

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del
concreto hidráulico modificado con adición de ceniza
volcánica extraída de diferentes fases de depósito de
caída del volcán Huaynaputina, Moquegua, 2022**

Ricardo Cesar Ugarte Davila

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Moquegua, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : FELIPE GUTARRA MEZA
Decano de la Facultad de Elija un elemento
DE : Augusto Elías García Corzo
Asesor de tesis
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis
FECHA : 02 de octubre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA EXTRAÍDA DE DIFERENTES FASES DE DEPÓSITO DE CAÍDA DEL VOLCÁN HUAYNAPUTINA, MOQUEGUA, 2022**", perteneciente al estudiante BACH. **RICARDO CESAR UGARTE DAVILA**, de la E.A.P. de Ingeniería Civil; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
(Nº de palabras excluidas: 20) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



MSc/AUGUSTO GARCIA
CIP: 85267

Asesor de tesis

Cc.
Facultad
Interesado(a)

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Ricardo César Ugarte Dávila, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 72861132, de la E.A.P. de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Huaynaputina, Moquegua, 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

21 de Setiembre de 2023.



Ricardo César Ugarte Dávila

DNI. No. 72861132

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA EXTRAÍDA DE DIFERENTES FASES DE DEPÓSITO DE CAÍDA DEL VOLCÁN HUAYNAPUTINA, MOQUEGUA

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	13%
2	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	Yimmy Fernando Silva Urrego, Silvio Delvasto Arjona. "Concreto autocompactante con materiales cementicios suplementarios de Colombia", Libro de Comunicaciones / Livro das Comunicações, 2018 Publicación	<1%
6	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%

7	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
8	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
9	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	Cristina Morilla García, Roberto Espejo Mohedano. "Estudio de las inteligencias múltiples predominantes en medios audiovisuales didácticos bilingües", TECHNO REVIEW. International Technology, Science and Society Review /Revista Internacional de Tecnología, Ciencia y Sociedad, 2022 Publicación	<1 %
15	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

<1 %

17

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

18

repositorio.usanpedro.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

21

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

22

A Tironi, M Trezza, E Irassar, A Scian.
"Activación térmica de bentonitas para su
utilización como puzolanas", Revista de la
construcción, 2012

Publicación

<1 %

23

Domingo Jesús Quintana Hernández, María
Teresa Miró Barrachina, Ignacio Ibáñez
Fernández, Angelo Santana del Pino et al.
"Efectos de un programa de intervención
neuropsicológica basado en mindfulness
sobre la enfermedad de Alzheimer: ensayo
clínico aleatorizado a doble ciego", Revista
Española de Geriátría y Gerontología, 2014

Publicación

<1 %

24

Jersy Mariño, Kevin Cueva, Jean-Claude Thouret, Carla Arias et al. "Multidisciplinary Study of the Impacts of the 1600 CE Huaynaputina Eruption and a Project for Geosites and Geo-touristic Attractions", *Geoheritage*, 2021

Publicación

<1 %

25

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

Leadership & Organization Development Journal, Volume 28, Issue 2 (2007-03-04)

Publicación

<1 %

27

Francisca Tejedo-Romero, Joaquim Filipe Ferraz Esteves Araujo. "Análisis comparado de la política de transparencia en los municipios Ibéricos", *Revista Española de Documentación Científica*, 2021

Publicación

<1 %

28

Pablo Lorca Aranda. "EFECTO DE LA ADICIÓN DE HIDRÓXIDO CÁLCICO SOBRE MEZCLAS CON ALTA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CENIZA VOLANTE.", *Universitat Politecnica de Valencia*, 2014

Publicación

<1 %

29

repositorio.unu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía Activo

DEDICATORIA

Para mi abuelo, Agustín Dávila Cubas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme su sabía y eterna guía a lo largo de toda mi vida.

A mi mamá, María Isabel Dávila Adam, por demostrarme con su esfuerzo diario que ninguna tarea es inalcanzable.

Al MSc. Ing. Augusto Elías García Corzo por sus aportes intelectuales y apoyo oportuno durante el desarrollo de la tesis.

Finalmente, a mis abuelos, demás familiares y amigos que de múltiples maneras me ayudaron a lo largo de esta investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	xi
RESUMEN	xix
INTRODUCCIÓN	xxi
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	21
1.1. Planteamiento y formulación del problema	21
1.1.1. Problema General.....	23
1.1.2. Problemas Específicos	23
1.2. Objetivos	23
1.2.1. Objetivo General.....	23
1.2.2. Objetivos Específicos.....	23
1.3. Justificación e importancia	24
1.3.1. Justificación teórica	24
1.3.2. Justificación práctica.....	24
1.4. Delimitación del proyecto.....	24
1.5. Hipótesis y variables	25
1.5.1. Hipótesis general.....	25
1.5.2. Hipótesis específicas.....	25
1.5.3. Variables	25
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	26
2.1. Antecedentes de la investigación.....	26
2.2. Bases teóricas.....	32
2.2.1. Concreto hidráulico.....	32
2.2.2. Ceniza volcánica	40
2.2.3. Volcán Huaynaputina.....	47
2.2.4. Fases de depósito de caída de ceniza	50
3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	54
3.1. Método, tipo o alcance de la investigación	54
3.1.1. Método de la investigación	54
3.1.2. Tipo de investigación	54
3.1.3. Nivel de investigación.....	54
3.1.4. Alcance de la investigación.....	55
3.1.5. Diseño de la investigación	55
3.1.6. Población y muestra.....	56
3.1.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	58
3.2. Materiales y Métodos (aplicación de la ingeniería)	59
3.2.1. Preparación de las cenizas volcánicas.....	59
3.2.2. Determinación de las propiedades de las cenizas volcánicas.....	62

3.2.3.	Determinación de propiedades de los agregados	66
3.2.4.	Elaboración del concreto.....	74
3.2.5.	Determinación de las propiedades del concreto modificado en estado fresco .	83
3.2.6.	Determinación de las propiedades mecánicas del concreto modificado	84
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	89
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	89
4.1.1.	Resultados de las propiedades químicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal.	89
4.1.2.	Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal	90
4.1.3.	Resultados de las propiedades en estado fresco del concreto modificado	95
4.1.4.	Resultados de las propiedades mecánicas del concreto modificado	103
4.2.	Discusión de resultados.....	131
4.2.1.	Composición química de las cenizas volcánicas.....	131
4.2.2.	Propiedades físicas y mecánicas de las cenizas volcánicas.....	132
4.2.3.	Propiedades en estado fresco del concreto modificado.....	134
4.2.4.	Propiedades mecánicas del concreto modificado.....	135
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148
5.1.	Conclusiones	148
5.1.1.	Conclusión Específica No. 1	148
5.1.2.	Conclusión Específica No. 2.....	148
5.1.3.	Conclusión Específica No. 3.....	148
5.1.4.	Conclusión General.....	148
5.2.	Recomendaciones	150
5.2.1.	Recomendación Específica No. 1	150
5.2.2.	Recomendación Específica No. 2	150
5.2.3.	Recomendación Específica No. 3	150
5.2.4.	Recomendación General	150
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152
	ANEXOS	161
	Anexo A: Operacionalización de variables	161
	Anexo B: Matriz de consistencia.....	162
	Anexo C: Glosario de términos	154
	Anexo D: Fotografías de la investigación.	159
	Anexo E: Fichas técnicas y certificados de materiales para la elaboración de concreto ..	168
	Anexo F: Diseño de mezcla de concreto hidráulico por el método ACI	174
	Anexo G: Instrumentos (fichas de observación) de recolección de datos	176
	Anexo H: Certificados de calidad de cenizas volcánicas y propiedades mecánicas de los concretos hidráulicos de control y experimentales.	181
	Anexo I: Certificados de calibración de equipos y máquinas de ensayo.....	207

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencia entre cementos modificados y adicionados por país.....	32
Tabla 2. Influencia en la trabajabilidad y resistencia de algunos factores en el concreto.....	37
Tabla 3. Clasificación de piroclastos según su tamaño.....	41
Tabla 4. Variación del tamaño de grano con distancia del Monte de Santa Elena	41
Tabla 5. Requisitos químicos según ASTM C618-17 para puzolanas de clase N, F y C.....	45
Tabla 6. Requisitos físicos – mecánicos según ASTM C618 para puzolanas de clase N, F y C.....	46
Tabla 7. Muestreo para resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	57
Tabla 8. Muestreo para resistencia a la tracción diametral del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	57
Tabla 9. Muestreo para resistencia a la flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	57
Tabla 10. Tabla de Validez: Rango y Magnitud	58
Tabla 11. Coeficiente de validez (V de Aiken) mediante juicio de expertos.	58
Tabla 12. Principales vías de acceso al volcán Huaynaputina.....	59
Tabla 13. Límites granulométricos de arena para mortero.	64
Tabla 14. Análisis granulométrico de la arena para morteros.	64
Tabla 15. Gravedad específica y absorción de agregado fino.	68
Tabla 16. Densidades relativas del agregado grueso	69
Tabla 17. Contenido de humedad de agregado fino.	70
Tabla 18. Contenido de humedad de agregado grueso.	70
Tabla 19. Análisis granulométrico del agregado fino.....	71
Tabla 20. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	72
Tabla 21. Peso unitario suelto del agregado fino.....	73
Tabla 22. Peso unitario compactado del agregado fino.	73
Tabla 23. Peso unitario suelto del agregado grueso.....	73
Tabla 24. Peso unitario compactado del agregado grueso.....	74
Tabla 25. Propiedades físicas de cemento y agregados.....	74
Tabla 26. Tabla 1.A. Resistencia promedio requerida.....	75
Tabla 27. Tabla 3. Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.....	75
Tabla 28. Tabla 3.A. Valores de asentamiento según tipo de estructura y condiciones de colocación.	76
Tabla 29. Tabla 4.A – sin aire incorporado.	76
Tabla 30. Tabla 6 – Contenido de aire atrapado según Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso.	76
Tabla 31. Tabla 8: Relación agua / cemento para diseño por resistencia mecánica. ...	77
Tabla 32. Tabla 15: Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diversos módulos de fineza.	78
Tabla 33. Suma de volúmenes absolutos de cemento, agua, aire y agregado grueso..	79
Tabla 34. Diseño de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (peso por metro cúbico).....	81
Tabla 35. Dosificación de mezcla para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en función a bolsa de cemento.	81
Tabla 36. Edades de ensayo y tolerancias.....	85
Tabla 37. Precisión / Coeficientes de variación para resistencia a la compresión.....	86
Tabla 38. Requisitos químicos según ASTM C618 vs resultados químicos de ceniza volcánica.	89

Tabla 39. Requisitos físicos-mecánicos según ASTM C618 y resultados físicos de las cenizas volcánicas.	90
Tabla 40. Densidad de la ceniza co-pliniana.	91
Tabla 41. Densidad de la ceniza de cristal.	91
Tabla 42. Resistencia a la compresión de mortero patrón a los 7 días.	91
Tabla 43. Resistencia a la compresión de mortero patrón a los 28 días.	92
Tabla 44. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza co-pliniana a los 7 días.	93
Tabla 45. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza co-pliniana a los 28 días.	93
Tabla 46. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza de cristal a los 7 días.	94
Tabla 47. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza de cristal a los 28 días.	94
Tabla 48. Asentamiento de concreto patrón y concretos experimentales.	95
Tabla 49. Peso unitario y contenido de aire (método gravimétrico).	95
Tabla 50. Prueba de Normalidad (Shapiro – Wilk) - Asentamiento.	97
Tabla 51. Resumen de prueba Kruskal – Wallis de muestras independientes – Asentamiento.	97
Tabla 52. Comparaciones por parejas de MCS vs Grupo Control – Asentamiento.	98
Tabla 53. Prueba de Normalidad (Shapiro – Wilk) – Peso Unitario.	99
Tabla 54. Pruebas de homogeneidad de varianzas (Levene) – Peso Unitario.	99
Tabla 55. ANOVA de un factor – Peso Unitario.	99
Tabla 56. Comparaciones múltiples – Prueba Post – Hoc de Scheffe – Contenido de aire.	100
Tabla 57. Prueba de Normalidad (Shapiro – Wilk) – Contenido de aire.	101
Tabla 58. Pruebas de homogeneidad de varianzas (Levene) – Contenido de aire.	101
Tabla 59. ANOVA de un factor – Contenido de aire.	101
Tabla 60. Comparaciones múltiples – Prueba Post-Hoc de Scheffe – Contenido de aire.	102
Tabla 61. Resistencia a la compresión de muestra patrón (3 días).	103
Tabla 62. Resistencia a la compresión de muestra patrón (7 días).	103
Tabla 63. Resistencia a la compresión de muestra patrón (14 días).	103
Tabla 64. Resistencia a la compresión de muestra patrón (28 días).	103
Tabla 65. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana (3 días).	105
Tabla 66. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana (7 días).	105
Tabla 67. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana (14 días).	105
Tabla 68. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana (28 días).	105
Tabla 69. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza co-pliniana (3 días).	107
Tabla 70. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza co-pliniana (7 días).	107
Tabla 71. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza co-pliniana (14 días).	107
Tabla 72. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza co-pliniana (28 días).	107

