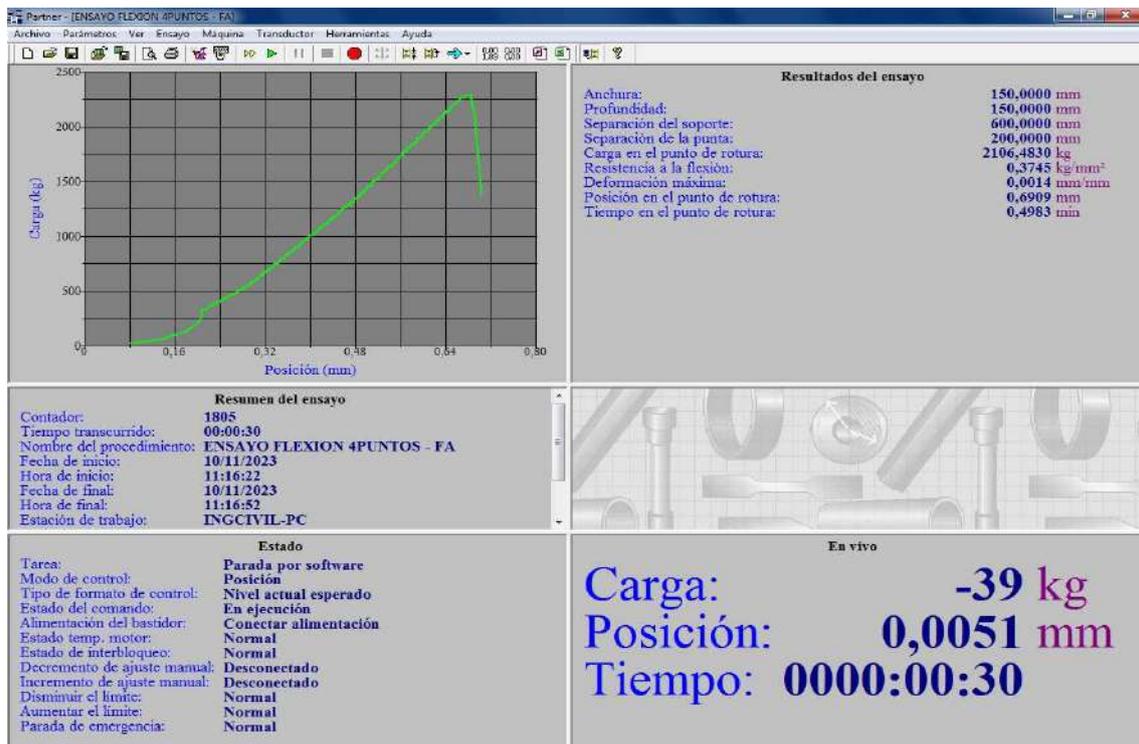
Imágenes de los Resultados del Ensayo a Flexión de las Vigas de Concreto con 2.5% de Contenido de cenizas en la Máquina Universal





Anexo T

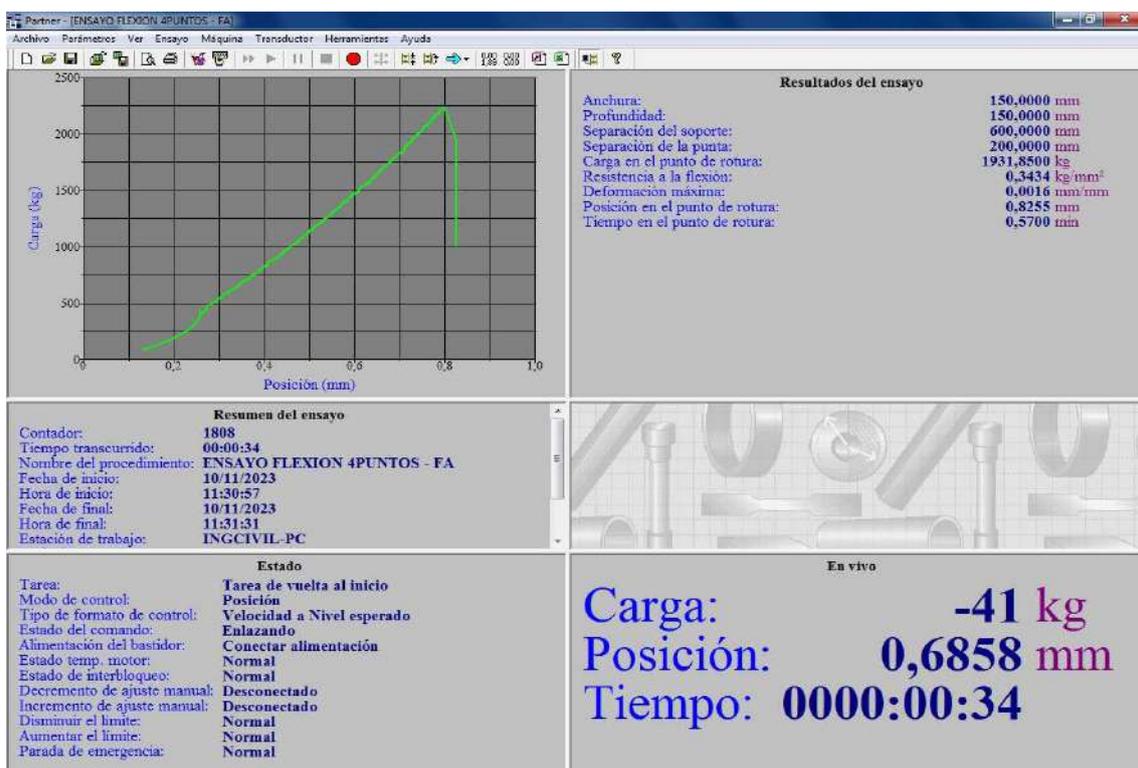
Imágenes de los Resultados del Ensayo a Flexión de las Vigas de Concreto con 5% de Contenido de cenizas en la Máquina Universal

