UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DEL CONCRETO ADICIONANDO CENIZA DE TALLO Y ESPIGA DE CEBADA PARA REDUCIR EL PORCENTAJE DE CEMENTO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTOR

JOSÉ EDUARDO MEJIA ZULUETA

Chota, Perú

2020

FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y nombres: Mejia Zulueta José Eduardo
Código del alumno**:2014050147**
Teléfono:931125142
Correo electrónico: 2014050147@unach.edu.pe DNI:76524967

2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

( ) Trabajo de investigación ( ) Trabajo de suficiencia profesional
( ) Trabajo académico (x) Tesis

3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

( ) Bachiller ( ) Licenciado (x) Título
( ) Magister ( ) Segunda especialidad ( ) Doctor

4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

EVALUACIÓN DEL CONCRETO ADICIONANDO CENIZA DE TALLO Y ESPIGA DE CEBADA PARA REDUCIR EL PORCENTAJE DE CEMENTO

5. FACULTAD DE: CIENCIAS DE LA INGENIERIA
6. ESCUELA PROFESIONAL DE: INGENIERIA CIVIL
7. ASESOR:

Apellidos y Nombres: Mg.Ing. Claudia Emilia Benavidez Núñez Teléfono:959008297
Correo electrónico: cebenavidezn@unach.pe D.N.I: 70609688

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de, Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por el presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

FIRMA:
DNI. 76524967

Fecha, 09 de agosto del 2021

EVALUACIÓN DEL CONCRETO ADICIONANDO CENIZA DE TALLO Y ESPIGA DE CEBADA PARA REDUCIR EL PORCENTAJE DE CEMENTO

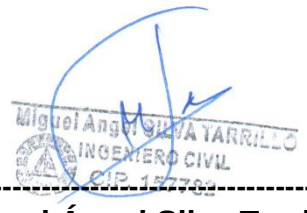
POR:

JOSÉ EDUARDO MEJIA ZULUETA

Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título de

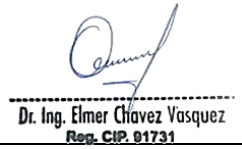
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR



Miguel Ángel Silva Tarrillo

PRESIDENTE



Elmer Chávez Vásquez

SECRETARIO

Luis Fernando Romero Chuquilín

VOCAL

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme culminar mi carrera profesional, por darme salud y por todas sus bendiciones para lograr un sueño, hoy hecho realidad.

A mis padres y hermanos por todo el amor, compresión y confianza infinita.

A mi asesora, Ing. Claudia Benavidez Núñez por su comprensión, sabiduría, esfuerzo y apoyo incondicional para lograr el éxito de mi tesis.

A los responsables del laboratorio de materiales de nuestra escuela profesional, Ings. Alex Ricardo Cieza Silva y José Miguel Cieza Silva, por depositar su confianza en mi persona, y por todo el apoyo brindado en la realización de la presente investigación.

A mis compañeros de promoción y amigos, por compartir sus conocimientos y experiencias. A todos los colaboradores quienes de forma directa e indirecta estuvieron inmersos en el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A Dios por su gracia, bendición y protección que día a día me iluminó para concluir mis estudios universitarios.

A mis padres: Carlos Gilmer Mejia Vargas y María Clariza Zulueta Cadenillas, pilares fundamentales en mi vida, quienes, con sus consejos, apoyo y mucho amor me dieron las fuerzas para seguir adelante y formarme como una persona de bien.

A mis hermanos: Jhean Carlos y Jhack Danñer Mejia Zulueta, por sus alegrías compartidas.

A mis tíos consanguíneos, amigos y familiares que en todo momento estuvieron para aconsejarme y apoyarme durante mi época universitaria.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO..... 5

2.1. Antecedentes..... 5

2.1.1. Antecedentes internacionales..... 5

2.1.2. Antecedentes nacionales..... 6

2.1.3. Antecedentes regionales..... 8

2.2. Bases conceptuales..... 9

2.2.1. Ceniza de tallo y espiga de cebada..... 9

2.2.2. Ceniza..... 9

2.2.3. Propiedades de las cenizas..... 10

2.2.4. Concreto..... 12

2.2.5. Cemento portland..... 12

2.2.6. Cemento portland puzolánico..... 13

2.2.7. Puzolanas..... 14

2.2.8. Agua..... 15

2.2.9. Agregados..... 16

2.2.10. Propiedades de los agregados..... 17

2.2.11. Diseño de mezclas..... 19

2.2.12. Ensayos al concreto..... 20

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO..... 26

3.1. Ámbito de estudio..... 26

3.2. Diseño de investigación..... 29

3.3. Población y muestra 31

3.3.1. Población 31

3.3.2. Muestra 31

3.4. Operacionalización de variables 33

3.4.1. Variable independiente 33

3.4.2. Variable dependiente 33

3.5. Descripción de la metodología 35

3.6. Procesamiento y análisis de datos 36

3.6.1. Procesamiento de datos 36

3.6.2. Análisis de datos 39

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 40

4.1. Resultados 40

4.1.1. Propiedades físico-químicas de la ceniza de tallo y espiga de cebada 40

4.1.2. Propiedades físico-mecánicas del agregado grueso 44

4.1.4. Diseño de mezclas 54

4.1.5. Ensayos a la mezcla de concreto 60

4.1.6. Ensayo de compresión a los especímenes de concreto 63

4.1.7. Ensayo de flexión a los especímenes de concreto 80

4.1.8. Comparación de las propiedades mecánicas del concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada 91

4.1.9. Comparación del costo del concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada y el concreto base 93

4.2. Discusión de resultados 98

4.2.1. Propiedades de la ceniza, agregado fino y agregado grueso 98

4.2.2. Diseño de mezclas del concreto 101

4.2.3. Propiedades mecánicas del concreto 102

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 105

5.1. Conclusiones..... 105

5.2. Recomendaciones..... 107

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 108

CAPÍTULO VII. ANEXOS 115

Anexo N° 1. Matriz de consistencia. 115

Anexo N° 2: Panel fotográfico 116

Anexo N° 3: Documentación 126

Anexo N° 4: Resultados de los ensayos físico-químicos de las cenizas de tallo y espiga de cebada 147

Anexo N°5: Resultados de los ensayos físico-mecánicos de los agregados 135

Anexo N° 6: Diseño de mezclas 149

Anexo N° 7: Resultado de los ensayos al concreto 151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Riquitos químicos de la ceniza de acuerdo a los especificado en la norma ASTM C618-08 11

Tabla 2. Cantidad de ensayos en cenizas de cebada 31

Tabla 3. Proporciones de cemento – ceniza de tallo y espiga de cebada para la elaboración de concreto f'c= 210 kg/cm2 32

Tabla 4. Cantidad de especímenes para ensayo a compresión 32

Tabla 5. Cantidad de especímenes para ensayo a flexión 32

Tabla 6. Cantidad de especímenes totales 32

Tabla 7. Cuadro de operacionalización de variables 34

Tabla 8. Composición química de las cenizas de cebada estudiadas 41

Tabla 9. Granulometría de las muestras de agregado grueso 44

Tabla 10. Granulometría de las muestras de agregado fino 49

Tabla 11. Propiedades de los componentes del concreto 54

Tabla 12. Proporcionamiento de diseño f'c= 210 kg/cm2. 57

Tabla 13. Presentación del diseño en cada porcentaje de sustitución 58

Tabla 14. Proporcionamiento para cada diseño 58

Tabla 15. Resumen de las propiedades del concreto en estado no endurecido 60

Tabla 16. Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 0% de ceniza 64

Tabla 17. Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 5% de ceniza 66

Tabla 18. Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 10% de ceniza 68

Tabla 19. Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 15% de ceniza 70
Tabla 20. Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 20% de ceniza 72
Tabla 21. Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 25% de ceniza 75
Tabla 22. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 0% de ceniza 80
Tabla 23. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 5% de ceniza 81
Tabla 24. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 10% de ceniza 83
Tabla 25. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 15% de ceniza 84
Tabla 26. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 20% de ceniza 86
Tabla 27. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 25% de ceniza 87
Tabla 28. Propiedades mecánicas del concreto al adicionar ceniza de tallo espiga de cebada 91
Tabla 29. Estimación del costo del m3 de ceniza de tallo y espiga de cebada.. 93
Tabla 30. Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada 94
Tabla 31. Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada 94
Tabla 32. Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 10% de ceniza de tallo y espiga de cebada 94

Tabla 33. Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 15% de ceniza de tallo y espiga de cebada 95
Tabla 34. Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 20% de ceniza de tallo y espiga de cebada 95
Tabla 35. Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada 95
Tabla 36. Costo/beneficio del concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada en remplazo del peso del cemento 97
Tabla 37. Comparación de las propiedades de las cenizas obtenidas en diferentes estudios..... 99
Tabla 38. Comparación de las propiedades de los agregados fino y grueso obtenidas en diferentes estudios 100
Tabla 39. Comparación de las proporciones de mezcla obtenidas en diferentes estudios 101
Tabla 40. Comparación de la resistencia a la compresión a los 28 días, obtenidas en diferentes estudios 103
Tabla 41. Comparación de la resistencia a la flexión a los 28 días, obtenidas en diferentes estudios..... 103
Tabla 42. Resumen de resultados para el porcentaje óptimo de sustitución de ceniza de tallo y espiga de cebada en remplazo del cemento..... 104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento del sector construcción en el mundo 1
Figura 2. Residuos de cebada 2
Figura 3. Producción de cebada en Perú 3
Figura 4. Producción de cebada en Cajamarca 3
Figura 5. Componentes de la cebada 9
Figura 6. Clasificación según su composición química. 10
Figura 7. Componentes del concreto 12
Figura 8. Principales elementos químicos del cemento 12
Figura 9. Componentes del cemento portland 13
Figura 10. Tipos de cemento portland 13
Figura 11. Propiedades de los cementos puzolánicos 14
Figura 12. Tipos de cementos adicionales 14
Figura 13. Tipos de uso del agua en la elaboración de concreto 15
Figura 14. Tipos de agregados 16
Figura 15. Funciones del agregado en el concreto 16
Figura 16. Proceso para el diseño de mezclas de concreto 19
Figura 17. Procedimiento para determinar la temperatura 20
Figura 18. Procedimiento para determinar la densidad 20
Figura 19. Dispositivo para determinar el contenido de aire 21
Figura 20. Procedimiento para determinar el asentamiento 22
Figura 21. Ensayo de resistencia a la compresión 23
Figura 22. Diagrama de un dispositivo para ensayar a flexión 24
Figura 23. Provincia de Chota 26
Figura 24. Distrito de Conchán 27
Figura 25. Ubicación de la cantera Conchán 27

Figura 26. Distrito de Chota 28
Figura 27. Ubicación de la cantera Cuyumalca 28
Figura 28. Tipo de investigación 29
Figura 29. Diseño de investigación: Descriptivo 30
Figura 30. Forma y dimensión de especímenes 31
Figura 31. Metodología descriptiva 35

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva granulométrica de la ceniza de tallo y espiga de cebada..... 40

Gráfico 2. Peso específico de la ceniza de tallo y espiga de cebada 41

Gráfico 3. Composición química de la ceniza de tallo y espiga de cebada..... 42

Gráfico 4. Clasificación de la ceniza de cebada según los valores de la composición química de acuerdo con la ASTM C618-08. 43

Gráfico 5. Contenido de humedad del agregado grueso 44

Gráfico 6. Curva granulométrica del agregado grueso 45

Gráfico 7. Cantidad de agregado grueso que pasa tamiz # 200..... 46

Gráfico 8. Peso específico del agregado grueso..... 46

Gráfico 9. Absorción del agregado grueso 47

Gráfico 10. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso..... 47

Gráfico 11. Abrasión del agregado grueso..... 48

Gráfico 12. Contenido de humedad del agregado fino 49

Gráfico 13. Curvas granulométricas del agregado fino..... 50

Gráfico 14. Módulo de fineza del agregado fino..... 51

Gráfico 15. Cantidad de agregado fino que pasa tamiz # 200..... 51

Gráfico 16. Peso específico del agregado fino..... 52

Gráfico 17. Absorción del agregado fino 52

Gráfico 18. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino..... 53

Gráfico 19. Proporción de ceniza en kg para una bolsa de cemento..... 59

Gráfico 20. Proporción de ceniza en bolsas de cemento 59

Gráfico 21. Asentamiento (pulg) de la mezcla..... 60

Gráfico 22. Temperatura (°C) de la mezcla..... 61

Gráfico 23. Contenido de aire de la mezcla 62

Gráfico 24. Densidad (gr/cm3) de la mezcla 63

Gráfico 25. Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D0 64
Gráfico 26. Variación de la resistencia a la compresión – D0 65
Gráfico 27. Promedio de la resistencia a la compresión – D0 65
Gráfico 28. Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D1 66
Gráfico 29. Variación de la resistencia a la compresión – D1 67
Gráfico 30. Promedio de la resistencia a la compresión – D1 67
Gráfico 31. Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D2 68
Gráfico 32. Variación de la resistencia a la compresión – D2 69
Gráfico 33. Promedio de la resistencia a la compresión – D2 69
Gráfico 34. Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D3 70
Gráfico 35. Variación de la resistencia a la compresión – D3 71
Gráfico 36. Promedio de la resistencia a la compresión – D3 72
Gráfico 37. Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D4 73
Gráfico 38. Variación de la resistencia a la compresión – D4 74
Gráfico 39. Promedio de la resistencia a la compresión – D4 74
Gráfico 40. Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D5 75
Gráfico 41. Variación de la resistencia a la compresión – D5 76
Gráfico 42. Promedio de la resistencia a la compresión – D5 77
Gráfico 43. Resistencia a la compresión promedio de los especímenes a los 7, 14 y 28 días 78
Gráfico 44. Variación de la resistencia a la compresión promedio de los especímenes elaborados con ceniza de tallo y espiga 79
Gráfico 45. Variación de la resistencia a la flexión – D0 80
Gráfico 46. Promedio de la resistencia a la flexión – D0 81
Gráfico 47. Variación de la resistencia a la flexión – D1 82
Gráfico 48. Promedio de la resistencia a la flexión – D1 82
Gráfico 49. Variación de la resistencia a la flexión – D2 83

Gráfico 50. Promedio de la resistencia a la flexión – D2 84
Gráfico 51. Variación de la resistencia a la flexión – D3..... 85
Gráfico 52. Promedio de la resistencia a la flexión – D3 85
Gráfico 53. Variación de la resistencia a la flexión – D4..... 86
Gráfico 54. Promedio de la resistencia a la flexión – D4 87
Gráfico 55. Variación de la resistencia a la flexión – D5..... 88
Gráfico 56. Promedio de la resistencia a la flexión – D5 88
Gráfico 57. Resistencia a la flexión promedio de los especímenes a los 7, 14 y 28 días..... 89
Gráfico 58. Variación de la resistencia a la flexión promedio de los especímenes elaborados con ceniza de tallo y espiga 90
Gráfico 59. Porcentaje óptimo de sustitución de ceniza de cebada en los especímenes de concreto para f'c= 210 kg/cm2 92
Gráfico 60. Costo de materiales por 1 m3 de concreto con 0%, 5%10%,15%. 20% y 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada en remplazo del peso de cemento..... 96
Gráfico 61. Costo/beneficio del concreto 97

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue “Evaluar el concreto adicionando ceniza de tallo y espiga de cebada para reducir el porcentaje de cemento”, para ello, el estudio descriptivo contó con una muestra de 144 especímenes, 72 cilíndricos y 72 prismáticos, elaborados con porcentajes de sustitución de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% del peso del cemento. Se realizó la caracterización físico-química de la ceniza de tallo y espiga de cebada, clasificándose en el grupo F. La arena de la cantera Conchán y la piedra chancada de la cantera Cuyumalca, cumplen parcialmente las especificaciones de la NTP 400.037. Se realizó un diseño de mezcla para una resistencia f’c= 210 kg/cm2, diseño base, que fue variado según los porcentajes de sustitución, para analizar las características del concreto en estado no endurecido y endurecido. La trabajabilidad y peso específico del concreto disminuye conforme al mayor porcentaje de sustitución de ceniza de tallo y espiga de cebada. La mayor resistencia a la compresión y flexión fue 237.73 kg/cm2 y 67.95 kg/cm2 alcanzada por los especímenes con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada. El costo de los materiales para 1 m3 de concreto convencional es S/. 270.75, pero un concreto con 5% de ceniza de cebada tendría un costo estimado de S/. 262.15. Por lo tanto, el concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada al 5% de sustitución del peso del cemento, presenta mayor beneficio técnico-económico que el concreto convencional.

Palabras clave: Caracterización físico-química, puzolana, diseño de mezcla, compresión, flexión, costo unitario.

ABSTRACT

The objective of the investigation was "To evaluate the concrete adding stem ash and barley spike to reduce the cement percentage", for that, the descriptive study had a sample of 144 specimens, 72 cylindrical and 72 prismatic, elaborated with substitution percentages of 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 25% of the cement weight. It was carried out the physical-chemical characterization of the ash of stem and spike of barley, being classified in group F. The sand from Conchán quarry and the crushed stone from Cuyumalca quarry, partially fulfill the specifications of NTP 400.037. A mix design was made for a resistance f'c= 210 kg/cm2, base design, which was varied according to the substitution percentages, to analyze the characteristics of the concrete in non-hardened and hardened state. The workability and specific weight of the concrete decreases according to the higher percentage of substitution of stem ash and barley spike. The highest compressive and flexural strength was 237.73 kg/cm2 and 67.95 kg/cm2 reached by the specimens with 5% stem ash and barley spike. The cost of materials for 1 m3 of conventional concrete is S/. 270.75, but a concrete with 5% barley ash would have an estimated cost of S/. 262.15. Therefore, concrete with stem ash and barley spike at 5% of the cement weight substitution, presents a greater technical-economic benefit than conventional concrete.

Keywords: Physical-chemical characterization, pozzolan, mix design, compression, bending, unit cos.

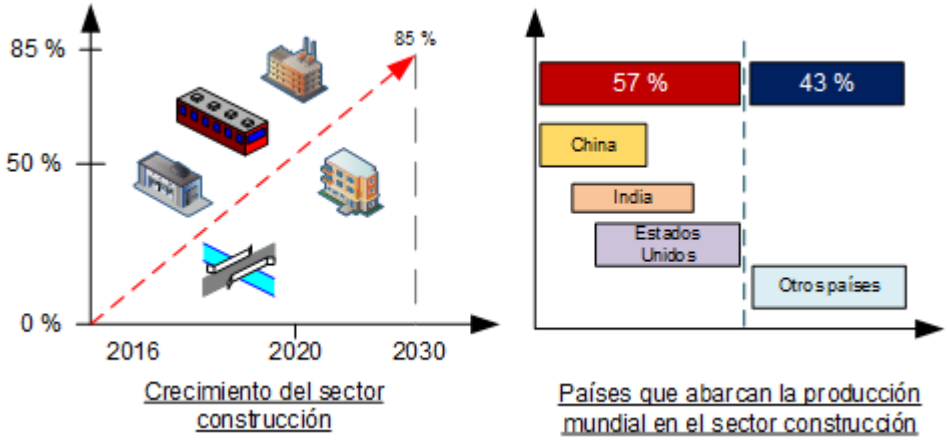
CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

El sector construcción en un futuro tendrá un aumento del 85%, que para el año 2030 se manifestará en un incremento de US$8 000 a US$15 500 millones (Pedrosa, 2016), aumentando también la demanda de cemento y materias primas, “El cemento Portland tipo 1 es el más utilizado en obras de ingeniería y está constituido a base de clinker y yeso” (UMACOM, 2017), pero su producción ha generado la emisión de contaminantes, “En el 2016 se produjo una emisión de 2 200 millones de Tn de CO2” (Rodgers, 2018).

Figura 1.

Crecimiento del sector construcción en el mundo



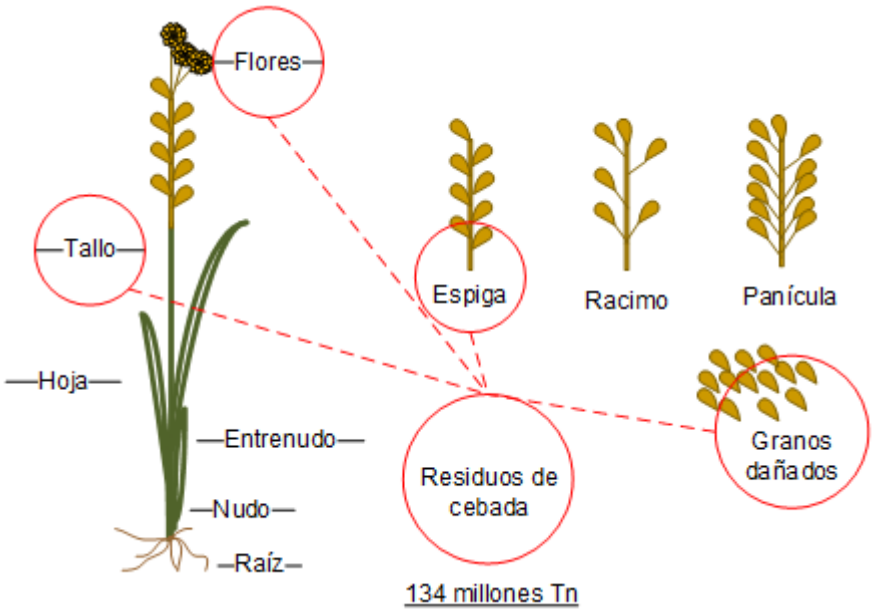
Nota: Adaptado de (Pedrosa, 2016).

Es por eso que en la actualidad surge un notable interés en la búsqueda de materiales cementantes que permitan mejorar la resistencia mecánica, la respuesta al ataque de los ácidos, y que favorezcan ciertas propiedades funcionales del concreto como la conductividad eléctrica, el apantallamiento contra la radiación electromagnética, y la radiación ionizada, entre otras. (Residuos Profesional, 2017)

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), la cebada es el cuarto cereal más cosechado en el mundo, con una producción mundial de 156.6 millones de Tn; pero que para su producción deja residuos entre tallo, cáscara, granos dañados, flores y otros elementos (Rojas et al., 2014). La ceniza de tallo de cereales como el maíz, cebada u otros, es considerada como un material puzolánico, compuesto por un alto porcentaje de SiO2 y Al2O3, que al unirlo con el CaO genera un material eficientemente cementante. (Galicia y Velásquez, 2016)

Figura 2.

Residuos de cebada



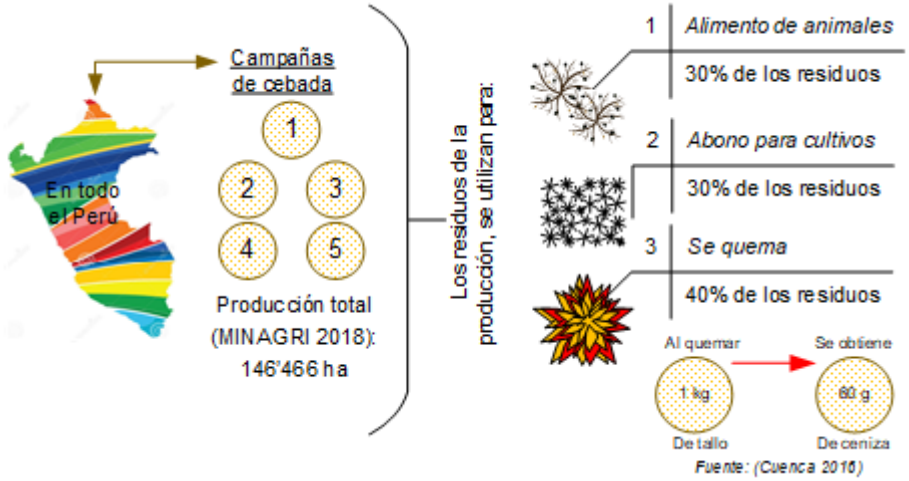
Nota: Adaptado (Rojas et al., 2014).

A nivel nacional, la cebada es uno de los productos agrícolas más cultivados. En todo el Perú se llegó a sembrar en promedio de las 5 últimas campañas, una cantidad de 146 466 ha (MINAGRI, 2018), sin embargo, la producción de cebada genera residuos, mismos que los agricultores suelen utilizar como alimento para animales, abono y otros tienden a quemarlo en los

campos de cultivo, “La cantidad de ceniza que se produce al quemar los tallos de la cebada, es de 60 g por cada kg” (Cuenca, 2016).

Figura 3.

Producción de cebada en Perú

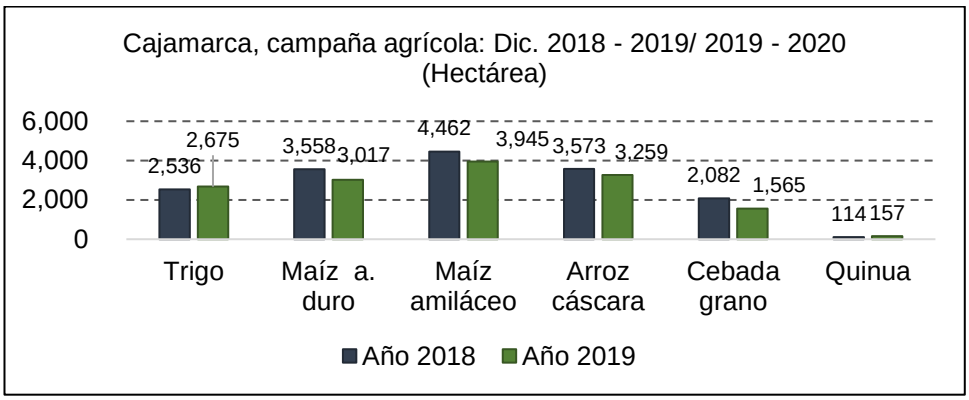


Nota: Adaptado (MINAGRI, 2018).

Los cereales más cultivados en la región Cajamarca, son trigo, maíz duro, maíz amiláceo, arroz y cebada grano (MINAGRI, 2020). Se siembran Tn de cebada, que al llegar la planta a la madures, los granos son captados y el tallo descartado y con los cambios de temperatura se descompone, desperdiciando materia prima que puede convertirse en ceniza para remplazar al cemento.

Figura 4.

Producción de cebada en Cajamarca



Nota: Adaptado (MINAGRI, 2020).

Chota es una provincia dedicada a la agricultura, donde el sembrío de cebada es constante durante el año, por lo tanto, también se produce una gran cantidad de residuos en tallo y espiga, que son quemados e inutilizados, generando contaminantes por la mala disposición de la ceniza, aun cuando esta tiene componentes puzolánicos que pueden ser aprovechados como una alternativa para la creación de mezclas de concreto.

Por todo lo antes mencionado, el problema que se buscó responder fue: ¿Cuál es el resultado de la evaluación del concreto adicionando ceniza de tallo y espiga de cebada para reducir el porcentaje de cemento?, con ello se verificó la hipótesis: “El concreto adicionando ceniza de tallo y espiga de cebada mejora las propiedades del concreto al reducir el porcentaje de cemento en el diseño de mezcla”. El objetivo general fue “*Evaluar el concreto adicionando ceniza de tallo y espiga de cebada para reducir el porcentaje de cemento*”; así mismo los objetivos específicos fueron:

- Realizar estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, agregado fino de la cantera de Conchán y piedra chancada de la cantera de Cuyumalca que se utilizaran en el diseño de mezcla.
- Realizar mezclas de concreto adicionando ceniza de tallo y espiga de cebada a partir del diseño de mezcla convencional.
- Comparar las propiedades mecánicas del concreto al adicionar ceniza de tallo y espiga de cebada para reducir el porcentaje de cemento respecto a un concreto convencional f’c=210kg/cm2.

La investigación se justificó debido a que los resultados muestran la variación de las peculiaridades del concreto al remplazar el cemento por ceniza de cebada, además el presente informe servirá como elemento de consulta para estudiantes, ingenieros proyectistas e investigadores.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Rodríquez y Tibabuzo (2019) en su estudio “Evaluación de la ceniza de cascarilla de arroz como suplemento al cemento en mezclas de concreto hidráulico”, determinaron que con una adecuada quema de la cascarilla de arroz se puede producir ceniza con un porcentaje importante de sílice, que al ser adicionadas en remplazo del 10% de cemento, logran un incremento significativo en la trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto en 15%.

Hidalgo (2018) como parte de su investigación “Evaluación de la reactividad puzolánica de la ceniza de paja de arroz” estudió la ceniza de paja de arroz como posible material puzolánico para su uso como adición en mezclas. El autor determinó las peculiaridades de la ceniza de paja de arroz, como: granulometría, cloruros solubles y difracción de rayos x, además realizó pruebas de su remplazo al cemento en porcentajes para ensayos de dureza, con lo cual, llegó a la conclusión que los porcentajes óptimos de adición son 20 y 25%.

Este estudio fue de suma importancia para definir la metodología empleada y los beneficios que trae el remplazo del cemento con residuos orgánicos convertidos en ceniza, ya sea de arroz o de cebada

Castaño y Trigos (2017) plantearon el “Diseño estructural de concreto con desechos orgánicos, específicamente la cascarilla de arroz como sustituto parcial del cemento”. Concluyeron que el concreto con

10% de cascarilla de arroz en remplazo del peso del cemento, ofrece resistencias favorables para morteros de acabados.

Camacho y Guerrero (2017) en su investigación “Obtención de sílice a partir de bagazo de cebada para la aplicación en concreto convencional” obtuvieron material silicio a partir del tratamiento de bagazo de cebada para su aplicación en la producción de concreto convencional. Los autores trataron el bagazo de cebada a 900°C, con la ceniza obtenida remplazaron al cemento. Concluyeron que la adicción optima es de 0.5%, con una resistencia de 21.61 MPa.

El antecedente muestra las peculiaridades de la ceniza de cebada y el remplazo de cemento por dicho compuesto, obteniendo buenos resultados.

Orrala y Gómez (2015) realizaron un “Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de puzolana obtenida de la calcinación de residuos del cultivo de maíz producido en la provincia de Santa Elena”. Elaboraron especímenes f’c= 280 kg/cm2 con 0%, 5%, 10% y 15% de cenizas de maíz como sustituto parcial del cemento Portland en peso. Concluyendo que el concreto con 10% de cenizas presenta mayores resistencias y menor costo de elaboración que el concreto convencional.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Muñoz (2017) realizó un “Estudio comparativo de concreto elaborado con puzolana natural y concreto con cementos puzolánicos Atlas en la ciudad de Huancayo”. Elaboró probetas con el diseño de concreto patrón y con adiciones de 10%, 20% y 30% en peso de sustitución parcial del contenido de cemento en la misma cantidad.

Concluyendo que para un 10% de sustitución se obtiene mayor resistencia y menor costo que los concretos puzolánicos Atlas.

Morales (2019), en su tesis “Resistencia a compresión del mortero sustituyendo en 5% y 10 % de cemento por cenizas de paja de cebada”, sustituyo el 5 % y 10% del peso de cemento por las cenizas activadas de la paja secas de cebada en la ciudad de Chimbote. El autor concluyó que las muestras patrones alcanzaron una resistencia a la compresión (f’c) 354.67, las muestras experimentales sustituyendo 5 y 10%, f’c 316.33 y 238 kg/cm2 respectivamente.

Elemento de comparación por las pruebas realizadas a la ceniza de cebada y a los especímenes de concreto.

Lencinas e Incahuanco (2017), en su estudio “Evaluación de mezclas de concreto con adiciones de ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento portland puzolanico IP en la Zona Altiplánica” determinaron la influencia de las peculiaridades físicas (slump) y mecánicas (f’c) en mezclas de concreto con el uso de ceniza de paja de trigo como sustituto del cemento. La resistencia varió en 0.54% con 2.5% de ceniza, concluyendo que la utilización de la ceniza de trigo es más económica que un concreto convencional.

Este estudio representó un aporte significativo para la definición de una dosificación óptima.

Acuña y Caballero (2018), en su tesis “Resistencia a la compresión y flexión de un concreto estructural mediante la sustitución parcial del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) – San Jacinto”, determinaron que la utilización de 5%, 10% y 15% de ceniza influye en la resistencia del concreto, siendo mayor solo para 5% de sustitución.

Galicia y Velásquez (2016) realizaron el “Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un concreto adicionado con ceniza de rastrojo de maíz elaborado con agregados de las canteras de Cunyac y Vicho con respecto a un concreto patrón de calidad f’c= 210 kg/cm2”. Los especímenes se elaboraron con 2.5%, 5% y 7.5% de ceniza de rastrojo de maíz respecto al peso del cemento, concluyendo que la adición del 5% mejora las propiedades resistentes a compresión y flexión, respecto a la muestra patrón.

2.1.3. Antecedentes regionales

Rimay (2017) en su tesis “Diseño de concreto fibroreforzado de f’C=250kg/cm2 con fibra vegetal en la ciudad de Jaén” determinó las particularidades del concreto reforzado con fibras vegetales (cascarilla de arroz). La adición óptima de cascarilla de arroz es de 10Kg/m^3, además se concluyó que la adición de cascarilla de arroz para la dosificación de 10kg/m3 y 20kg/m3 no afecta al módulo de elasticidad, para la dosificación de 30kg/m3 influye de una manera considerable en la disminución del módulo de elasticidad del concreto.

A nivel regional se han realizado estudios sustituyendo cemento por otros compuestos obteniéndose resultados óptimos que han sido contrastados.

Araujo (2019), en su tesis “Resistencia a la compresión del concreto, adicionando ceniza de bagazo de caña de azúcar, en reemplazo del agregado fino”, llegó a la conclusión que la compresión del concreto adicionando ceniza de cascarilla de arroz al 10%, alcanzó un f’c 294.74 kg/cm2, adicionando 15% de ceniza de cascarilla de arroz se obtuvo un f’c 283.51 kg/cm2 y al remplazar al 20% la ceniza por el cemento se obtuvo un f’c 237.96 kg/cm2 a los 28 días.

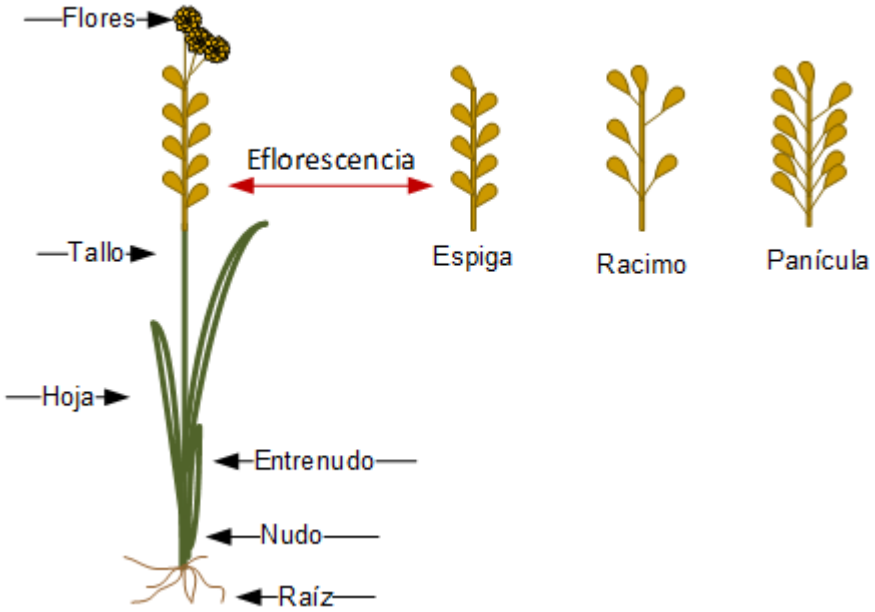
2.2. Bases conceptuales

2.2.1. Ceniza de tallo y espiga de cebada

El tallo de la cebada es recto, grueso y de un ancho aproximado de 0.5 cm, está conformado por unos 6 a 8 entrenudos, los cuales son ligeramente más gruesos en la parte central, la altura de los tallos depende mucho de la variedad de cebada, pero la longitud en todas oscila de medio a un metro. (Aguado, 1957)

Figura 5.