Tabla 73. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana (3 días).....	109
Tabla 74. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana (7 días).....	109
Tabla 75. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana (14 días).....	109
Tabla 76. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana (28 días).....	109
Tabla 77. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza de cristal (3 días).....	111
Tabla 78. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza de cristal (7 días).....	111
Tabla 79. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza de cristal (14 días).....	111
Tabla 80. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza de cristal (28 días).....	111
Tabla 81. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza de cristal (3 días).....	113
Tabla 82. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza de cristal (7 días).....	113
Tabla 83. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza de cristal (14 días).....	113
Tabla 84. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza de cristal (28 días).....	113
Tabla 85. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza de cristal (3 días).....	115
Tabla 86. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza de cristal (7 días).....	115
Tabla 87. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza de cristal (14 días).....	115
Tabla 88. Resistencia a la compresión de muestras con 30% de ceniza de cristal (28 días).....	115
Tabla 89. Resistencia a la tracción indirecta de muestra patrón (28 días).	117
Tabla 90. Resistencia a la tracción indirecta de muestras con 10% de ceniza co-pliniana (28 días).....	117
Tabla 91. Resistencia a la tracción indirecta de muestras con 20% de ceniza co-pliniana (28 días).....	117
Tabla 92. Resistencia a la tracción indirecta de muestras con 30% de ceniza co-pliniana (28 días).....	118
Tabla 93. Resistencia a la tracción indirecta de probetas con 10% de ceniza de cristal (28 días).	118
Tabla 94. Resistencia a la tracción indirecta de probetas con 20% de ceniza de cristal (28 días).	118
Tabla 95. Resistencia a la tracción indirecta de muestras con 30 % de ceniza de cristal (28 días).	119
Tabla 96. Resistencia a la flexión de viguetas de concreto a los 28 días de edad.	119
Tabla 97. Pruebas de Normalidad (Shapiro – Wilk) – Compresión.	121
Tabla 98. Pruebas de homogeneidad de varianzas (Levene) – Compresión.....	122
Tabla 99. Resumen de prueba Kruskal – Wallis de muestras independientes – Compresión 3 días.....	123

Tabla 100. Comparaciones por parejas de MCS vs Grupo Control – Compresión 3 días.....	123
Tabla 101. ANOVA de un factor – Compresión 7 días.....	124
Tabla 102. Comparaciones múltiples – Prueba Post-Hoc de Scheffe.....	125
Tabla 103. Resumen de prueba Kruskal – Wallis de muestras independientes – Compresión 14 días.....	126
Tabla 104. Comparaciones por parejas de MCS vs Grupo Control – Compresión 14 días.....	126
Tabla 105. Resumen de prueba Kruskal – Wallis de muestras independientes – Compresión 28 días.....	127
Tabla 106. Comparaciones por parejas de MCS vs Grupo Control – Compresión 28 días.....	128
Tabla 107. Pruebas de Normalidad (Shapiro – Wilk).....	129
Tabla 108. Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes – Tracción 28 días.....	129
Tabla 109. Comparaciones por parejas de MCS vs Grupo Control – Tracción 28 días.....	130
Tabla 110. Composición química de cenizas volcánicas de distinta procedencia.....	132
Tabla 111. Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura.....	145
Tabla 112. Usos de los concretos hidráulicos experimentales basados en su resistencia a la compresión.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cantidad de producción de cemento y emisiones de CO ₂ . Tomado de PBL, Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos [3].	21
Figura 2. Ubicación de las plantas de cemento y centros operativos de Yura en el sur del país. Tomado de Hualla, 2017, p. 13 [4]. Observar la capacidad de producción de cementos Yura en producción de clinker, concibe una idea de la magnitud de la contaminación por la industria cementera en el sur del país.	22
Figura 3. Método de diseño de mezcla ACI. Adaptado del Comité ACI 211 [36].	37
Figura 4. Aplicación de carga de compresión diametral sobre testigos cilíndricos de concreto. Tomada de Garrote [40] (a) Configuración de la carga y (b) rotura del ensayo de tracción indirecta.	39
Figura 5. Compresión triaxial vs compresión uniaxial. Tomada de Stöckhert [42].	40
Figura 6. Componentes de la ceniza volcánica.	42
Figura 7. Cenizas volcánicas expulsadas por el Huaynaputina en la erupción 1600 d.C.	43
Figura 8. Arco Volcánico Andino y sus Zonas Volcánicas. Adaptado de Ramos & Alemán [52].	47
Figura 9. Zona Volcánica de los Andes Centrales (parte peruana). Tomado de INGEMMET. [53]	47
Figura 10. Mapa del Volcán Huaynaputina y alrededores. Tomado de Thouret et al. [9]	48
Figura 11. Domo de lava “Cerro el Volcán” visto desde el sector de Calicanto (Quinistaquillas).	49
Figura 12. Mapa de isópacas (depósito pliniano) del volcán Huaynaputina, erupción de 1600 d.C. Adaptado de Thouret et al [9]	51
Figura 13. Condiciones experimentales de la investigación.	55
Figura 14. Perfil estratigráfico del sector de Calicanto. Tomado de Cueva [61].	60
Figura 15. Perfil estratigráfico del sector de Quinistacas. Tomada de Mariño et al. [62].	61
Figura 16. Molienda de ceniza volcánica. A) Molino de bolas de abrasión B) Ceniza co-pliniana después de 90 minutos de molienda.	62
Figura 17. Matraz / ceniza de cristal y picnómetro / ceniza co-pliniana.	63
Figura 18. Curva granulométrica de la arena para morteros según la NTP 334.051.	65
Figura 19. Orden de apisonado en el moldeo de especímenes de mortero. Tomado de ASTM C109 [51].	65
Figura 20. Agregado grueso - HUSO 67 de la cantera Radcom 3.	66
Figura 21. Curva granulométrica de agregado fino.	71
Figura 22. Curva granulométrica del agregado grueso.	72
Figura 23. Modelos de fracturas típicos por ensayos de resistencia mecánica a la compresión. Tomada de NTP 339.034:2015 [38].	85
Figura 24. Listones de madera, barra de apoyo suplementaria y dispositivo de alineación.	86
Figura 25. Resistencia a la flexión por ASTM C78 y ASTM C293. Tomada de NRMCA [44].	87
Figura 26. Aparatos para ensayo de flexión en vigas de concreto. Adaptada de ASTM C293-04 [69].	88
Figura 27. A) Finura de la ceniza co-pliniana y B) de cristal según el tiempo de molienda. Se observa como en función del tiempo la finura aumenta.	90
Figura 28. Resistencia a la compresión de morteros patrones a lo largo del tiempo.	92

Figura 29. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza co-pliniana.....	93
Figura 30. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza de cristal a lo largo del tiempo.	94
<i>Figura 31. Prueba de Kruskal – Wallis para muestras independientes de asentamiento entre concretos hidráulicos de grupo control y experimentales.</i>	<i>98</i>
Figura 32. Resistencia a la compresión promedio de probetas de control a través del tiempo.	104
Figura 33. Resistencia promedio a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana.....	106
Figura 34. Resistencia a la compresión promedio de probetas con 20% de ceniza co – pliniana.....	108
Figura 35. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana.....	110
Figura 36. Resistencia a la compresión promedio de probetas con 10% de ceniza de cristal.....	112
Figura 37. Resistencia a la compresión promedio de probetas con 20% de ceniza de cristal.....	114
Figura 38. Resistencia a la compresión promedio de probetas con 30% de ceniza de cristal.....	116
<i>Figura 39. Prueba de Kruskal – Wallis para muestra independientes – Tracción. Elaboración propia mediante el programa SPSS Statistics v.29.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 40. Composición química de la ceniza co-pliniana y de cristal.</i>	<i>131</i>
Figura 41. Gráfico comparativo de resistencia a la compresión de morteros con cemento portland I, ceniza co-pliniana y de cristal.	133
Figura 42. Resistencia a la compresión de muestras de concreto a través del tiempo con reemplazo en masa de cemento de ceniza co-pliniana y de cristal en 0%, 10%, 20% y 30%.	136
Figura 43. Influencia de cenizas volcánicas en la resistencia a la compresión de concreto a los 3 días.....	137
Figura 44. Influencia de cenizas volcánicas en la resistencia a la compresión de concreto a los 7 días.....	138
Figura 45. Influencia de cenizas volcánicas en la resistencia a la compresión de concreto a los 14 días.....	139
Figura 46. Influencia de cenizas volcánicas en la resistencia a la compresión de concreto a los 28 días.....	140
Figura 47. Influencia de las cenizas volcánicas en la resistencia a la tracción del concreto a los 28 días.....	142
Figura 48. Porcentajes de la resistencia a la tracción indirecta respecto a la resistencia a la compresión de concretos con ceniza volcánica a los 28 días.....	143
<i>Figura 49. Influencia de las cenizas volcánicas en el módulo de rotura del concreto a los 28 días.</i>	<i>144</i>
<i>Figura 50. Porcentajes de la resistencia a la tracción indirecta y el módulo de rotura respecto a la resistencia a la compresión de concretos con ceniza volcánica a los 28 días.</i>	<i>145</i>
Figura 51. Índice de Actividad Volcánica (volumen, altura de columna eruptiva y tipo de erupción). Tomada de King [90].....	156

RESUMEN

En el presente trabajo, se comparó las propiedades mecánicas de concreto modificados con la adición de 10, 20 y 30 % de ceniza co-pliniana y de cristal, procedentes de dos diferentes depósitos de caída de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina.

Se utilizó la siguiente metodología: El tipo de investigación según su función es aplicada, de alcance descriptivo-correlacional y de diseño experimental al azar con estructura factorial 2x3 de series cronológicas múltiples, con un grupo de control. Esta investigación se apoya en Normas Técnicas Peruanas (NTP) y normas ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales).

Por medio de la rotura de 84 muestras cilíndricas de 15 x 30 cm, se evaluó la resistencia a la compresión, 35 muestras cilíndricas de 30 x 15 cm para la resistencia a la tracción y 7 muestras prismáticas de 15 x 15 x 50 cm para la resistencia a la flexión.

Se concluyó que cada ceniza influye de manera distinta en las propiedades mecánicas, siendo la ceniza de cristal perjudicial y la ceniza co-pliniana aprovechable en una sustitución del 10%.

PALABRAS CLAVE: *Concreto hidráulico, volcán Huaynaputina, depósito de caída de ceniza, ceniza co-pliniana, ceniza de cristal, reacción puzolánica, efecto filler y efecto de dilución*

ABSTRACT

In the present research, the mechanical properties of concrete modified with the addition of 10, 20 and 30 % of co-plinian and crystal ash were compared, coming from two different fall deposits from the eruption of 1600 AD. of the Huaynaputina volcano.

The following methodology was used: The type of research according to its function is applied, with a descriptive-correlational scope and a randomized experimental design with a 2x3 factorial structure of multiple time series, with a control group. This research is based on Peruvian Technical Standards (NTP, in its Spanish acronym) and American Society for Testing and Materials (ASTM).

By breaking 84 cylindrical samples of 15x30 cm, the compressive strength was evaluated, 35 cylindrical samples of 30x15 cm for the tensile strength and 7 prismatic samples of 15x15x50 cm for the flexural strength.