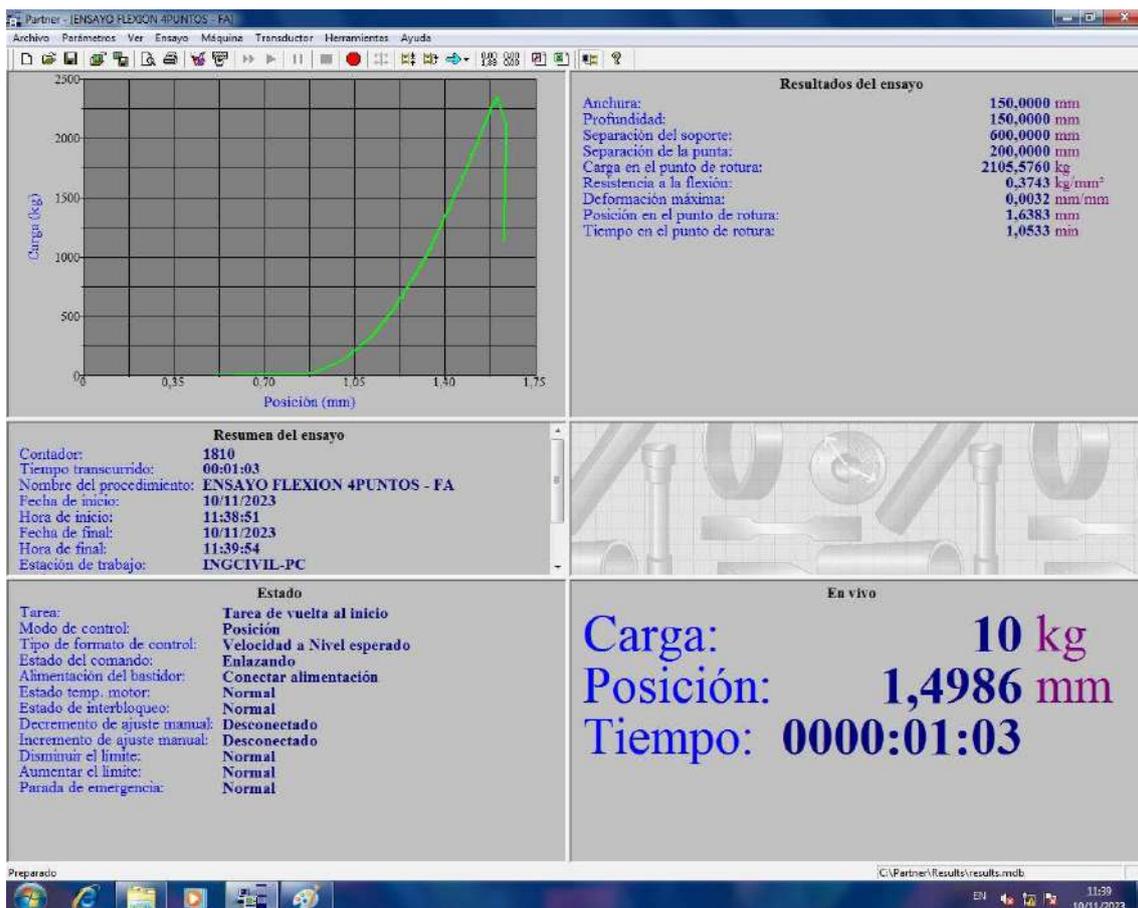




Anexo U

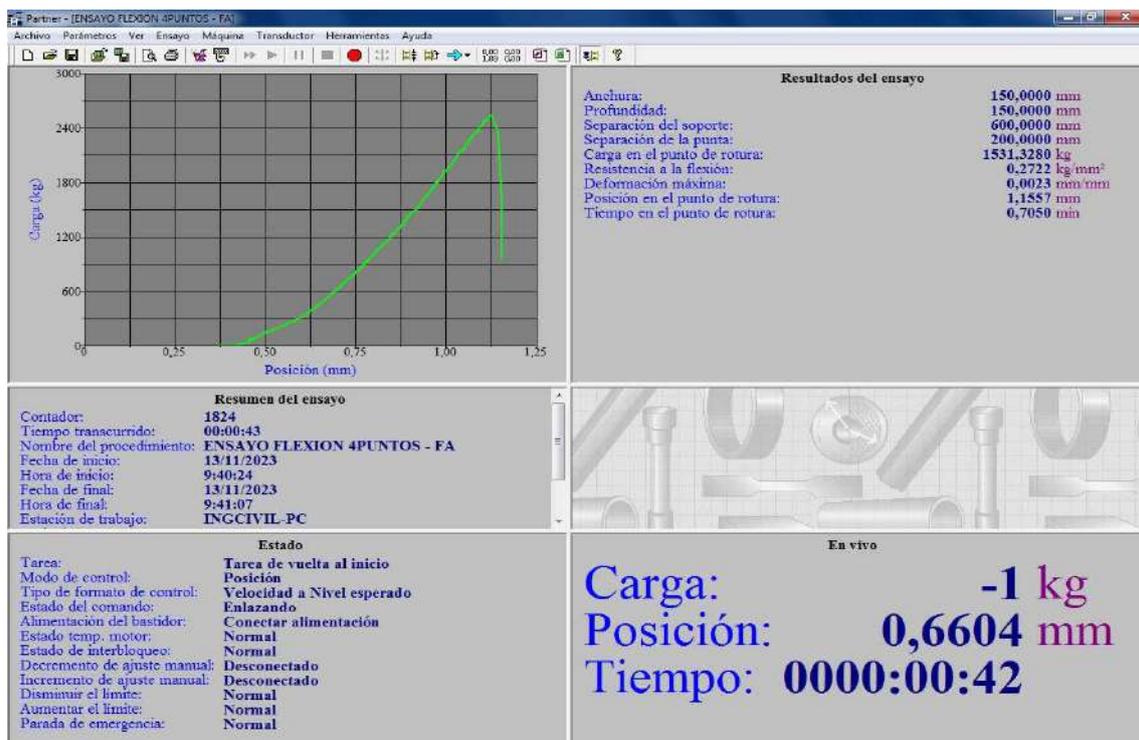
Imágenes de los Resultados del Ensayo a Flexión de las Vigas de Concreto con 7.5% de Contenido de cenizas en la Maquina Universal