Componentes de la cebada



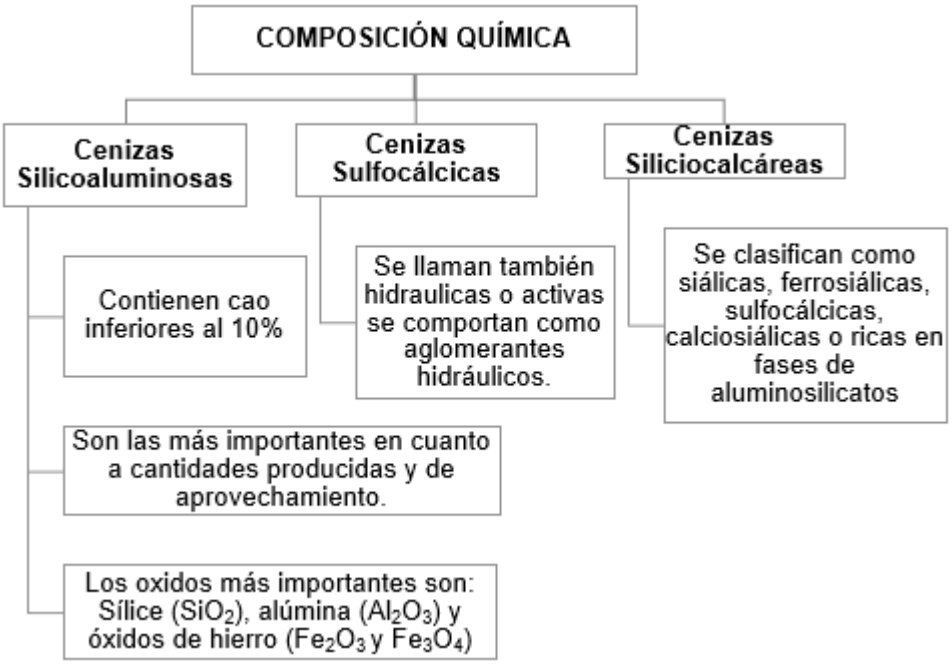
2.2.2. Ceniza

Las cenizas son los residuos de la combustión de carbón pulverizado en centrales térmicas. Los productos de esta combustión se subdividen en cenizas volantes y de hogar. Los primeros, son residuos volátiles obtenidos a lo largo del trayecto de los gases de la combustión del carbón que son evacuados por la chimenea de la caldera. (Ossa y Jorquera. 1984, p. 4)

Los componentes de la ceniza inherente se encuentran distribuidos de manera homogénea en el combustible y son mucho más móviles que los compuestos en la ceniza atrapada, por tanto, reaccionarán químicamente durante la combustión. (Melissari, 2012, p. 70)

Figura 6.

Clasificación según su composición química.



Nota: Coal y Ash, 2011

2.2.3. Propiedades de las cenizas

a. Humedad (%)

Para determinar el contenido de humedad se aplica el método indirecto por volatilización, el cual se basa en la separación del agua del alimento por secado en estufa a temperaturas superiores a 100°C. (Márquez, 2014)

$$\%Humedad = \frac{Ww}{Ws} x\ 100 \qquad \text{…. Fórmula (01)}$$

Donde: Ww= peso del agua existente en la masa de suelo, Ws= peso de la muestra seca.

b. Peso específico (γ)

El peso específico es la masa por la gravedad dividido en un volumen determinado por su masa (Idrogo, 2018). Su expresión de cálculo es:

$$\gamma = \frac{\omega}{V} = \frac{mg}{V} = pg \qquad \text{…. Fórmula (02)}$$

Donde: W= peso, V= volumen, p= densidad, g= gravedad

c. Composición química de las cenizas

La norma ASTM C618-08 clasifica las cenizas en: clasificación C y clasificación F. Que deben tener ciertos requisitos, la ceniza de clase C debe tener un 10% de óxido de calcio y la ceniza de clasificación F menor al 10%. Ajustándose a la clasificación la ceniza utilizada es de clase F. La siguiente tabla muestra los requisitos químicos de acuerdo a la norma. (Escobar, 2012)

Tabla 1.

Riquitos químicos de la ceniza de acuerdo a los especificado en la norma ASTM C618-08

Requisitos químicos	Ceniza clase		Ceniza volante
	F	C	TPN
Dióxido de Silicio (SiO2) + Oxido de Aluminio (Al2O3) + Oxido Férrico (Fe2O3), mínimo, %	70	50	94.5
Trióxido de azufre (SO3), máximo, %	5	5	Menor a 0.1
Contenido de humedad, máximo, %	3	3	Menor a 0.1
Pérdida por Ignición, máximo, %	6	6	1.8

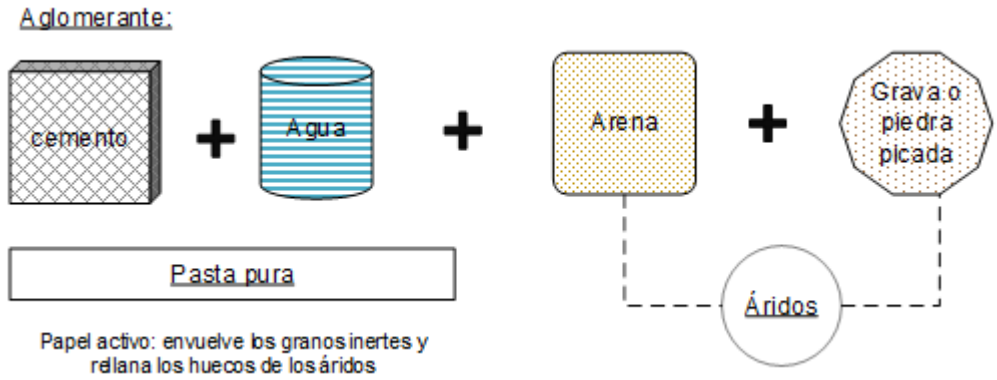
Nota: (Escobar, 2012, p. 72)

2.2.4. Concreto

Producto resultante de la mescla aglomerante que la fraguar y endurecer adquiere una resistencia similar a una roca . (López y Mamani, 2017)

Figura 7.

Componentes del concreto

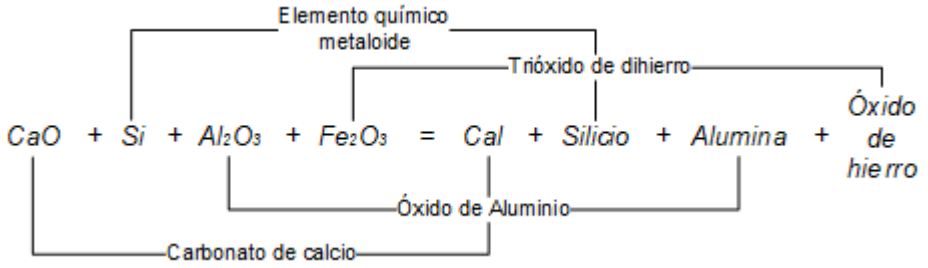


2.2.5. Cemento portland

Cualquier adhesivo o sustancia que se puede unir a arena y ripio, hasta formar una masa sólida. (Ochoa y Flores, 1994).

Figura 8.

Principales elementos químicos del cemento

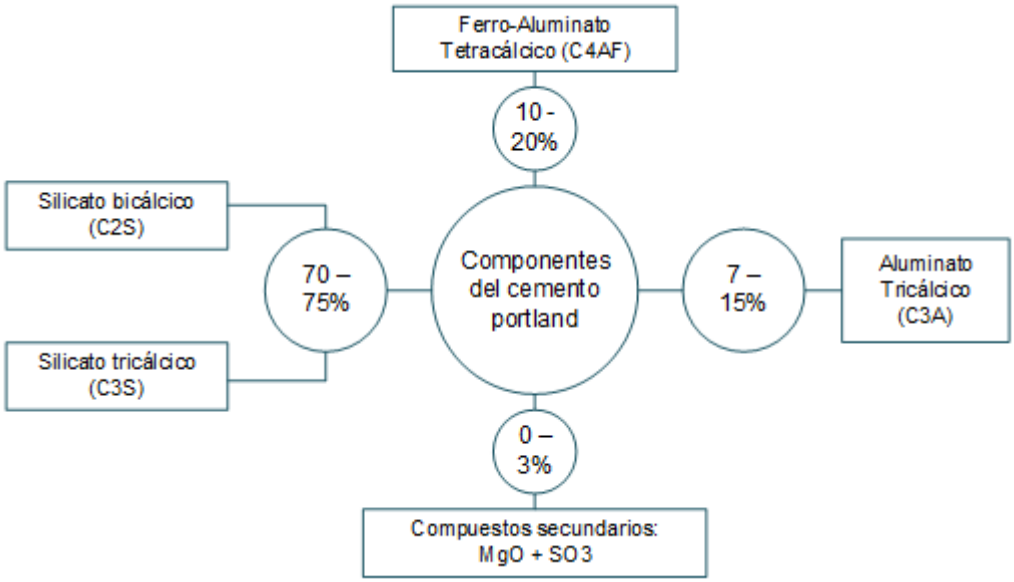


Nota: Adaptado de (Duda, 1977)

El cemento hidráulico es producido por la pulverización de clinker, conformado por calcio, silicio, aluminio y fierro. (Flores, 2018)

Figura 9.

Componentes del cemento portland

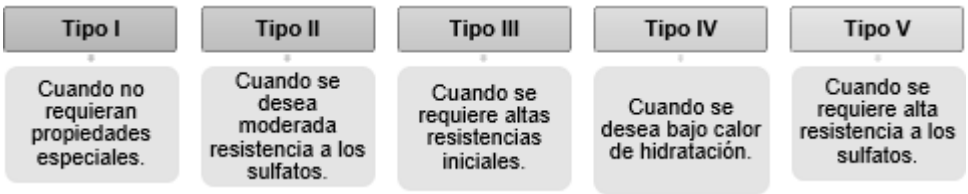


Nota: Adaptado de (Abreu, 2017)

Para la fabricación del cemento, se calientan (1400-1900°C) las materias primas finamente molidas hasta el principio de la fusión (Galicia y Velásquez, 2016, p. 15). De dicho proceso se obtienen:

Figura 10.

Tipos de cemento portland



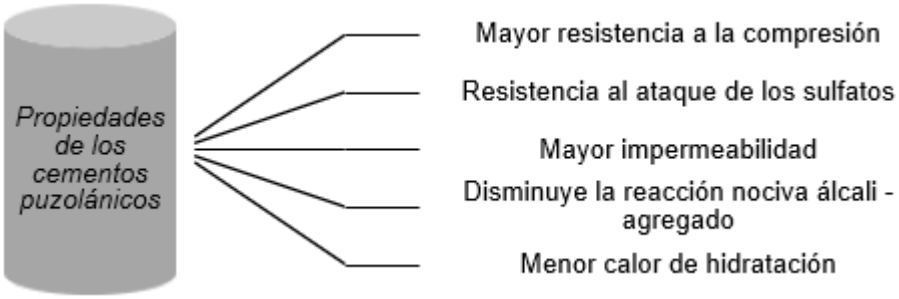
Nota: NTP 334.004 (INACAL, 2019)

2.2.6. Cemento portland puzolánico

Es la mescla del cemento portland y puzolana, al dar un producto de valor aglomerante, proporciona concretos mucho más resistentes. (García, 1957)

Figura 11.

Propiedades de los cementos puzolánicos

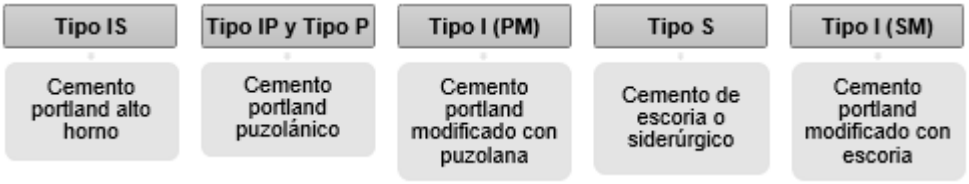


Nota: NTP 334.090 (INACAL, 2019)

La ASTM C 595 establece cinco clases principales de cementos adicionados:

Figura 12.

Tipos de cementos adicionales



Nota: (Sotomayor y Power, 2019)

2.2.7. Puzolanas

Materiales que, aunque no son conglomerantes por sí solos, tienen constituyentes que combinarán con la cal a temperatura ordinaria, y en presencia de agua, para formar compuestos insolubles y estables con propiedades conglomerantes (Soria, 1962, p. 49). El uso de materiales puzolánicos es una práctica bastante habitual en la preparación de morteros y hormigones (Payá et al., 2002, p. 2).

Índice de actividad puzolánica. La prueba para determinar el índice de actividad puzolánica es utilizada para determinar si las

puzolanas presentan niveles mínimos de resistencia cuando es utilizado en forma conjunta con cemento. (Luján, 2011, p. 2)

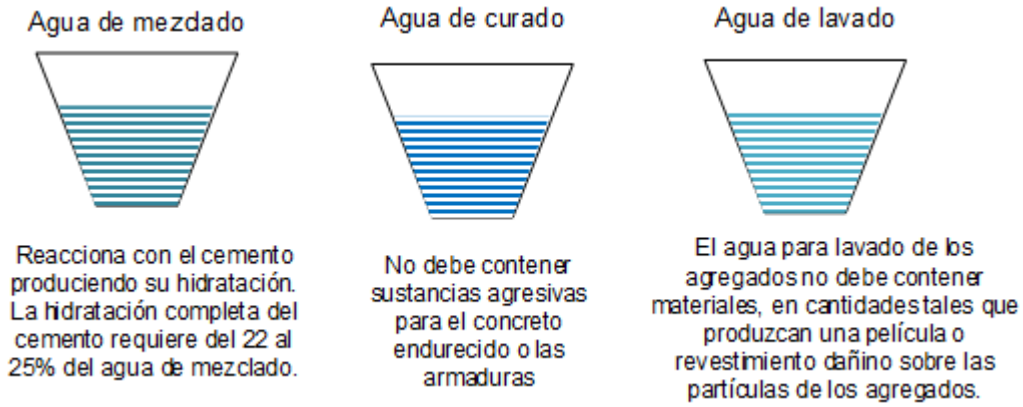
2.2.8. Agua

El agua en la elaboración de concreto puede usarse para el lavado de agregados, mezclado de los componentes y curado del mismo. Siendo importante resaltar entre las funciones del agua a la hidratación del cemento. (INACAL, 2019)

Hidratación es el conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, que llevan consigo el cambio del estado plástico al endurecido. (Galicia y Velásquez, 2016, p. 16)

Figura 13.

Tipos de uso del agua en la elaboración de concreto



Nota: Adaptado de NTP 339.088 (INACAL, 2019)

El agua es importante para hallar la relación agua-cemento

$$R = \frac{A}{C} \rightarrow \begin{matrix} Para \frac{A}{C} = 0.42 \; no \; sobra \; agua \; de \; hidratación \\ Para \frac{A}{C} < 0.42 \; queda \; cemento \; \text{sin} \; hidratar \end{matrix}$$

- A = masa del agua
- C= masa del cemento

2.2.9. Agregados

Conjunto de áridos, inertes o conglomerados, fragmentados o en granos que constituyen del 70 al 85% del peso de la mezcla de concreto. (Olarte, 2017)

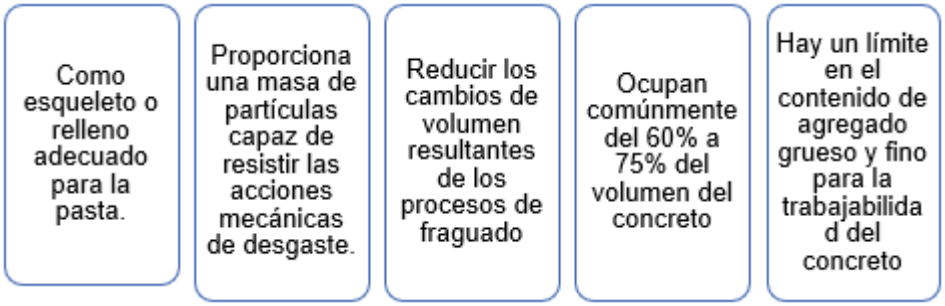
Figura 14.

Tipos de agregados

Nota: (Galicia y Velásquez, 2016, p. 18)

Figura 15.

Funciones del agregado en el concreto



Nota: Adaptado de NTP 400.037 (INACAL, 2018)

2.2.10. Propiedades de los agregados

a. Granulometría

La composición granulométrica del agregado nos permite conocer la distribución de tamaños en función a sus volúmenes, pero representados en función a sus pesos retenidos en mallas. (Lencinas e Incahuanco, 2017, p. 40)

Módulo de fineza del agregado fino. Representa un tamaño promedio ponderado del agregado. (Sánchez y Tapia, 2015, p. 27)

$$MF=\frac{\sum \%AcumuladosRetenidos(3'',11/2'',3/4'',3/8'',N°4,N°8,N°16,N°30,N°50,N°100)}{100}$$

…. Formula (03)

Tamaño máximo nominal del agregado grueso. Es el tamaño de la abertura del tamiz que produce el primer retenido del agregado. (Quevedo, 2013, p. 2)

b. Contenido de humedad

Según la NTP 339.185 es la cantidad de agua que posee el material en estado natural.

$$C.H = \frac{Peso\ seco - Peso\ humedo}{Peso\ seco} \times 100$$ ….Fórmula (04)

c. Peso específico

La NTP 400.022, establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del *agregado fino*.

$$Pe.m = \frac{Wms}{S-Va}$$ ….Fórmula (05)

$$Pe,m\ (S.S.S) = \frac{S}{S-Va}$$ ….Fórmula (06)

$$Pe.a = \frac{Wms}{[(S-Va)-(S-Wms)]}$$ ….Fórmula (07)

Donde:

- Pe.m= Peso específico de masa
- Pe,m(S.S.S)= Peso específico de masa saturada superficialmente seca
- Pe.a= Peso específico nominal o aparente
- Wms: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C.
- S: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca.
- Va: Volumen de agua añadida.

Según la NTP 400.021 , el *peso específico del agregado grueso* es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión).

d. Absorción

Capacidad que tiene AF para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura interna, al ser sumergidos (NTP 400.022) y en el caso del AG, contenido de humedad total interna de un agregado que está en la condición de saturado superficialmente seco (NTP 400.021).

$$\text{Abs} = \frac{\text{S}-\text{Wms}}{\text{Wms}}\text{X}100 \qquad \text{….Fórmula (08)}$$

- S: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.
- Wms: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C

e. Peso unitario

La NTP 400.017 nos menciona que el peso volumétrico o peso unitario del agregado, ya sea suelto o compactado, es el peso que alcanza un determinado volumen unitario.

- Peso unitario suelto (P.U.S.S)

$$P.U.S = \frac{Peso\ del\ material\ suelto}{Volumen\ del\ recipiente}$$ ….Fórmula (09)

- Peso unitario compactado: (P.U.C.S)

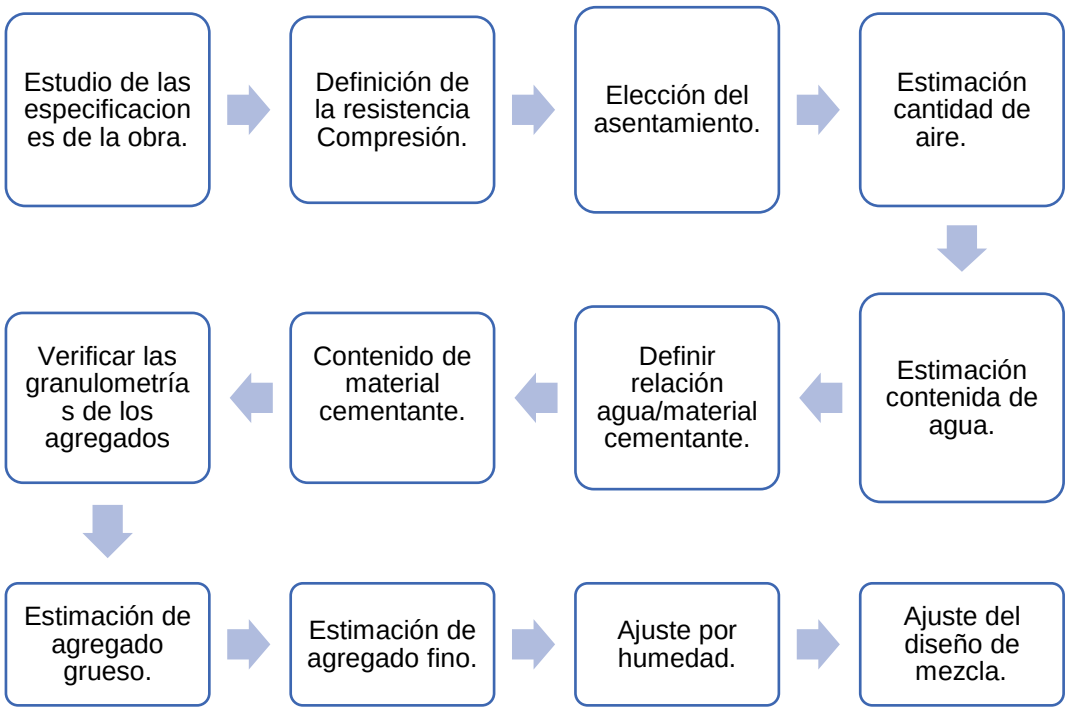
$$P.U.S = \frac{Peso\ del\ material\ compactado}{Volumen\ del\ recipiente}$$ ….Fórmula (10)

2.2.11. Diseño de mezclas

Es el cálculo de las proporciones adecuadas de cada uno de los materiales que integran la mezcla para satisfacer requerimientos específicos. (Vásquez, 2019)

Figura 16.

Proceso para el diseño de mezclas de concreto



Nota: (Castañeda, Sigüenza, Reyes y Minaya, 2017)

2.2.12. Ensayos al concreto

a. Ensayos en estado no endurecido

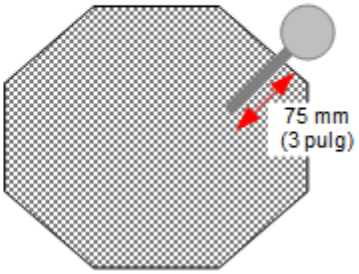
Temperatura de la mezcla (°C)

Figura 17.

Procedimiento para determinar la temperatura

1) Se debe colocar el dispositivo de medición de temperatura en la mezcla de concreto fresco.

2) El sensor debe estar sumergido un mínimo de 75 mm (3 pulg) por un tiempo mínimo de 2 min o hasta que la lectura se estabilice.



Nota: Adaptado de NTP 339.184 (INACAL 2018)

Densidad (Gr/m3)

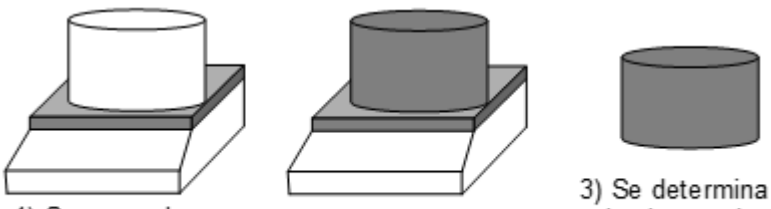
$$D = \frac{(M_c - M_m)}{V_m} \quad \text{....Fórmula (11)}$$

Donde:

- Mm= Masa del recipiente de medida
- Mc= Masa del recipiente de medida lleno de concreto
- Vm= Volumen de la medida

Figura 18.

Procedimiento para determinar la densidad



1) Se pesa el molde vacío

2) Se pesa el molde lleno de concreto

3) Se determina el volumen de concreto

Nota: Adaptado de NTP 339.046 (INACAL, 2019)

Contenido de aire (%)

$$A = A_R - C$$ ….Fórmula (12)

Donde:

- A= Contenido de aire %
- AR= Lectura final del medidor (%)
- C= Factor de corrección %

Figura 19.

Dispositivo para determinar el contenido de aire

Se utiliza la olla Washington para determinar la cantidad de aire que puede contener el concreto recién mezclado, excluyendo cualquier cantidad de aire que puedan contener las partículas de los agregados.

Nota: Adaptado de NTP 339.080 (INACAL, 2018)

Asentamiento (cm)

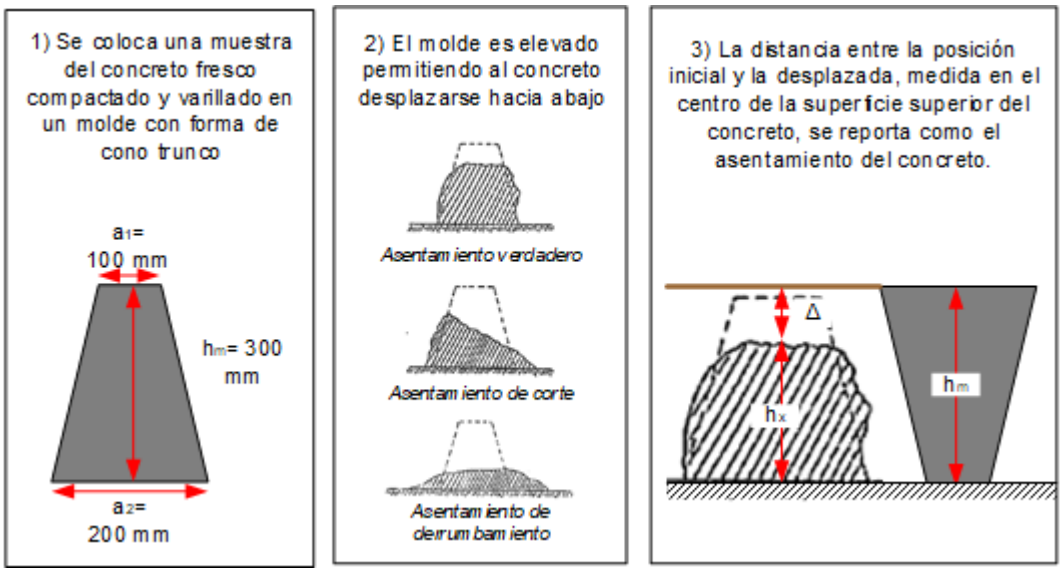
$$\Delta = h_m - h_x$$ ….Fórmula (13)

Donde:

- Δ= Asentamiento, distancia entre la posición inicial y la desplazada, medida en el centro de la superficie
- h_m= Altura del molde
- h_x= Altura alcanzada por la mezcla de concreto al retirar el molde

Figura 20.

Procedimiento para determinar el asentamiento



Nota: Adaptado de NTP 339.035 (INACAL, 2015)

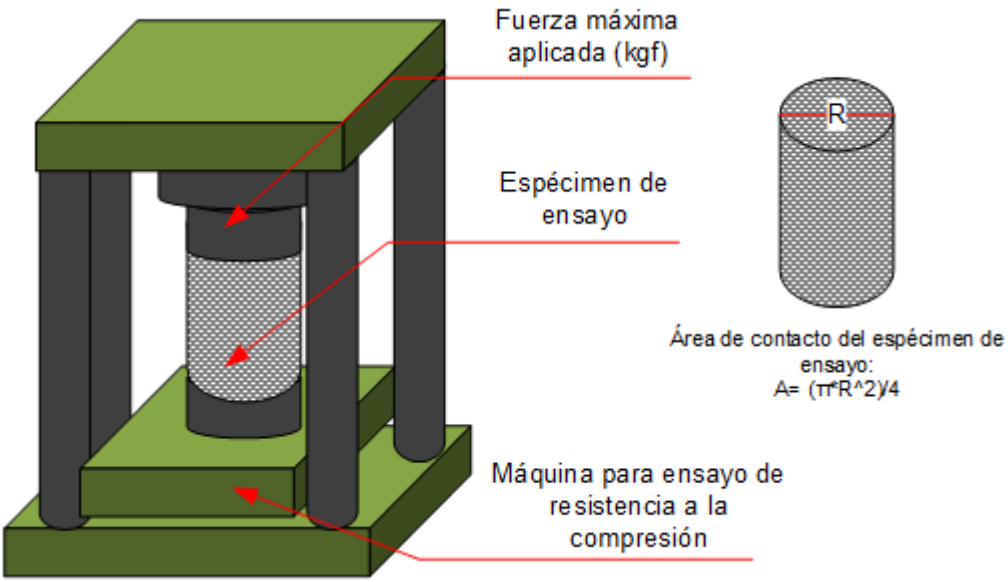
b. Ensayos en estado endurecido

Resistencia a la compresión (kg/cm2)

$$Resistencia\ a\ la\ compresión = \frac{Fuerza\ máxima\ (kgf)}{Área\ (cm2)}$$ ….Fórmula (14)

Figura 21.

Ensayo de resistencia a la compresión



Nota: Adaptado de NTP 339.034 (INACAL, 2015)

Resistencia a la flexión (kg/cm2)

Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga. Es determinada mediante los métodos de ensayo NTP 339.078 (ASTM C78) cargada en los puntos tercios o NTP 339.079 (ASTM C293) cargada en el punto medio. (Masías, 2018)

$$M_r = \frac{PL}{b \times h^2} \qquad \text{....Fórmula (15)}$$

Donde:

- Mr= Módulo de rotura (MPa)
- P= Carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo (N)
- L= Luz libre entre apoyos (mm)
- b= Ancho promedio de la viga en la sección de falla (mm)
- h= Altura promedio de la viga en la sección de falla (mm)

Figura 22.

Diagrama de un dispositivo para ensayar a flexión

Nota: (Quintero et al., 2017)

Marco conceptual

Agregados

Conjunto de áridos, inertes o conglomerados, fragmentados o en granos que constituyen del 70 al 85% del peso de la mezcla de concreto. (Olarte, 2017)

Asentamiento

El asentamiento es una medida de la consistencia de concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto. (Colmenarez, 2014, p. 2)

Ceniza

Las cenizas son los residuos de la combustión de carbón pulverizado en centrales térmicas. Los productos de esta combustión se subdividen en cenizas volantes y de hogar. Los primeros, son residuos volátiles obtenidos a lo largo del trayecto de los gases de la combustión

del carbón que son evacuados por la chimenea de la caldera. (Ossa y Jorquera. 1984, p. 4).

Concreto

Producto resultante de la mezcla de un aglomerante que al fraguar y endurecer adquiere una resistencia similar a una roca. (López y Mamani, 2017)

Puzolana

Es un material silíceo o sílico-aluminoso, que finamente dividido y en presencia de agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas. (Muñoz, 2017, p. 19)

Resistencia del concreto

La resistencia del concreto es definida con el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad. (Rivva, 2015)

CAPÍTULO III.

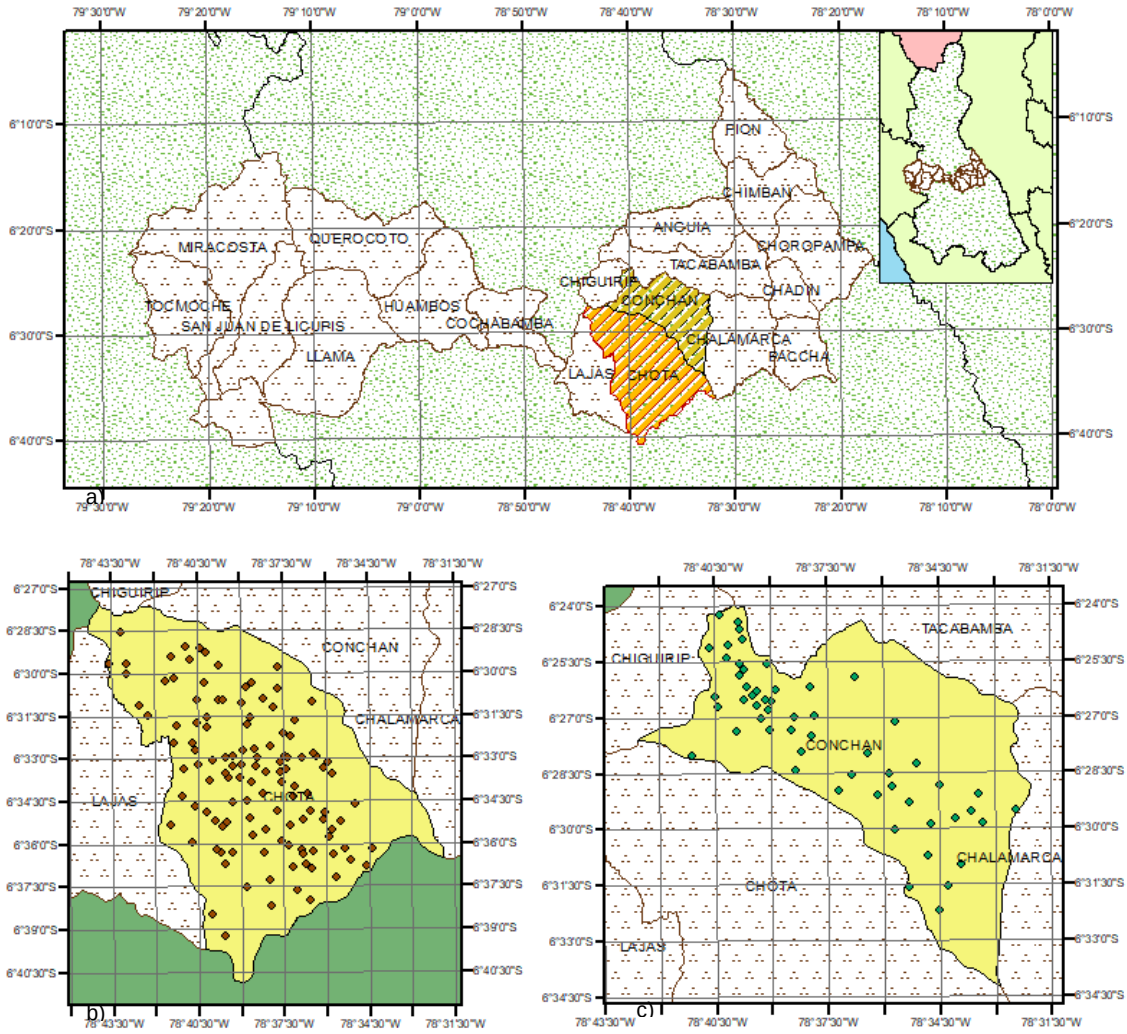
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ámbito de estudio

La ciudad de Chota, está situada en las coordenadas UTM 759839.00 m E 9274108.00 m S, a una altura de 2 388 msnm, entre los centros poblados Cabracancha, Colpatuapampa, Chaupelanche, Iraca, Yuracyacu, Chuyabamba, entre otros. (MPCH, 2018)

Figura 23.