It was concluded that each ash influences the mechanical properties in a different way, being the crystal ash, harmful, and the co-plinian ash, usable in a substitution of 10%.

KEYWORDS: *Hydraulic concrete, Huaynaputina volcano, ash-fall deposit, co-plinian ash, crystal ash, pozzolanic reaction, filler effect and dilution effect*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, pese a las exigencias, la industria productora de cemento emite un 8 % de CO₂, porcentaje que, si se tratase de un país, sería el tercero a nivel mundial más contaminante, después de China y Estados Unidos. Frente a esto, una forma de consumir menos energía es el uso de materiales cementicios suplementarios (MCS), ya sean de origen natural (puzolanas) o artificial.

El Perú es un país rico en recursos naturales que en su mayoría no han sido explotados de manera correcta. A principios del año 1600 d.C., ocurrió la erupción más grande de los Andes en tiempos históricos (IEV = 6), el volcán Huaynaputina (Moquegua) erupcionó, eyectando grandes volúmenes de material piroclástico; tal fue la violencia de esta erupción que afectó al clima de todo el planeta. Se originaron diferentes tipos de puzolana, como la ceniza co-pliniana o la de cristal, en base a esto, se inicia esta investigación con el objetivo de comparar la influencia de estas, al ser añadidas a mezclas de concreto en diferentes porcentajes de reemplazo, al mismo tiempo, poder identificar nuevas canteras aprovechables de puzolana, que resultarían beneficiosas a corto plazo para la población aledaña y a largo, para el medio ambiente.

Para medir la resistencia mecánica a la compresión, tracción y flexión, se elaboraron 17 muestras cilíndricas y 1 prismática de concreto con tres diferentes porcentajes de sustitución para la ceniza co-pliniana y de cristal, obteniendo seis grupos experimentales, más uno de control.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

El concreto es el material de construcción más utilizado en todo el mundo [1]. Gracias a este material la humanidad ha logrado realizar grandes obras, seguras y perdurables en el tiempo; sin embargo, no es posible reducir considerablemente la contaminación que la fabricación de su ingrediente principal, el cemento, emite.

Se requiere de una gran cantidad de energía para producir cemento y, aproximadamente, por cada tonelada de este, se emite una tonelada de CO₂ al medio ambiente [1]. La producción de cemento es la fuente del 8% de CO₂ [2]. Si la industria del concreto fuera un país, sería el tercer contaminante después de China y EEUU [3].

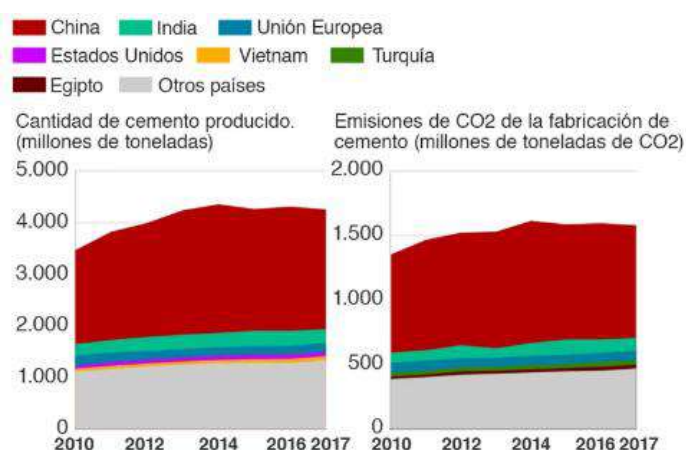


Figura 1. Cantidad de producción de cemento y emisiones de CO₂. Tomado de PBL, Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos [3].

El Perú no está libre de contaminación por la producción de cemento, existiendo más de 44 empresas dedicadas a este rubro. Es por ello que investigar otras alternativas que puedan reducir la proporción de este material, y a la vez brindar mejoras en las propiedades mecánicas o al menos igualándolas, sería un aporte hacia un mundo con menos contaminación.



Figura 2. Ubicación de las plantas de cemento y centros operativos de Yura en el sur del país. Tomado de Hualla, 2017, p. 13 [4]. Observar la capacidad de producción de cements Yura en producción de clinker, concibe una idea de la magnitud de la contaminación por la industria cementera en el sur del país.

Una disminución de la producción de cemento implicaría una mejora ambiental en la región sur del país, por ejemplo, en el distrito de Yura (Arequipa – a 72.6 km de Moquegua), se encuentra la central de mayor producción de la empresa Yura, la cual realiza actividades no solo de molienda sino también de producción de clinker, demandando una gran cantidad de energía, por ende, emitiendo una gran cantidad de gases de efecto invernadero, algo que no afecta exclusivamente a la región sur (contribuye a la contaminación del planeta entero). Por otro lado, ha habido protestas por la vibración constante que ha ocasionado agrietamientos en viviendas y la contaminación del aire, de la población cercana. [5]

Cabe mencionar que los efectos del cambio climático en el departamento de Moquegua han alterado el ciclo hidrológico de las cuencas de la región (disminución de la capacidad de recarga en la cuenca del río Ilo - Moquegua), ha reducido el volumen de lagunas, glaciares; aumento de sequedad, aridez y degradación de suelos, incremento de afecciones a la piel por la radiación ultravioleta; lluvia y nevadas que dañan infraestructuras públicas y privadas, los vientos intensos han afectado cerca de 22'000 viviendas e interrupciones en los servicios de agua, desagües y electricidad. Por estas razones, se debe disminuir la emisión de Gases de Efecto Invernadero en los sectores de Agricultura y Energía (ya que son los que más GEI generan). [6]

En este sentido, las puzolanas de distinto origen, ya sea natural o artificial, son una alternativa. En esta investigación se analizará dos fases de depósito de caída de ceniza volcánica de distinto origen, eyectadas por la erupción de 1600 d.C. del estratovolcán Huaynaputina, ubicado entre

los distritos de Quinistaquillas y Omate (Moquegua, Perú), con el fin de conocer si son o no aprovechables.

1.1.1. Problema General

PG: ¿En qué medida las propiedades mecánicas del concreto hidráulico son afectadas por la adición de ceniza volcánica extraída de depósitos de caída de diferentes fases del volcán Huaynaputina?

1.1.2. Problemas Específicos

PE1: ¿Las propiedades químicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina cumplen con los requerimientos para puzolanas naturales por la normativa ASTM C 618 – 19?

PE2: ¿Las propiedades físicas y mecánicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina cumplen con los requerimientos para puzolanas naturales por la normativa ASTM C 618 – 19?

PE3: ¿Cómo influye la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades en estado fresco del concreto hidráulico?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

OG: Comparar las propiedades mecánicas del concreto modificado con la adición de ceniza volcánica extraída de depósitos de caída de diferentes fases del volcán Huaynaputina.

1.2.2. Objetivos Específicos

OE1: Determinar las propiedades químicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina.

OE2: Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina.

OE3: Determinar cómo afecta la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades en estado fresco del concreto hidráulico.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación teórica

Cada erupción volcánica produce materiales de diferente estructura y composición química, estos factores varían según su naturaleza y origen, razón por la cual se dificulta la evaluación y comparación entre diferentes fuentes [7]. Algunos no presentan alta reactividad con el hidróxido de calcio por lo que se considera como de baja calidad, por eso es importante detectar cual depósito de caída muestra mejor afinidad con la cal del cemento. Siddique [8] considera que cuando una erupción volcánica es explosiva, la puzolana natural producida presenta una matriz vítrea con pequeños cristales ocasionales, esta estructura con poca presencia de cristales presenta mejor reactividad de este material hacia la cal. La erupción del año 1600 d.C., es considerada con un Índice de Explosividad Volcánica igual a 6 [9], solo inferior a la erupción del volcán Tambora (1815) [10] por no haber ninguna investigación previa sobre las puzolanas de este volcán en específico, se busca comprobar lo citado por Siddique, R., analizando dos diferentes tipos de ceniza producidas en distintas fases de la erupción de 1600 d.C. como material cementicio suplementario.

1.3.2. Justificación práctica

El volcán Huaynaputina tuvo una descarga volumétrica de entre 8.60 a 9.93 km³, cubriendo un área de 128,072 km² de material piroclástico. [10]. Esta cantidad dispersa en su mayoría en la cercanía del volcán podría ser utilizada para la construcción de viviendas de la población aledaña.

1.4. Delimitación del proyecto

En esta investigación se está tomando en cuenta el ámbito de la región Moquegua. Este estudio busca determinar las propiedades físico – químicas de dos tipos de cenizas volcánicas (finura, IAR, etc.), extraídas de dos de las cinco fases de depósito de caída de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina: 1) ceniza co-pliniana y 2) ceniza de cristal; para luego analizar la influencia de distintos porcentajes de cada puzolana en un concreto estructural de $f'c = 210$ kg/cm², con el fin de comparar las propiedades mecánicas de los concretos modificado respecto a concretos sin adición de ceniza volcánica.

Para lograr esta investigación, se elaborarán testigos cilíndricos y prismáticos de concreto, con una sustitución en volumen del 10%, 20% y 30% de cemento por cada ceniza volcánica. El diseño de mezclas de hormigón se hará por el método ACI. Se empleará cemento portland tipo GU, y los agregados (grava y arena) procederán de una misma cantera.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis general

HG: Las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza co-pliniana son mejoradas notablemente en comparación a la adición de ceniza de cristal, extraídas de depósitos de caída de diferentes fases del volcán Huaynaputina.

1.5.2. Hipótesis específicas

HE1: Las propiedades químicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina cumplen con los requerimientos para puzolanas naturales de la norma ASTM C 618 - 19.

HE2: Las propiedades físicas y mecánicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina cumplen con los requerimientos para puzolanas naturales de la norma ASTM C 618 - 19.

HE3: La adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina mejora las propiedades en estado fresco del concreto hidráulico.

1.5.3. Variables

La matriz de operacionalización de variables se encuentra en el apartado: (Ver Anexo A).

1.5.3.1. Variable independiente.

Ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del Volcán Huaynaputina.

1.5.3.2. Variable dependiente.

Propiedades mecánicas del concreto hidráulico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Tupa [11] en su investigación, desarrollada en el distrito de Yura, Arequipa, Perú buscó determinar si es factible usar la ceniza y escoria volcánicas del distrito de Yura como agregados para la elaboración de un concreto estructural liviano, para esto analizó las propiedades físicas del concreto, analizó la siguiente cantidad de muestras: Densidad plástica (72), densidad seca al aire (72), densidad aparente (35) y densidad seca (35), absorción del concreto endurecido (35) y volumen de poros permeables (35), asentamiento (4), contenido de aire (8), penetración de agua en concreto endurecido (8), conductividad térmica del concreto endurecido (32). Y para las propiedades mecánicas del concreto una vez endurecido; resistencia a compresión (120), a tracción por compresión diametral (28) y a flexión (4). Utilizó una amplia gama de instrumentos como molde estándar, balanza electrónica, canastilla sumergible, cono para saturación del agregado fino, bandejas, horno eléctrico, varilla metálica, Vernier, flexómetro, prensa hidráulica, gata hidráulica, marco metálico de soporte, compresora de aire, aparato de Lee, termómetros y estufa eléctrica. Se obtuvo que la densidad en estado fresco, fraguado, seco al aire y seco al horno no superó el valor de 1.80 gf/cm^3 , obteniendo resultados satisfactorios de acuerdo a norma menos para el concreto de máxima resistencia. En cuanto al contenido de aire se aprecia que es relativamente alto respecto al contenido de aire de un concreto normal, esto se debe a la naturaleza porosa de los agregados. Respecto a la conductividad térmica se observó que es menor en cuanto a los agregados normales, lo que hace al concreto ligero un mejor aislante térmico. Acerca de la permeabilidad se observa que a mayor contenido de cemento hay una menor permeabilidad. Con relación a la resistencia a la compresión se observa que es directamente proporcional a mayor cantidad de cemento. En consideración a la tracción se observa que el aditivo hiper-plastificante basado en nano-sílice, disminuye la tracción del concreto ligero. Se concluye que la escoria y cenizas volcánicas son aptas física y químicamente para la elaboración de concreto estructural liviano.