Anexo V

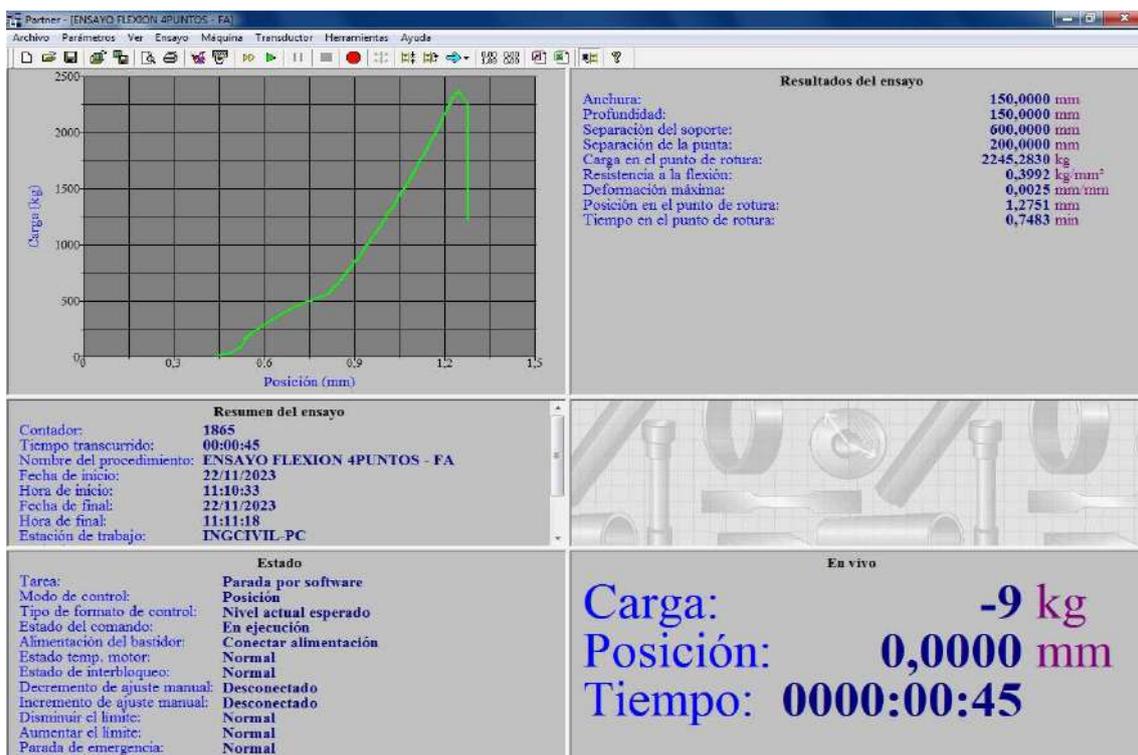
Imágenes de los Resultados del Ensayo a Flexión de las Vigas de Concreto con 10% de Contenido de cenizas en la Máquina Universal