Provincia de Chota



Nota: a) Provincia de Chota, b) Distrito de Chota, c) Distrito de Conchán

La arena, se obtuvo del C.P. Conchán, distrito de Conchán.

Figura 24.

Distrito de Conchán

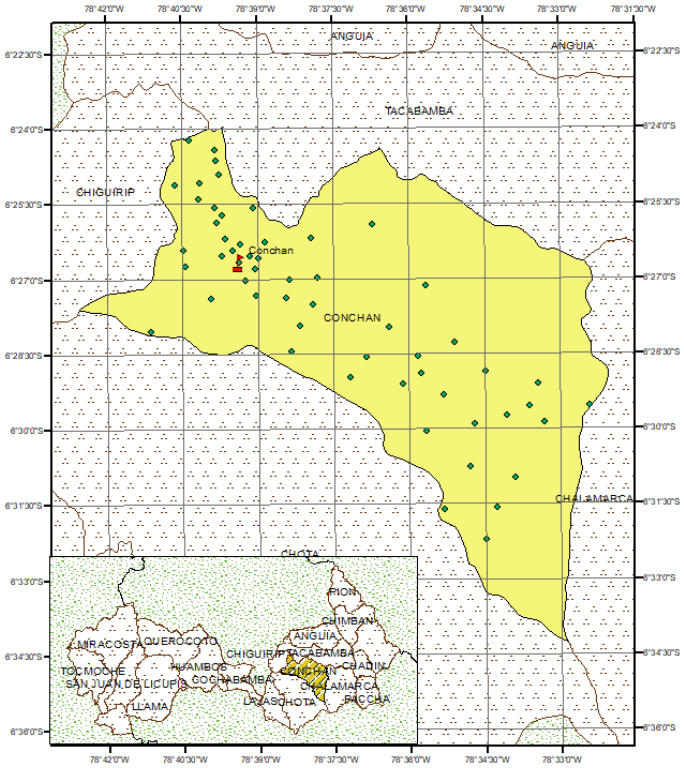


Figura 25.

Ubicación de la cantera Conchán

El agregado grueso se ha obtenido de la cantera Cuyumalca, ubicada en el C.P. Cuyumalca, distrito de Chota.

Figura 26.

Distrito de Chota

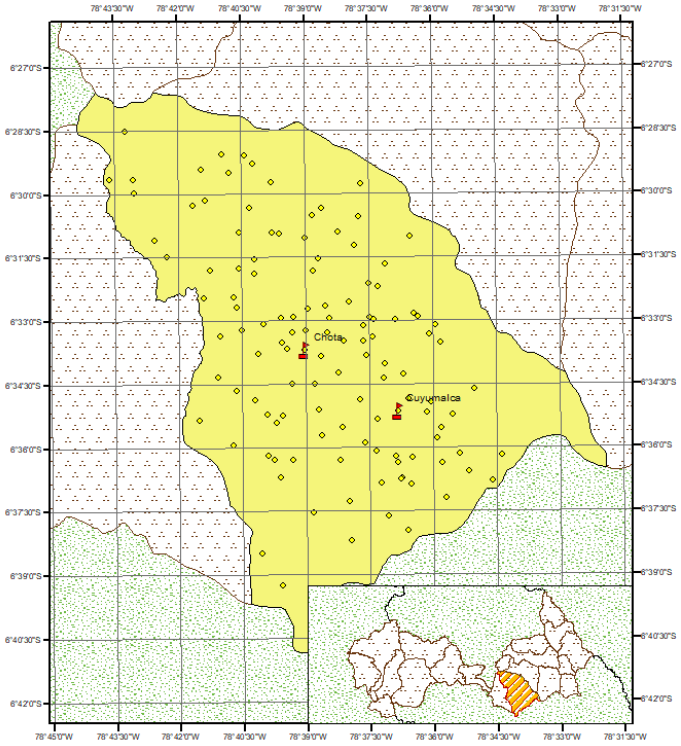
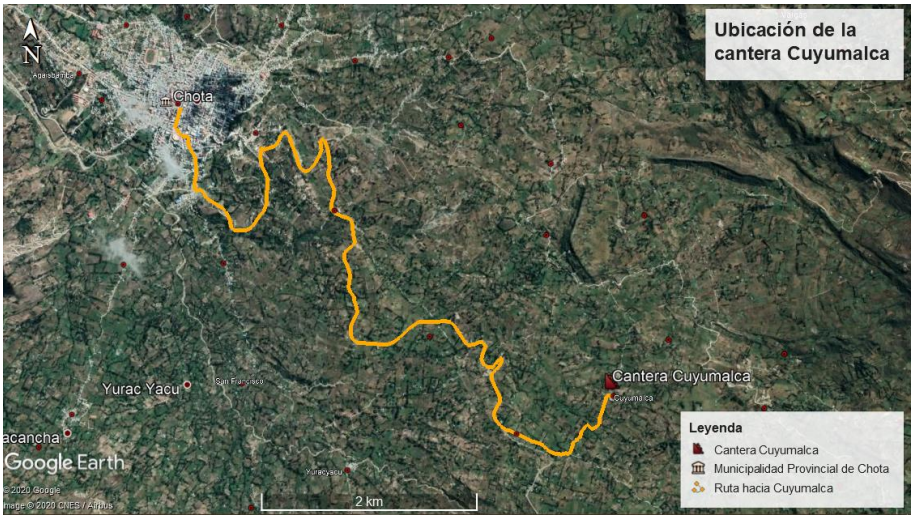


Figura 27.

Ubicación de la cantera Cuyumalca

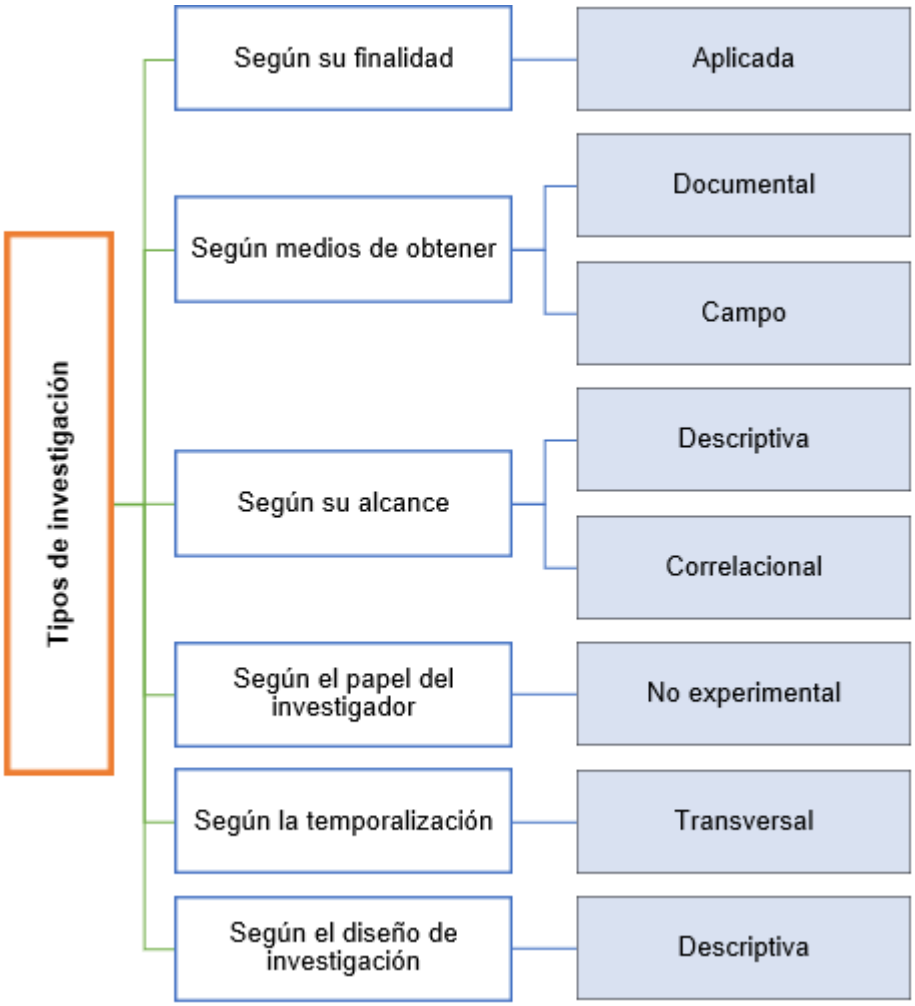


3.2. Diseño de investigación

La investigación de enfoque cuantitativo descriptivo (Hernández et al., 2014), porque se mostrará el análisis de la “ceniza de tallo y espiga de cebada” como sustituto del cemento en porcentaje, para determinar las peculiaridades del nuevo concreto.

Figura 28.

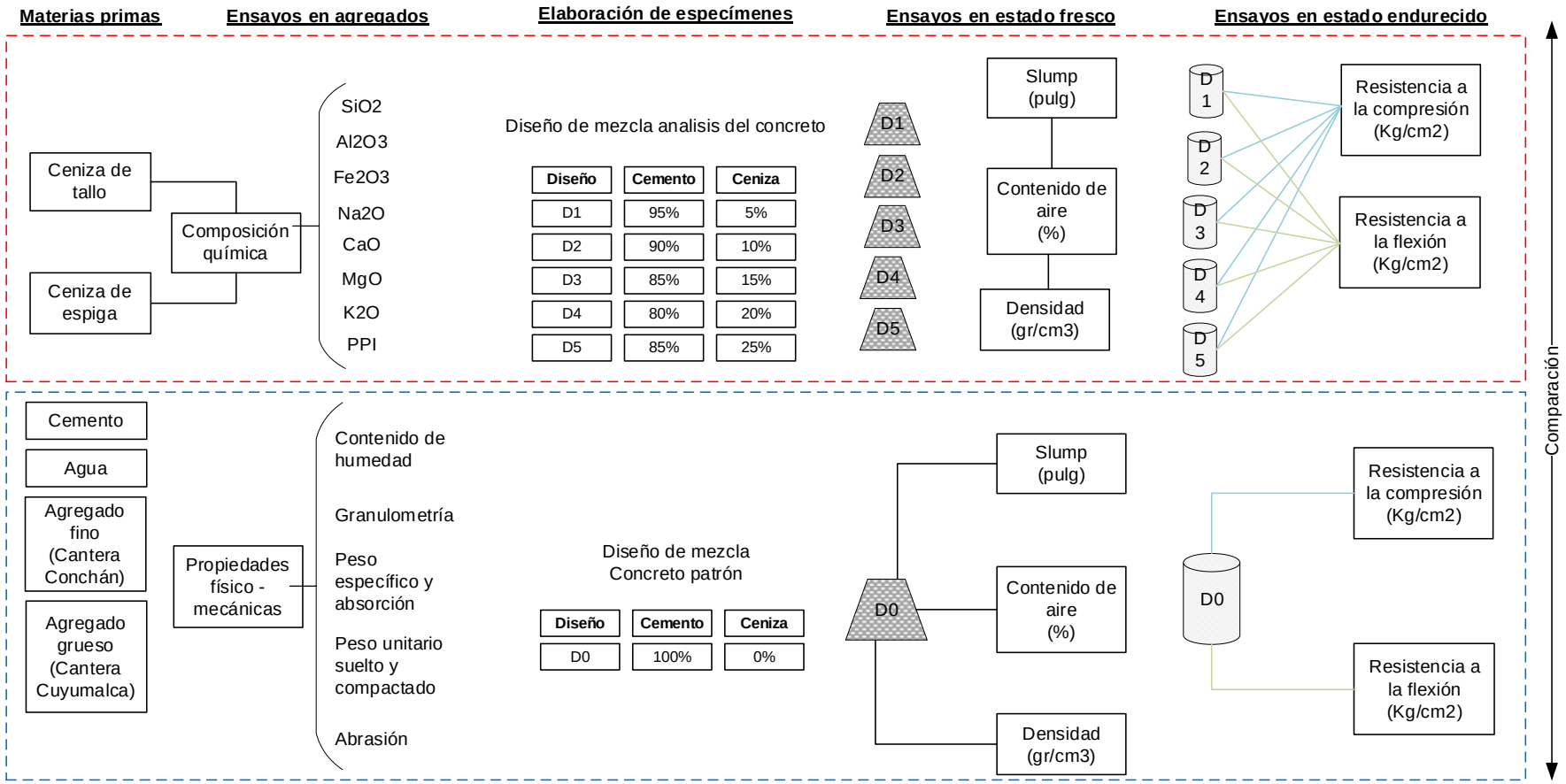
Tipo de investigación



Nota: Adaptado de (Hernández et al., 2014, p. 145)

Figura 29.

Diseño de investigación: Descriptivo



3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

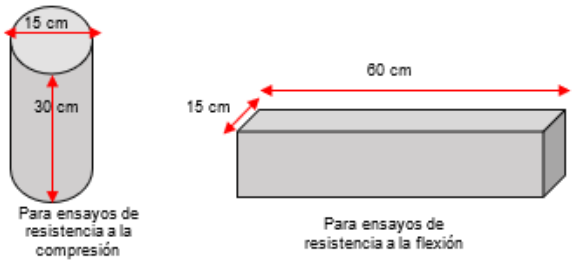
Concreto elaborado utilizando ceniza de tallo y espiga de cebada como sustituto del peso del cemento, agregado fino de la cantera Conchán y agregado grueso de la cantera Cuyumalca, Chota.

3.3.2. Muestra

El muestreo fue “no probabilístico convencional”, conformado por 72 especímenes cilíndricos y 72 especímenes rectangulares de concreto f’c= 210 kg/cm2, elaborados con ceniza de tallo y espiga al 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% del remplazo del peso del cemento. (Tabla 6)

Figura 30.

Forma y dimensión de especímenes



El análisis de la ceniza de cebada ha sido realizado según la Tabla 2, para la posterior elaboración de especímenes (Tabla 3, 4, 5, 6).

Tabla 2.

Cantidad de ensayos en cenizas de cebada

Tipo de ensayo	Tipo de ceniza de cebada			Total, de ensayos
	Ceniza de tallo	Ceniza de espiga	Ceniza de tallo y espiga	
Granulometría	1.00	1.00	1.00	3.00
Densidad	1.00	1.00	1.00	3.00
Composición química	1.00	1.00	1.00	3.00
Total	3.00	3.00	3.00	9.00

Tabla 3.

Proporciones de cemento – ceniza de tallo y espiga de cebada para la elaboración de concreto f'c= 210 kg/cm2

Denominación de diseño	Proporción de cemento – ceniza de tallo y espiga de cebada (%)	
	Cemento	cebada
D0	100%	0%
D1	95%	5%
D2	90%	10%
D3	85%	15%
D4	80%	20%
D5	75%	25%

Nota: El remplazo ha sido realizado respecto al peso del cemento.

Tabla 4.

Cantidad de especímenes para ensayo a compresión

Edad	Tipo de diseño						Total
	D0	D1	D2	D3	D4	D5	
7 días	3	3	3	3	3	3	18
14 días	3	3	3	3	3	3	18
21 días	3	3	3	3	3	3	18
28 días	3	3	3	3	3	3	18
Total	9	9	9	9	9	9	72

Tabla 5.

Cantidad de especímenes para ensayo a flexión

Edad	Tipo de diseño						Total
	D0	D1	D2	D3	D4	D5	
7 días	3	3	3	3	3	3	18
14 días	3	3	3	3	3	3	18
21 días	3	3	3	3	3	3	18
28 días	3	3	3	3	3	3	18
Total	9	9	9	9	9	9	54

Tabla 6.

Cantidad de especímenes totales

Tipo de ensayo	Cantidad de especímenes
Ensayo a compresión	72
Ensayo a flexión	72
Total	144

3.4. Operacionalización de variables

3.4.1. Variable independiente

La variable independiente “Ceniza de tallo y espiga de cebada”, hace referencia a las características de la materia que sustituirá al cemento en ciertos porcentajes. Tiene como dimensiones:

- Propiedades físicas
- Composición química

3.4.2. Variable dependiente

La variable dependiente “Concreto”, mide la influencia de la incorporación de ceniza de tallo y espiga en el concreto por medio del remplazo del cemento, obtenemos un diseño base f’c= 210 kg/cm2, que ha conformado el grupo de control. Tiene como dimensiones:

- Propiedades del agregado fino
- Propiedades del agregado grueso
- Diseño de mezcla
- Ensayos al concreto convencional
- Ensayos al concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada
- Costo del concreto por m3

Tabla 7.

Cuadro de operacionalización de variables

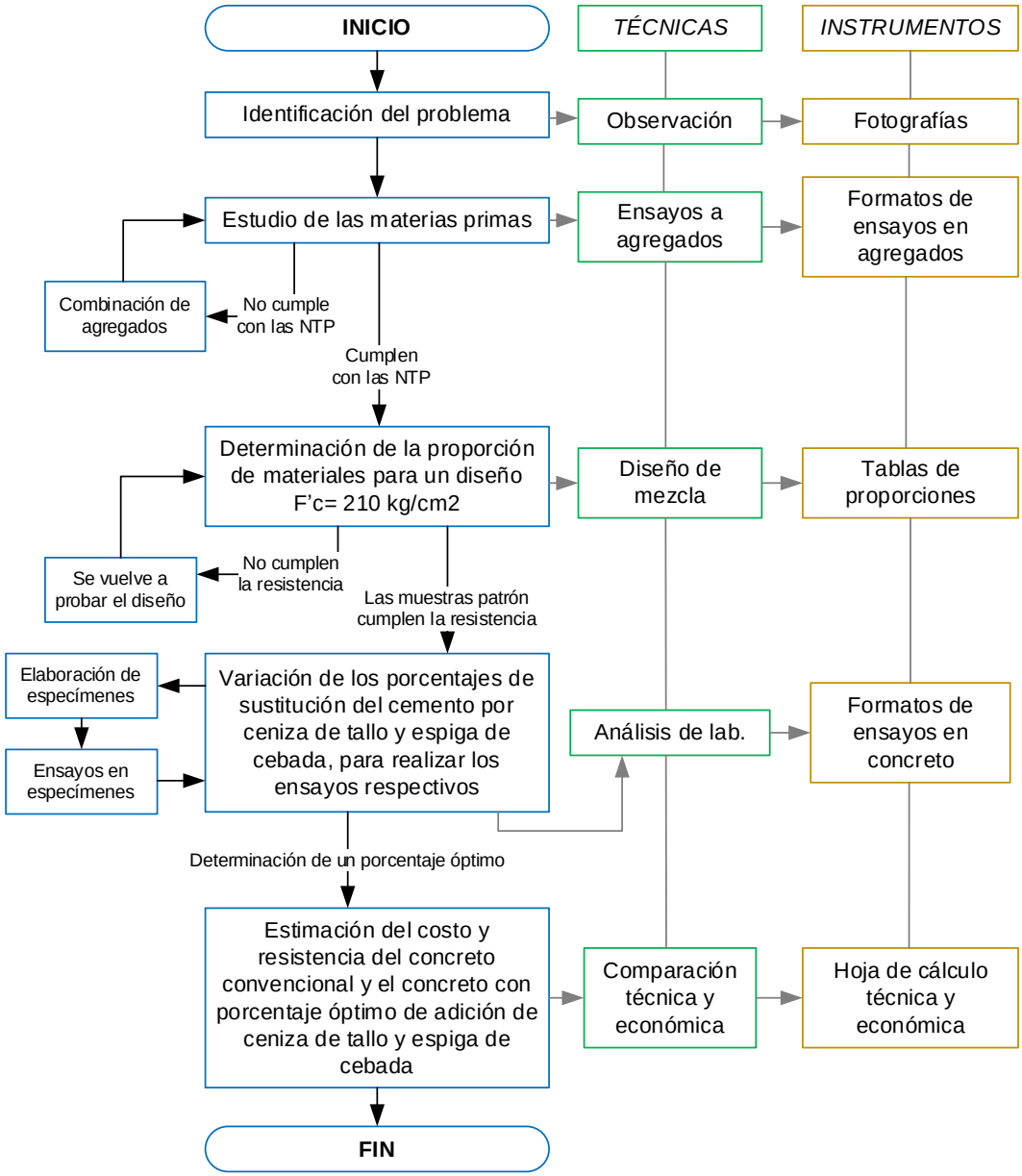
Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Índice
Variable independiente Ceniza de tallo y espiga de cebada	Propiedades físicas	Granulometría	Curva granulométrica	%
		Densidad	Formato de ensayo	Gr/cm3
	Composición química	SiO2	Formato de ensayo	%
		Al2O3	Formato de ensayo	%
		Fe2O3	Formato de ensayo	%
		CaO	Formato de ensayo	%
		MgO	Formato de ensayo	%
		Na2O	Formato de ensayo	%
		K2O	Formato de ensayo	%
		PPI	Formato de ensayo	%
Variable dependiente Concreto	Propiedades del agregado fino	Granulometría	Curva granulométrica	%
		Peso específico	Formato de ensayo	Kg/cm3
		Absorción	Formato de ensayo	%
		Peso unitario	Formato de ensayo	Kg/cm3
	Propiedades del agregado grueso	Granulometría	Curva granulométrica	%
		Peso específico	Formato de ensayo	Kg/cm3
		Absorción	Formato de ensayo	%
		Peso unitario	Formato de ensayo	Kg/cm3
		Resistencia a la abrasión	Formato de ensayo	%
	Diseño de mezcla	Cemento	Certificado de calidad	Kg
		Ceniza de tallo y espiga	Tabla de proporción	Kg
		Agregado fino	Tabla de proporción	%
		Agregado grueso	Tabla de proporción	%
		Agua	Tabla factor de agua	Lts
	Ensayos al concreto convencional	Contenido de aire	Formato de ensayo	%
		Asentamiento	Formato de ensayo	Pulg
		Densidad	Formato de ensayo	Gr/cm3
		Resistencia a la compresión	Curva de resistencia	Kg/cm2
		Resistencia a la flexión	Curva de resistencia	Kg/cm2
	Ensayos al concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada	Contenido de aire	Formato de ensayo	%
		Asentamiento	Formato de ensayo	Pulg
		Densidad	Formato de ensayo	Gr/cm3
		Resistencia a la compresión	Curva de resistencia	Kg/cm2
		Resistencia a la flexión	Curva de resistencia	Kg/cm2
	Costo del concreto por m3	Equipos y/o herramientas	Hoja de cálculo	S./
		Materiales	Hoja de cálculo	S./
		Mano de obra	Hoja de cálculo	S./

3.5. Descripción de la metodología

Según la naturaleza de los datos se ha aplicado la metodología cuantitativa de nivel descriptivo. (Bisquerra, 1989).

Figura 31.

Metodología descriptiva



3.6. Procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos ha sido realizado por medio de métodos computacionales, utilizando los siguientes programas de aplicación:

- **Google earth.** Para la ubicación referencial de las canteras de agregado fino y grueso, cuyo material ha sido utilizado para la elaboración de los especímenes de concreto.
- **ArcGIS.** Para la realización de mapas de ubicación de la provincia de Chota, distrito de Chota (Ubicación de la cantera de agregado grueso) y distrito de Conchán (Ubicación de la cantera de agregado fino)
- **Microsoft Excel.** Para el procesamiento de los datos estimados en los ensayos de laboratorio a la ceniza de tallo y espiga de cebada, al agregado fino, al agregado grueso y a los especímenes de concreto, así como su respectiva presentación de los mismos en gráficos y tablas estadísticas.

3.6.1.1. Equipos, materiales e instrumentos

3.6.1.1.1. Técnicas de recolección de datos

a. Observación

Es la técnica ineludible en cualquier tipo de investigación, permite identificar el problema e intentar dar una solución al mismo por medio de la investigación.

b. Ensayos a las materias primas

Se han realizado ensayos a los agregados y a la ceniza de tallo y espiga de cebada.

Ensayos en agregados

- Contenido de humedad
- Granulometría
- Peso específico y absorción
- Peso unitario suelto y compactado
- Resistencia a la abrasión

Ensayos en ceniza de tallo y espiga de cebada

- Granulometría
- Densidad
- Composición química

c. Diseño de mezclas

Permite la determinación de la proporción de materiales para una resistencia esperada, representa una técnica esencial en estudios del concreto.

d. Análisis del concreto

El análisis del concreto ha consistido en la incorporación de ceniza de tallo y espiga de cebada como sustito del cemento en porcentajes de 0 a 25%, para determinar la variación de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto.

e. Comparación

La comparación es la técnica que ha permitido definir el concreto con mejores características técnicas y económicas a través de un cotejo de los resultados.

3.6.1.1.2. Instrumentos de recolección de datos

a. Fotografías

Representación de lo observado a través de imágenes, para dar a conocer al lector los procesos realizados en la investigación.

Equipos, materiales e instrumentos

- Cámara fotográfica
- Computadora portátil
- Cuaderno de registro

b. Formatos de ensayos a las materias primas

Son los instrumentos de presentación de los datos estimados en la realización de los ensayos de laboratorio a los agregados y ceniza de tallo y espiga de cebada.

Equipos, materiales e instrumentos

- Balanza
- Taras
- Tamices
- Máquina de abrasión Los Ángeles

c. Tablas de proporciones

Presenta la proporción de material a utilizar.

Equipos, materiales e instrumentos:

- Hojas de resultados de ensayos de agregados
- Hoja de diseño ACI
- Computadora portátil

d. Formatos de ensayos en concreto

Presentan los resultados de los ensayos al concreto en estado fresco y en estado endurecido.

Equipos, materiales e instrumentos

- Probetas

- Equipo de resistencia a la compresión
- Equipo de resistencia a la flexión
- Balanza
- Regla

e. Hoja de comparación

Hoja resumen de datos técnicos (resistencia) y hoja de cálculo del costo del concreto por m3.

Equipos, materiales e instrumentos

- Hojas de resultados de ensayos de agregados
- Hoja de resultados de ensayos en concreto
- Computadora portátil

3.6.2. Análisis de datos

Los datos han sido analizados en base a las NTP. Los resultados de los agregados han sido cotejados con la NTP 400.037, mientras que los resultados de los especímenes de concreto elaborado con ceniza de tallo y espiga de cebada han sido comparados con los valores del concreto base diseñado para una resistencia esperada f'c= 210 kg/cm2.

$$Promedio: \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} \quad \text{....Fórmula (16)}$$

$$Desviación\ estándar: S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{....Fórmula (17)}$$

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

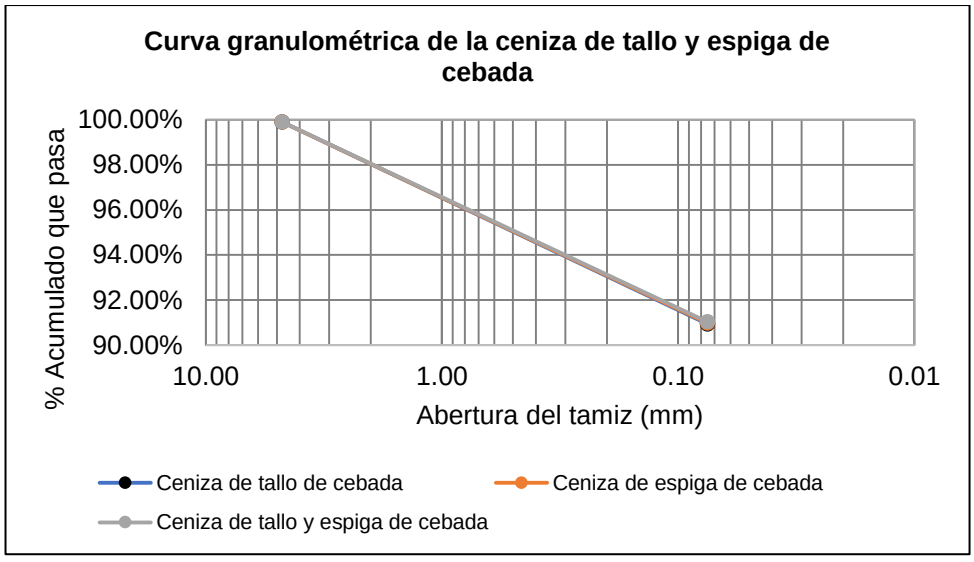
4.1. Resultados

4.1.1. Propiedades físico-químicas de la ceniza de tallo y espiga de cebada

Se ha realizado el estudio de la ceniza de tallo de cebada, ceniza de espiga de cebada y ceniza de tallo y espiga de cebada en conjunto, con el fin de determinar la conveniencia de utilizar cenizas de diferentes componentes de la cebada (tallo o espiga) o por lo contrario una ceniza compuesta por sus componentes tallo y espiga.

Gráfico 1.

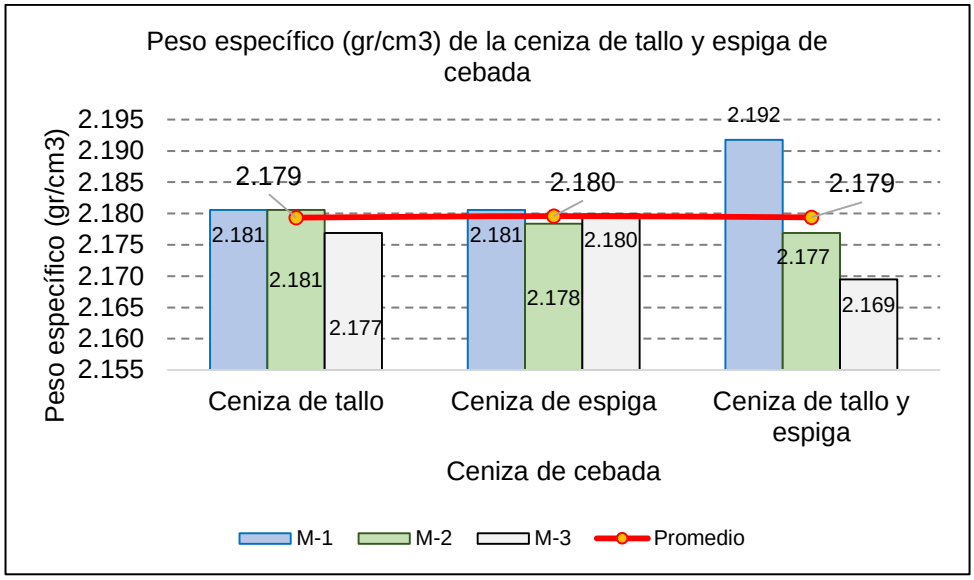
Curva granulométrica de la ceniza de tallo y espiga de cebada



Interpretación. La granulometría de la ceniza de tallo, ceniza de espiga y ceniza de tallo y espiga de cebada, presenta una cuantificación similar por ello, las rectas se sobreponen. Las cenizas presentan una granulometría continua con porcentaje de finos menores a 0.075 mm entre un 90% a 91% y una forma irregular.

Gráfico 2.

Peso específico de la ceniza de tallo y espiga de cebada



Interpretación. La ceniza de cebada, sea de tallo, espiga o en conjunto tallo y espiga, presenta un peso específico (gr/cm3) similar con una variación mínima de 0.01%.

Tabla 8.

Composición química de las cenizas de cebada estudiadas

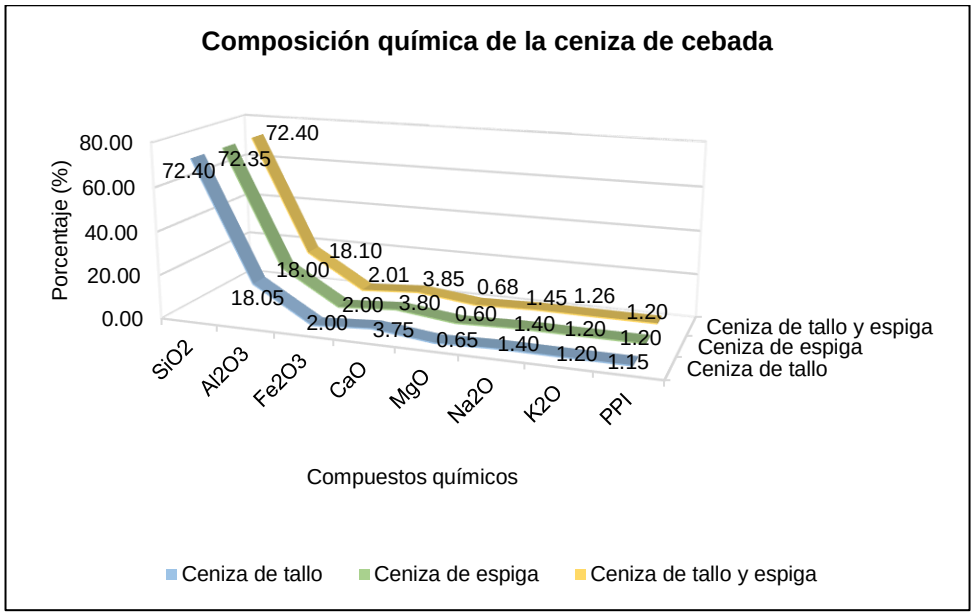
Componentes	Cantidad en % en peso			Medidas estadísticas		
	Ceniza de tallo	Ceniza de espiga	Ceniza de tallo y espiga	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación
SiO2	72.40	72.35	72.40	72.38	0.03	0.04%
Al2O3	18.05	18.00	18.10	18.05	0.05	0.28%
Fe2O3	2.00	2.00	2.01	2.00	0.01	0.29%
CaO	3.75	3.80	3.85	3.80	0.05	1.32%
MgO	0.65	0.60	0.68	0.64	0.04	6.28%
Na2O	1.40	1.40	1.45	1.42	0.03	2.04%
K2O	1.20	1.20	1.26	1.22	0.03	2.84%
PPI	1.15	1.20	1.20	1.18	0.03	2.44%
Total	100.00	100.00	100.00			

Interpretación. En la caracterización química de las cenizas de tallo, cenizas de espiga y cenizas de tallo y espiga de cebada, se puede

observar que la variación más pronunciada de resultados corresponde al óxido de magnesio (MgO), óxido de sodio (Na2O), óxido de potasio (K2O) y los pirofosfatos (PPI), sin embargo, está variación solo representa un 5% de diferencia máxima entre los valores alcanzados en porcentaje del peso.

Gráfico 3.