Tupayachy [12] en su tesis, desarrollada en Arequipa, Perú. Buscó conseguir un material que posea propiedades físicas y mecánicas que sean adecuadas para usarse como materia prima que sea menos contaminante y rentable para la industria de construcción. Para esto se elaboró morteros geo-poliméricos usando como precursores a la ceniza volcánica y agregados como la arena local y standard en dos soluciones alcalinas activadoras ($\text{NaOH } 12\text{M}$ y $\text{Na(OH)+Na}_2\text{SiO}_3 \text{ } 12\text{M}$) con un tiempo de curado de hasta 180 días. Además, se elaboró morteros de cemento donde se usó como precursor al cemento portland con arena local y agua.

Finalmente, se realizó la caracterización física, química, mineralógica y estructural de los morteros geopoliméricos y de cemento, así como se evaluó su comportamiento mecánico. Encontrándose que el tipo de solución alcalina activante y el uso de arena local o arena standard influyen en sus propiedades mecánicas, siendo la de NaOH y arena local con los cuales se obtuvo los mayores valores de resistencias de 27,49, 27,57 y 24,59 MPa a los 7, 14 y 28 días de ensayo, respectivamente. Dichos valores son más altos que los obtenidos al usar la solución activadora con adición de silicato de sodio; sin embargo, al usar arena estándar fue con la solución con silicato de sodio con la cual se obtuvo valores de 38.84, 31.84 y 26.30 MPa a los 7, 14 y 28 días. Se concluye que las propiedades del mortero geo-polimérico obtenido demostraron propiedades mecánicas elevadas pudiendo ser una buena alternativa ya que se han obtenido valores mayores a los establecidos en la norma NTP 334.069:2017 (Cemento de albañilería o morteros).

Hermoza [13] en su tesis, desarrollada en Arequipa, Perú. Buscó comparar el comportamiento físico, mecánico y micro-estructural de morteros geopoliméricos obtenidos a partir de ceniza volcánica con los morteros obtenidos a partir del cemento Portland. Para lo cual se fabricaron morteros cilíndricos de cemento Portland (MCP) y morteros cilíndricos geopoliméricos (MGP). Determinando sus propiedades físicas, mecánicas y micro-estructurales mediante ensayos de absorción, densidad, resistencia a la compresión, difracción de rayos X (DRX) y microscopía de barrido (SEM). Se obtuvieron los siguientes resultados: La resistencia a la compresión de morteros geopoliméricos basados en cenizas volcánicas mostró comportamiento mecánico similar con respecto a los de cemento, presentando una ligera disminución de resistencia a la compresión a los 28 días de curado con un promedio reportado de 24,59 MPa; existe una variación negativa de la resistencia a la compresión entre los morteros geopoliméricos desarrollados con activador alcalino NaOH a comparación de los desarrollados con NaOH con adición de Silicato de Sodio, debido a la interacción química íntima de los materiales que conforman los morteros. Este comportamiento mecánico podría deberse en parte a la composición de la arena con alto contenido de sílice al 70.72% (SiO_2) que presenta el agregado fino, el cual dejaría a parte de la solución activadora sin reaccionar con los componentes sólidos. Con respecto a la absorción, se puede sugerir que para los morteros geopoliméricos, la geopolimerización fue mayor para los desarrollados con activación alcalina con solamente NaOH y fue dado en menor medida en los que fueron activados con solución alcalina de NaOH adicionado con silicato de sodio. En cuanto a la densidad de los morteros, la configuración de mezcla que presenta mayor densidad es la conformada por CY+AL (morteros de cemento). Se concluye que es posible sintetizar morteros geopoliméricos a partir de ceniza volcánica (CV) y agregado fino local (AL), activados alcalinamente por hidróxido de sodio con y sin adición de silicato de sodio.

Ituza [14] en su tesis, desarrollada en Arequipa, Perú. Buscó proponer dosificaciones para un concreto de baja densidad usando varios tipos de agregados de origen natural (ceniza volcánica, escoria volcánica y piedra pómez) e industrial (perlitas de poliestireno expandido), y su aplicación en una edificación sobre un suelo de baja capacidad portante. Para lo cual, se realizaron dosificaciones por cuatro distintos métodos (Comité 211 del ACI, Walker y Módulo de finura de la combinación de agregados, Diseño de concreto de baja densidad), los agregados pasaron un análisis granulométrico, se determinó el módulo de fineza, el peso específico y su absorción, como su peso unitario compactado y suelto, y el porcentaje de humedad. Una vez se realizó todo lo anterior, se procedió a determinar mediante ensayos de laboratorio las propiedades del concreto en estado fresco (fluidez de la mezcla, contenido de aire, temperatura, peso unitario y rendimiento) como en estado endurecido (resistencia a la tracción, compresión, densidad y absorción). Se concluyó que la dosificación que contiene arena escoria volcánica (agregado fino) con piedra escoria volcánica (agregado grueso) presenta la menor densidad, siendo 1718.50 kg/m^3 , y a su vez es la mejor resistencia a la compresión presenta a los 28 días, 267 kgf/cm^2 .

Apaza [15] en su artículo de investigación, realizado en la ciudad de Arequipa, Perú. Buscó comparar las propiedades de un concreto elaborado a base de una mezcla cementante con reemplazo de ceniza volcánica de tres distintos volcanes (Misti, Sabancaya y Ubinas). Para lo cual, distintas cenizas volcánicas fueron recolectadas, sometidas a análisis químicos y microestructurales usando un Microscopio Electrónico de Barrido MEB – SEM y Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP – OES), también una homogeneización del material, usando tamices, posteriormente se molió con un molino planetario hasta obtener partículas $< 70 \mu\text{m}$ de diámetro y fueron mezcladas con una solución básica a temperaturas de 70°C por varias horas; para la determinación de las propiedades físicas del geopolímero se elaboraron probetas cilíndricas. Se obtuvieron los siguientes resultados: 1) la composición química del material volcánico es similar sin importar la fuente (mayor proporción de SiO_2) y su composición principal es sílica y alumina, 2) Se obtuvo resistencias a la compresión máximas a los 7 días (30 MPa), 14 (60 MPa) y 28 días (64 MPa). Se concluye que la ceniza volcánica puede ser una alternativa ecológica para la construcción, y elaboración de geopolímeros.

Cabana [16] en su tesis, desarrollada en Arequipa, Perú. Buscó evaluar un concreto autocompactante reemplazando al cemento por ceniza volcánica del volcán Ubinas. Para lo cual se determinó utilizar un tamaño de partícula entre $60 \mu\text{m}$ y $80 \mu\text{m}$, se propone porcentajes óptimos de sustitución entre 10% a 20%, se evalúan mediante ensayos de laboratorio

propiedades en estado fresco como; capacidad de paso, de llenado y la resistencia a la segregación; en estado endurecido: resistencia a la compresión, tracción y flexión. Se concluye que la sustitución en más de 20% afecta negativamente, incumpliendo los requerimientos básicos.

Galeas [17] en su investigación, desarrollada en Ecuador, tuvo como objetivo determinar y proponer una dosificación que permita utilizar ceniza volcánica del Tungurahua en el hormigón estructural como reemplazo proporcional del cemento. Para esto se definieron tres fracciones de ceniza diferenciadas por el tamaño de las partículas en su composición: Gruesa (comprendida entre los tamices No. 4 y 200); Fina (material que pasa el tamiz No. 200); Completa (material que pasa el tamiz N°4). El reemplazo de cemento por ceniza se definió en cuatro porcentajes para determinar el valor óptimo de reemplazo, se usó el: 2.5%, 5%, 10% y 20% en peso del cemento definido mediante una dosificación convencional del hormigón. Para el análisis se elaboraron cuatro probetas cilíndricas de hormigón de 100 mm de diámetro para cada dosificación de reemplazo, las cuales se ensayaron a los 7, 14 y 28 días de edad, es decir se elaboraron un total de 312 probetas. Se obtuvieron los siguientes resultados: Para el hormigón de 14 MPa de fracción completa se evidencia que para las dosificaciones de 10 y 20% existe una diferencia significativa a los 28 días. Para el hormigón de 21 MPa de fracción completa se evidencia que no existe una diferencia significativa. Para el hormigón de 14 MPa de fracción fina se evidencia que existe una diferencia significativa a los 28 días para un 10% de reemplazo y a los 14 y 28 días para el 20% de reemplazo. Para el hormigón de 21 MPa de fracción fina se evidencia que existe una diferencia significativa a los 7 y 28 días para un 2.5% de reemplazo, a los 28 días para un 5% de reemplazo, a los 7, 14 y 28 días para el 10% de reemplazo y a los 7 y 28 días para un 20% de reemplazo. Para el hormigón de 14 MPa de fracción gruesa se evidencia que existe una diferencia significativa a los 28 días para un 2.5% y 10% de reemplazo. Para el hormigón de 21 MPa de fracción gruesa se evidencia que existe una diferencia significativa a los 14 y 28 días para un 5% de reemplazo. Se concluye que los reemplazos de fracción gruesa aumentan más la resistencia a la compresión, dando a notar la importancia de la superficie específica, para que reaccione de forma efectiva con los compuestos que se producen en el hormigón, al entrar el cemento en contacto con el agua, es decir, hidróxido de calcio.

Silva [18] en su investigación, desarrollada en Universidad del Valle, Cali, Colombia, Buscó evaluar la influencia de puzolanas naturales y artificiales en el comportamiento reológico y estructural de un concreto autocompactante (SCC). Para lo cual se realizaron 23 mezclas con 7 adiciones distintas. En cuanto a las puzolanas naturales de origen volcánico, se empleó hasta un 45% de reemplazo de MV, se utilizó un tamaño de partícula de 21.1 μm para MVP y 20.2

µm para MVT, donde los flujos de asentamiento presentaron diámetros dentro de un rango de 721 mm – 753 mm, los tiempos en la prueba de fluidez en el embudo en V estuvieron en un rango entre 4.5 y 7.3 segundos, y los resultados en la relación de bloqueo (H2/H1) de las diferentes mezclas usando la caja en L estuvieron en un rango entre 0.87 y 0.99. La resistencia a la compresión de la mezcla con mayor resistencia, 35.6 MPa a los 28 días de curado bajo agua, la reportó un CAC con 0% de FA (CAC100_MVT-0) seguida de la mezcla de CAC con 20% de Material Volcánico de Tolima (CAC80_MVT-20) con 26.3 MPa. Se concluyó que la incorporación de material volcánico a la mezcla de CAC como reemplazo del cemento Portland produce diferentes efectos sobre las propiedades mecánicas, tales como el efecto de relleno o dilución dependiendo de las proporciones, donde es más notorio el efecto de dilución para la mezcla con 30% de MVT, lo que genera una pérdida significativa en las propiedades mecánicas.

Barrientos-Monsalve [19] en su tesis, desarrollada en Bucaramanga, Colombia. Buscó analizar y comparar los resultados hallados en diversas investigaciones realizadas en el concreto con adición de ceniza volcánica, fibra de vidrio y fibras metálicas, se utilizó el método descriptivo interpretativo, para lo cual se apoyó en investigación documental extraída de bases de datos como SCOPUS. Los resultados indicaron que las investigaciones realizadas a cenizas volcánicas como material suplementario de cemento, presentaron un concreto con mayor cantidad de absorción, demandando una cantidad extra de recurso hídrico; sin embargo, con el uso de un diseño apropiado de mezcla y minerales, todos estos percances pueden ser contrarrestados. Se concluye que el reemplazo de ceniza por cemento disminuye la masa unitaria de las mezclas en menor proporción que la adición de ceniza por agregados; por consiguiente, las cenizas favorecen a la reducción de masa por metro cúbico de concreto en estado líquido, volviéndolo más ligero en comparación con la mezcla patrona.