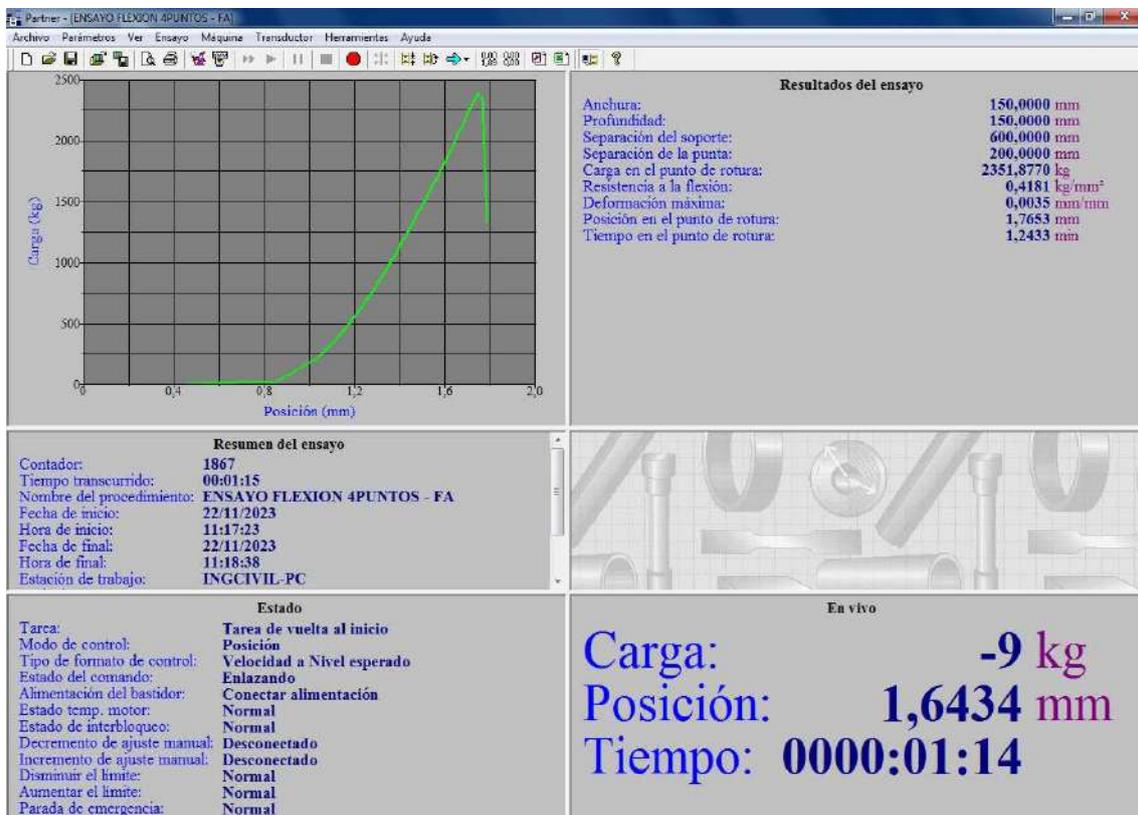




Anexo W

Imágenes de los Resultados del Ensayo a Flexión de las Vigas de Concreto con 12.5% de Contenido de cenizas en la Maquina Universal





Anexo X

Imágenes de los Resultados del Ensayo a Flexión de las Vigas de Concreto con 15% de Contenido de cenizas en la Maquina Universal