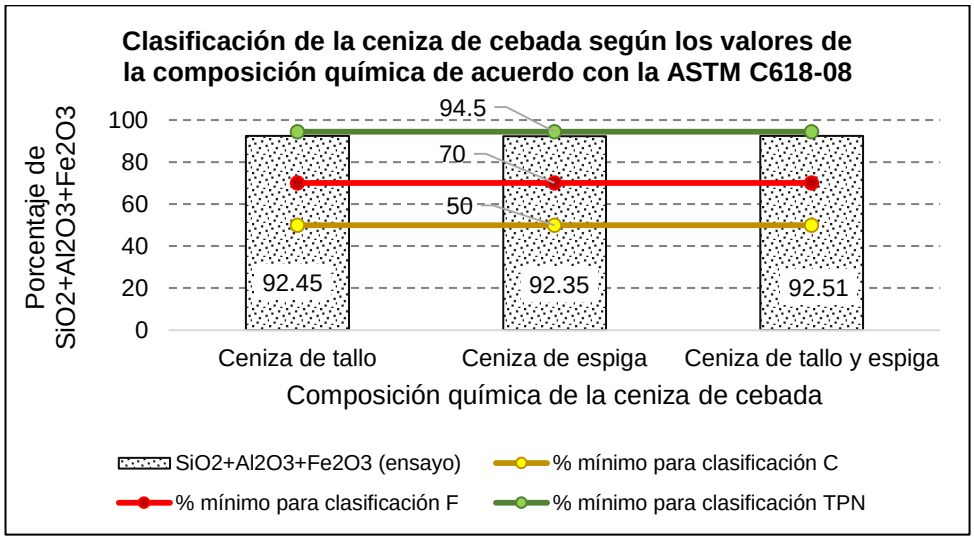
Composición química de la ceniza de tallo y espiga de cebada



Interpretación. Lo óxidos más comunes encontrados en las cenizas son óxido de silicio (SiO2), óxido de aluminio (Al2O3), óxido de hierro III (Fe2O3) y óxido de calcio (CaO). La suma de los tres primeros óxidos más comunes, determina la clasificación de las cenizas, y dichos valores presentan una variación que oscila de 0.04% a 0.29% (Tabla 8). Además, en el Gráfico 3, se puede observar que los óxidos SiO3, Al2O3 y Fe2O3 son los que alcanzan valores más altos respecto a los otros tipos de óxidos por lo que se encuentra en el orden mayor del gráfico lineal 3D.

Gráfico 4.

Clasificación de la ceniza de cebada según los valores de la composición química de acuerdo con la ASTM C618-08.



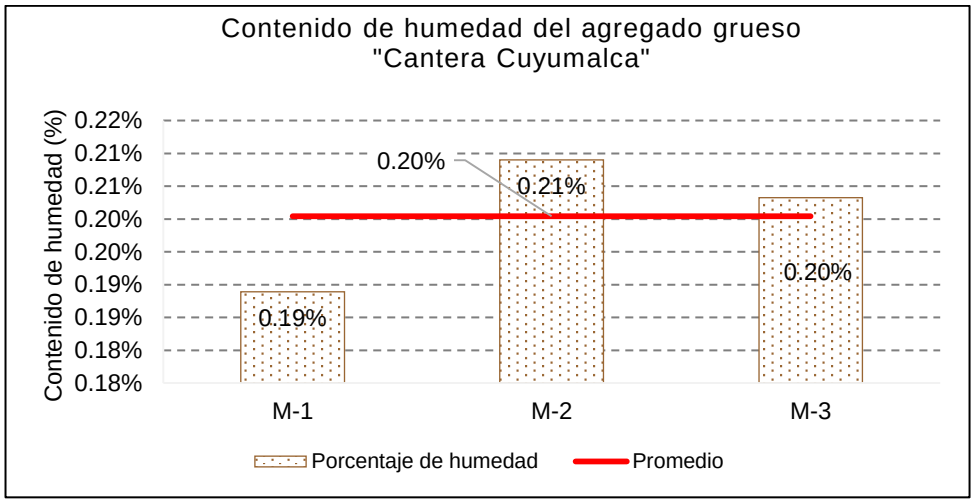
Interpretación. La clasificación de la ceniza de cebada depende de la sumatoria de los tres principales óxidos SiO2+Al2O3+Fe2O3. Dicha sumatoria para la ceniza de tallo, ceniza de espiga y ceniza de tallo y espiga, alcanza valores de 92.45, 92.35 y 92.51 respectivamente, por lo que el coeficiente de variación es mínimo 0.09%, esto permite aseverar que la ceniza de cebada presenta características afines, desestimando su componente de procedencia (tallo, espiga o ambos). Con los valores alcanzados por las cenizas de cebada estas alcanzan la clasificación F, por tanto, son cenizas de carácter exclusivamente puzolánico, que reaccionan lentamente con la cal y álcalis, además los valores son cercanos a la clasificación TPN de una ceniza altamente volante, utilizada en la elaboración de cementos puzolánicos; lo que determina que pueden ser utilizadas en la elaboración de mezclas de concreto, utilizando las cenizas de tallo y espiga de cebada como sustituto del cemento.

4.1.2. Propiedades físico-mecánicas del agregado grueso

El estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la piedra chancada de la cantera de Cuyumalca, se realizó en un mínimo de tres muestras por ensayo, para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Gráfico 5.

Contenido de humedad del agregado grueso



Interpretación. El contenido de humedad representa la cantidad de agua presente en la muestra, la misma que en promedio equivale a 0.20%, este valor se acerca al 0%, lo que determina un agregado grueso casi seco.

Tabla 9.

Granulometría de las muestras de agregado grueso

N° Tamiz	Abertura del Tamiz (mm)	Según NTP 400.037		% Que Pasa Acumulado		
		Límite inferior	Límite Superior	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
2"	50 mm	100	100	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	37.5	100	100	100.00	100.00	100.00
1"	25	100	100	100.00	100.00	100.00
3/4"	19	90	100	88.60	86.61	90.40
1/2"	12.5	45	90	56.02	45.74	47.85
3/8"	9.5	20	55	41.91	32.91	30.79
# 4	4.75	0	10	19.62	11.34	8.67

Interpretación. El agregado grueso debe cumplir con un huso granulométrico, cuyo límite inferior y superior esta normado por la NTP 400.037. La muestra 1, no cumple con el porcentaje que debería pasar el tamiz ¾" con una variación de 1.40% y el porcentaje que pasa el tamiz #4 es superior al máximo establecido en 9.62%. La muestra 2, presenta valores similares a la muestra 1, es decir en el tamiz ¾" el porcentaje que pasa es menor al mínimo establecido en 3.39%, mientras que en el tamiz #4 el porcentaje que pasa sobrepasa en 1.34% al límite superior. No obstante, la muestra 3 cumple con las condiciones normativas, los porcentajes que pasan cada tamiz están dentro de los rangos establecidos. Las curvas granulométricas de las muestras del agregado grueso se pueden observar en la Gráfico 6, donde el tamaño máximo nominal del agregado grueso es ¾".:

Gráfico 6.

Curva granulométrica del agregado grueso

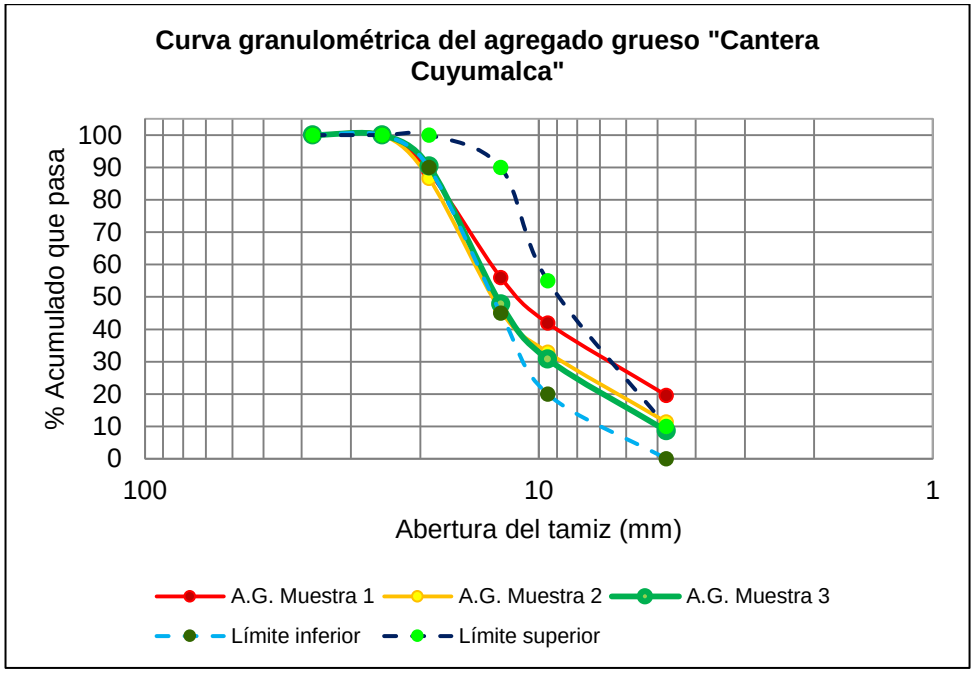
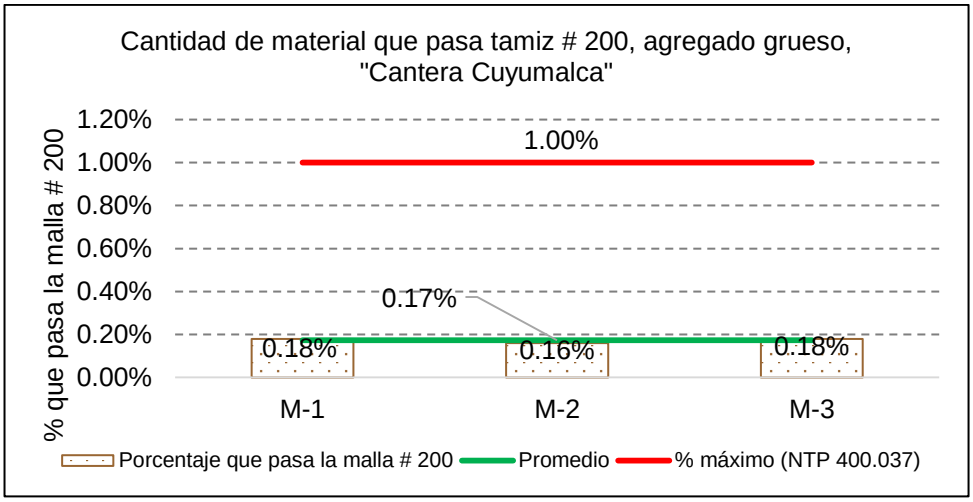


Gráfico 7.

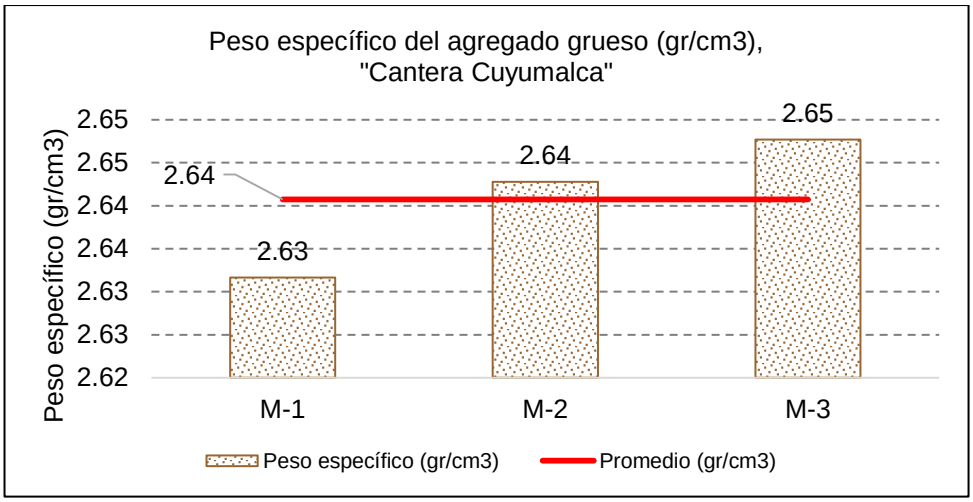
Cantidad de agregado grueso que pasa tamiz # 200



Interpretación. La piedra chancada en estudio, presenta una cantidad de material que pasa el tamiz # 200 menor al máximo admitido en 0.83%, con un promedio equivalente a 0.17%, por tanto, cumple con los estándares normativos.

Gráfico 8.

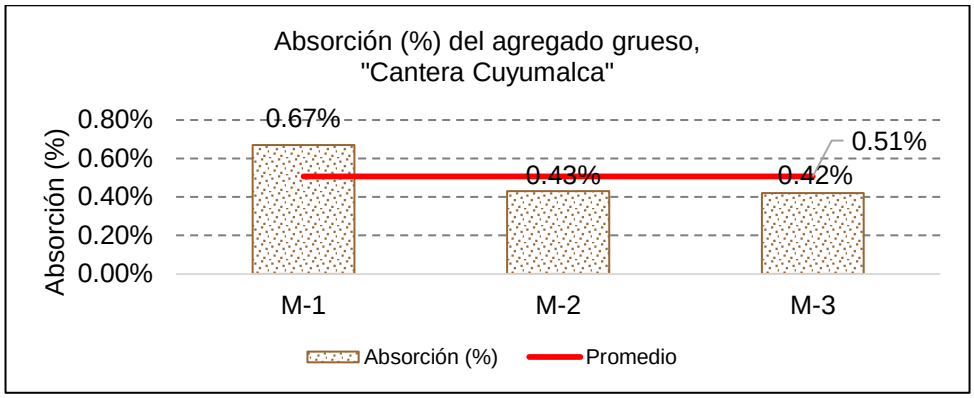
Peso específico del agregado grueso



Interpretación. El peso específico del agregado grueso en promedio equivale a 2.64 gr/cm3, con una variación de 1 gr/cm3 entre cada muestra. Este valor representa el peso del agregado por unidad de volumen, es decir permite determinar la cantidad de kg dentro de 1m3, que para el caso sería un equivalente a 2 640 kg.

Gráfico 9.

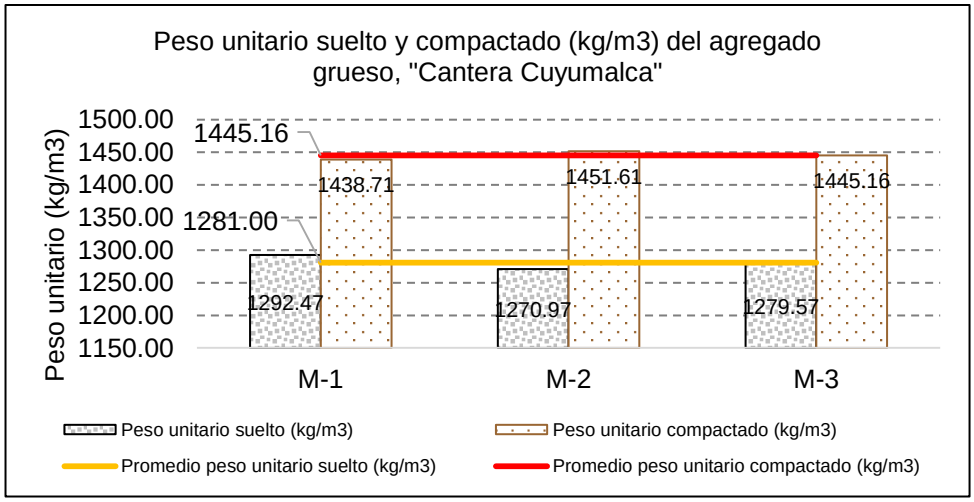
Absorción del agregado grueso



Interpretación. La absorción representa el incremento de la masa del agregado por la asimilación de agua en los poros del agregado grueso, para este caso el promedio es 0.51%

Gráfico 10.

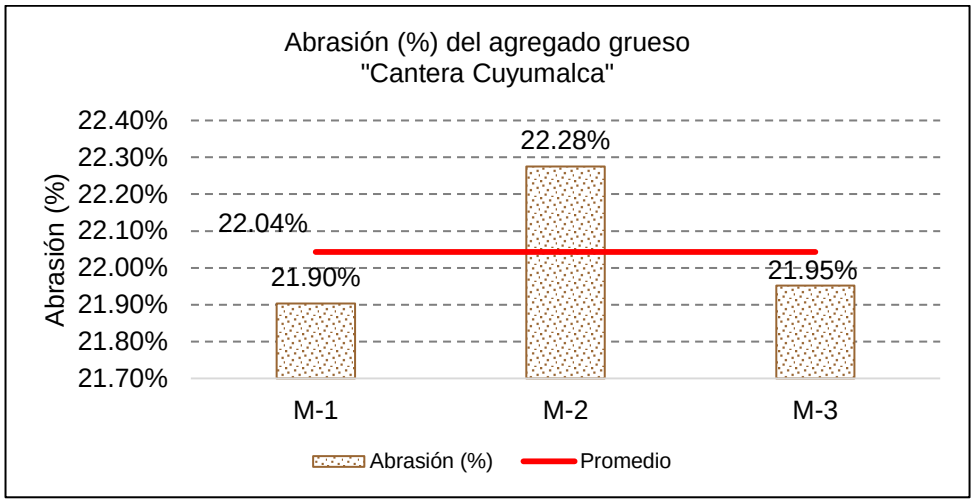
Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso



Interpretación. El peso unitario a diferencia del peso específico, considera el volumen definido del molde que ocupa el material, es decir el volumen incluye los vacíos intergranulares. El agregado grueso presenta en promedio un peso unitario suelto equivalente a 1 281 kg/m3, este valor ha sido utilizado para conocer el consumo de áridos por m3 de concreto. El peso unitario compactado promedio del agregado grueso asciende a 1 445.16 kg/m3, este valor ha sido utilizado para el cálculo de vacíos de los materiales, mismo que equivale a 99.95%.

Gráfico 11.

Abrasión del agregado grueso



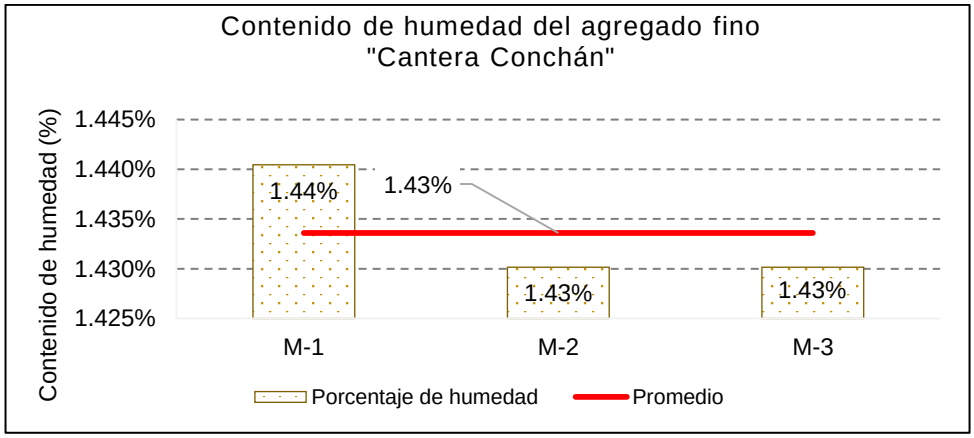
Interpretación. La abrasión del agregado grueso en promedio equivale a 22.04%, por tanto, cumple con los estándares normativos que sugieren una abrasión menor a 50% y un valor de impacto menor a 30%.

4.1.3. Propiedades físicas del agregado fino

El estudio de las propiedades físicas de la arena de la cantera Conchán, se realizó en un mínimo de tres muestras por ensayo, para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Gráfico 12.

Contenido de humedad del agregado fino



Interpretación. El contenido de humedad promedio equivale a 1.43%, este valor representa la cantidad de agua presente en la muestra, lo que permite aseverar que la arena presenta una humedad mayor a la de la piedra chancada.

Tabla 10.

Granulometría de las muestras de agregado fino

N° Tamiz	Abertura del Tamiz (mm)	Según NTP 400.037		% Que Pasa Acumulado		
		Límite inferior	Límite Superior	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
3/8"	9.5	100	100	100.00	100.00	100.00
# 4	4.75	95	100	95.43	96.26	94.53
# 8	2.36	80	100	90.89	91.16	88.96
# 16	1.18	50	85	86.98	86.20	84.34
# 30	0.0006	25	60	79.43	77.19	76.02
# 50	0.0003	5	30	30.41	28.05	31.74
# 100	0.00015	0	10	6.30	5.78	6.32

Interpretación. La muestra 1, no cumple con el porcentaje que debería pasar el tamiz #16, #30 y #50, con una variación de 1.98%, 19.43 y 1.41% sobre el valor máximo. La muestra 2, presenta valores similares a la muestra 1, a excepción del tamiz #50 que si cumple con el porcentaje normado con 28.05%, mientras que en el tamiz #16 y #30 el porcentaje

que pasa es mayor al máximo establecido en 1.20% y 17.19% respectivamente. La muestra 3, no cumple con el porcentaje mínimo que debe pasar en el tamiz # 4, obteniendo solo un porcentaje que pasa de 94.53% menor en 0.47%, mientras que los porcentajes que pasan en el tamiz # 30 y # 50 sobrepasan al límite superior establecido en 16.02% y 1.74% respectivamente. No obstante, a pesar de que ninguna de las muestras cumple completamente con el uso granulométrico, la variación puede ser corregida mediante el zarandeo, por tanto, el agregado fino puede ser utilizado en la elaboración de concreto, siempre y cuando, los ensayos en el diseño patrón validen su uso. Las curvas granulométricas de las muestras del agregado grueso se pueden observar la siguiente figura:

Gráfico 13.

Curvas granulométricas del agregado fino

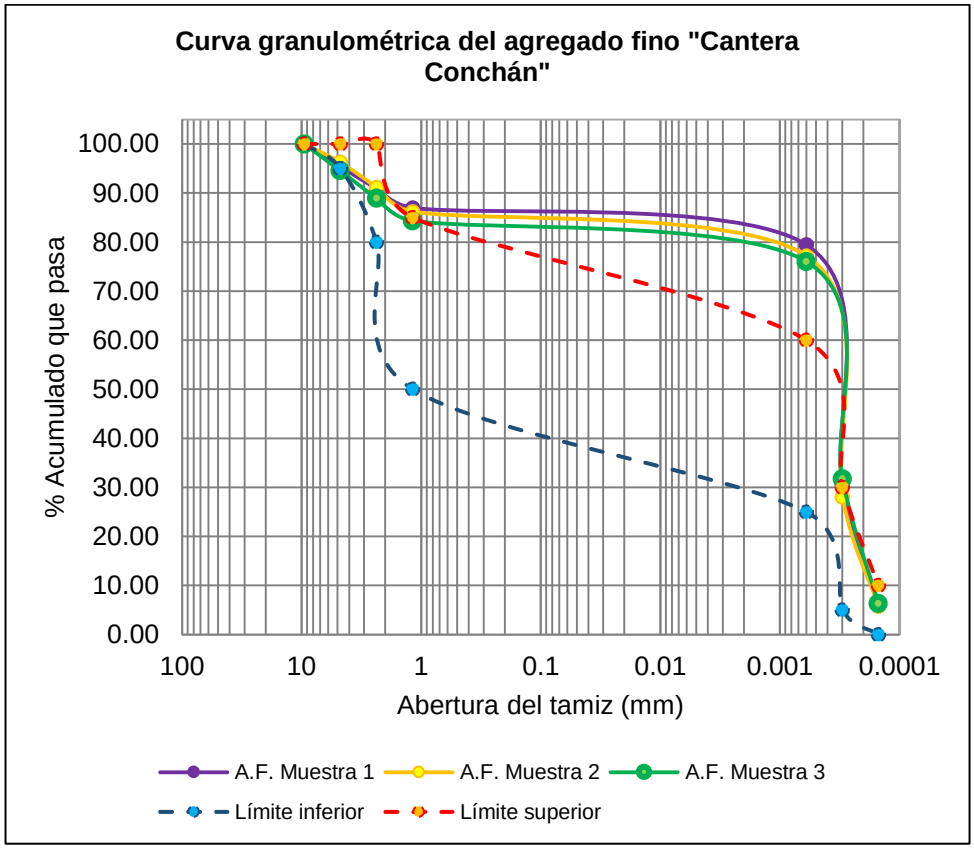
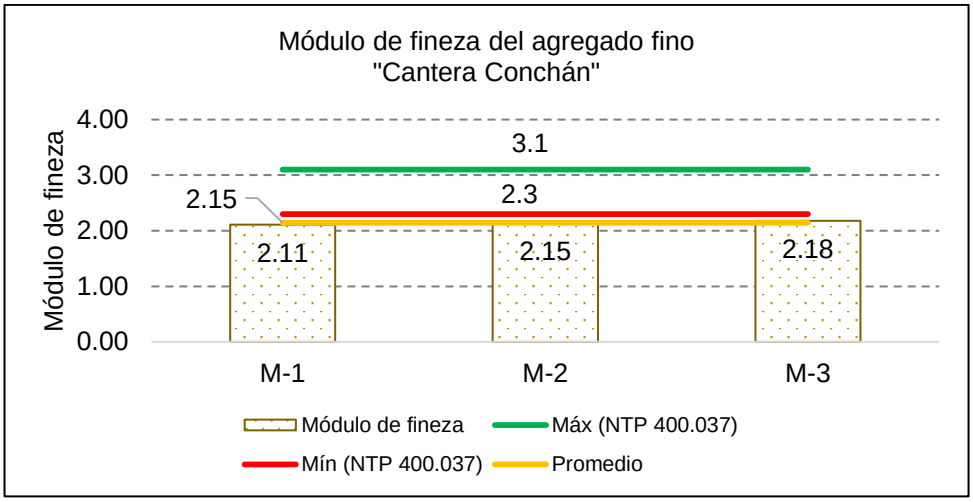


Gráfico 14.

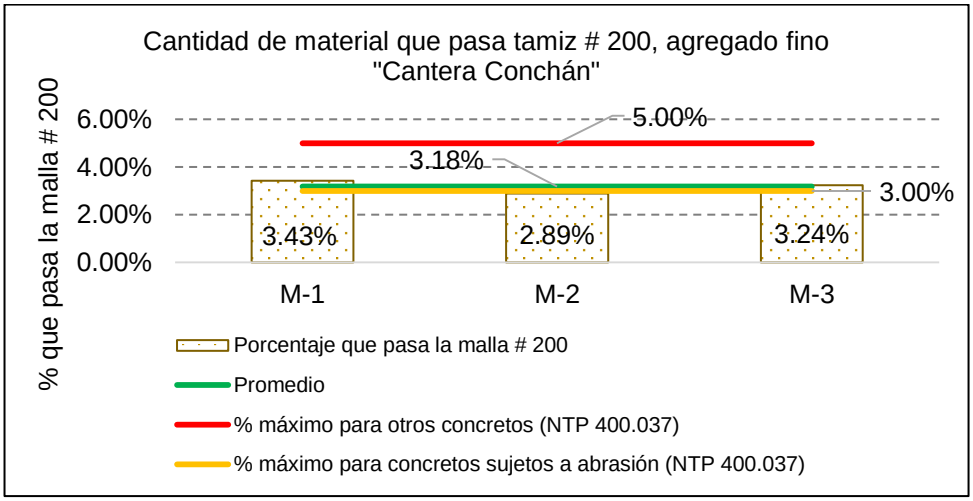
Módulo de fineza del agregado fino



Interpretación. El módulo de fineza promedio del agregado fino equivale a 2.15 valor fuera del rango mínimo (2.3) y máximo (3.1) establecido en la NTP 400.037, sin embargo, la norma también menciona que aun cuando la arena no tenga la fineza normada, puede ser utilizada, si al ser ensaya en una muestra patrón está alcance la resistencia esperada.

Gráfico 15.

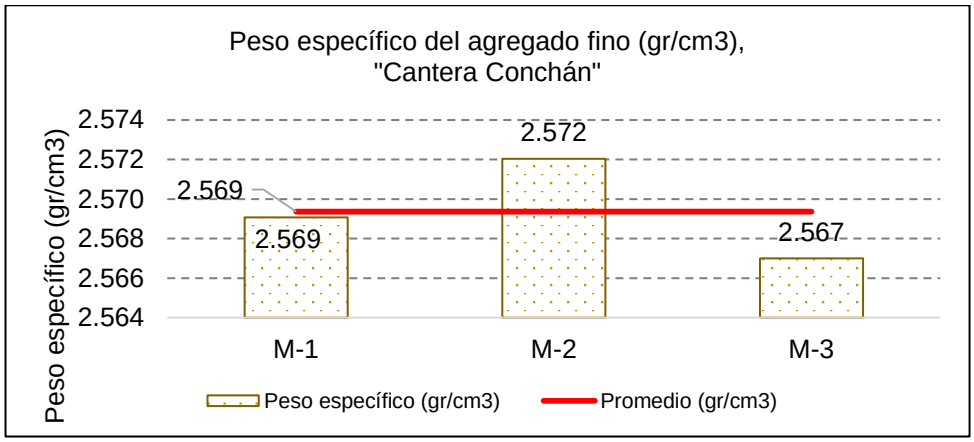
Cantidad de agregado fino que pasa tamiz # 200



Interpretación. La cantidad de material que pasa el tamiz # 200, es mayor en 0.18% al máximo establecido para concretos sujetos a abrasión, pero es menor en 1.92% al máximo establecido para otros tipos de concretos, por tanto, el promedio de la cantidad que pasa el tamiz # 200, 3.18% se encuentra dentro de los estándares normativos.

Gráfico 16.

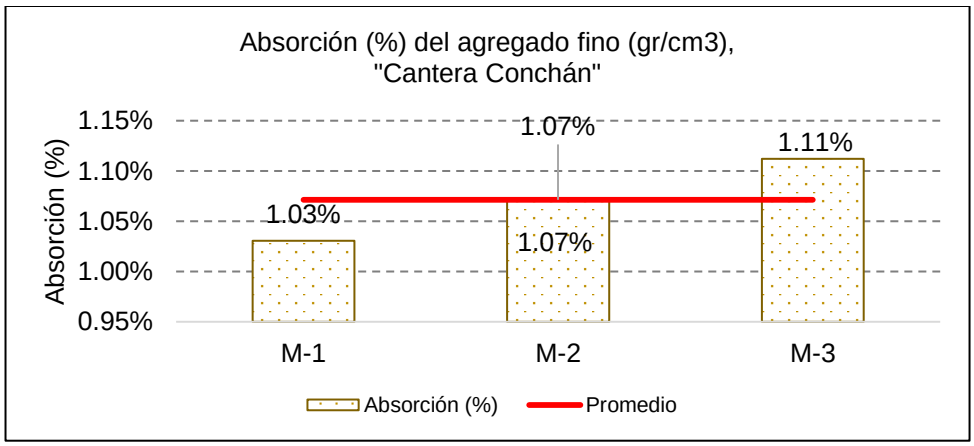
Peso específico del agregado fino



Interpretación. El peso específico del agregado fino en promedio equivale a 2.57 gr/cm3, con una variación de milésimas 0.002 gr/cm3 entre cada muestra.

Gráfico 17.

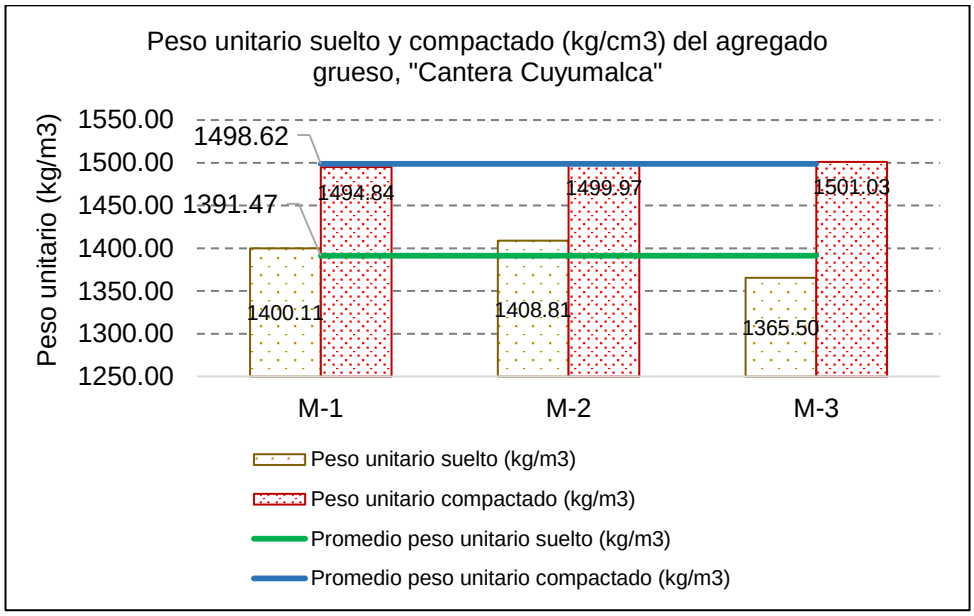
Absorción del agregado fino



Interpretación. La absorción representa el incremento de la masa del agregado por la asimilación de agua, para este caso el promedio de la absorción del agregado fino es 1.07%

Gráfico 18.

Peso unitario suelto y compactado del agregado fino



Interpretación. El peso unitario a diferencia del peso específico, considera el volumen definido del molde que ocupa el material, es decir el volumen incluye los vacíos intergranulares. El agregado fino presenta en promedio un peso unitario suelto equivalente a 1 391.47 kg/m3, este valor ha sido utilizado para conocer el consumo de áridos por m3 de concreto. El peso unitario compactado promedio del agregado fino asciende a 1 498.62, este valor ha sido utilizado para el cálculo de vacíos de los materiales, mismo que equivale a 99.94%.

4.1.4. Diseño de mezclas

Se ha realizado el diseño de mezcla de un concreto F'c= 210 kg/cm2 mediante el método ACI-211, con los siguientes materiales: cemento Portland Tipo I, agua del campus de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, agregado fino de la cantera Conchán y agregado grueso de la cantera Cuyumalca, para luego sustituir el cemento por ceniza de tallo y espiga de cebada, en porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20% y 25% del peso. Dicho proceso de diseño de mezclas ha involucrado los siguientes datos:

Tabla 11.