Fragoso y Visbal [20] en su trabajo de investigación, desarrollada en Cartagena, Colombia. Se estudió cualitativamente la influencia del uso, en diferentes proporciones, de puzolana de origen natural como reemplazante parcial o cementante suplementario en el hormigón, lo que quiere decir que contribuye a las propiedades del compuesto a través de la reacción puzolánica. Para este trabajo se recurrió a la literatura del tema que se encuentra en el sistema de bibliotecas de la Universidad de Cartagena, específicamente en el repositorio y bases de datos adquiridos por la institución. Los estudios indicaron que la sustitución de cemento por puzolana resulta beneficiosa en 15%-20% del peso total, teniendo en cuenta aspectos como la resistencia a ataques químicos, permeabilidad, economía, y emisión de gases, y cumpliendo con las especificaciones de las normas que rigen el uso del material en cada país. En cuanto a la puzolana como suplemento se pudo encontrar que, a pesar de conllevar pocos beneficios económicos y ambientales, sus propiedades mecánicas hacen que este sea usado para mejorar

la resistencia a la compresión y flexión en un 5-10%, frente al concreto convencional, el fraguado, módulo de flexión, teniendo en cuenta que el valor usualmente se utiliza es de un 10% de dosificación de peso total. Se concluye que el ambiente donde mejor trabajan las puzolanas es en construcciones costeras o marítimas debido a que su porosidad y permeabilidad son aspectos que sobresalen y ayuda al ataque de agentes externos. Las puzolanas brindan propiedades similares al cemento Portland convencional e implican menor consumo energético, aunque debido a la variabilidad de estas, se requieren estudios de morteros en el laboratorio previo a su uso. También se evidenció que el ahorro económico está estrechamente relacionado a la disponibilidad del material en zonas cercanas a la construcción en la que vaya a ser utilizado, según la bibliografía estudiada el ahorro puede variar desde un 7% hasta un 66% en costos totales de producción.

Molina [21] en su tesis, desarrollada en Quito, Ecuador. Buscó analizar nueve tipos de cenizas volcánicas de cinco volcanes del Ecuador (Cotopaxi, Romerillos, Chalupas, Pululahua, Tungurahua) para su aprovechamiento en el hormigón. Para lo cual, se apoyó en los parámetros de la ASTM C618 – 19 y ASTM C311 – 18 para los análisis químicos y físicos. Los resultados indicaron que las nueve muestras presentan contenidos de humedad menores al 3%, cumpliendo lo estipulado por la ASTM C618; el mayor porcentaje por pérdida de ignición corresponde a la muestra de ceniza Chasqui, y la ceniza del volcán Tungurahua presenta el menor valor; sin embargo, las nueve muestras cumplen con lo estipulado en la ASTM C618. En cuanto al contenido de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ y Fe_2O_3 todas las muestras, cumplen con lo estipulado en la ASTM C618, superando el 70%. La muestra con mayor y menor contenido de álcalis disponibles, fueron la ceniza del Tungurahua y Romerillos, respectivamente. A su vez, en los resultados físicos se evidenció lo siguiente: 1) densidad, la ceniza del volcán Tungurahua presenta similitud con la densidad del cemento; 2) índice de actividad puzolánica, se determinó que el IAP es directamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto, a la vez que el máximo porcentaje de relación respecto a la muestra patrón fue de 66%, no cumpliendo con lo estipulado en la ASTM C618 (demanda un mínimo de 75% en relación a la muestra patrón); 3) requerimiento de agua para flujo normalizado, todas las muestras cumplen con lo estipulado en la ASTM C618; 4) granulometría, todas las muestras, una vez molidas, cumplen con lo estipulado, habiendo algunas con presencia de porcentajes de partículas más finas que otras. Se llega a la conclusión de que: 1) a excepción del índice de actividad puzolánica (IAP), todos los demás requerimientos por la ASTM C618 son cumplidos; 2) la única ceniza que cumple con lo estipulado por la ASTM C618 respecto al IAP es la del volcán Cotopaxi cima, pero es a los 90 días, 3) siendo así, la efectividad de utilizar estas puzolanas demanda de un periodo largo para obtener las resistencias deseadas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto hidráulico

El concreto u hormigón hidráulico puede definirse como la combinación uniforme u homogénea de un material aglomerante (Cemento Portland Hidráulico), un material granular, agua, ocasionalmente aditivos, y aire (en mínima proporción) que al solidificarse forma una piedra artificial y después de cierto tiempo es capaz de resistir esfuerzos mecánicos. Desde un punto de vista más simple, el concreto sería una “piedra” hecha por un ingeniero.

2.2.1.1. Concreto hidráulico adicionado.

Un concreto hidráulico adicionado y/o modificado es aquel en el cual el material aglutinante, cemento, no presenta una composición única de clinker, sino que consta de dos o más componentes inorgánicos (caliza, escoria, puzolana, etc.), que por su propia cuenta o mezclados, aportan mejoras a las propiedades físicas – mecánicas del hormigón.

La diferencia entre un concreto adicionado y modificado radica en la cantidad de material incorporado al aglutinante, siendo el primero de los mencionados el cual utiliza mayores proporciones minerales; si contiene más de 15% de puzolana es un cemento adicionado [22]. En la siguiente tabla se muestra la cantidad de material adicionado según país en función a la masa total del cemento. [23]

Tabla 1. *Diferencia entre cementos modificados y adicionados por país.*

Cemento Portland Modificado			Cemento Portland Adicionado		
Adición	País	[%]	Adición	País	[%]
Escoria	Perú	25	Escoria	Colombia	85
	Chile	30		México / Paraguay	80
	Argentina	35		Argentina / Chile	75
Puzolana	Perú	15	Puzolana	Perú	70
	Chile / Bolivia	30		Uruguay	65
	Venezuela / Bolivia	15		Argentina / Chile	50
Caliza	Argentina	20	Puzolana	Bolivia / Uruguay	45
	Colombia	30		Perú	40

Nota: Adaptado de Kosmatka [23].

2.2.1.2. Componentes del concreto hidráulico.

2.2.1.2.1. Cemento Portland.

El cemento es el material principal del concreto, ocupa en volumen entre un 7 a 15 % de la mezcla, posee propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales (agregados). [24] El cemento hidráulico, es un material que fragua y endurece por la reacción química con el agua siendo capaz de tener esta acción incluso bajo esta. [25]

El cemento Portland, hecho a base de clinker y yeso, se clasifica en cinco tipos: 1) Tipo I, de uso general; 2) Tipo II: presenta moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación, puede ser empleado en obras como plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que estas aguas generan sulfatos que al entrar en contacto con el hidróxido de calcio produce cambios volumétricos, fisurando el concreto; 3) Tipo III: para altas resistencias iniciales, altos calores de hidratación, por esto último se lo puede usar en climas fríos. 4) Tipo IV: Bajo calor de hidratación, este cemento puede ser usado en volúmenes inmensos de concreto, como presas o diques. 5) Tipo V: Resistencia a los sulfatos elevada, puede ser empleado en estructuras marinas. [26]

El cemento Portland adicionado, hecho a base de clinker, yeso y adiciones minerales, se clasifica en varios tipos de cemento, tales como: 1) IS (escoria de altos hornos: 25% a 70%, 2) Tipo ISM, escoria de alto horno, menos del 25%, 3) Tipo IP, con moderada resistencia a los sulfatos presenta entre un 15% a 40%, 4) Tipo IPM, presenta un contenido de puzolana menor al 15%, 5) Tipo P, presenta más de 40% de puzolana, 6) Tipo IL, cemento calizo, 7) Tipo IT, cemento ternario, producto de la mezcla de dos o más adiciones y 8) Tipo I-Co, cementos compuestos, contienen materias calizas y/o inertes hasta 30%. [27, 28]

Según la especificación de la performance, se encuentra a los siguientes cementos: 1) Tipo GU: Para construcciones generales, sin condiciones especiales, misma finalidad del cemento tipo I. 2) Tipo HE, alta resistencia inicial, 3) Tipo MS, resistencia a los sulfatos moderada, 4) Tipo HS, resistencia a los sulfatos elevada, 5) Tipo MH, calor de hidratación moderado y 6) Tipo LH, de bajo calor de hidratación, similar al cemento tipo II. [22, 29]

2.2.1.2.2. Adiciones o Material Cementicio Suplementario (MCS).

Son materiales de origen natural o artificial, la mayoría, por propia cuenta no posee propiedades cementantes (a excepción de la escoria de alto horno), pero una vez en contacto con el agua y el cemento, reaccionan para formar componentes cementantes. Algunas adiciones minerales de

origen industrial son: escoria de alto horno, cenizas volantes (producto de la calcinación en las termoeléctricas), sílica fume o humo de sílice. Otras de origen natural son el metacaolín, arcillas o esquistos calcinados, las cenizas volcánicas, ceniza de cascarilla de arroz y tierras de diatomeas, etc. [30]

Cuando las adiciones minerales son incorporadas en la mezcla de concreto, generalmente, puede producirse cualquiera de estos tres fenómenos: reacción puzolánica, efecto filler y efecto de dilución. Estos efectos pueden variar a través del tiempo, influenciados por los porcentajes de sustitución, propiedades físicas, químicas y mineralógicas.

2.2.1.2.3. Agregados.

Los agregados son el conjunto de partículas inorgánicas naturales o artificiales, y sus dimensiones están limitadas por lo establecido en la NTP 400.011. [31] En años pasados, se consideraba a los agregados como nada más que un material de relleno, ya que no se consideraba que produjera reacciones químicas como el cemento; hoy en día se ha establecido que siendo este el componente que mayor porcentaje ocupa en la mezcla (tres cuartas partes), sus distintas propiedades y características influyen en todas las propiedades del concreto (acabado, calidad final, trabajabilidad, durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido).

Los agregados reducen el contenido de cemento y agua (pasta) por metro cúbico de concreto; además, aportan resistencia al cemento, frente a acciones mecánicas de desgaste o a exposiciones ambientales (sulfatos). Los agregados, reducen los cambios volumétricos producidos por la humedad, el fraguado, el endurecimiento, etc.

Los agregados pueden ser clasificados de varias formas: 1) por su tamaño, en agregados finos (identificados por su Módulo de Finura, que es directamente proporcional al tamaño; pasante del tamiz de 3/8”) y agregados gruesos (es un material retenido totalmente en el tamiz No. 4, identificado por su Tamaño Máximo Nominal, correspondiente al número del tamiz menor que produce el primer retenido de la muestra, entre 5% y 10%) – clasificación usada durante los diseños de mezcla; 2) por su origen y forma, como angulares (bordes muy definidos), sub-angulares, redondeados y muy redondeados; 3) por su textura superficial, son lisos, ásperos, granulares, vítreos o cristalinos, cabe destacar que propiedades mecánicas del concreto como la resistencia a la flexión, es influida en gran medida por la textura superficial de los agregados; y 4) por su densidad, basándose en su peso específico, si es menor a 2.5 g/cm^3 son agregados ligeros, si está entre 2.5 g/cm^3 a 2.75 g/cm^3 son agregados normales y si es mayor a 2.75 g/cm^3 son agregados pesados. [24]

Entre los agregados naturales de baja densidad, se encuentra la piedra pómez, que es una roca piroclástica porosa constituida por vidrio formada durante el enfriamiento de un magma de viscosidad elevada. Su densidad es baja ($0.7 - 1.1 \text{ g/cm}^3$) y su porosidad es más alta que la mayoría de las rocas, la desgasificación y descompresión que sufre la lava cuando es eyectada, produce infinidad de poros finos [32].

2.2.1.2.4. Agua.

Gracias a este componente, el cemento experimenta reacciones químicas produciendo una pasta eficientemente hidrata, que le otorga la capacidad de fraguar y endurecer con el tiempo. Además, da a la mezcla una fluidez permitiendo una trabajabilidad adecuada en la etapa de la colocación del hormigón. Generalmente, presenta un volumen entre el 14 – 18 % de la mezcla. Esta se encuentra en dos formas diferentes dentro de la pasta hidratada: 1) como encargada del proceso de hidratación y 2) agua evaporable [24].

2.2.1.2.5. Aire.

Ocupa entre el 1% a 3% del volumen de la mezcla, esta proporción de aire atrapado está basado especialmente en el tamaño máximo y granulometría del agregado grueso; también influyen, el colocado y compactación del concreto en obra.

Además, puede ser incluido de manera intencional, como aditivo, aunque se tiene que tener en cuenta que mientras el porcentaje de aire aumenta, la resistencia mecánica del concreto disminuye [24].

2.2.1.2.6. Aditivos y fibras.

Los aditivos son usados para mejorar alguna característica del concreto o mortero, ya sea en estado fresco (trabajabilidad, consistencia, reducir segregación, mejorar el proceso de bombeo) o endurecido (acelera y aumenta la resistencia, durabilidad, permeabilidad). También reduce costos en materiales.

En cuanto a las fibras, son filamentos delgados, producto del proceso industrial o de origen natural. Se añaden a la pasta, mortero o concreto, atrasando la formación de grietas y aumentando la resistencia a la tracción. [33]

2.2.1.3. Agregados para la elaboración del concreto hidráulico.

Los agregados de peso normal (finos y gruesos) usados para elaborar concreto hidráulico, necesitan cumplir requisitos de granulometría y calidad.

En el caso del agregado fino, debe tener una gradación limitada por la norma NTP 400.037, ya que algunos concretos elaborados con material fino con deficiencias entre los tamices No. 50 y 100, presentan dificultades en sus propiedades físicas (trabajabilidad o demasiada exudación) o durante el colocado (bombeo); no debe haber más del 45% entre dos mallas consecutivas y su MF no debe ser menor ni mayor a 2.3 (aunque sí se permite el uso de agregados que no cumplan lo mencionado, siempre y cuando haya evidencia que concretos elaborados con estos, tengan un desempeño satisfactorio).

En el caso del agregado grueso, deberá cumplir límites granulométricos para cada HUSO; cuando el concreto a producir tenga una resistencia mayor o igual a 280 kg/cm^2 o tenga el fin de ser usado en pavimentos, deberá registrarse la resistencia mecánica por el ensayo de Abrasión (Método los Ángeles) no siendo mayor al 50%.

Ambos agregados (finos y gruesos) deben estar libre de impurezas orgánicas; en algunos casos, en estructuras expuestas a la humedad, el agregado no deberá ser reactivo (sílice amorfa), ya que puede ocasionar expansiones en el concreto; en otros, como concretos expuestos a acciones de congelación y deshielo deberán tener una resistencia a la degradación por medio de ataque de soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio, no debiendo perder más del 10 al 15 % de masa después de cinco días expuesto a estas sustancias químicas en el caso del agregado fino y, no más del 12 al 18 % en agregados gruesos [34].

2.2.1.4. Diseño de mezcla de concreto.

Puede definirse como una metodología, la cual consiste en la aplicación técnico-práctica de saberes de la ingeniería civil sobre las propiedades de los materiales y su relación (agregados, cemento, etc.), con la finalidad de obtener las proporciones en peso como en volumen de cada componente para conseguir una mezcla que cumpla los requerimientos en estado fresco como endurecido para el proyecto que fueron diseñados [37]. Para tal fin, la labor creativa del responsable resulta primordial. Las variaciones de los componentes en la dosificación tienen una implicancia distinta en cada propiedad del concreto, por ejemplo, una excelente trabajabilidad, normalmente exige elevados contenidos de cemento, agregado fino y agua, y un bajo contenido de grava; es evidente que una mezcla de este tipo no resultaría económica y sus propiedades no serían las óptimas. Por esto, a medida que se cambia la dosificación para mejorar una propiedad, debe considerarse los efectos que estos cambios generan sobre las demás, de modo que se alteren lo menos posible otras propiedades.

Tabla 2. *Influencia en la trabajabilidad y resistencia de algunos factores en el concreto.*

Cuando aumenta...	La trabajabilidad	La resistencia
La finura de la arena	Aumenta	Disminuye
La relación grava / arena	Disminuye	Aumenta
La cantidad de agua	Aumenta	Disminuye
El tamaño máximo del árido	Disminuye	Aumenta
El contenido en aire	Aumenta	Disminuye

Nota: JIMENEZ P. et al, 2000. [35]

El punto de partida para un correcto diseño de mezclas es definir si el diseño será por resistencia o durabilidad. Una vez esto, hay varios métodos para establecer proporciones de componentes, más cabe resaltar, que estos solo deben considerarse orientativos.

2.2.1.4.1. *El Método ACI.*

El Método original del ACI data del año 1944, habiendo cambiado poco hasta la versión emitida por el Comité 212.1 el año 1991.

Su metodología consiste en que los agregados (gravas y arenas) cumplan los requisitos físicos y de gradación establecidos por ASTM C-33 (NTP 400.037), obtiene el agua basándose en el Tamaño Máximo del agregado y del asentamiento requerido, establece la cantidad de agregado grueso compactado (volumen) en función del Tamaño Máximo de la piedra y el Módulo de Fineza de la arena exclusivamente, y correlaciona la relación Agua/Cemento en peso con la Resistencia a la Compresión.

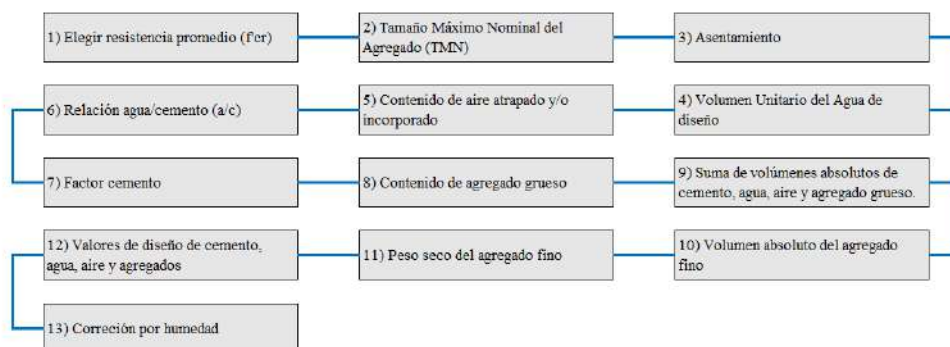


Figura 3. Método de diseño de mezcla ACI. Adaptado del Comité ACI 211 [36].

En cuanto a sus deficiencias, se encuentra que no está hecho para agregados marginales ni condiciones constructivas especiales y, no analiza la granulometría combinada de agregados.

2.2.1.5. Propiedades del concreto hidráulico en estado fresco.

Las propiedades descritas a continuación, son conocidas como propiedades del concreto en estado fresco o, también llamadas, propiedades físicas. [36]

2.2.1.5.1. Trabajabilidad.

Se entiende por trabajabilidad que tan fácil se realiza el proceso de mezclado, transporte, colocado. Esta propiedad está influenciada principalmente por: 1) la pasta, 2) el contenido de agua y 3) el equilibrio adecuado entre agregados gruesos y finos.

La trabajabilidad se puede dividir en; 1) Consistencia: Capacidad de fluir, adoptando la forma del encofrado o moldes y llenar vacíos rodeando elementos. 2) Cohesión: Capacidad de ser una masa estable y homogénea, evitando la segregación. 3) Compacidad: Es la relación entre el volumen real de los componentes del concreto y el volumen aparente del concreto, una buena compacidad reduce los vacíos [36].

2.2.1.5.2. Peso unitario o peso específico.

La densidad convencional del concreto se encuentra entre 2200 hasta 2400 kg/m³. La densidad del concreto depende de la densidad de los agregados, del aire natural (ocluido) o incluido como aditivo, del cemento y del agua. Siendo los agregados los componentes cuyas densidades afectan la densidad del concreto, al aumentar la pasta (se reducen los agregados) se adquiere densidades menores y del mismo modo al disminuir la cantidad de pasta (aumentan los agregados), las densidades obtenidas serán mayores. [37]

2.2.1.6. Propiedades del concreto hidráulico en estado endurecido

2.2.1.6.1. Resistencia a la compresión.

La NTP 339.034:2015 [38] detalla que su método sirve para determinar la resistencia a la compresión de cilindros moldeados y núcleos perforados de concreto. Cabe resaltar que abarca solo concretos con pesos unitarios mayores a 800 kg/m³.

En resumen, determinar la resistencia a la compresión de cilindros o núcleos de concreto se logra aplicando una carga axial a los mencionados, a una velocidad constante entre 0.15 y 0.30 MPa/s (en máquinas hidráulicas).

El encargado de la toma de resultados tiene que interpretar los datos con sumo cuidado, ya que la resistencia a la compresión no es una propiedad fundamental o intrínseca del hormigón. Los

valores registrados dependerán de múltiples factores como: el tamaño del espécimen, mezclado, condiciones durante la etapa de curado, tiempo de vaciado, entre otros.

Los testigos de concreto que presente una variación respecto a sus diámetros, mayor al 2%, serán rechazados. Lo mismo para los especímenes que tengan un desnivel mayor de 0.50 mm, aunque en estos casos se puede aserrar o cabecear basándose en la ASTM C617 [39].

2.2.1.6.2. Resistencia a la tracción indirecta.

Este ensayo se caracteriza por ser simple y representativo, con esto se obtiene respuestas como las de un pavimento flexible ante un esfuerzo máximo antes de fallar. Este método consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a lo largo de la longitud del espécimen cilíndrico de concreto a una velocidad constante que oscila entre 0.7 a 1.4 MPa/min (100 a 200 psi/min).

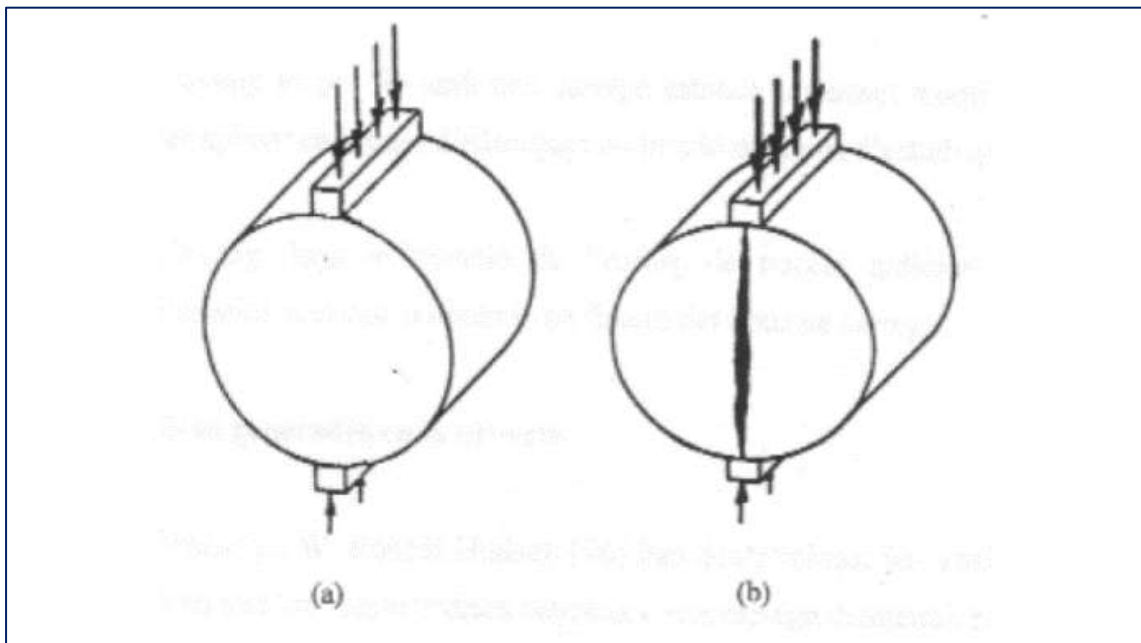


Figura 4. Aplicación de carga de compresión diametral sobre testigos cilíndricos de concreto. Tomada de Garrote [40] (a) Configuración de la carga y (b) rotura del ensayo de tracción indirecta.

Al aplicar dicha carga de compresión diametral, se generan esfuerzos de tracción sobre el plano (diametral) y grandes esfuerzos de compresión en el área donde se produce el primer contacto con el espécimen cilíndrico. Dicho esto, la razón por la cual ocurre la falla a tracción y no a compresión es porque las áreas de aplicación de carga están en un estado de compresión triaxial, esto hace que la capacidad de la muestra de soportar esfuerzos de compresión sea más alta de lo que serían por un ensayo de resistencia a la compresión uniaxial. [41]

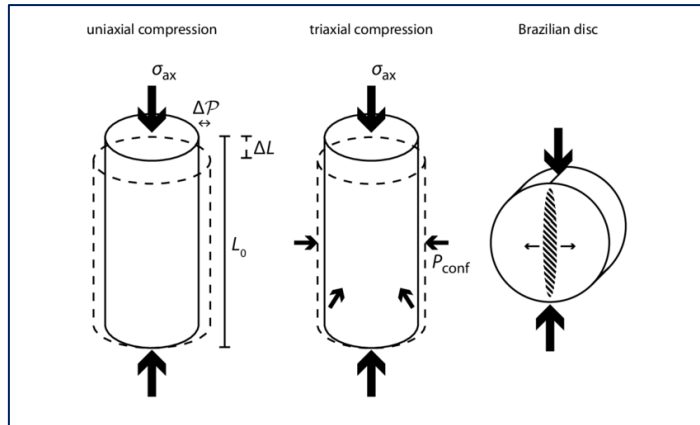


Figura 5. Compresión triaxial vs compresión uniaxial. Tomada de Stöckhert [42].