Propiedades de los componentes del concreto

Propiedades de los componentes del concreto	**Resultados**			
	Agregado grueso	**Agregado fino**	**Cemento**	**Agua**
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1 281.00	1 391.47	…	…
Peso Unitario Compactado (kg/m3)	1 445.16	1 498.62	…	…
Peso específico (kg/m3)	2 640.72	2 569.37	…	998.77
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	…	…	…
Módulo de fineza	…	2.15	…	…
Porcentaje de Absorción (%)	0.51	1.01	…	…
Porcentaje de Humedad (%)	0.20	1.43	…	…
Contenido de Aire (%)	…	…	7.00	…
Superficie Específica (cm2/g)	…	…	3 740.00	…
Densidad (kg/m3)	…	…	3 080.00	…
Resistencia a la Compresión (kg/cm2)	…	…	441.00	…

- **Cálculo de la resistencia promedio requerida:**

$$F'cr = F'c + 84 \rightarrow para\ 210 > F'c > 350$$

$$F'cr = 210 + 84 = 294\ kg/cm2$$

- **Contenido de aire:**

$$Para\ TMN\ {}^{3}/_{4}"\ \rightarrow\ 2.00\%\ aire\ atrapado$$

- **Contenido de agua:**

$$Para\ slump\ 3\ a\ 4"\ \rightarrow\ 205.\ lts/m3\ de\ contenido\ de\ agua$$

- **Relación agua/cemento (por resistencia F'cr)**

Resistencia F'cr		A/C
250.00	→	0.62
294.00	→	x
300.00	→	0.55

$$\frac{300 - 294}{0.55 - x} = \frac{300 - 250}{0.55 - 0.62}$$

$$x = 0.558\ A/C$$

- **Cálculo del factor cemento**

$$\frac{205\ lts}{C} = 0.558$$

$$C = 367.12\ kg$$

$$Factor\ C = \frac{367.12\ kg}{42.5\ kg} = 8.64\ bls$$

- **Peso del agregado grueso**

$$Peso\ AG = \frac{b}{b_0} \times Peso\ unitario\ compactado$$

Módulo de fineza de la arena		Volumen de AG compactado
2.15	→	X
2.40	→	0.66
2.60	→	0.64

$$x = \frac{b}{b_0} = 0.69$$

$$Peso\ AG = 0.69 \times 1445.16 kg/m3$$

$$Peso\ AG = 990.41\ kg$$

- **Volumen absoluto**

$$Cemento = \frac{C}{Densidad} = \frac{367.12\ kg}{3080\ kg/m3} = 0.119\ m3$$

$$Agua = \frac{Contenido\ de\ agua}{Peso\ específico} = \frac{205\ lt/m3}{998.77\ kg/m3} = 0.20525\ m3$$

$$Aire = contenido\ de\ aire\ atrapado = \ 0.020\ m3$$

$$AG = \frac{Peso\ AG}{Peso\ específico} = \frac{990.41\ kg}{2640.72\ kg/m3} = 0.375\ m3$$

$$AF = 1 - (cemento + agua + aire + AG) = 0.280\ m3$$

- **Peso del agregado fino**

$$Peso\ AF = AF \times Peso\ específico$$

$$Peso\ AF = 0.280\ m3 \times 2569.37\ kg/m3$$

$$Peso\ AF = 720\ kg$$

- **Presentación del diseño en estado seco**

$$Cemento = \mathbf{367.12}\ kg$$

$$AF = 720\ kg$$

$$AG = 990.41\ kg$$

$$Agua = 205\ kg$$

- **Corrección por humedad de los agregados**

$$Agregado\ final = Agregado\ en\ kg \times (Contenido\ de\ humedad + 1)$$

$$AF\ final = 720\ kg \times (1.40\% + 1) = \mathbf{731.03}\ kg$$

$$AG\ final = 990.41\ kg \times (0.20\% + 1) = \mathbf{992.40}\ kg$$

- **Aporte de agua a la mezcla**

$$Aporte\ de\ agua = \sum (humedad - absorción) \times\ agregados\ final$$

$$Aporte\ de\ agua\ (AF) = (1.43\% - 1.01\%) \times 731.03kg = 3.10\ lts$$

$$Aporte\ de\ agua\ (AG) = (0.20\% - 0.51\%) \times 992.40\ kg = -3.03\ lts$$

$$Aporte\ de\ agua = 3.10\ lts - 3.03\ lts = 0.07\ lts$$

- **Agua efectiva**

$$Agua\ efectiva = Agua - aporte\ de\ agua$$

$$Agua\ efectiva = 205\ lts - 0.07\ lts = \mathbf{204.93}\ lts$$

- **Proporcionamiento del diseño para 1m3**

$$Cemento = 367.12\ kg$$

$$AG = 992.40\ kg$$

$$AF = 731.03\ kg$$

$$Agua = 204.93\ lts$$

Tabla 12.

Proporcionamiento de diseño f'c= 210 kg/cm2.

Cantidad de material	Cemento	Piedra chancada	Arena	Agua
En peso	367.12 kg	992.40 kg	731.03 kg	204.93 lts
En proporción	1.00	2.70	1.99	23.72 lts
En volumen	8.64 bls	0.77 m3	0.52 m3	0.205 m3

Para una resistencia f'c= 210 kg/cm2, se obtiene el siguiente proporcionamiento 1: 2.70: 1.99 de acuerdo al diseño ACI – 211 a partir de los cuales para 1m3 se necesitan las siguientes cantidades materiales: 367.12 kg de cemento ,992.40 kg de piedra, 731.03 kg de arena y 204.93 lts de agua; las proporciones en m3, para el cálculo del costo unitario, son 8.64 bls de cemento, 0.77 m3 de piedra chancada, 0.52 m3 de arena y 0.205 m3 de agua (Tabla 12).

Tabla 13.

Presentación del diseño en cada porcentaje de sustitución

Descripcion	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Cemento	367.12 kg	348.76kg	330.41kg	312.05kg	293.70kg	275.34kg
A.G.	992.40 kg	992.40 kg	992.40 kg	992.40 kg	992.40 kg	992.40 kg
A.F.	731.03 kg	731.03 kg	731.03 kg	731.03 kg	731.03 kg	731.03 kg
Ceniza	0.00kg	18.36kg	36.71kg	55.07kg	73.42kg	91.78kg
Agua	204.93 lts	204.93 lts	204.93 lts	204.93 lts	204.93 lts	204.93 lts

Tabla 14.

Proporcionamiento para cada diseño

Descripcion	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Cemento	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A.G.	2.70	2.85	3.00	3.18	3.38	3.60
A.F.	1.99	2.10	2.21	2.34	2.49	2.66
Ceniza	0.00	0.05	0.11	0.18	0.25	0.33
Agua	23.72lts	23.72lts	23.72lts	23.72lts	23.72lts	23.72lts

Para los diferentes diseños tenemos las proporciones donde varia el cemento y ceniza según el peso de acuerdo a cada porcentaje de sustitución de ceniza de tallo y espiga por el cemento 0%, 5%,10%, 15%, 20%, 25% respectivamente (Tabla 13) ,así mismo las diferentes proporciones de cada diseño (Tabla14).

Así mismo, al remplazar la ceniza por el 5%, 10%, 15%, 20% y 25% del peso del cemento, se obtienen 2.13 kg, 4.25 kg, 6.38 kg, 8.50 kg y 10.63 kg de ceniza respectivamente. El remplazo se realizó respecto a una bolsa de cemento de 42.50 kg (Gráfico 19), pero para 8.64 bls de cemento se remplazaría 0.43, 0.86, 1.30, 1.73 y 2.16 bls de ceniza para 5, 10, 15, 20 y 25% del peso del cemento (Gráfico 20),

Gráfico 19.

Proporción de ceniza en kg para una bolsa de cemento

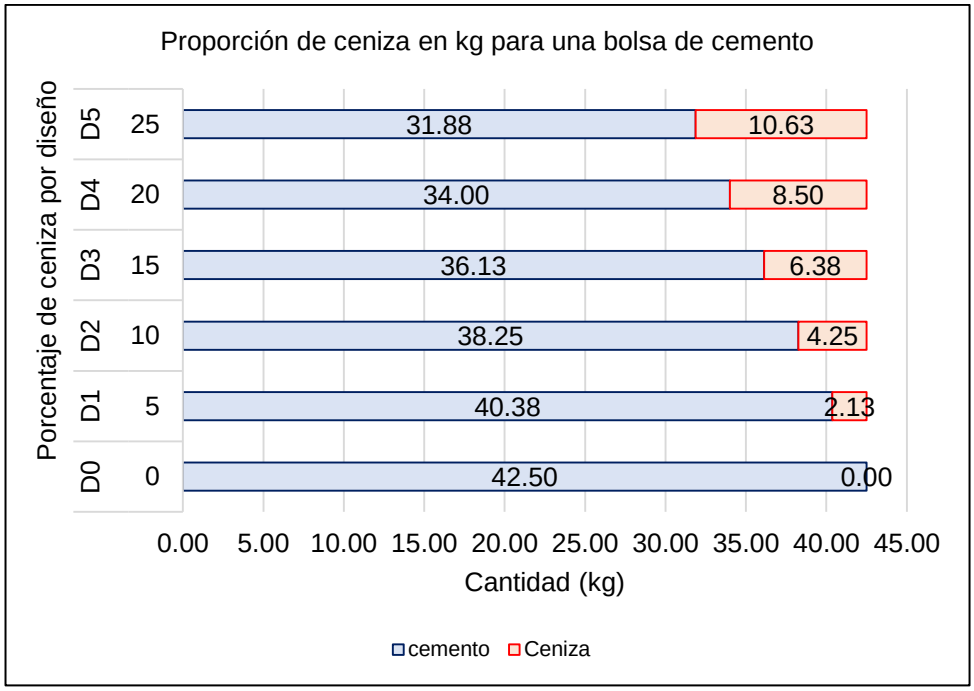
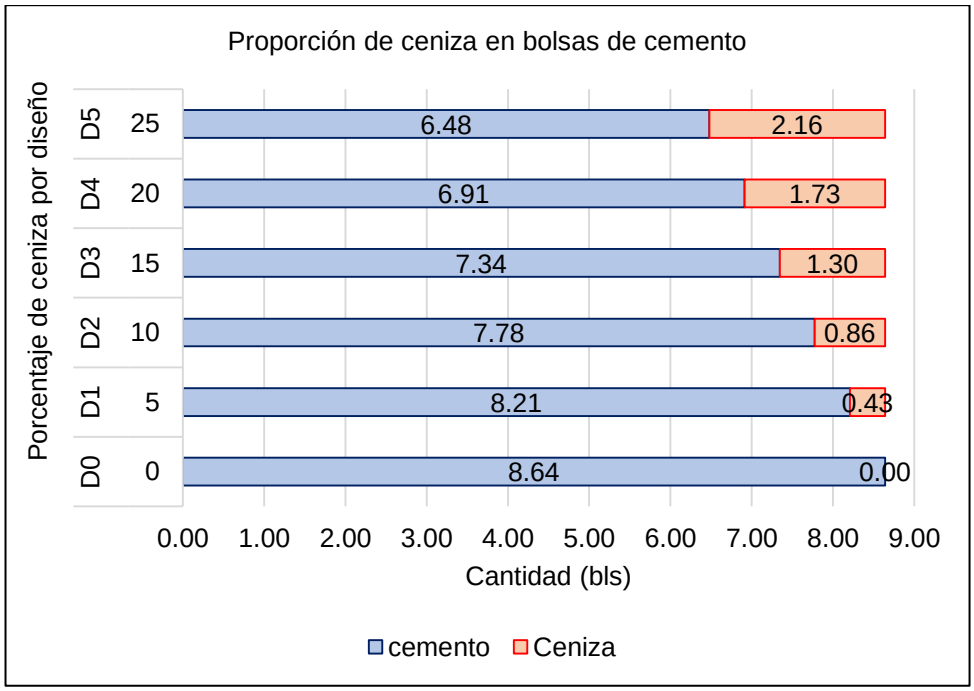


Gráfico 20.

Proporción de ceniza en bolsas de cemento



4.1.5. Ensayos a la mezcla de concreto

Tabla 15.

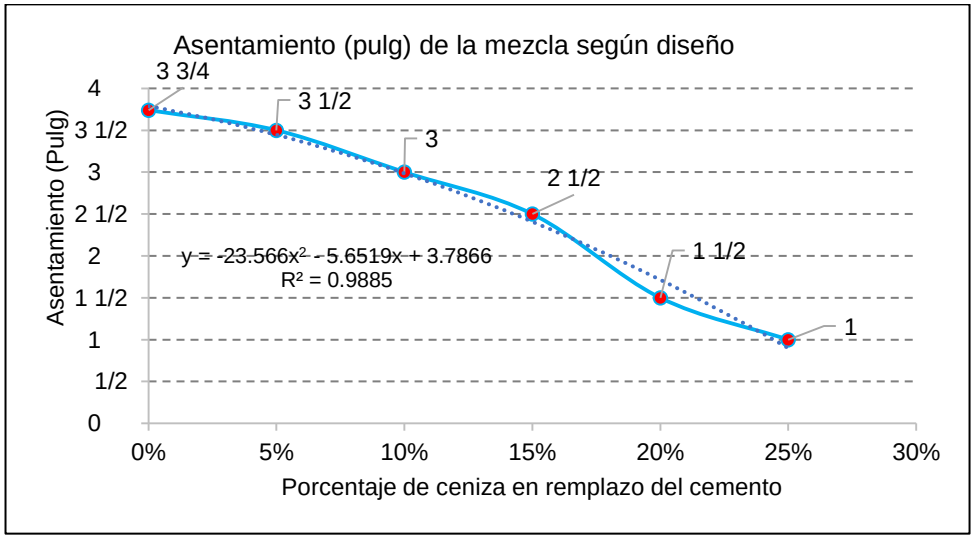
Resumen de las propiedades del concreto en estado no endurecido

Diseño	Slump	Temperatura (°C)	C. de aire (%)	Densidad (gr/cm3)
D. Patron - 0% ceniza	3 3/4	20.20	2.10	2.33
D1 - 05% ceniza	3 1/2	19.60	1.90	2.33
D2 - 10% ceniza	3	20.80	1.60	2.31
D3 - 15% ceniza	2 1/2	20.60	1.50	2.30
D4 - 20% ceniza	1 1/2	19.80	1.30	2.26
D5 - 25% ceniza	1	19.10	1.10	2.19

Se han analizado las propiedades de la mezcla de concreto en estado fresco para determinar la variación del asentamiento (pulg), temperatura (°C), contenido de aire (%) y densidad (gr/cm3), según el diseño: Diseño base (0% de ceniza), D1 (5% de ceniza), D2 (10% de ceniza), D3 (15% de ceniza), D4 (20% de ceniza) y D5 (25% de ceniza).

Gráfico 21.

Asentamiento (pulg) de la mezcla

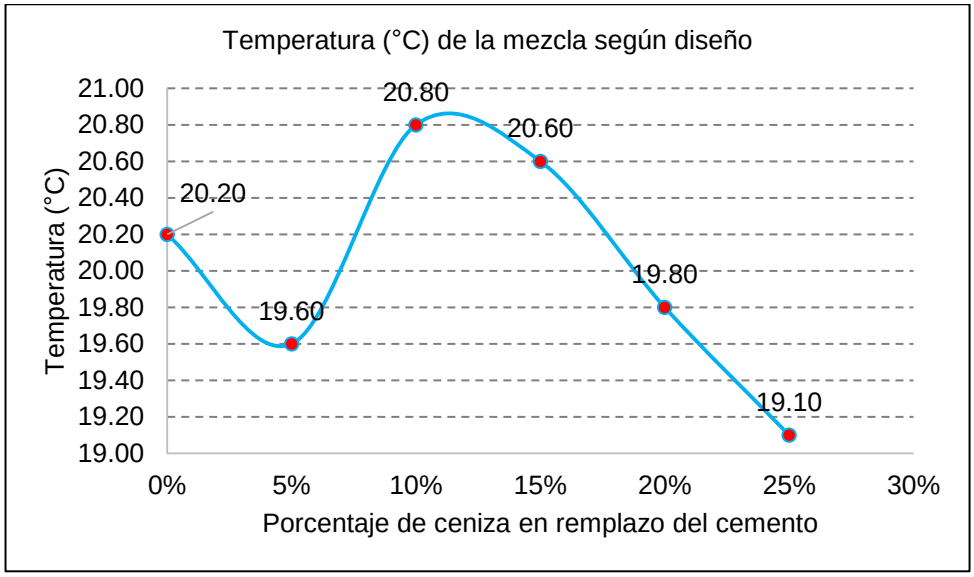


Interpretación. El asentamiento (pulg) de la mezcla inicial o diseño patrón con 0% de ceniza es 3 ¾", valor dentro del rango de diseño de 3" a 4", sin embargo, el Slump mínimo para estructuras como vigas y

columnas puede ser 1”, por tanto, mientras el Slump no sea menor puede ser utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, siempre y cuando cumpla con la resistencia f’c= 210 kg/cm2. Además, en el gráfico, se observa como el asentamiento disminuye en ½” por cada 5% de ceniza que remplace al cemento, llegando hasta un valor de slump 1” para un 25% de ceniza (D5), también se ha propuesto una ecuación de grado dos, que relaciona el porcentaje de ceniza añadida con el asentamiento.

***Gráfico 22*.**

Temperatura (°C) de la mezcla

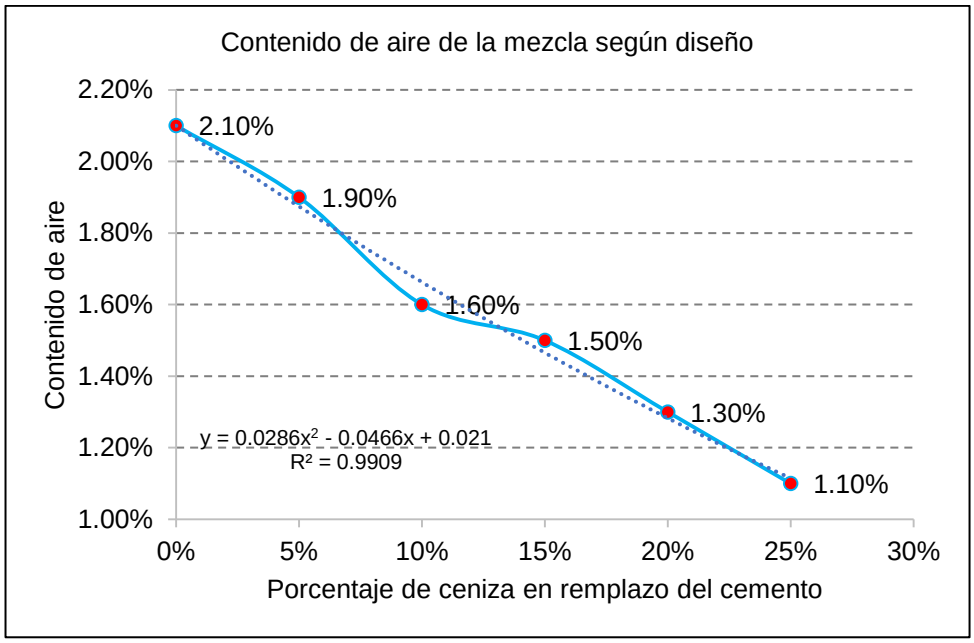


Interpretación. La temperatura (°C) de la mezcla presenta una variación discontinua según la incorporación de ceniza en remplazo del cemento, con una temperatura inicial de 20.20 °C para el diseño patrón con 0% de ceniza, luego se presenta un decrecimiento en la temperatura al incorporar 5% de ceniza, llegando a un valor de 19.60 °C, para volver a aumentar al incorporar 10% de ceniza, hasta alcanzar 20.80 °C, a partir de dicho porcentaje la temperatura va disminuyendo según la incorporación de ceniza, alcanzando una temperatura mínima de 19.10

°C, que difiere en 1.10 °C con la temperatura inicial, por tanto, la diferencia de valores en temperatura no es crítica.

Gráfico 23.

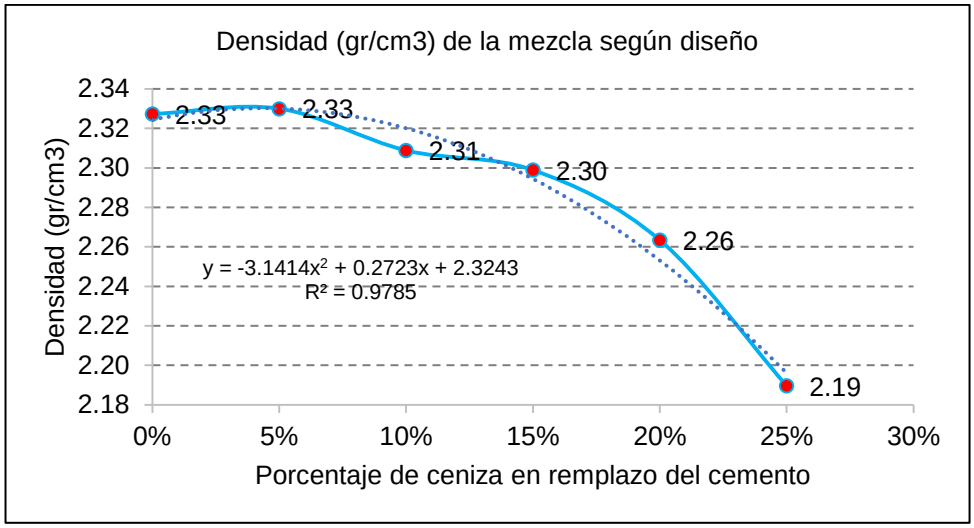
Contenido de aire de la mezcla



Interpretación. El contenido de aire para la mezcla de concreto con 0% de ceniza asciende a 2.10%, valor que supera al propuesto en el diseño de mezcla en tan solo 0.10%, no obstante, el contenido de aire decae según el porcentaje de incorporación de ceniza, en aproximadamente un 0.30% por cada 5% de adición de ceniza de cebada, llegando a su valor más bajo equivalente a 1.10% al adicionar 25% de ceniza. Además, el contenido de aire ha sido expresado en una ecuación cuadrática, que permite predecir el porcentaje de aire según el porcentaje de ceniza de cebada que se incorpore en la mezcla, por tanto, “x” representa el porcentaje de ceniza de cebada a agregar.

Gráfico 24.

Densidad (gr/cm3) de la mezcla



Interpretación. La densidad (gr/cm3), es la representación de la masa sobre el volumen, por tanto, al mantener el mismo volumen para todas las mezclas ensayadas, se puede aseverar, que la masa del concreto disminuye según el porcentaje de incorporación de ceniza de cebada. La muestra patrón con 0% de ceniza, alcanza una densidad de 2.33 gr/cm3, valor que se mantiene para la muestra con 5% de ceniza (D1), pero empieza a decaer para las muestras con, 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cebada, llegando a un valor de 2.19 gr/cm3.

4.1.6. Ensayo de compresión a los especímenes de concreto

Los especímenes base han sido diseñados para una resistencia a la compresión f'c= 210 kg/cm2, pero han sufrido variaciones según el porcentaje de adición de ceniza de tallo y espiga de cebada.

a. Diseño patrón con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 16.

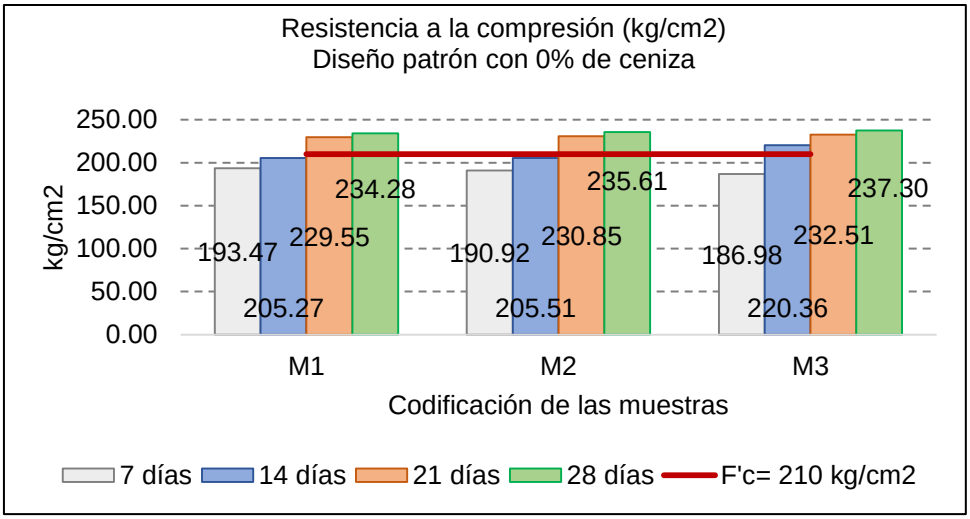
Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 0% de ceniza

Resistencia a la compresión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	193.47	205.27	229.55	234.28
M2	190.92	205.51	230.85	235.61
M3	186.98	220.36	232.51	237.30
Promedio	190.46	210.38	230.97	235.73
Desviación estándar	3.27	8.64	1.48	1.51
Coeficiente de variación	1.71%	4.11%	0.64%	0.64%

Interpretación. En la Tabla 16, el coeficiente de variación de los especímenes no sobrepasa el rango (7.8%), establecido en la norma NTP 339.034, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 25.

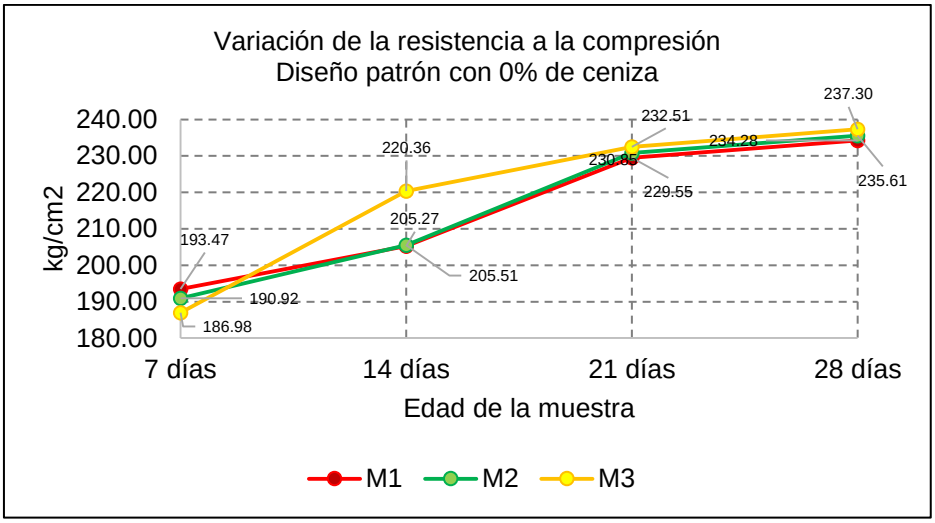
Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D0



Interpretación. A los 28 días, los tres especímenes con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada, superan la resistencia de diseño f’c= 210 kg/cm2, con valores de 234.28 kg/cm2, 235.61 kg/cm2 y 237.30 kg/cm2.

Gráfico 26.

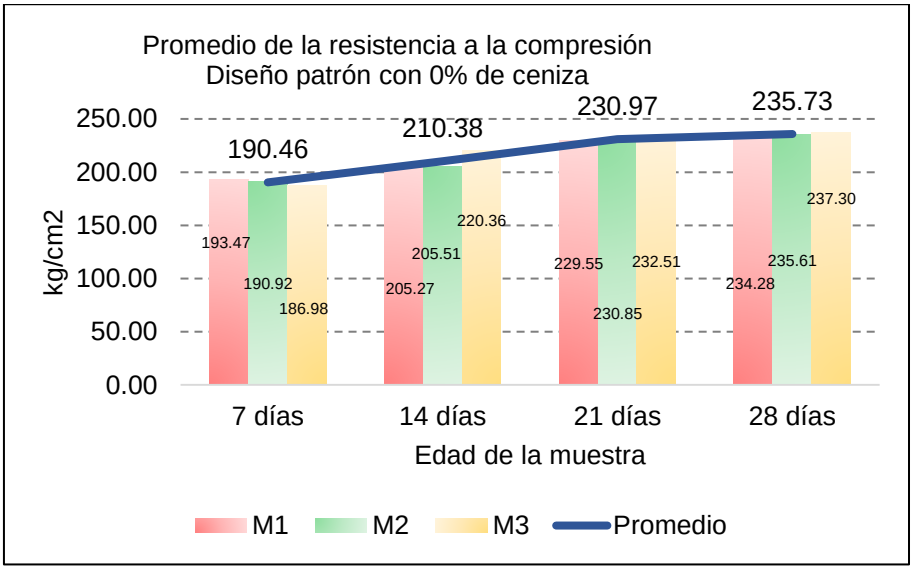
Variación de la resistencia a la compresión – D0



Interpretación. La mayor variación de datos se concentra en los especímenes de 14 días de edad, con una diferencia máxima de 15.09 kg/cm2, mientras que los especímenes de 7 ,21 y 28 días de edad presentan valores cercanos, con diferencias máximas de 6.49 kg/cm2 y 3.02 kg/cm2.

Gráfico 27.

Promedio de la resistencia a la compresión – D0



Interpretación. Las resistencias a la compresión promedio para los especímenes con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14, 21 y 28 días ascienden a 190.46 kg/cm2, 210.38 kg/cm2 ,230.97 kg/cm2 y 235.73 kg/cm2, respectivamente.

b. Diseño 1, con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 17.

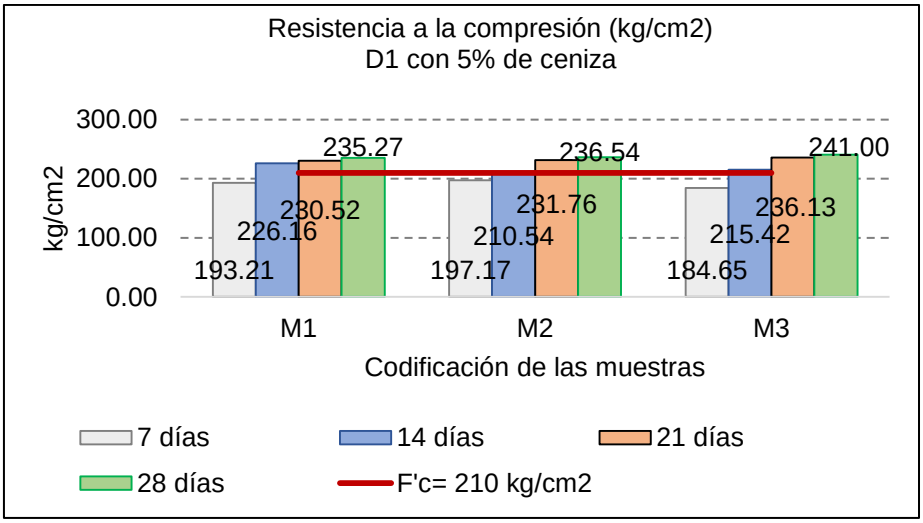
Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 5% de ceniza

Resistencia a la compresión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	193.21	226.16	230.52	235.27
M2	197.17	210.54	231.76	236.54
M3	184.65	215.42	236.13	241.00
Promedio	191.68	217.37	232.80	237.60
Desviación estándar	6.40	7.99	2.95	3.01
Coeficiente de variación	3.34%	3.68%	1.27%	1.27%

Interpretación. En la Tabla 17, el coeficiente de variación de los especímenes no sobrepasa el rango (7.8%), establecido en la norma NTP 339.034, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 28.

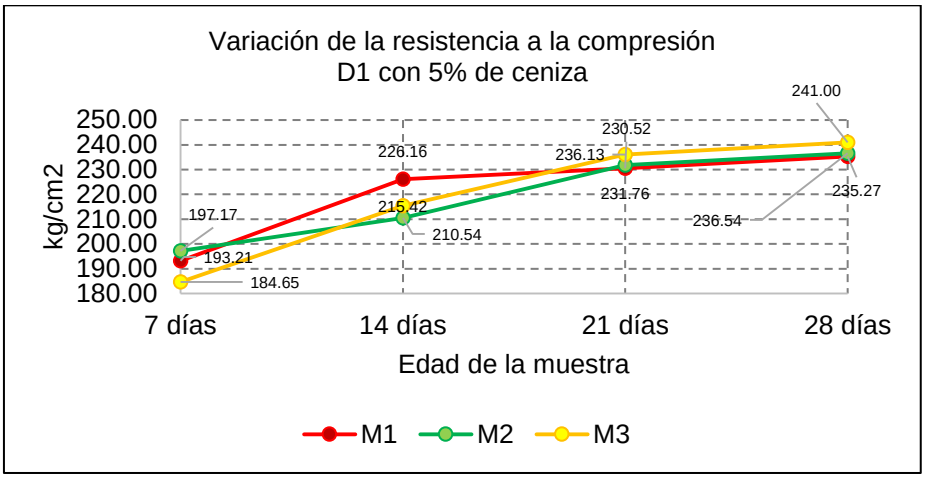
Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D1



Interpretación. A los 28 días, los especímenes con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada, superan la resistencia de diseño f'c= 210 kg/cm2.

Gráfico 29.

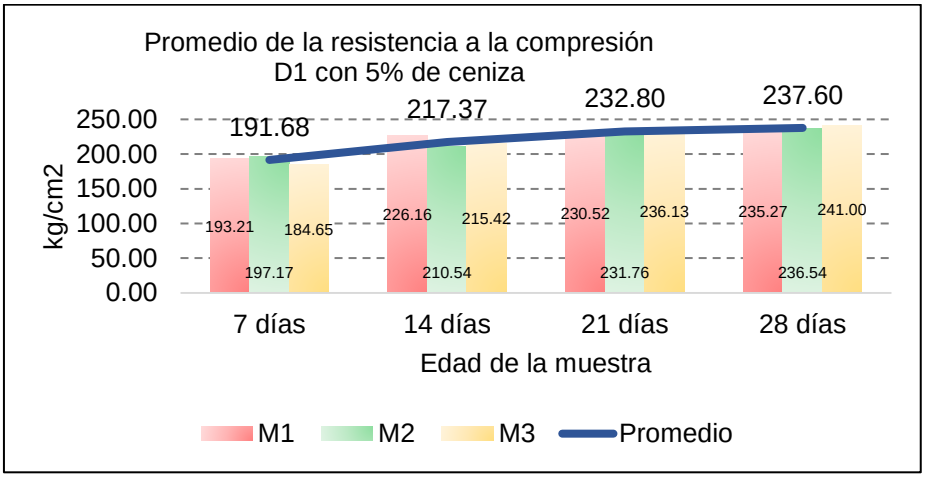
Variación de la resistencia a la compresión – D1



Interpretación. La mayor variación de datos se concentra en los especímenes de 7 y 14 días de edad, con diferencias máximas de 12.52 kg/cm2 y 15.62 kg/cm2 respectivamente, mientras que los especímenes de 21 y 28 días de edad presentan valores cercanos, con una diferencia máxima de 4.46 kg/cm2.

Gráfico 30.

Promedio de la resistencia a la compresión – D1



Interpretación. Las resistencias a la compresión promedio para los especímenes con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14, 21 y 28 días ascienden a 191.68 kg/cm2, 217.37 kg/cm2 ,232.80 kg/cm2 y 237.60 kg/cm2, respectivamente.

c. Diseño 2, con 10% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 18.

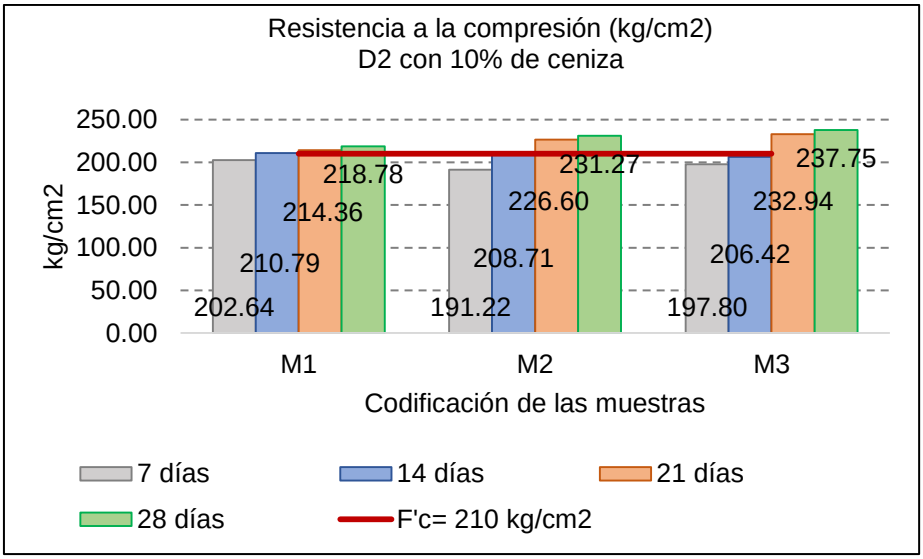
Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 10% de ceniza

Resistencia a la compresión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	202.64	210.79	214.36	218.78
M2	191.22	208.71	226.60	231.27
M3	197.80	206.42	232.94	237.75
Promedio	197.22	208.64	224.64	229.27
Desviación estándar	5.73	2.18	9.45	9.64
Coeficiente de variación	2.91%	1.05%	4.20%	4.20%

Interpretación. En la Tabla 18, el coeficiente de variación de los especímenes no sobrepasa el rango (7.8%), establecido en la norma NTP 339.034, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 31.