Mayormente, la resistencia a la tracción indirecta del hormigón, es utilizada en el diseño de elementos hechos con concreto estructural liviano, para determinar la resistencia al cortante y conocer la longitud de desarrollo del esfuerzo. Generalmente, esta resistencia es mayor que la resistencia a la tracción directa y menor que la resistencia a la flexión [41].

2.2.1.6.3. Resistencia a la flexión en vigas.

La resistencia a la flexión, también conocida como módulo de ruptura, es una propiedad del concreto que determina la capacidad máxima de resistencia antes de una falla por esfuerzos de tracción; también se lo conoce como tracción máxima o tracción a la fractura. [43]

Esta resistencia se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 15 cm x 15 cm de sección transversal y con una sección longitudinal por lo menos tres veces mayor al espesor; normalmente el módulo de ruptura se sitúa entre el 10 al 20 % de la resistencia a la compresión, sin embargo, establecer una correlación más precisa requiere de realizar ensayos en laboratorio. [44]

El uso de este valor se da mayormente en el diseño, control de campo y aceptación de pavimentos, suelos industriales, pistas de aterrizaje y otras estructuras que estén en contacto directo con el suelo; ya que estas estructuras no tienen que soportar grandes esfuerzos de compresión, pero sí de tensión que inducen a la falla por flexión. [45]

2.2.2. Ceniza volcánica

La ceniza volcánica se forma cuando la roca sólida se fragmenta y la roca fundida (magma) se separa en partículas muy pequeñas a causa de las erupciones volcánicas explosivas. Las columnas eruptivas que se ven la mayoría de las veces sobre un volcán en erupción están

compuestas por ceniza y vapor. El término comúnmente utilizado para cualquier material (ceniza, lapilli y bombas) arrojado explosivamente por un respiradero es tefra, también conocido como productos piroclásticos. Se distinguen tres principales según su tamaño.

Tabla 3. *Clasificación de piroclastos según su tamaño.*

Piroclasto	=	Ceniza	+	Lapilli	+	Bomba
Diámetro		< 2 mm		2 a 64 mm		> 64 mm

Nota: Adaptada de Siddique [8].

Mientras mayor es la distancia respecto al cráter del volcán, menor será el diámetro de la ceniza volcánica. Las partículas más finas (limos de ceniza) pueden ser llevadas hasta miles de kilómetros del lugar de erupción por fuertes vientos; el área que cubran todas las caídas de piroclastos, dependerá no solo de las corrientes ventosas, sino también del tamaño de la columna eruptiva y el volumen de material eyectado. En la siguiente tabla se muestra esta relación para el caso de la erupción del Monte de Santa Elena (1980).

Tabla 4. *Variación del tamaño de grano con distancia del Monte de Santa Elena*

Distancia del cráter (km)	Diámetro de la partícula (mm)
0	4.00
54	0.10
150	0.0625
235	0.0380
414	0.0466
621	0.034

Nota: Tomado de Johnston [46]

2.2.2.1. Componentes de partículas de cenizas volcánicas.

Las cenizas volcánicas están compuestas por vidrio volcánico, minerales y litios.

2.2.2.1.1. Vidrio volcánico.

Cuando la roca fundida es expulsada en forma de aerosol, las partículas se enfrían rápidamente, solidificándose en el aire y formando el vidrio volcánico. En el interior de los volcanes, estas partículas son diminutas burbujas de gas que van aumentando de tamaño durante el ascenso hacia la superficie. Si la erupción es freatomagmática, el vidrio volcánico suele tener una forma angular por la fuerte interacción entre el agua y el magma. [8]

2.2.2.1.2. *Minerales y cristales.*

Estos minerales se cristalizaron y crecieron dentro del magma mientras estaba debajo de la superficie de la tierra. El tipo de estos minerales depende de las características químicas del magma. Los minerales finos también pueden crecer en las paredes de las burbujas de gas en expansión en el magma y luego fragmentarse. La cristobalita es un tipo de cristal de sílice que se forma de esta manera. [8]

2.2.2.1.3. *Otras rocas (Litios).*

El magma ascendente incorporara piezas de diferentes tipos de rocas a través de las cuales se mueve, incluidas rocas ubicadas en las profundidades de un volcán y dentro del mismo. El rápido ascenso del magma durante una erupción explosiva a menudo arranca fragmentos de las paredes del conducto de magma, que son expulsados y enmarcados aún más por la expansión explosiva de los gases volcánicos. Estos fragmentos de rocas no magmáticas se encuentran en cantidades variables dentro de los depósitos de ceniza y, a menudo, tienen una forma y una textura claramente diferentes a las de los fragmentos de vidrio [8].



Figura 6. Componentes de la ceniza volcánica.

2.2.2.2. Mineralogía de las cenizas volcánicas.

Comúnmente, la mineralogía o composición mineral de las cenizas volcánicas se clasifica en categorías livianas (densidad $< 2.8 - 3.0 \text{ g/cm}^3$) y pesadas (densidad $> 2.8 - 3.0 \text{ g/cm}^3$). Los minerales livianos son los que se presentan mayormente, entre 70 y 95%. La abundancia relativa, en la categoría de minerales livianos, por lo regular, se da en el siguiente orden: vidrio volcánico incoloro $>$ plagioclasas (andesita, labradorita) $>$ minerales silíceos (cuarzo, cristobalita y tridimita) $>$ mica. La composición química del magma es variable, por esta razón la distribución de plagioclasas y otros minerales también lo será [8].

2.2.2.3. Ceniza volcánica producto de la erupción de 1600 d.C. del volcán Huaynaputina.

Durante la erupción de 1600 d.C., se presentaron tres tipos distintos de erupción, provenientes de dos fuentes distintas de magma, por tales motivos, el volcán Huaynaputina arrojó diferentes tipos de ceniza. Las cuales son 1) ceniza pliniana, 2) ceniza co-pliniana, 3) ceniza co-ignimbrita, 4) ceniza de cristal.

Como su nombre lo dice, las cenizas plinianas y co-plinianas fueron arrojadas durante una erupción pliniana, la diferencia entre estas, radica en que la primera presenta un mayor contenido de vidrio volcánico que la segunda pero menor contenido de cristales [9]; por otro lado, la ceniza pliniana está mezclada con abundante piedra pómez, y ocupa capas más anchas de 1 – 2 m, mientras que la co-pliniana capas con espesores de 10 – 15 cm. Ambas cenizas comparten un color blanco hueso.

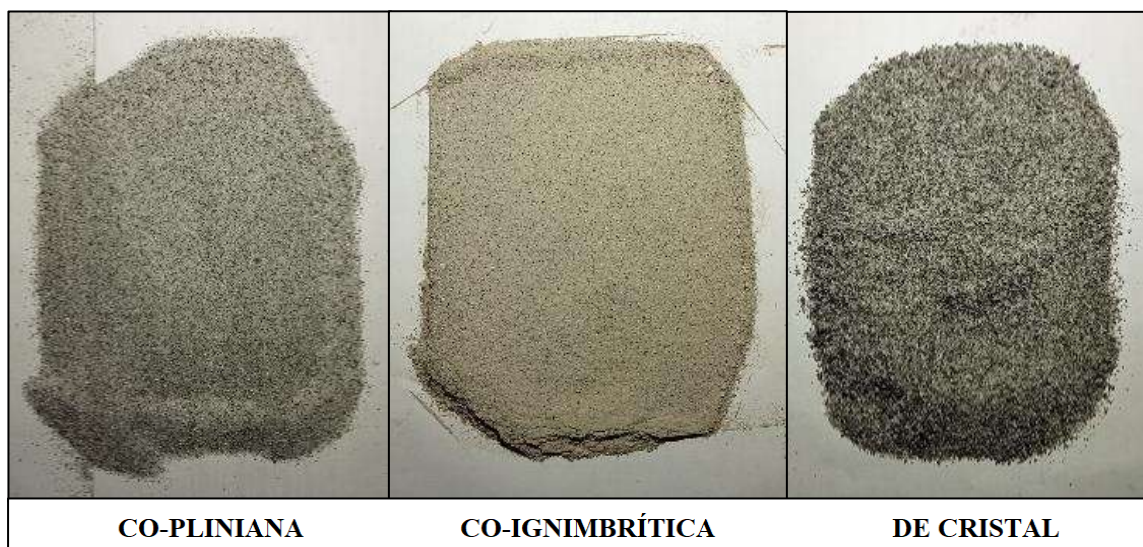


Figura 7. Cenizas volcánicas expulsadas por el Huaynaputina en la erupción 1600 d.C.

Las cenizas co-ignimbritas se caracterizan por tener un color ocre mientras que las cenizas de cristal un color gris, ambas pueden ser llamadas cenizas post-plinianas y la primera deriva de una erupción vulcaniana mientras que la segunda de una erupción freatomagmática.

2.2.2.4. Ceniza volcánica (puzolana natural).

Las puzolanas pueden ser de origen natural o artificial, se caracterizan por contener grandes cantidades de sílice y/o alúmina. No tienen propiedades cementosas por sí solas, pero, cuando son molidas finamente y algunas veces mezcladas con cal, pueden comportarse como el cemento.

La ceniza volcánica fue la primera puzolana utilizada de la que se tiene registro, esta fue usada por griegos y romanos en sus construcciones, la extraían del Monte Vesubio, encontrado cerca de la ciudad de Pozzuoli (de ahí el término “puzolana”). Aunque las composiciones químicas son similares, las erupciones violentas generalmente producen cenizas que tienen mejor reactividad con la cal del cemento. [8]

La ASTM C618-17 realiza una clasificación de las puzolanas naturales y cenizas volantes.

2.2.2.4.1. Clase N.

Son puzolanas naturales, pueden presentarse calcinadas como algunas arcillas (esta calcinación se realiza con el fin de transformar su estructura química), o en estado crudo, como las cenizas y tobas volcánicas, o las tierras de diatomeas, entre otras. [47]

2.2.2.4.2. Clase F.

En esta clasificación, se sitúan las cenizas volantes producidas por la calcinación de carbón bituminoso o antracita (carbón mineral con una presencia de 95% de carbón en su composición química). [47]

2.2.2.4.3. Clase C.

Cenizas volantes producidas a partir de lignito o carbón sub-bituminoso. Estas cenizas volantes además de tener propiedades puzolánicas también tienen propiedades cementosas. Para que una puzolana pueda ser empleada en la fabricación de concreto, necesita cumplir ciertos requisitos. [47]

2.2.2.5. Requisitos químicos según ASTM C618.

Tabla 5. Requisitos químicos según ASTM C618-17 para puzolanas de clase N, F y C.

Propiedades químicas	Clase		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min, %	70.0	70.0	50.0
Contenido de Humedad, máx., %	3.0	3.0	3.0
Pérdida por ignición, máx., %	10.0	6.0	6.0

Nota: ASTM C618-17. [47]

2.2.2.5.1. Composición química.

La composición química y la química de las cenizas volcánicas están directamente relacionadas con la química del magma de origen. El vidrio volcánico es relativamente alto en sílice en comparación con los cristales minerales, pero relativamente bajo en elementos que no son sílice (especialmente Mg y Fe). Generalmente, tanto el vidrio como la mayoría de los minerales contienen siempre Si, Al, K, Na, Ca, Mg y/o Fe. [8]

2.2.2.5.2. Pérdida por ignición.

También conocido como pérdida por calcinación, en inglés “Lost of Ignition” (LOI), se calcula mediante la exposición del cemento o puzolana a una temperatura de 900°C a 1000°C, esta exposición se realiza hasta que se obtenga una masa constante de la muestra. Es así como la se determina el porcentaje de masa que pierde la muestra.