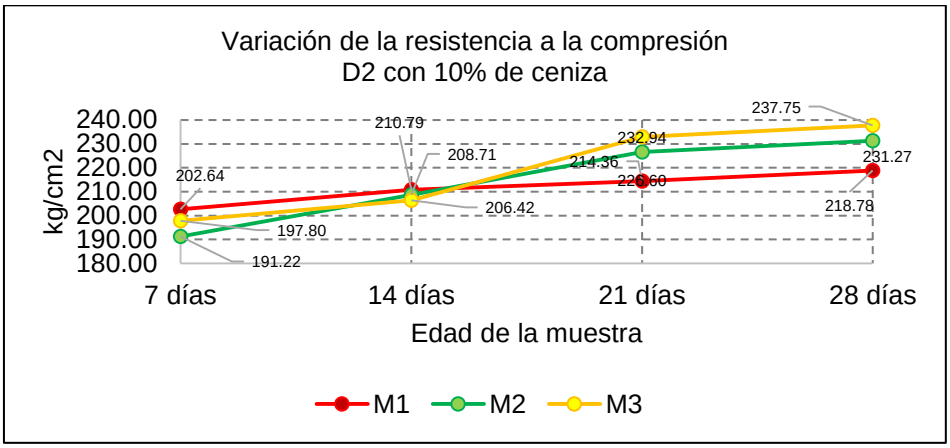
Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D2



Interpretación. A los 28 días, los tres especímenes con 10% de ceniza de tallo y espiga de cebada, superan la resistencia de diseño f'c= 210 kg/cm2.

Gráfico 32.

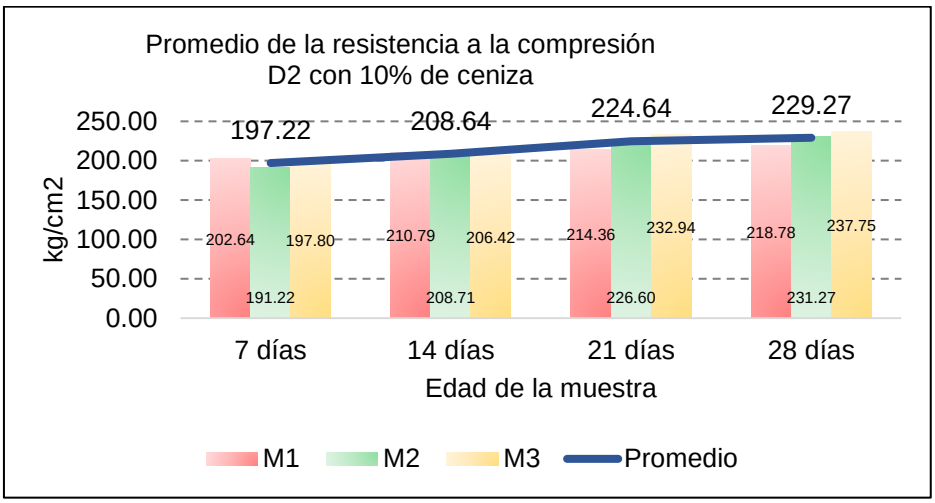
Variación de la resistencia a la compresión – D2



Interpretación. La mayor variación de datos se concentra en los especímenes de 7 ,21 y 28 días de edad, con diferencias máximas de 11.42 kg/cm2 y 18.97 kg/cm2, respectivamente, mientras que los especímenes de 14 días de edad presentan valores cercanos, con una diferencia máxima de 4.37 kg/cm2.

Gráfico 33.

Promedio de la resistencia a la compresión – D2



Interpretación. Las resistencias a la compresión promedio para los especímenes con 10% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14, 21 y 28 días ascienden a 197.22 kg/cm2, 208.64 kg/cm2, 224.64 y 229.27 kg/cm2, respectivamente.

d. Diseño 3, con 15% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 19.

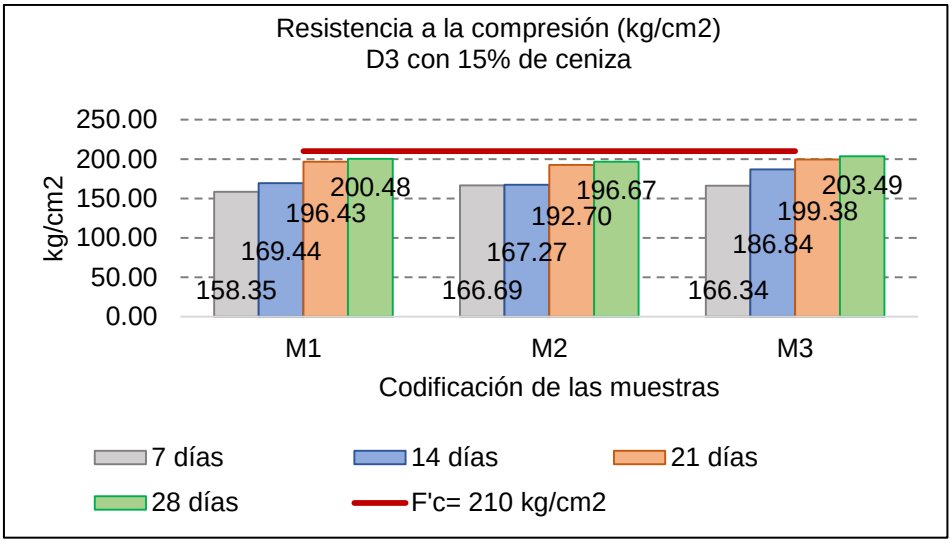
Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 15% de ceniza

Resistencia a la compresión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	158.35	169.44	196.43	200.48
M2	166.69	167.27	192.70	196.67
M3	166.34	186.84	199.38	203.49
Promedio	163.79	174.52	196.17	200.21
Desviación estándar	4.72	10.73	3.35	3.41
Coeficiente de variación	2.88%	6.15%	1.71%	1.71%

Interpretación. En la Tabla 19, el coeficiente de variación de los especímenes no sobrepasa el rango (7.8%), establecido en la norma NTP 339.034, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 34.

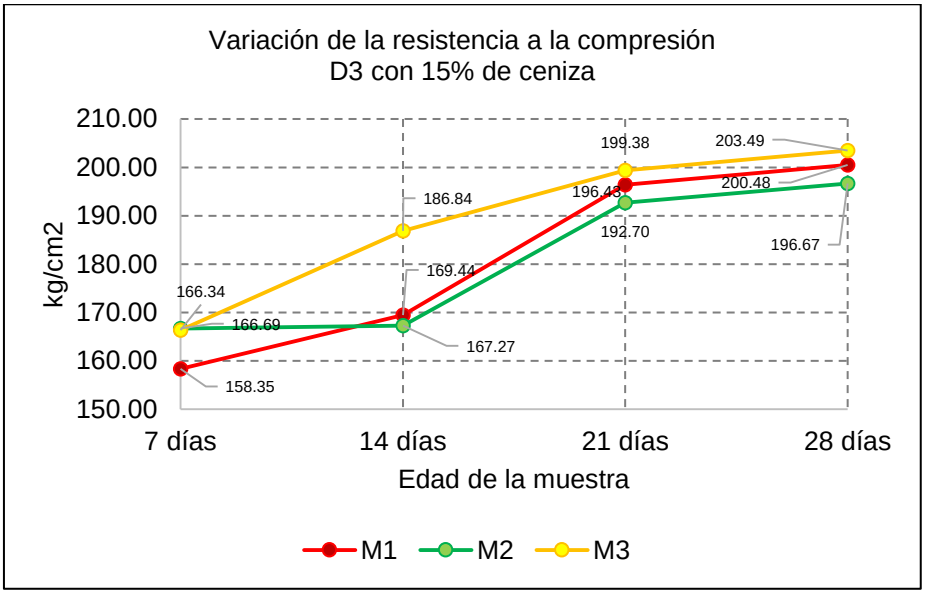
Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D3



Interpretación. A los 28 días, los tres especímenes con 15% de ceniza de tallo y espiga de cebada, no superan la resistencia de diseño f'c= 210 kg/cm2, con valores de 200.48 kg/cm2, 196.67 kg/cm2 y 203.49 kg/cm2. La diferencia máxima entre la menor resistencia alcanzada y la resistencia de diseño es 13.33 kg/cm2, equivalente a 6.33% debajo del f'c esperado.

Gráfico 35.

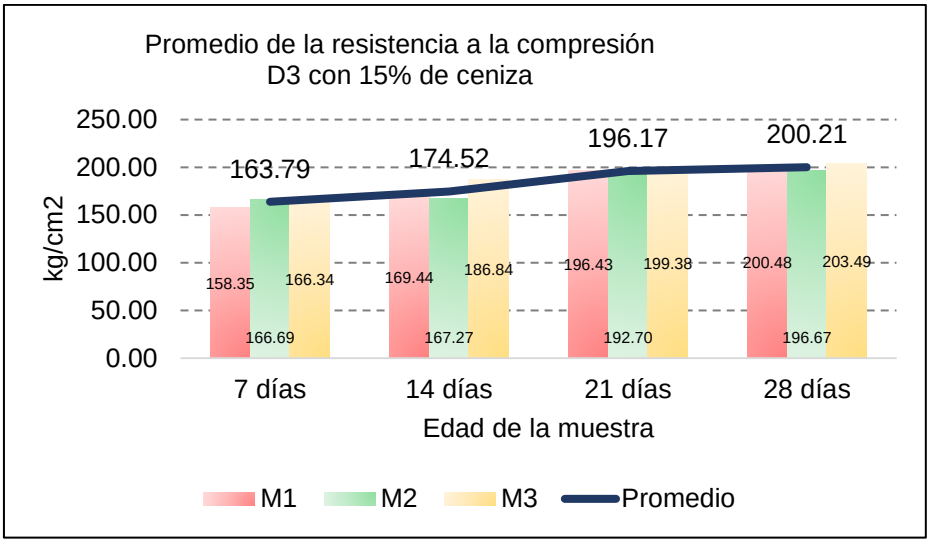
Variación de la resistencia a la compresión – D3



Interpretación. La mayor variación de datos se concentra en los especímenes de 7 y 14 días de edad, con diferencias máximas de 8.34 kg/cm2 y 19.57 kg/cm2 respectivamente, mientras que los especímenes de 21 y 28 días de edad presentan valores cercanos, con una diferencia máxima de 6.82 kg/cm2.

Gráfico 36.

Promedio de la resistencia a la compresión – D3



Interpretación. Las resistencias a la compresión promedio para los especímenes con 15% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14 ,21 y 28 días ascienden a 163.79 kg/cm2, 174.52 kg/cm2 ,196.17 kg/cm2 y 200.21 kg/cm2, respectivamente.

e. Diseño 4, con 20% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 20.

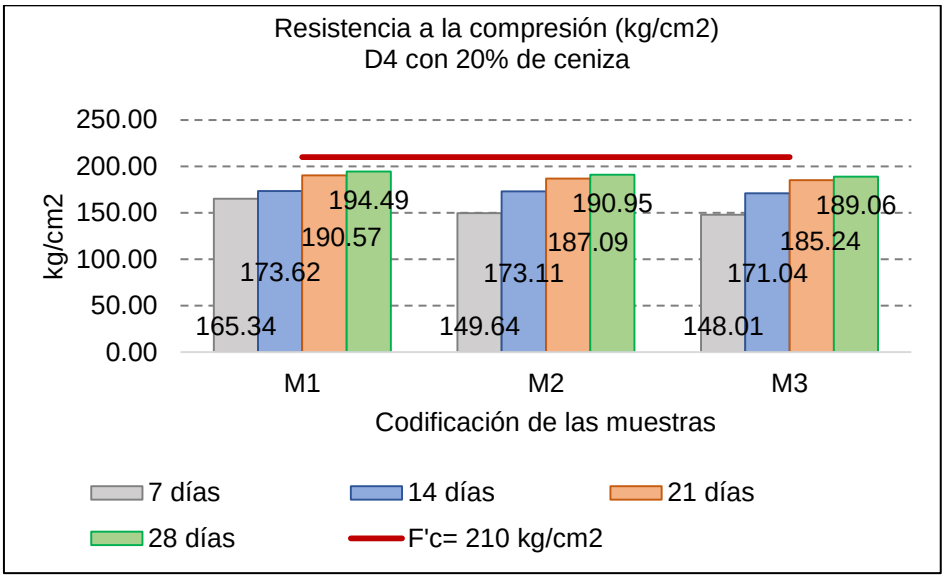
Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 20% de ceniza

Resistencia a la compresión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	165.34	173.62	190.57	194.49
M2	149.64	173.11	187.09	190.95
M3	148.01	171.04	185.24	189.06
Promedio	154.33	172.59	187.63	191.50
Desviación estándar	9.57	1.37	2.70	2.76
Coeficiente de variación	6.20%	0.79%	1.44%	1.44%

Interpretación. En la Tabla 20, el coeficiente de variación de los especímenes no sobrepasa el rango (7.8%), establecido en la norma NTP 339.034, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 37.

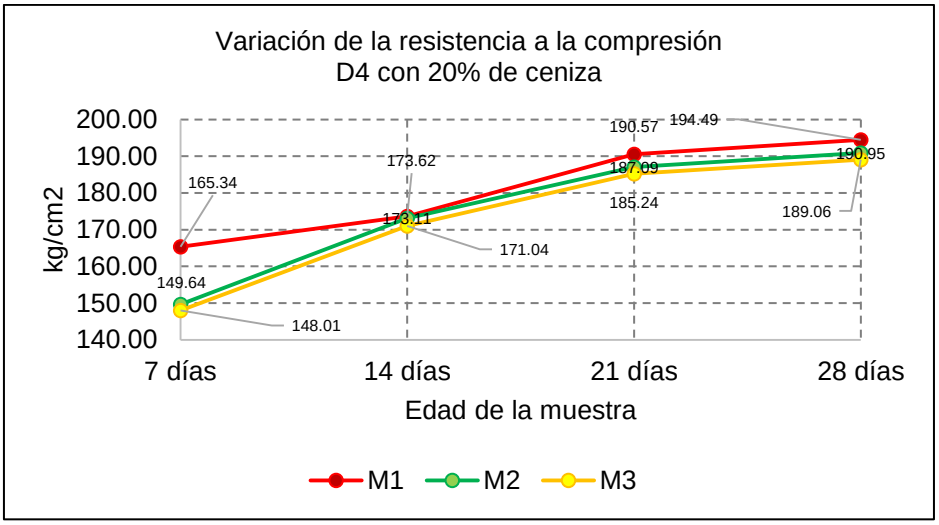
Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D4



Interpretación. A los 28 días, los tres especímenes con 20% de ceniza de tallo y espiga de cebada, no superan la resistencia de diseño f'c= 210 kg/cm2, con valores de 194.49 kg/cm2, 190.95 kg/cm2 y 189.06 kg/cm2. La diferencia máxima entre la menor resistencia alcanzada y la resistencia de diseño es 20.94 kg/cm2, equivalente a 9.97% debajo del f'c esperado.

Gráfico 38.

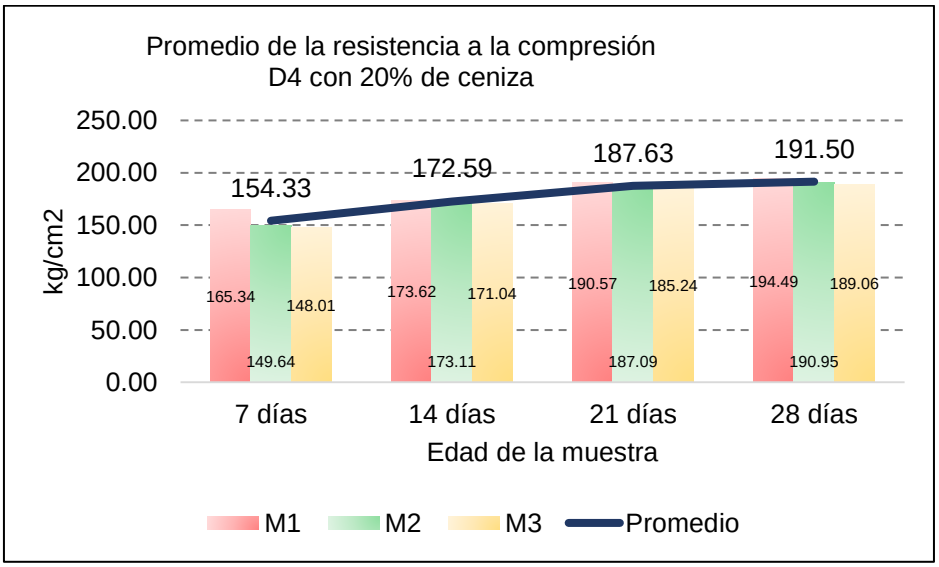
Variación de la resistencia a la compresión – D4



Interpretación. La mayor variación de datos se concentra en los especímenes de 7 días de edad, con una diferencia máxima de 17.33 kg/cm2, mientras que los especímenes de 14, 21 y 28 días de edad presentan valores cercanos, con diferencias máximas de 2.58 kg/cm2 y 5.43 kg/cm2 respectivamente.

Gráfico 39.

Promedio de la resistencia a la compresión – D4



Interpretación. Las resistencias a la compresión promedio para los especímenes con 20% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14 y 28 días, ascienden a 154.33 kg/cm2, 172.59 kg/cm2,187.63kg/cm2 y 191.50 kg/cm2, respectivamente.

f. Diseño 5, con 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 21.

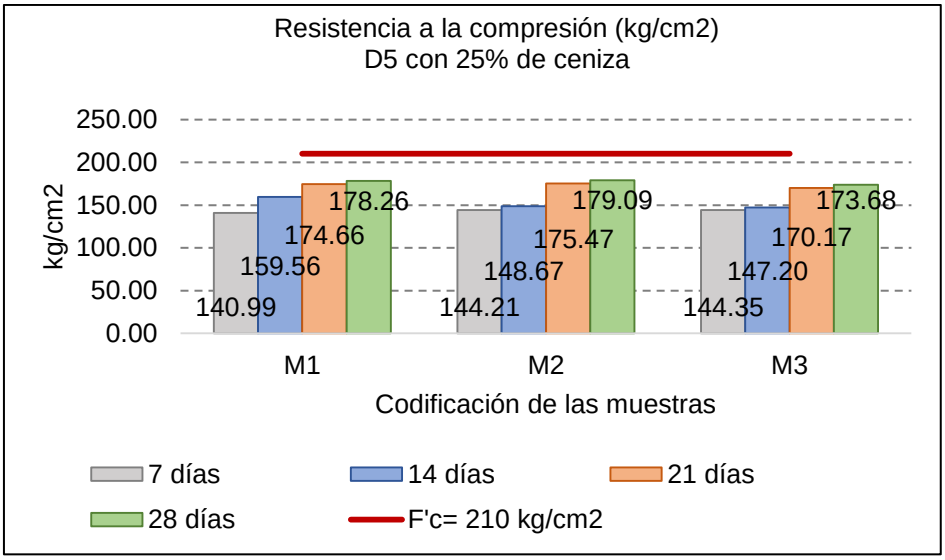
Resultados de resistencia a la compresión de los testigos con 25% de ceniza

Resistencia a la compresión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	140.99	159.56	174.66	178.26
M2	144.21	148.67	175.47	179.09
M3	144.35	147.20	170.17	173.68
Promedio	143.18	151.81	173.43	177.01
Desviación estándar	1.90	6.75	2.86	2.91
Coeficiente de variación	1.33%	4.45%	1.65%	1.65%

Interpretación. En la Tabla 21, el coeficiente de variación de los especímenes no sobrepasa el rango (7.8%), establecido en la norma NTP 339.034, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 40.

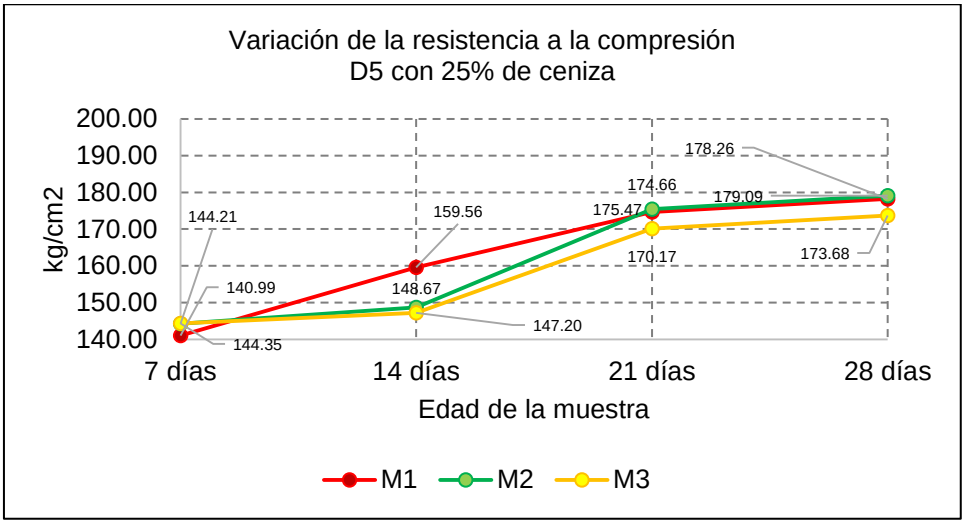
Resistencia a la compresión (kg/cm2) – D5



Interpretación. A los 28 días, los tres especímenes con 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada, no superan la resistencia de diseño f'c= 210 kg/cm2, con valores de 178.26 kg/cm2, 179.09 kg/cm2 y 173.68 kg/cm2. La diferencia máxima entre la menor resistencia alcanzada y la resistencia de diseño es 30.91 kg/cm2, equivalente a 14.72% debajo del f'c esperado.

Gráfico 41.

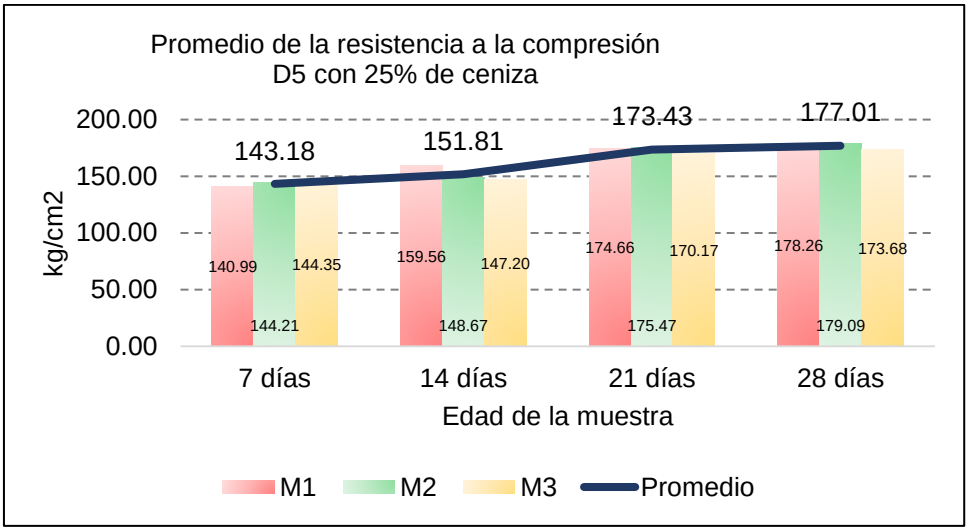
Variación de la resistencia a la compresión – D5



Interpretación. La mayor variación de datos se concentra en los especímenes de 14 días de edad, con una diferencia máxima de 12.36 kg/cm2, mientras que los especímenes de 7, 21 y 28 días de edad presentan valores cercanos, con diferencias máximas de 3.22 kg/cm2 y 5.41 kg/cm2 respectivamente.

Gráfico 42.

Promedio de la resistencia a la compresión – D5

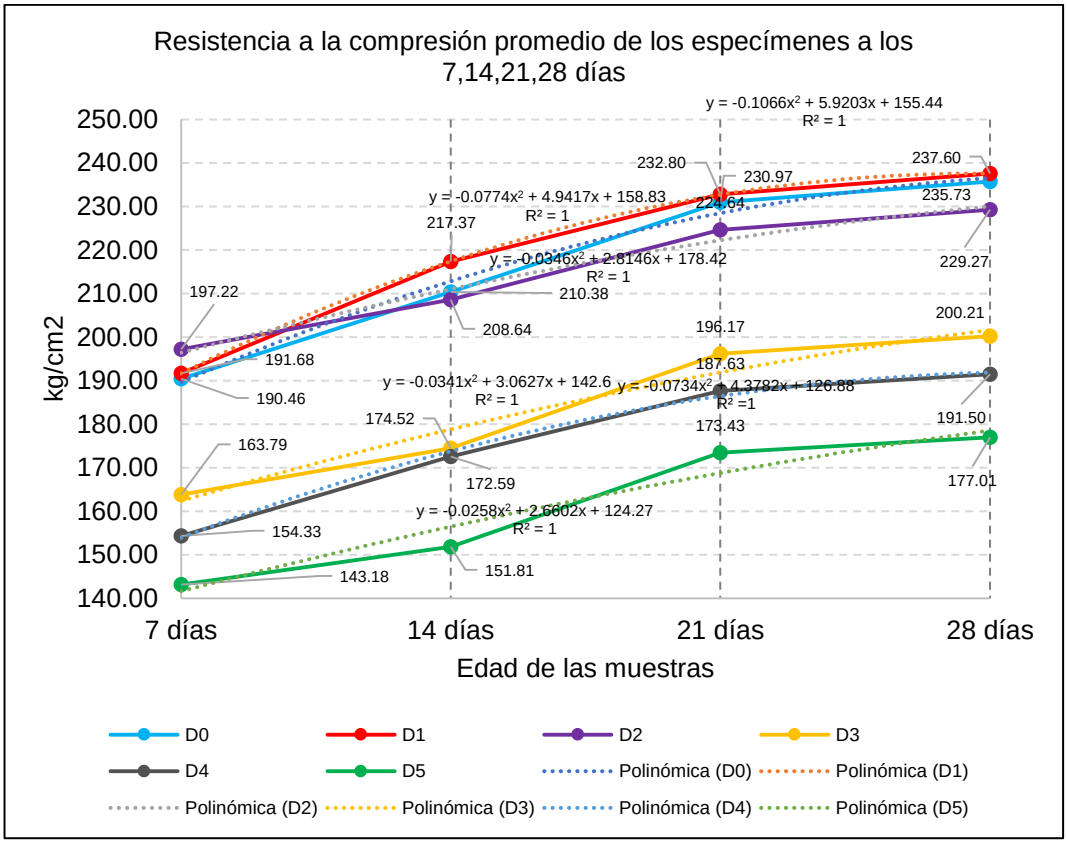


Interpretación. Las resistencias a la compresión promedio para los especímenes con 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14 ,21 y 28 días, ascienden a 143.18 kg/cm2, 151.81 kg/cm2, 173.41 kg/cm2 y 177.01 kg/cm2, respectivamente.

g. Resumen de resultados del ensayo a compresión

Gráfico 43.

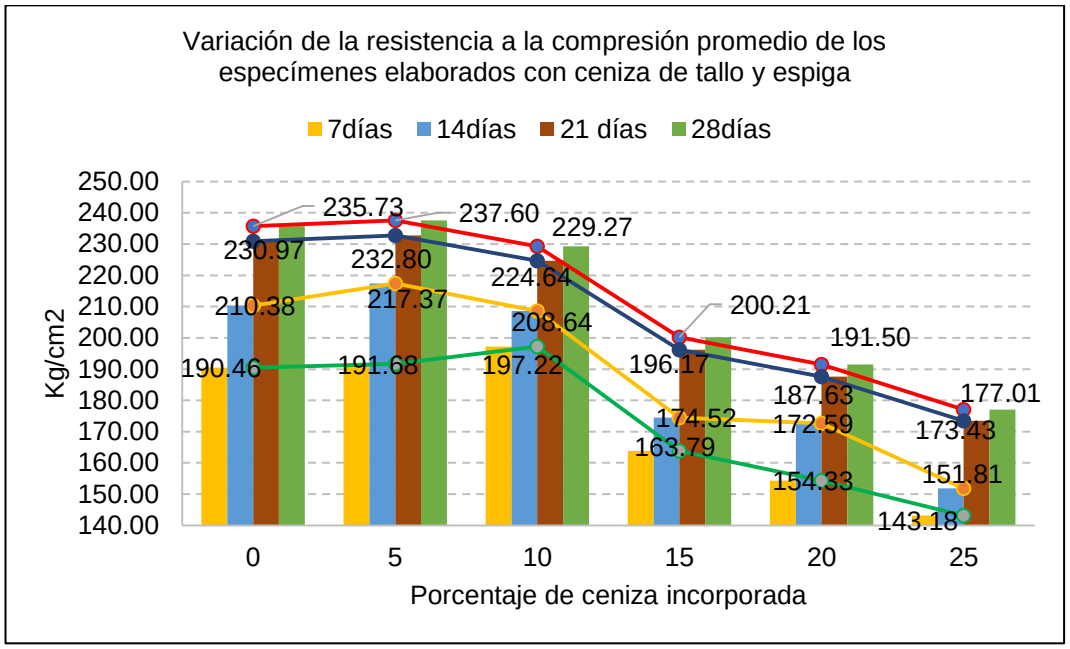
Resistencia a la compresión promedio de los especímenes a los 7, 14, 21 y 28 días



Interpretación. En el Gráfico 43, se puede visualizar que las resistencias a la compresión promedio para cada tipo de diseño (D0, D1, D2, D3, D4 y D5 con 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada, respectivamente), forman líneas paralelas unas a otras, donde la mayor diferencia entre las resistencias a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días, se muestra entre los diseños D2 y D3. El D0, D1, D2, D3, D4 y D5 se ajustan al modelo polinómico con una correlación R2 igual a 1.00; las ecuaciones cuadráticas permiten estimar la resistencia a la compresión según la edad de los especímenes.

Gráfico 44.

Variación de la resistencia a la compresión promedio de los especímenes elaborados con ceniza de tallo y espiga



Interpretación. En el Gráfico 44, a los 7 días la mayor resistencia a la compresión promedio, es alcanzada por el D2 con 10% de ceniza de tallo y espiga de cebada, mientras que la menor resistencia es obtenida por los especímenes con 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada (D5). A los 14 y 21 días, la mayor resistencia se alcanza en el D1 con 5% de ceniza de tallo. Los resultados más importantes, son a los 28 días, donde, la mayor resistencia a la compresión es alcanzada por el D1 equivalente a 237.73 kg/cm2, superior en 1.87 kg/cm2 al D0 con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada, pero el D2, también supera a la resistencia esperada f'c= 210 kg/cm2, con 229.27 kg/cm2.

4.1.7. Ensayo de flexión a los especímenes de concreto

a. Diseño patrón con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 22.

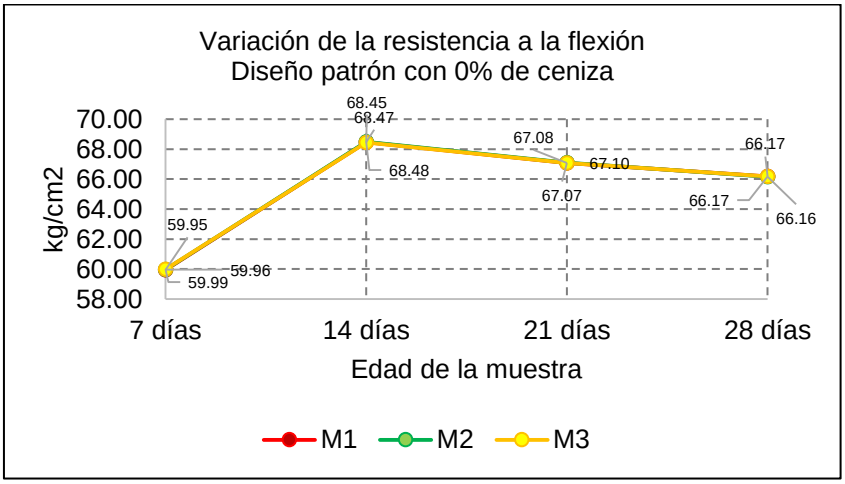
Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 0% de ceniza

Resistencia a la flexión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	59.95	68.47	67.08	66.17
M2	59.96	68.48	67.10	66.16
M3	59.99	68.45	67.07	66.17
Promedio	59.96	68.47	67.08	66.17
Desviación estándar	0.02	0.01	0.01	0.01
Coeficiente de variación	0.03%	0.02%	0.02%	0.01%

Interpretación. El coeficiente de variación de la resistencia a la flexión para los especímenes (M1, M2 y M3) a los 7, 14 ,21 y 28 días, no es mayor a 7%, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 45.

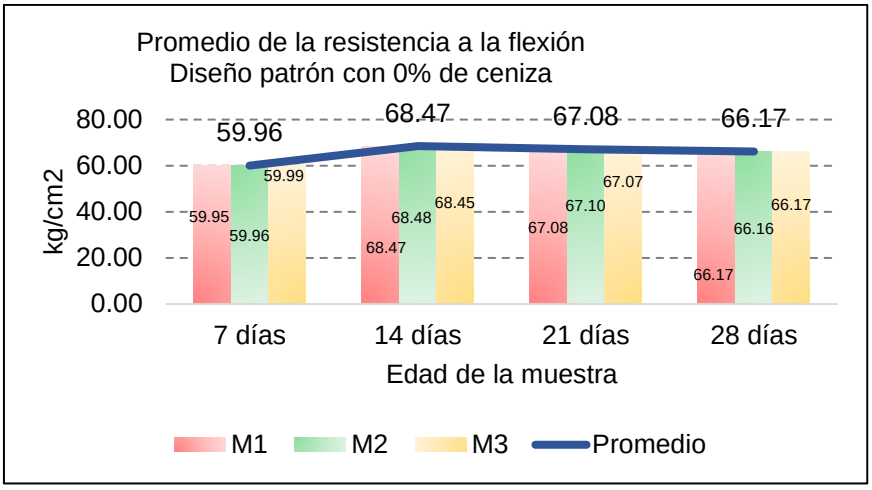
Variación de la resistencia a la flexión – D0



Interpretación. La variación de datos en los especímenes de 7 y 14, 21 días de edad, es mínima, con una diferencia máxima de 0.04 kg/cm2 , 0.02kg/cm2 y 0.03 kg/cm2, mientras que los especímenes de 28 días de edad presentan similares resistencias a la flexión.

Gráfico 46.

Promedio de la resistencia a la flexión – D0



Interpretación. Las resistencias a la flexión promedio para los especímenes con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14 ,21 y 28 días, ascienden a 59.96 kg/cm2, 68.47 kg/cm2, 67.08 y 66.17 kg/cm2, respectivamente.

b. Diseño 1, con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 23.

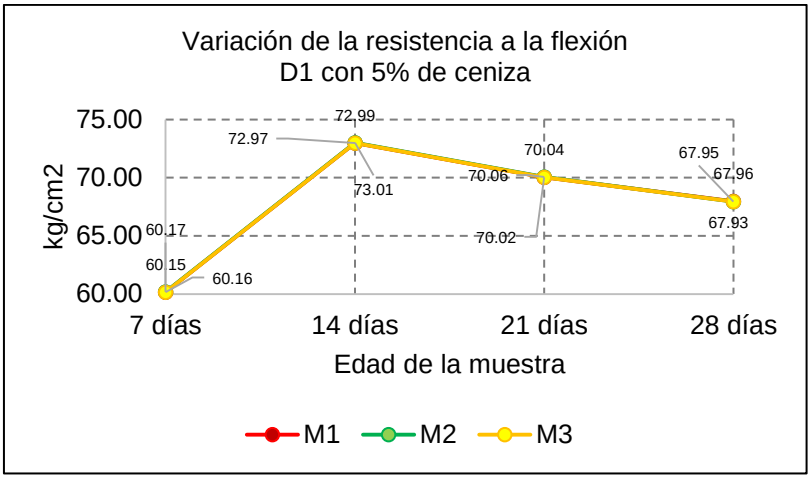
Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 5% de ceniza

Resistencia a la flexión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	60.15	72.99	70.04	67.96
M2	60.17	73.01	70.06	67.95
M3	60.16	72.97	70.02	67.93
Promedio	60.16	72.99	70.04	67.95
Desviación estándar	0.01	0.02	0.02	0.01
Coeficiente de variación	0.02%	0.03%	0.03%	0.02%

Interpretación. El coeficiente de variación de la resistencia a la flexión para los especímenes (M1, M2 y M3) a los 7, 14, 21 y 28 días, no es mayor a 7%, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 47.

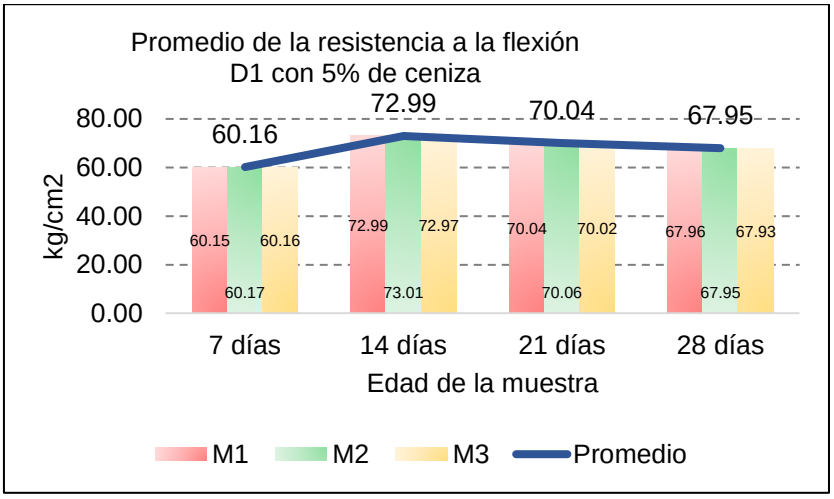
Variación de la resistencia a la flexión – D1



Interpretación. La variación de datos en los especímenes de 7, 14, 21 y 28 días de edad, es mínima, con una diferencia máxima de 0.02 kg/cm2, 0.04 kg/cm2 ,0.02kg/cm2 y 0.03 kg/cm2, respectivamente.

Gráfico 48.

Promedio de la resistencia a la flexión – D1



Interpretación. Las resistencias a la flexión promedio para los especímenes con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14, 21y 28 días, ascienden a 60.16 kg/cm2, 72.99 kg/cm2, 70.04 y 67.95 kg/cm2, respectivamente.

c. Diseño 2, con 10% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 24.

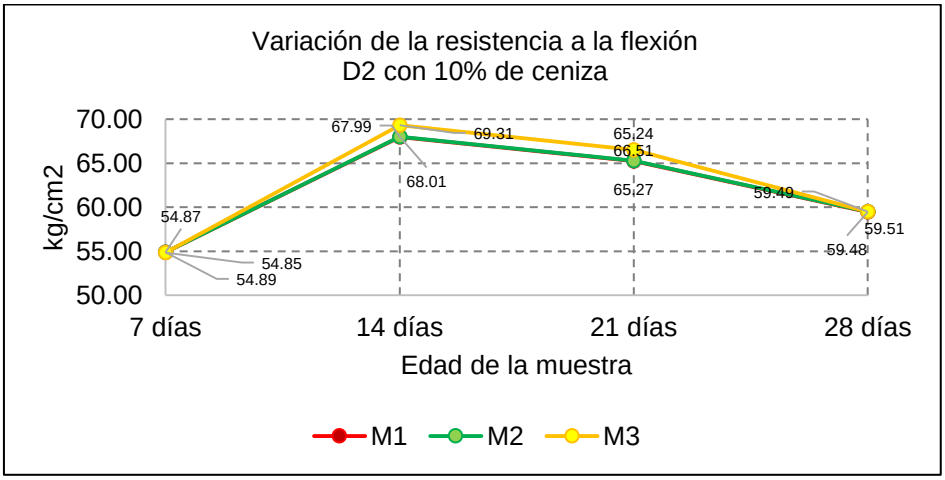
Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 10% de ceniza

Resistencia a la flexión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	54.87	67.99	65.24	59.48
M2	54.89	68.01	65.27	59.51
M3	54.85	69.31	66.51	59.49
Promedio	54.87	68.44	65.67	59.49
Desviación estándar	0.02	0.75	0.72	0.01
Coeficiente de variación	0.04%	1.10%	1.10%	0.02%

Interpretación. El coeficiente de variación de la resistencia a la flexión para los especímenes (M1, M2 y M3) a los 7, 14,21 y 28 días, no es mayor a 7%, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 49.

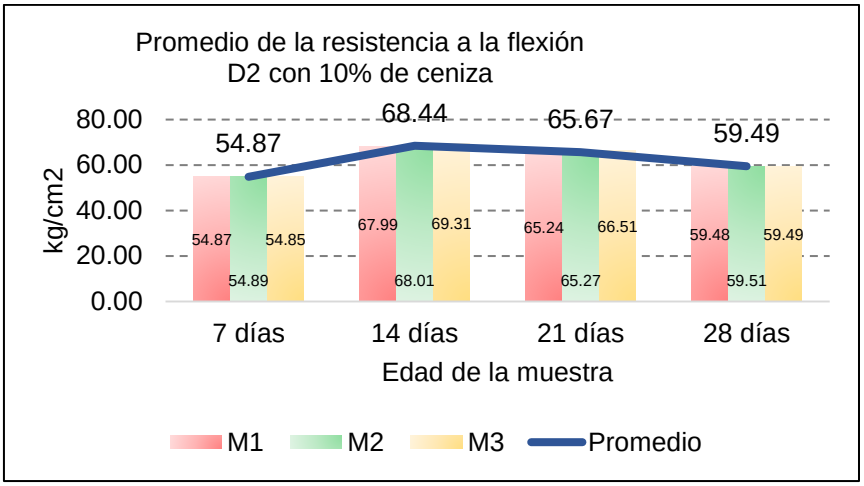
Variación de la resistencia a la flexión – D2



Interpretación. La variación de datos en los especímenes de 7, 14,21 y 28 días de edad, es mínima, con una diferencia máxima de 0.04 kg/cm2, 1.32 kg/cm2 ,0.27kg/cm2y 0.03 kg/cm2, respectivamente.

Gráfico 50.

Promedio de la resistencia a la flexión – D2



Interpretación. Las resistencias a la flexión promedio para los especímenes con 10% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14 y 28 días, ascienden a 54.87 kg/cm2, 68.44 kg/cm2, 65.67kg/cm2 y 59.49 kg/cm2, respectivamente.

d. Diseño 3, con 15% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 25.

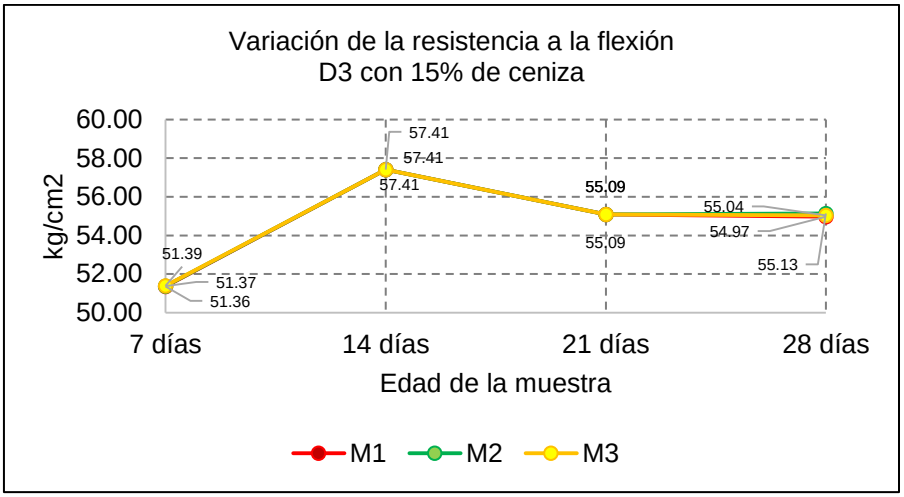
Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 15% de ceniza

Resistencia a la flexión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	51.36	57.41	55.09	54.97
M2	51.37	57.41	55.09	55.13
M3	51.39	57.41	55.09	55.04
Promedio	51.37	57.41	55.09	55.05
Desviación estándar	0.01	0.00	0.00	0.08
Coeficiente de variación	0.03%	0.00%	0.00%	0.15%

Interpretación. El coeficiente de variación de la resistencia a la flexión para los especímenes (M1, M2 y M3) a los 7, 14, 21 y 28 días, no es mayor a 7%, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 51.

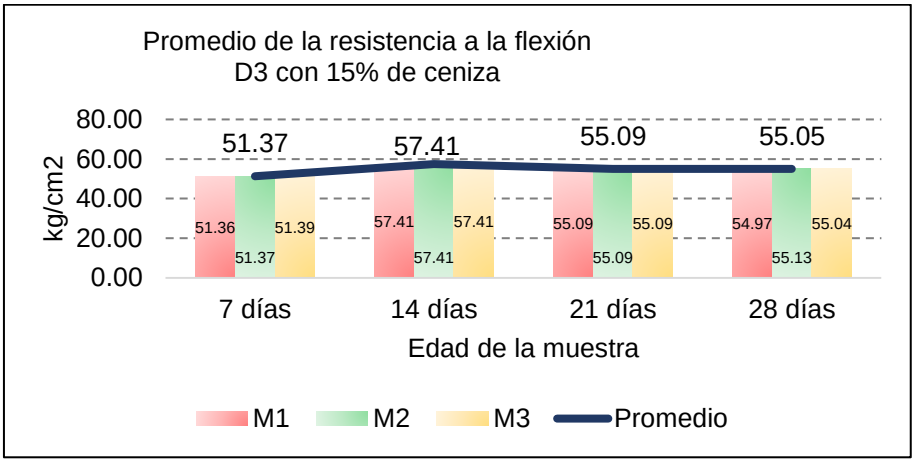
Variación de la resistencia a la flexión – D3



Interpretación. La variación de datos en los especímenes de 7 y 28 días de edad, es mínima, con una diferencia máxima de 0.03 kg/cm2 y 0.16 kg/cm2, mientras que los especímenes de 14 y 21 días de edad presentan iguales resistencias a la flexión.

Gráfico 52.

Promedio de la resistencia a la flexión – D3



Interpretación. Las resistencias a la flexión promedio para los especímenes con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14, 21 y 28 días, ascienden a 51.37 kg/cm2, 57.41 kg/cm2, 55.09kg/cm2 y 55.05 kg/cm2, respectivamente.

e. Diseño 4, con 20% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 26.

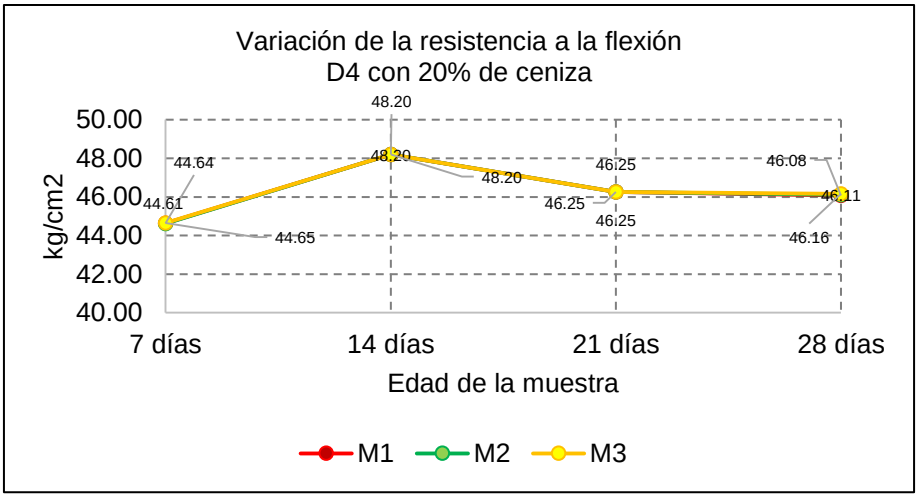
Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 20% de ceniza

Resistencia a la flexión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	44.64	48.20	46.25	46.08
M2	44.61	48.20	46.25	46.11
M3	44.65	48.20	46.25	46.16
Promedio	44.64	48.20	46.25	46.12
Desviación estándar	0.02	0.00	0.00	0.04
Coeficiente de variación	0.05%	0.00%	0.00%	0.09%

Interpretación. El coeficiente de variación de la resistencia a la flexión para los especímenes (M1, M2 y M3) a los 7, 14 ,21 y 28 días, no es mayor a 7%, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 53.

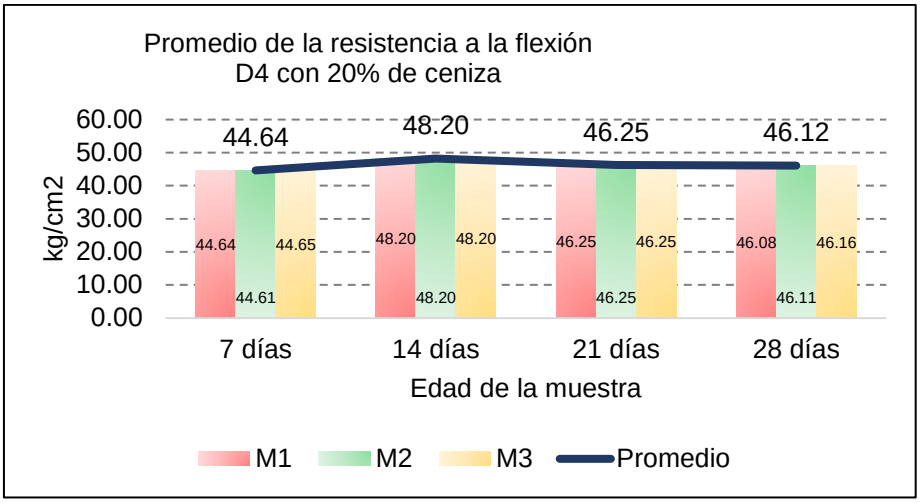
Variación de la resistencia a la flexión – D4



Interpretación. La variación de datos en los especímenes de 7 y 28 días de edad, es mínima, con una diferencia máxima de 0.04 kg/cm2 y 0.08 kg/cm2, mientras que los especímenes de 14 y 21 días de edad presentan iguales resistencias a la flexión.

Gráfico 54.

Promedio de la resistencia a la flexión – D4



Interpretación. Las resistencias a la flexión promedio para los especímenes con 20% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14, 21 y 28 días, ascienden a 44.64 kg/cm2, 48.20 kg/cm2 ,46.25 y 46.12 kg/cm2, respectivamente.

f. Diseño 5, con 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Tabla 27.

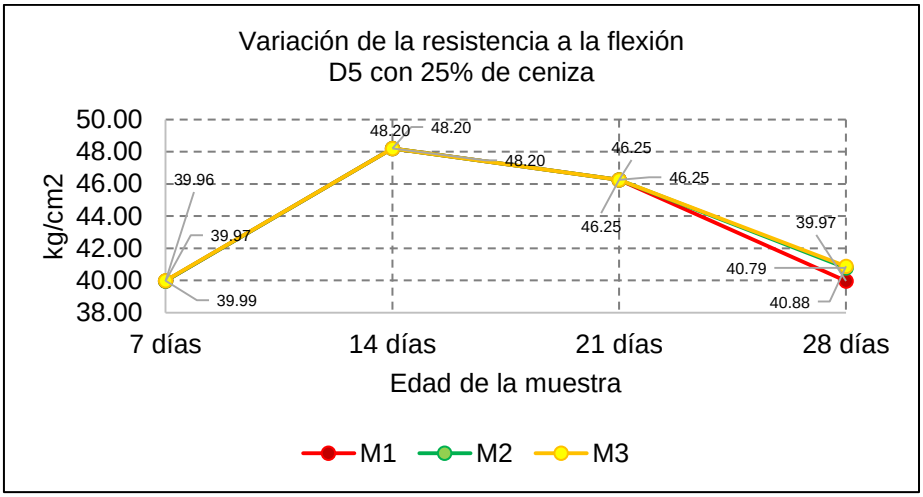
Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los especímenes con 25% de ceniza

Resistencia a la flexión (kg/cm2)	7 días	14 días	21 días	28 días
M1	39.97	48.20	46.25	39.97
M2	39.96	48.20	46.25	40.79
M3	39.99	48.20	46.25	40.88
Promedio	39.97	48.20	46.25	40.55
Desviación estándar	0.01	0.00	0.00	0.50
Coeficiente de variación	0.03%	0.00%	0.00%	1.23%

Interpretación. El coeficiente de variación de la resistencia a la flexión para los especímenes (M1, M2 y M3) a los 7, 14 ,21 y 28 días, no es mayor a 7%, por tanto, los datos son confiables.

Gráfico 55.

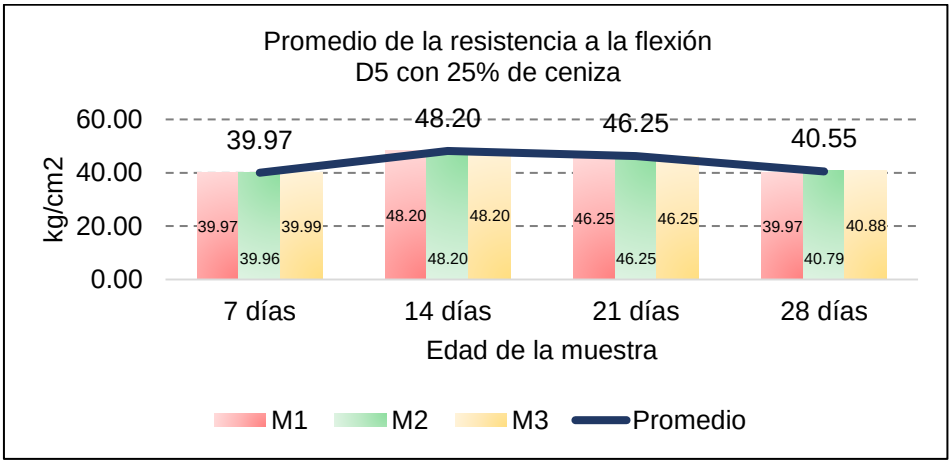
Variación de la resistencia a la flexión – D5



Interpretación. La variación de datos en los especímenes de 7 y 28 días de edad, es mínima, con una diferencia máxima de 0.03 kg/cm2 y 0.91 kg/cm2, mientras que los especímenes de 14 y 21 días de edad presentan iguales resistencias a la flexión.

Gráfico 56.

Promedio de la resistencia a la flexión – D5

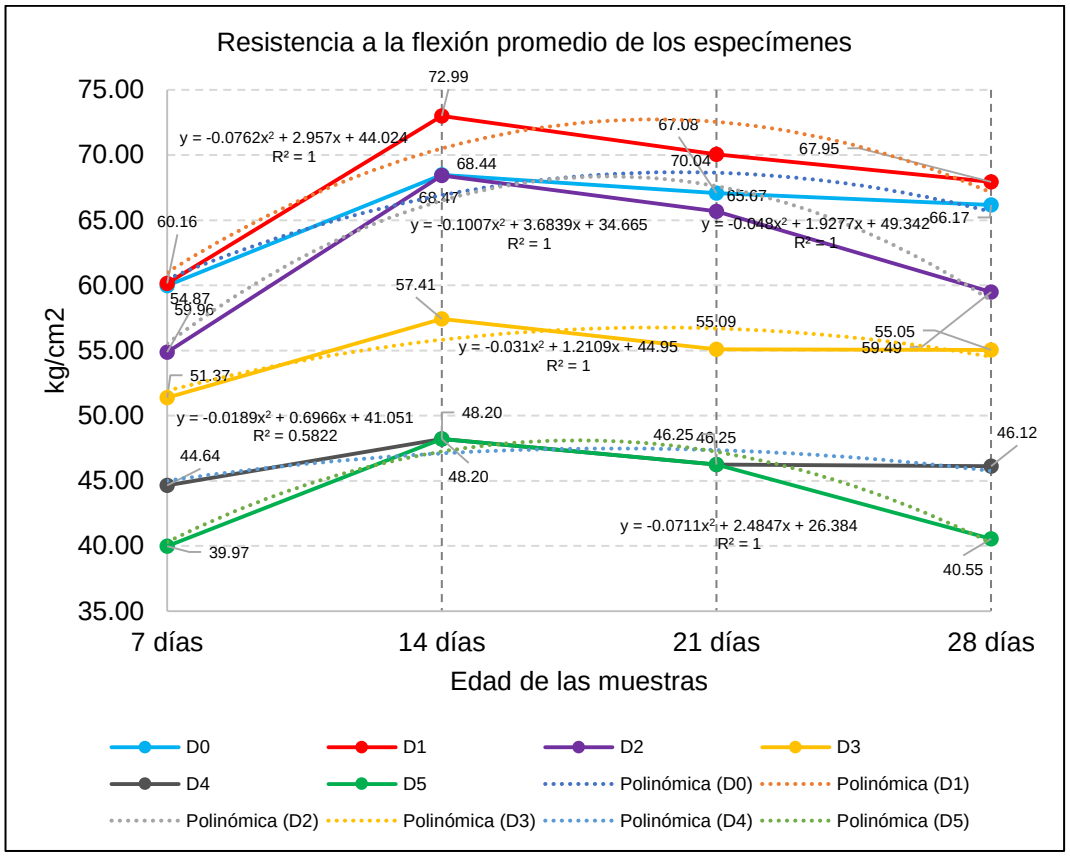


Interpretación. Las resistencias a la flexión promedio para los especímenes con 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada, a los 7, 14 , 21 y 28 días, ascienden a 39.97 kg/cm2, 48.20 kg/cm, 46.25 kg/cm2 y 40.55 kg/cm2, respectivamente.

g. Resumen de resultados

Gráfico 57.

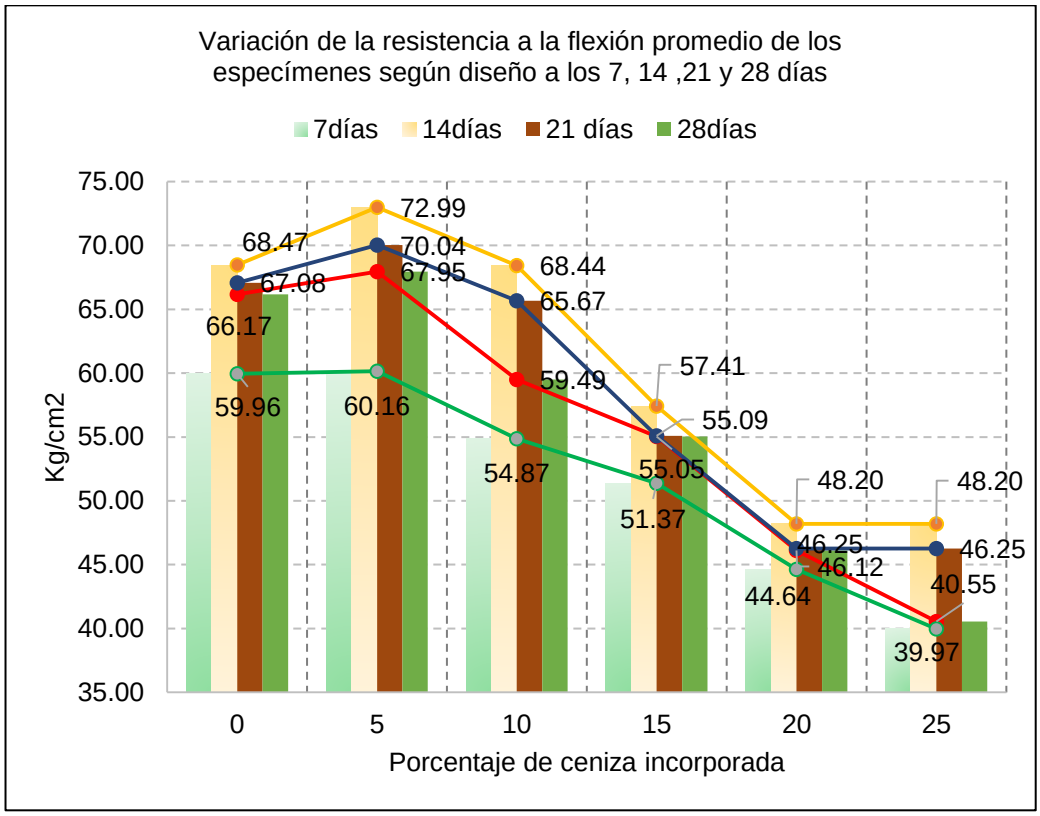
Resistencia a la flexión promedio de los especímenes a los 7, 14, 21 y 28 días



Interpretación. En el Gráfico 57, se puede visualizar que las resistencias a la flexión promedio para cada tipo de diseño (D0, D1, D2, D3, D4 y D5 con 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada, respectivamente), forman líneas paralelas unas a otras, pero dichas líneas individualmente forman una parábola, que presenta como resistencias máximas a los especímenes de 14 días de edad. El D0, D1, D2, D3, D4 y D5 se ajustan al modelo polinómico con una correlación R2 igual a 1.00.

Gráfico 58.

Variación de la resistencia a la flexión promedio de los especímenes elaborados con ceniza de tallo y espiga



Interpretación. En el Gráfico 58, a los 7 días la mayor resistencia a la flexión promedio, es alcanzada por el D1 con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada, mientras que la menor resistencia es obtenida por los especímenes con 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada (D5). A los 14 días se presentan las mayores resistencias a la flexión, mismas que decrecen con el paso de los días hasta alcanzar los 28 días de edad, los resultados a los 28 días de edad, la mayor resistencia a la flexión también es alcanzada por el D1 equivalente a 66.17 kg/cm2, superior en 1.78 kg/cm2 al D0 con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada.

4.1.8. Comparación de las propiedades mecánicas del concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada

Se ha realizado la comparación de las propiedades mecánicas del concreto al adicionar ceniza de tallo y espiga de cebada para reducir el porcentaje de cemento respecto a un concreto convencional f'c=210kg/cm2.

Tabla 28.

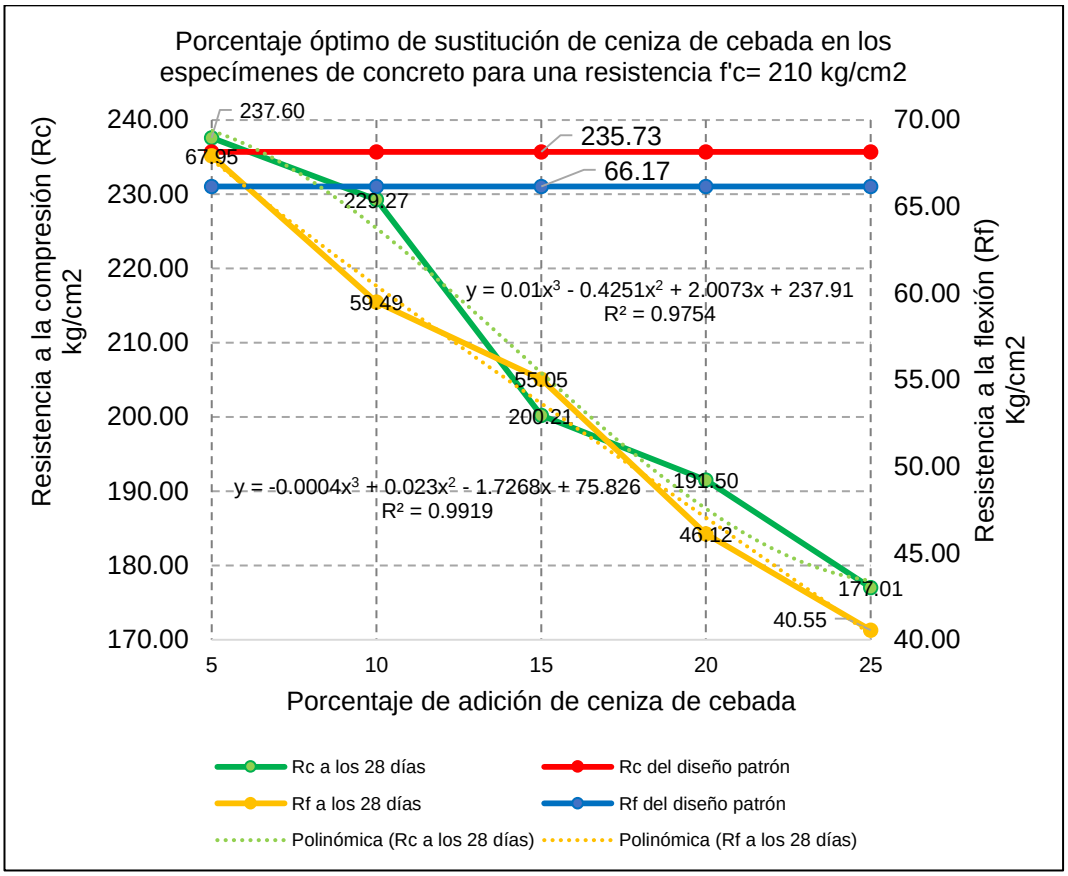
Propiedades mecánicas del concreto al adicionar ceniza de tallo espiga de cebada

Diseño	Porcentaje de adición de ceniza de tallo y espiga de cebada	Resistencia promedio a los 28 días (kg/cm2)	
		Compresión	Flexión
D0	0	235.73	66.17
D1	5	237.60	67.95
D2	10	229.27	59.49
D3	15	200.21	55.05
D4	20	191.50	46.12
D5	25	177.01	40.55

Interpretación. Según los resultados de los ensayos a compresión y flexión del concreto al adicionar ceniza de tallo y espiga de cebada en porcentajes de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% del peso del cemento, la resistencia a la flexión representa el 28.072%, 28.597%, 25.949%, 27.495%, 24.081% y 22.907% de la resistencia a la compresión, respectivamente, por tanto, los valores de la resistencia a la flexión son mucho mayores a los esperados. Al adicionar más porcentaje de ceniza de tallo y espiga de cebada, sobre el D1 (5%), no solo disminuye la resistencia a la compresión sino también la resistencia a la flexión.

Gráfico 59.

Porcentaje óptimo de sustitución de ceniza de cebada en los especímenes de concreto para f'c= 210 kg/cm2



Interpretación. En el Gráfico 59, se ha determinado los modelos polinómicos, que se ajustan mejor a la variación de la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión, según el porcentaje de adición de ceniza de tallo y espiga de cebada, mismos que presentan un coeficiente de relación R^2 igual a 0.975 y 0.992 respectivamente. Los modelos polinómicos permitieron estimar el porcentaje de adición de ceniza de tallo y espiga de cebada, que consiga una resistencia a la compresión y flexión característica, mayor o igual a los valores del diseño patrón con 0% de ceniza, equivalente a 235.73 kg/cm2 y 66.17 kg/cm2,

respectivamente. Es así como, se estimó que el porcentaje óptimo de remplazo de ceniza es 5% del peso del cemento.

4.1.9. Comparación del costo del concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada y el concreto base

Tabla 29.

Estimación del costo del m3 de ceniza de tallo y espiga de cebada

Rendimiento	m3/día	50.00		EQ	10.00
Descripción del recurso	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio S/.**	**Parcial S/.**
Mano de obra					
Operario	hh	1.000	0.160	20.190	3.230
Peón	hh	5.000	0.800	14.910	11.928
					15.158
Materiales					
Tallo y espiga de cebada	m3		1.000	50.000	50.000
Cilindros con tapa	und		0.500	55.000	27.500
					77.500
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		5.000	15.158	0.758
Horno	hm	1.000	0.800	42.500	34.000
					34.758
				Costo unitario directo:	**127.416**

Interpretación. El costo unitario por m3 de la ceniza de tallo y espiga de cebada asciende a S/. 127.416 , para hallar el costo de la ceniza de tallo y espiga de cebada tenemos los siguientes pesos en un m3 por cada porcentaje de sustitución : 0.00kg D0(0%) , 18.36kg D1(5%), 36.71kg D2 (10%) , 55.07kg D3(15%), 73.42kg D4(20%), 91.78% D4(25%) ,a cada uno de los pesos lo dividimos entre el peso específico de ceniza (2179 kg/m3) para obtener la cantidad de ceniza en m3 .

Tabla 30.

Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Materiales para 1 m3	Und	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Piedra 3/4"	m3	0.773	65.000	50.245
Arena	m3	0.518	50.000	25.900
Agua	m3	0.205	1.000	0.205
Cemento Portland Tipo I	bol	8.640	22.500	194.400
Ceniza de tallo y espiga de cebada	m3	0.000	127.416	0.000
Costo para 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada				**270.75**

Tabla 31.

Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Materiales para 1 m3	Und	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Piedra 3/4"	m3	0.773	65.000	50.245
Arena	m3	0.518	50.000	25.900
Agua	m3	0.205	1.000	0.205
Cemento Portland Tipo I	bol	8.210	22.500	184.725
Ceniza de tallo y espiga de cebada	m3	0.008	127.416	1.075
Costo para 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada				**262.150**

Tabla 32.

Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 10% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Materiales para 1 m3	Und	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Piedra 3/4"	m3	0.773	65.000	50.245
Arena	m3	0.518	50.000	25.900
Agua	m3	0.205	1.000	0.205
Cemento Portland Tipo I	bol	7.770	22.500	174.825
Ceniza de tallo y espiga de cebada	m3	0.017	127.416	2.150
Costo para 10% de ceniza de tallo y espiga de cebada				**253.325**

Tabla 33.

Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 15% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Materiales para 1 m3	Und	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Piedra 3/4"	m3	0.773	65.000	50.245
Arena	m3	0.518	50.000	25.900
Agua	m3	0.205	1.000	0.205
Cemento Portland Tipo I	bol	7.340	22.500	165.150
Ceniza de tallo y espiga de cebada	m3	0.025	127.416	3.250
Costo para 15% de ceniza de tallo y espiga de cebada				**244.750**

Tabla 34.

Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 20% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Materiales para 1 m3	Und	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Piedra 3/4"	m3	0.773	65.000	50.245
Arena	m3	0.518	50.000	25.900
Agua	m3	0.205	1.000	0.205
Cemento Portland Tipo I	bol	6.910	22.500	155.475
Ceniza de tallo y espiga de cebada	m3	0.034	127.416	4.325
Costo para 20% de ceniza de tallo y espiga de cebada				**236.150**

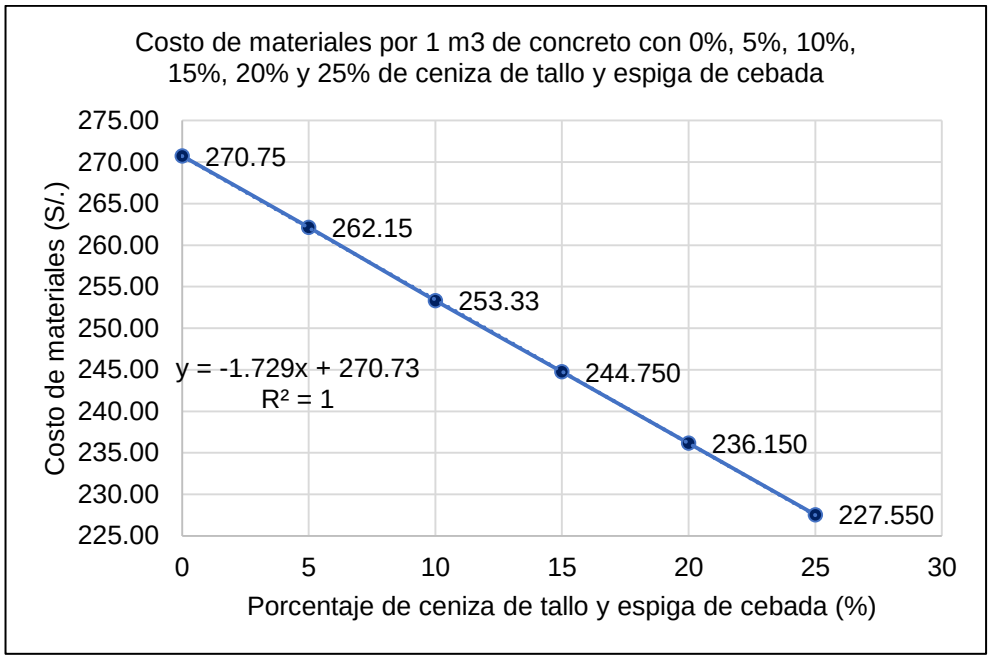
Tabla 35.

Estimación del costo de materiales para 1 m3 de concreto con 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada

Materiales para 1 m3	Und	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Piedra 3/4"	m3	0.773	65.000	50.245
Arena	m3	0.518	50.000	25.900
Agua	m3	0.205	1.000	0.205
Cemento Portland Tipo I	bol	6.480	22.500	145.800
Ceniza de tallo y espiga de cebada	m3	0.042	127.416	5.400
Costo para 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada				**227.550**

Gráfico 60.

Costo de materiales por 1 m3 de concreto con 0%, 5%10%,15%. 20% y 25% de ceniza de tallo y espiga de cebada en remplazo del peso de cemento



Interpretación. El costo disminuye mientras se incorpore mayor cantidad de ceniza de tallo y espiga de cebada, por tanto, se ha propuesto un modelo lineal que correlaciona el porcentaje de adición con el costo de los materiales, dicha ecuación lineal tiene un coeficiente de correlación R^2 igual a 1.00. El costo de materiales para 1m3 de concreto con 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de cebada en remplazo del peso del cemento, asciende a S./ 270.75, S/. 262.15, S/. 253.33, S/. 244.75, S/. 236.15 y S/. 227.55 respectivamente.

Tabla 36.

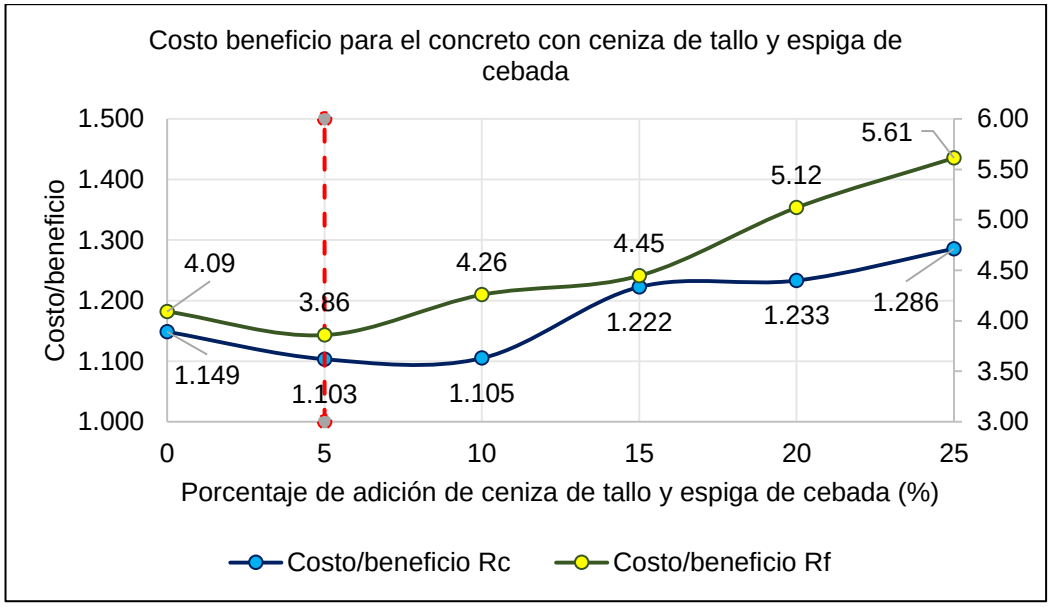
Costo/beneficio del concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada en remplazo del peso del cemento

Porcentaje de adición de ceniza de tallo y espiga de cebada (%)	Costo de los materiales para 1 m3 de concreto (S/.)	Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	Resistencia a la flexión (Kg/cm2)	Costo/ beneficio Rc	Costo/ beneficio Rf
0	270.75	235.73	66.173	1.149	4.09153
5	262.15	237.60	67.947	1.103	3.85817
10	253.33	229.27	59.493	1.105	4.25804
15	244.750	200.21	55.049	1.222	4.44605
20	236.150	191.50	46.116	1.233	5.12083
25	227.550	177.01	40.547	1.286	5.61205

Interpretación. El análisis costo/beneficio, establece la correlación del precio del concreto versus la resistencia alcanza por tanto el menor valor que se obtenga representa los especímenes que presentarán mayores beneficios para un concreto f'c= 210 kg/cm2, con ello se ha validado que el porcentaje óptimo de adición de cenizas de tallo y espiga de cebada en remplazo del peso del cemento es 5%.

Gráfico 61.

Costo/beneficio del concreto



4.2. Discusión de resultados

4.2.1. Propiedades de la ceniza, agregado fino y agregado grueso

Las características de la ceniza dependen de los componentes orgánicos que se empleen para su elaboración. Para realizar los ensayos de la composición química primero se ha quemado los residuos de tallo y espiga de cebada para obtener las cenizas, luego las cenizas de tallo y espiga de cebada tamizadas han pasado por un tratamiento térmico a 700 °C en el horno del laboratorio INGECONSULT & LAB. Las cenizas que han pasado por el tratamiento térmico son las que han servido para los ensayos físico-químicos, y para la elaboración de especímenes.

En los estudios de Camacho y Guerrero (2017), Morales (2019) y la actual investigación, se ha analizado la ceniza de cebada, misma que en los tres casos se estandariza en la clase F, pero los porcentajes de los componentes SiO2 + Al2O3 + Fe2O3 varían, esto se debe a que para el análisis internacional se ha utilizado bagazo de cebada (Camacho y Guerrero 2017), para la investigación nacional, paja de cebada (Morales 2019) y para la investigación local, tallo y espiga de cebada. Otro tipo de cenizas como: la ceniza de paja de arroz (Hidalgo 2018), ceniza de bagazo de caña de azúcar (Acuña y Caballero 2018) y ceniza de paja de trigo (Lencinas e Incahuanuco 2017) presentan clasificaciones distintas C, C y F, respectivamente.

Frente a tales resultados, es vital mencionar también que las cenizas de bagazo de cebada (Camacho y Guerrero 2017), ceniza de bagazo de caña de azúcar (Acuña y Caballero 2018), ceniza de paja de trigo (Lencinas e Incahuanuco 2017) y ceniza de paja de cebada (Morales 2019) presentan 100% de material fino, mientras que la ceniza de tallo y espiga de cebada tiene una granulometría más gruesa, con una

diferencia de 8.97%, no obstante, la ceniza de paja de arroz (Hidalgo 2018) presenta una granulometría aún más gruesa que la ceniza de tallo y espiga de cebada con una diferencia entre ambos tipos de ceniza del 5.53%.

Aun cuando la ceniza de paja de arroz presenta material más grueso a comparación del resto de cenizas de la Tabla 31, es la ceniza de tallo y espiga de cebada la que presenta mejores características químicas a comparación de las cenizas analizadas en otras investigaciones internacionales, nacionales y regionales.

Tabla 37.

Comparación de las propiedades de las cenizas obtenidas en diferentes estudios

Propiedad/ compuesto	**Resultados del estudio actual**	**Autores** **Camacho y Guerrero 2017**	**Hidalgo 2018**	**Acuña y Caballero 2018**	**Lencinas e Incahuanuco 2017**	**Morales 2019**
Tipo de ceniza	*Ceniza de tallo y espiga de cebada*	*Ceniza de bagazo de cebada*	*Ceniza de paja de arroz*	*Ceniza de bagazo de caña de azúcar*	*Ceniza de paja de trigo*	*Ceniza de paja de cebada*
Granulometría (Pasa tamiz N° 200)	91.03%	100%	85.50%	100%	100%	100%
SiO2	72.40	62.07	52.44	38.9	…	23.45
Al2O3	18.10	6.57	0.47	7.95	…	25.34
Fe2O3	2.01	1.86	0.17	5.4	…	0.384
CaO	3.85	8.78	8.01	4.86	…	4.358
MgO	0.68	3.27	2.71	0.03	…	0.063
Na2O	1.45	2.32	2.26	0	…	0
K2O	1.26	2.08	12.05	1.84	…	30.963
PPI	1.20	13.05	21.89	41.02	…	15.442
SiO2 + Al2O3 + Fe2O3	92.51	70.50	53.08	52.25	75.11	75.11
Clasificación según ASTM C618-08	Clase F	Clase F	Clase C	Clase C	Clase F	Clase F

En la Tabla 37, se muestran los resultados de los ensayos en agregado fino (AF) de la cantera Conchán y agregado grueso (AG) de la

cantera Cuyumalca, así como estudios de otros autores. El agregado fino analizado por Camacho y Guerrero (2017), Acuña y Caballero (2018) y Araujo (2019), cumple con las especificaciones normativas, el módulo de finura se encuentra en un rango de 2.3 a 3.1, mientras, que el AF de la cantera Conchán y el AF analizado por Morales (2019) se encuentra por debajo del módulo de finura en 0.15 y 0.02, además los agregados AF y AG analizados por otros autores, presentan peso específico, peso unitario suelto y peso unitario compactado, superiores a los de la cantera Conchán y cantera Cuyumalca. Sin embargo, los agregados AF y AG, cumplen con las especificaciones de la NTP 400.037.

Tabla 38.

Comparación de las propiedades de los agregados fino y grueso obtenidas en diferentes estudios

Propiedades de los agregados	Resultados del estudio actual		Autores						
			Camacho y Guerrero 2017		Acuña y Caballero 2018		Morales 2019	Araujo 2019	
	AF	AG	AF	AG	AF	AG	AF	AF	AG
Módulo de finura	2.15	…	2.41	2.49	2.93	…	2.28	2.89	…
TMN	N° 4	3/4	N° 4	3/4	N° 4	3/4	N° 4	3/4	3/4
Peso unitario suelto (kg/m3)	1 391.5	1 281.0	1 380.0	1 230.3	1 638.2	1 422.5	1 536.0	1 724.1	1 047.4
Peso unitario compacto (Kg/m3)	1 498.6	1 445.2	1 605.0	1 300.0	1 809.6	1 553.9	1 676.0	1 823.7	1 450.6
Peso específico (kg/m3)	2 569.4	2 640.7	2 410.0	2 500.0	2 740.5	2 760.3	2 900.0	2 695.4	2 570.0
Absorción (%)	1.01	0.51	1.21	3.96	0.94	0.35	0.50	1.83	1.91
Humedad (%)	1.43	0.20	…	…	0.72	0.25	…	5.66	1.67

4.2.2. Diseño de mezclas del concreto

En la Tabla 39, se muestran las proporciones de mezcla para concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada, ceniza de paja de arroz (Hidalgo 2018) y ceniza de bagazo de caña de azúcar (Acuña y Caballero 2018), en diferentes proporciones de sustitución. Para el análisis de Acuña y Caballero (2018), las proporciones de mezcla son cercanas a la proporción de cemento, ceniza, arena, piedra chancada y agua del estudio actual para un porcentaje de sustitución de 5%, 10% y 15%, mientras que en comparación con el análisis de Hidalgo (2018) para un porcentaje de sustitución de 15%, los valores son inferiores en 60.95 kg/m3, 12.46 kg/m3 y 20.07 lts/m3 de cemento, ceniza y agua, respectivamente.

Tabla 39.

Comparación de las proporciones de mezcla obtenidas en diferentes estudios

Tipo de ceniza	Diseño	Cemento (kg/m3)	Ceniza (kg/m3)	Arena (kg/m3)	Piedra chancada (kg/m3)	Agua (lts/m3)
Estudio actual						
Ceniza de tallo y espiga de cebada	Control	367.12	0.00	731.03	992.40	204.93
	5%	348.76	18.36	731.03	992.40	204.93
	10%	330.41	36.71	731.03	992.40	204.93
	15%	312.05	55.07	731.03	992.40	204.93
	20%	293.70	73.42	731.03	992.40	204.93
	25%	275.34	91.78	731.03	992.40	204.93
Hidalgo 2018						
Ceniza de paja de arroz	Control	450.00	0.00	1350.00	0.00	225.00
	15%	382.50	67.50	1350.00	0.00	225.00
	30%	315.00	135.00	1350.00	0.00	225.00
Acuña y Caballero 2018						
Ceniza de bagazo de caña de azúcar	Control	1.00	0.00	2.37	2.60	0.57
	5%	347.77	18.30	866.43	950.24	207.84
	10%	329.46	36.60	866.43	950.24	207.84
	15%	311.16	55.00	866.43	950.24	207.84

4.2.3. Propiedades mecánicas del concreto

En la Tabla 40, se presentan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a especímenes de 28 días, obtenidas en diferentes estudios. Los especímenes elaborados con ceniza de bagazo de caña de azúcar (Acuña y Caballero, 2018) y ceniza de paja de trigo (Lencinas e Incahuanco, 2017) presentan menores resistencias que los especímenes elaborados con ceniza de tallo y espiga de cebada, a excepción de los especímenes elaborados con ceniza de paja de cebada que presentan resistencias superiores en 150.07 kg/cm2.

En la Tabla 41, se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días, obtenidas en diferentes estudios. Los especímenes elaborados con ceniza de paja de arroz (Hidalgo, 2018) y ceniza de bagazo de caña de azúcar (Acuña y Caballero, 2018) no logran superar la resistencia a la flexión de los especímenes elaborados sin sustitución de cemento por ceniza, mientras, que los especímenes elaborados con ceniza de cascarilla de arroz (Rimay, 2017), presentan un incremento en la resistencia a la flexión para un porcentaje de sustitución de ceniza del 10% en remplazo del cemento, no obstante, las vigas elaboradas con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada alcanzan valores de resistencia a la flexión mayores a las resistencias alcanzadas en las investigaciones de Acuña y Caballero (2018) y Rimay (2017), no obstante, las vigas elaboradas con ceniza de paja de arroz presentan resistencias a la flexión superiores a la del estudio actual, pero a pesar de ello, los resultados muestran la factibilidad de sustituir la ceniza de tallo y espiga de cebada para reducir el porcentaje de cemento respecto a un concreto convencional.

Tabla 40.

Comparación de la resistencia a la compresión a los 28 días, obtenidas en diferentes estudios

		Resistencia a la compresión (kg/cm2) Porcentaje de sustitución de ceniza en remplazo del cemento											
Autor	**Tipo de ceniza**	**0.0%**	**0.5%**	**1.0%**	**1.5%**	**2.5%**	**5.0%**	**7.5%**	**10.0%**	**15.0%**	**20.0%**	**25.0%**	**30.0%**
Estudio actual	Ceniza de tallo y espiga de cebada	235.73					237.6		229.27	200.21	191.5	177.01	
Camacho y Guerrero 2017	Ceniza de bagazo de cebada	199.05	220.36	179.37	175.09								
Hidalgo 2018	Ceniza de paja de arroz	519.95			550.95								484.26
Acuña y Caballero 2018	Ceniza de Bagazo de caña de azúcar	261.40					226.00		231.10	205.67			
Lencinas e Incahuanco 2017	Ceniza de paja de trigo	219.82				220.96	218.04	199.94	189.11				
Morales 2019	Ceniza de paja de cebada	401.67					387.67		348.33				
Araujo 2019	Ceniza de bagazo de caña	275.21							294.74	283.51	237.96		

Tabla 41.

Comparación de la resistencia a la flexión a los 28 días, obtenidas en diferentes estudios

		Resistencia a la flexión (kg/cm2) Porcentaje de sustitución de ceniza							
Autor	**Tipo de ceniza**	**0.0%**	**1.5%**	**5.0%**	**10.0%**	**15.0%**	**20.0%**	**25.0%**	**30.0%**
Estudio actual	Ceniza de tallo y espiga de cebada	66.17		67.95	59.49	55.05	46.12	40.55	
Hidalgo 2018	Ceniza de paja de arroz	86.88	85.35						70.97
Acuña y Caballero 2018	Ceniza de Bagazo de caña de azúcar	24.07		17.34	20.90	19.27			
Rimay 2017	Ceniza de cascarilla de arroz	24.54			26.09		23.72		23.41

Tabla 42.

Resumen de resultados para el porcentaje óptimo de sustitución de ceniza de tallo y espiga de cebada en remplazo del cemento

Ensayo Porcentaje óptimo	Resultado 5%
Asentamiento (pulg)	3 ½
Densidad (gr/cm3)	2.33
Contenido de aire (%)	1.90%
Resistencia a la compresión (kg/cm2)	237.60
Resistencia a la flexión (kg/cm2)	67.95

A partir del Gráfico 59 y Gráfico 61, se ha determinado como porcentaje óptimos de adición de ceniza de tallo y espiga en remplazo del peso del cemento a 5%, porcentaje con el que se puede obtener resistencias características superiores al diseño base con 0% de ceniza de tallo y espiga de cebada, para un f'c= 210 kg/cm2, resistencia de diseño.

En la Tabla 42 se muestran los resultados de las propiedades en estado fresco y endurecido, para un concreto con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada. Con dicho resumen de resultados, se afirma la hipótesis:

"El concreto adicionando ceniza de tallo y espiga de cebada mejora las propiedades del concreto al reducir el porcentaje de cemento en el diseño de mezcla".

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1) Dentro de la caracterización físico-química de la ceniza de tallo y espiga de cebada se logró obtener las características de su granulometría donde más del 91.03% pasó por la malla N° 200, su peso específico era 2.179 gr/cm3, además presentaba un alto contenido de dióxido de silicio (72.40%), óxido de aluminio (18.10%) y trióxido de dihierro (2.01%), clasificándose dentro del grupo F, por tanto, se trata de una ceniza no activa de carácter puzolánico, que puede ser utilizado como sustituto parcial del cemento en la elaboración de concreto.
2) La arena de la cantera Conchán y la piedra chancada ¾" de la cantera Cuyumalca, presentan humedad: 143% y 0.20%, absorción 1.01% y 0.51%, peso unitario suelto 1 391.5 kg/m3 y 1281 kg/m3, peso unitario compactado 1 498.6 kg/m3 y 1 445.2 kg/m3 y peso específico 2 569.40 kg/m3 y 2 640.7 kg/m3 respectivamente.
3) Se realizó un diseño de mezcla para una resistencia f'c= 210 kg/cm2, obteniendo la siguiente dosificación: 8.64 bls cemento, 0.52 m3 de arena, 0.77 m3 de piedra chancada ¾" y 0.205 m3 de agua; así mismo, por cada bolsa de cemento de 42.50 kg se sustituirá 2.13, 4.25, 6.38, 8.50 y 10.63 kg por ceniza de tallo y espiga de cebada, para un diseño D1 (5% de ceniza), D2 (10% de ceniza), D3 (15% de ceniza), D4 (20% de ceniza) y D5 (25% de ceniza), respectivamente.
4) A los 28 días, la mayor resistencia a la compresión y flexión fue 237.73 kg/cm2 y 67.95 kg/cm2 respectivamente, alcanzada por los

especímenes con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada (D1), superior a los especímenes base (D0) cuya resistencia fue 235.73 kg/cm2 y 66.17 kg/cm2, pero a mayor porcentaje de sustitución de ceniza menor resistencia a la compresión y flexión para D2, D3, D4 y D5. Por tanto, se determinó que el porcentaje óptimo de sustitución de ceniza de tallo y espiga de cebada para un f'c= 210 kg/cm2 es 5% del peso del cemento.

5) El costo de los materiales para 1 m3 de concreto convencional asciende a S/. 270.75 pero un concreto con 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada tendría un costo estimado de S/. 262.15. Por lo tanto, el concreto con ceniza de tallo y espiga de cebada presenta mayor beneficio técnico-económico que el concreto convencional.

5.2. Recomendaciones

1) Se recomienda el uso del 5% de ceniza de tallo y espiga de cebada en remplazo del peso del cemento, para la elaboración de concreto f'c= 210 kg/cm2, debido a su trabajabilidad, resistencia y menor costo que el concreto convencional.
2) Es necesario realizar un tratamiento térmico de 600 °C a 750 °C a la ceniza de tallo y espiga de cebada para obtener el material puzolánico. Así mismo, antes de colocar puzolanas naturales calcinadas al concreto estas deben ser analizadas, para garantizar que cumplan las recomendaciones de la norma ASTM C 618-03.
3) El curado de los especímenes de concreto debe realizarse según la norma ASTM C-192 M-95.
4) Se sugiere realizar más investigaciones que logren disminuir la cantidad de cemento en el concreto, remplazándolo por otros residuos orgánicos e inorgánicos, a fin de conseguir materiales de construcción sustentables.
5) Debido a los altos contenidos de dióxido de silicio (72.40%), óxido de aluminio (18.10%) y óxido de fierro III (2.01%) de la ceniza de tallo y espiga de cebada, podrían realizarse nuevas investigaciones utilizando este material para el mejoramiento de suelos.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, N. (2017). *Introducción del cemento PP35 en la producción de hormigones estructurales en Cayo Santa María*. [Tesis de grado, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas].

Acuña, C.E. y Caballero, H.R. (2018). *Resistencia a la compresión y flexión de un concreto estructural mediante la sustitución parcial del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) – San Jacinto*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa].

Aguado, M. (1957). *La cebada*. https://n9.cl/jlz9

Araujo, J.P. (2019). *Resistencia a la compresión del concreto, adicionando ceniza de bagazo de caña de azúcar, en reemplazo del agregado fino*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte].

Ash, C. y Bottom, A. (2011, diciembre). Cenizas volantes de carbón y cenizas de hogar o escorias. *Cedex*.

ASTM C618-08. (2017). *Especificación normalizada para ceniza volante de carbón y puzolana natural en crudo o calcinada para uso en concreto*. USA.

Bisquerra, R. (1989). *Métodos de investigación educativa*: *Guía práctica (1ª ed.)*. CEAC.

Camacho, H.L., y Guerrero, M.A. (2017). Obtención de sílice a partir de bagazo de cebada para la aplicación en concreto convencional. [Tesis de grado, Universidad de la Salle].

Castañeda, R., Sigüenza, R., Reyes, J. y Minaya, L.K. (2017). *Obtención del concreto de alta resistencia a la compresión, por el método ACI, usando*

las canteras de la ciudad de Chimbote. Universidad Privada de San Pedro.

Castaño, I.M., y Trigos, D.C. (2017). *Diseño estructural participativo con desechos orgánicos, una alternativa panameña para Colombia.* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]

Colmenarez, L.E. (2014, 02 de julio). Definición de términos. Politécnico Universitario Santiago Mariño.

Cuenca, A. (2016). *Tratamiento de residuos agrícolas para contribuir con la adaptación bovina al cambio climático en comunidades altas del valle dl Mantaro*. [Tesis de maestría., Universidad Nacional Agraria la Molina].

Duda, W. (1977). *Manual técnico del cemento.* Técnicos Asociados.

Escobar, A. (2012). *Efecto del uso de ceniza volante en el proceso de agrietamiento del concreto por corrosión del acero de refuerzo.* [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Nuevo León].

Flores, C.J. (2018). *Resistencia del mortero sustituyendo en un 10% y 15% del peso del cemento por cenizas de rastrojo de maíz*. [Tesis de grado, Universidad San Pedro].

Galicia, M.A., y Velásquez, M.A. (2016). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un concreto adicionado con ceniza de rastrojo de maíz elaborado con agregados de las canteras de Cunyac y vicho con respecto a un concreto patrón de calidad f'c=210 kg/cm^2*. [Tesis de grado, Universidad Andina del Cusco].

García, J. (1957). *Química de los cementos especiales. Materiales de construcción*, 8(31), 1-8.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M.P. (2014). *Metodología de la investigación*, 6ª ed. McGraw Hill Education.

Hidalgo, S.E. (2018). *Evaluación de la reactividad puzolánica de la ceniza de paja de arroz*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de valencia].

López, E., y Mamani, J.J. (2017). *Influencia del nanosílice y superplastificante en la durabilidad del concreto sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo de la ciudad de Puno*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].

Luján, J. (2011). *Determinación actividad puzolanica por DRX*. Cementos Pacasmayo S.A.A.

Idrogo, E.E. (2018). *Estudio de la resistencia a la compresión del concreto 210 kg/cm2 con ceniza de bagazo de caña de azúcar Pimentel, Chiclayo*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].

Instituto nacional de la calidad, INACAL. (2018). *NTP 400.012. Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global, 3ª ed*. INACAL.

INACAL. (2018). *NTP 339.185. Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado, 2ª ed*. INACAL.

INACAL. (2020). *NTP 400.017. Agregados. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso unitario) y los vacíos en los agregados*. INACAL.

INACAL. (2018). *NTP 400.021. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso, 3ª ed*. INACAL.

INACAL. (2018). *NTP 400.022. Agregados*. *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino, 3ª ed*. INACAL.

INACAL. (2018). *NTP 400.037. Agregados. Agregados. Agregados para concreto. Requisitos, 4ª ed*. INACAL.

INACAL. (2019). *NTP 334.090. Cementos. Cemento Portland adicionados, Requisitos, 1ª ed*. INACAL.

INACAL. (2019). *NTP 334.009. Cementos. Cemento Pórtland. Requisitos. Modificación técnica 1, 1ª ed*. INACAL.

INACAL. (2019). *NTP 339.088. Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos, 3ª ed*. INACAL.

INACAL. (2015). *NTP 339.035. Concreto. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland, 4ª ed*. INACAL.

INACAL. (2019). *NTP 339.046. Concreto. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto, 3ª ed*. INACAL.

INACAL. (2018). *NTP 339.080. Concreto. Método de ensayo volumétrico para determinar el contenido de aire del concreto fresco. Método de presión, 3ª ed*. INACAL.

INACAL. (2018). *NTP 339.184. Concreto. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto, 2ª ed*. INACAL.

INACAL. (2015). *NTP 339.034. Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas, 4ª Ed*. INACAL.

INACAL. (2017). *NTP 339.078. Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo, 3ª ed*. INACAL.

Lencinas. F.C., y Becker, I.C. (2017). *Evaluación de mezclas de concreto con adiciones de ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del*

cemento portland puzolanico IP en la Zona Altiplánica. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].

Márquez, B.M. (2014). *Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín].

Masías, K. (2018). *Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso*. [Tesis de grado, Universidad de Piura].

Melissari, B. (2012). Comportamiento de Cenizas y su Impacto en Sistemas de Combustión de Biomasa*. Científica y Técnica*, 1(1), 69-82

Ministerio de Agricultura y Riego. (2018). *Encuesta nacional de intenciones de siembra 2018*. MINAGRI. https://n9.cl/wgpe

MINAGRI. (2020). *Boletín estadístico mensual "El agro en cifras" 2020. Cuadro en Excel del boletín enero 2020*. MINAGRI. https://n9.cl/3i978

Morales, L.E. (2019). *Resistencia a Compresión del Mortero sustituyendo en 5% y 10 % de Cemento por Cenizas de Paja de Cebada*. [Tesis de grado. Universidad San Pedro].

Municipalidad Provincial de Chota, MPCH. 2018. *PDU, Plan de desarrollo Urbano. Chota, Cajamarca*.

Muñoz, R. (2017). *Estudio comparativo de concreto elaborado con puzolana natural y concreto con cementos puzolánicos atlas en la ciudad de Huancayo.* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

Ochoa, R. y Flores, E. (1994, diciembre). *Química del cemento.* Revista de química, 1(1), 207-214.

Olarte, Z. (2017). *Estudio de la calidad de los agregados de las principales canteras de la ciudad de Andahuaylas y su influencia en la resistencia del*

concreto empleado en la construcción de obras civiles. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes].

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020, 08 de octubre). *Situación alimentaria Mundial. Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales. Los mercados de cereales seguirán estando bien abastecidos en 2020/21*. FAO. http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/

Orrala, F.A. y Gómez, F.G. (2015). *Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón con adición de puzolana obtenida de la calcinación de residuos del cultivo de maíz producido en la provincia de Santa Elena*. [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador]

Ossa, M. y Jorquera, H. (1984). Cemento con cenizas volantes*. Materiales de construcción*, 1(1), 3-17

Payá J., Monzó J., Borrachero M.V., Serna P., Velázquez S. y Ordóñez, L.M. (2002). El factor de eficacia cementante de puzolanas silíceas y silicoaluminosas muy reactivas.

Pedrosa, M.J. (2016). Panorama Mundial de la Construcción. https://www.construccion-pa.com/noticias/panorama-mundial-la-construccion/

Quevedo, E.C. (2013). *Granulometría de agregados (Grueso y fino), Tecnología de materiales*. Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú.

Quintero, L., Rodríguez, A., Rubio, E., Jaramillo, A., Nuñez-Moreno, A. (2017). Caracterización de la flexión y compresión de elementos estructurales huecos fabricados con láminas de Tetra Pak ® reciclado y cálculo aproximado de la huella de carbono producida en su elaboración. *Revista ingeniería de construcción*, 32(2), 18-25. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732017000300131

Residuos Profesional. (2017). *El primer cemento del mundo fabricado solo con residuos*. https://n9.cl/zkwde

Rimay, E. (2017). *Diseño de concreto fibroreforzado de f'C=250kg/cm2 con fibra vegetal en la ciudad de Jaén*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].

Rivva, E. (2015). *Diseño de mezclas*, Tecnología del concreto. Lima, Perú.

Rodgers, L. (2018). *La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías*. https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783

Rodríguez, A.M. y Tibabuzo, M.P. (2019). *Evaluación de la ceniza de cascarilla de arroz como suplemento al cemento en mezclas de concreto hidráulico.* [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás]

Rojas, A., Otazo, E., Bolarín, A., Prieto, F. y Román, A. (2014). Residuos Agrícolas: Caracterización y estrategias sustentables para su aprovechamiento. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(4), 2334-2501

Sánchez, F.L. y Tapia, R.D. (2015). *Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edad de 28 días*. [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego].

Soria, F. (1963). *Puzolanas y cementos puzolánicos.* Materiales de construcción, 1(1), 47-59.

Sotomayor, Ar. y Power, G. (2019). *Tecnologías limpias y medio ambiente en el sector industrial peruano*. Fondo Editorial

UMACOM. (2017). ¿Qué es el cemento Portland?. https://n9.cl/l7kj

Vásquez, A.Y. (2019). *Concreto autocurable f'c=210 kg/cm², reemplazando un porcentaje de agregado grueso con traquita*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].

CAPÍTULO VII.

ANEXOS

Anexo N° 1. Matriz de consistencia.

Tesista: José. Eduardo Mejia Zulueta.

Título del proyecto: Evaluación del concreto adicionando ceniza de tallo y espiga de cebada para reducir el porcentaje de cemento.

<table>
<tr><th>Formulación del problema</th><th>Objetivos</th><th>Hipótesis</th><th>Técnicas e instrumentos</th></tr>
<tr><td rowspan="2">¿Cuál es el resultado de la evaluación del concreto adicionando ceniza de tallo y espiga cebada para reducir el porcentaje de cemento?</td><td>Objetivo general

Evaluar el concreto adicionando ceniza de tallo y espiga de cebada para reducir el porcentaje de cemento.</td><td rowspan="2">El concreto adicionando ceniza de tallo y espiga de cebada mejora las propiedades del concreto al reducir el porcentaje de cemento en el diseño de mezcla.</td><td>Técnicas
Observación
Experimentación
Comparación</td></tr>
<tr><td>Objetivos específicos

Realizar estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, agregado fino de la cantera de Conchán y piedra chancada de la cantera de Cuyumalca que se utilizaran en el diseño de mezcla.

Realizar mezclas de concreto adicionando ceniza de tallo y espiga de cebada a partir del diseño de mezcla convencional.

Comparar las propiedades mecánicas del concreto al adicionar ceniza de tallo y espiga de cebada para reducir el porcentaje de cemento respecto a un concreto convencional f’c=210kg/cm2.</td><td>Instrumentos

Fotografías
Formatos de ensayos de laboratorio
Hoja de comparación</td></tr>
</table>

Anexo N° 2: Panel fotográfico

Anexo N° 3: Documentación

Anexo N° 4: Resultados de los ensayos físico-químicos de las cenizas de tallo y espiga de cebada

Anexo N°5: Resultados de los ensayos físico-mecánicos de los agregados

Anexo N° 6: Diseño de mezclas

Anexo N° 7: Resultado de los ensayos al concreto