Normalmente, una pérdida por ignición elevada es un indicio de pre - hidratación y carbonatación (en caso de los cementos se puede dar por un almacenamiento largo o incorrecto, como también por la adulteración durante el transporte), según Triviño F. [48] un cemento almacenado de manera incorrecta, es decir, expuesto a la humedad, puede incrementar su pérdida de calcinación de entre 1 – 2 % por año.

La pérdida por calcinación (LOI) es un ensayo empleado en la química analítica inorgánica y ciencias del suelo. Por lo general, este ensayo se usa con la finalidad de conocer los niveles de materia orgánica y la cantidad de compuestos volátiles en los minerales o en la composición química de los suelos. [23]

2.2.2.6. Requisitos físicos y mecánicos según ASTM C618.

Tabla 6. *Requisitos físicos – mecánicos según ASTM C618 para puzolanas de clase N, F y C.*

Propiedades físicas - mecánicas	Clase		
	N	F	C
Finura:			
Cantidad retenida cuando se tamiza en húmedo en un tamiz de 45 µm (No. 325), máx., %	34	34	34
Índice de Actividad de Resistencia			
Con cemento Portland, a los 7 días, mín., %	75	75	75
Con cemento Portland, a los 28 días, mín., %	75	75	75
Densidad , variación máxima del promedio, %	5	5	5
Porcentaje retenido en 45 m (No. 325), variación máxima, puntos porcentuales del promedio, %	5	5	5

Nota: Tomada de ASTM C618-17. [47]

2.2.2.6.1. Finura.

La finura es el grado de molienda al que ha sido sometido una partícula inorgánica, se expresa en superficie específica (m^2/kg) [24] o por el porcentaje pasante en mallas menores o iguales a la No. 325 (45 µm). El calor y velocidad de hidratación aumenta cuando la finura es mayor, haciendo crecer las resistencias mecánicas (en los primeros 7 días, generalmente). Mientras mayor sea la finura del cemento, la mezcla demandará más agua, ocasionando que las propiedades mecánicas disminuyan. [49]

2.2.2.6.2. Densidad.

Conocer la densidad del material cementicio suplementario, es muy importante, ya que este valor permite determinar el correcto reemplazo en volumen de la puzolana, respecto al cemento. La densidad es expresada en g/cm^3 .

2.2.2.6.3. Índice de Actividad de Resistencia (IAR).

Es un dato que expresa que tan capaz es la puzolana de reaccionar con el hidróxido de calcio para formar compuestos cementicios. La resistencia a las fuerzas axiales de compresión del cemento o adición es medida por el IAR. Se expresa en kg/cm^2 , y su importancia radica en que si se da el cumplimiento de dicha propiedad, se confirmaría que el cemento adicionado presenta reacción puzolánica, garantizando la calidad del mismo. Este valor no debe ser considerado como la resistencia a la compresión del concreto. El porcentaje de sustitución para el Índice de Actividad de Resistencia es determinado por la ASTM C311 (20 %) [50] y ASTM C109 (35 %). [51]

2.2.3. Volcán Huaynaputina

2.2.3.1. Origen y ubicación.

El proceso de subducción que involucra a las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica (iniciado en el Jurásico Superior) generó la cordillera de los Andes; adicional a esto, la placa oceánica de Nazca ingresa en un ángulo entre 25 a 30°, originando de esta manera el arco volcánico andino (AVA) que se divide en cuatro Zonas Volcánicas de los Andes del: a) Norte, b) Centro, c) Sur y d) Austral. [52]



Figura 8. Arco Volcánico Andino y sus Zonas Volcánicas. Adaptado de Ramos & Alemán [52].

A su vez la Zona Volcánica de los Andes Centrales, está conformada por 44 volcanes (incluido el Huaynaputina) activos que se distribuyen de NO a SE, del sur del Perú al norte de Chile. Estos volcanes se encuentran en la cordillera occidental de los Andes. [10]



Figura 9. Zona Volcánica de los Andes Centrales (parte peruana). Tomado de INGEMMET. [53]

2.2.3.2. Características del volcán Huaynaputina.

El volcán Huaynaputina presenta 4 km de ancho y 600 m de altura, edificado al borde sureste de una meseta volcánica (4600 msnm) con 20 km x 10 km de diámetro abarcando 50 km² de área, esta topografía ha sido cubierta por depósitos piroclásticos. Esta meseta presenta 500 m de altura y está constituido por una serie de flujos de lava e ignimbritas. Los cráteres están localizados a 4200 msnm al oeste del volcán, dentro de anfiteatro volcánico de 2.5 km x 1.5 km, formado anteriormente a la erupción de 1600 d.C. [9]

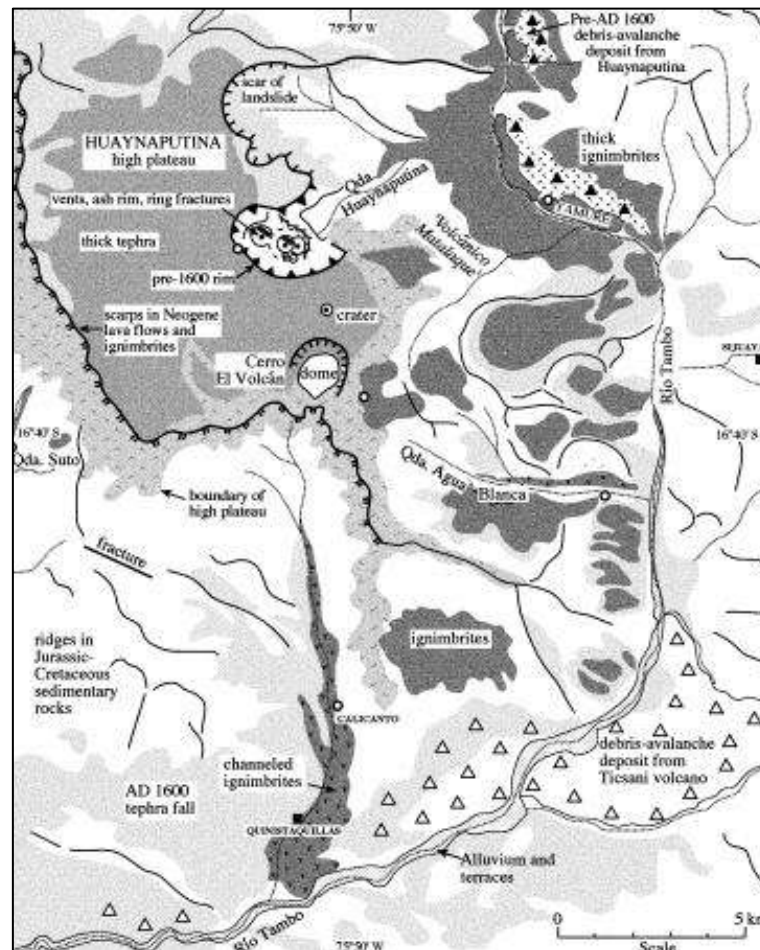


Figura 10. Mapa del Volcán Huaynaputina y alrededores. Tomado de Thouret et al. [9]

2.2.3.2.1. Domos de lava.

El volcán Huaynaputina presenta dos conjuntos de domos de lava según la teoría revisada. El primero, ubicado a 3.1 km en dirección suroeste del cráter del volcán, llamado “Cerro el Volcán”, cerca se halla un cráter freatomagmático. Y el segundo, se encuentra destruido, probablemente por la erupción de 1600 d.C., ubicado en la pared norte de la caldera volcánica, se reconocieron domos que poseen alrededor de 250 m de ancho y 350 m de alto, Ambos

conjuntos de domos cuentan con respiraderos que se originaron a partir de los golpes del magma rico en cristales y los flujos de ceniza hacia el final de la erupción. [9]

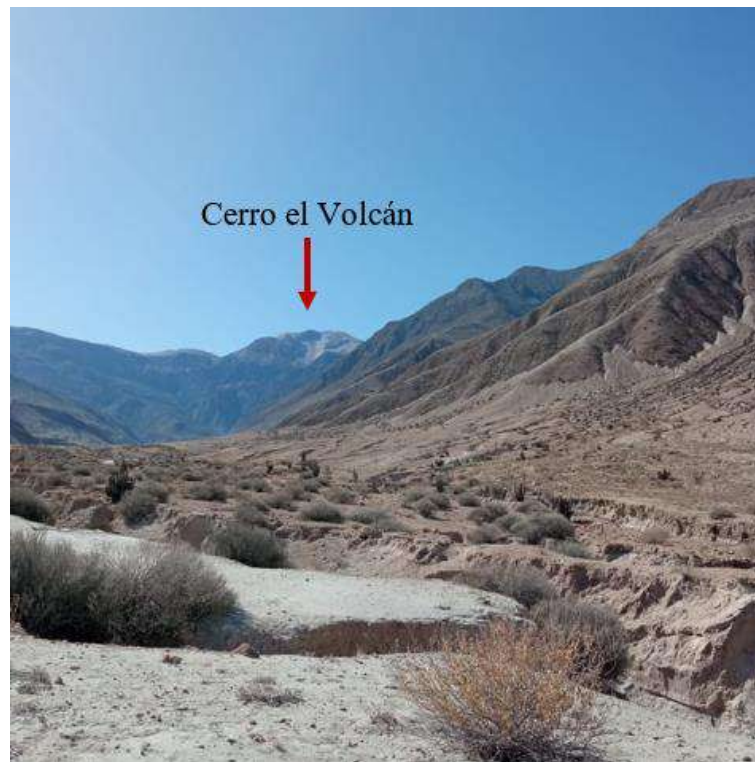


Figura 11. Domo de lava “Cerro el Volcán” visto desde el sector de Calicanto (Quinistaquillas).

2.2.3.3. Erupción de 1600 d.C.

En 1600 d.C. el volcán Huaynaputina erupcionó, este suceso tiene la particularidad de haber sido hasta el día de hoy la erupción más grande de Sudamérica (en tiempos históricos recientes) con un Índice de Explosividad Volcánica “6”; fue una erupción voluminosa, por la cantidad de material expulsado, comprendido entre 11 a 14 km³ [9]. Esta erupción causó la muerte de aproximadamente 1500 personas, sepultando al menos 11 poblados indígenas (Thus, Calicanto, Cojraque, San Juan de Dios, Estagagache, Chimpapampa, Moro Moro, etc.) los cuales estuvieron localizados a menos de 20 km del volcán [54].

Un volcán puede mostrar diferentes estilos de erupción durante su tiempo de vida, y hasta incluso durante una fase de actividad [10]. Esto fue lo que sucedió con el estratovolcán Huaynaputina en el año 1600 d.C. cuando se produjeron tres tipos de erupciones entre el 19 de febrero y el 6 - 15 de marzo, estas fueron: a) erupción pliniana, b) erupción freatomagmática y c) erupción vulcaniana [9]. Estos tres tipos de erupciones se distribuyeron a su vez en cinco fases de erupción: **1)** Durante la primera fase, llamada fase pliniana, se formó una columna eruptiva de entre 27 a 35 km de altura que produjo una caída de piedra pómez; los vientos

movilizaron cenizas finas 500 km en dirección O y NO hacia el Océano Pacífico. Se sugiere que los productos volcánicos expulsados provienen de una cámara no tan profunda (6 – 7 km); a su vez, un sistema hidrotermal impulsó más aún esta erupción. **2)** La segunda fase, presentó una columna menguante con caídas de ceniza en zonas proximales y mediales (0 – 78 km) y flujos piroclásticos en pendientes cercanas, que al llegar al río Tambo formaron represas que al colapsar dio lugar a lahares. **3)** Durante la tercera fase, se formaron ignimbritas con eventos freatomagmáticos intercalados, estas ignimbritas aprovecharon un lote de magma con más contenido de sílice que el magma pliniano; los flujos piroclásticos fueron hacia el cañón del Río Tambo y afluentes. Esta erupción fue de tipo vulcaniana. Los vientos dispersaron una ceniza co-ignimbrita, mezclada con ceniza co-pliniana, sobre un área de 265'000 km². **4)** Durante la cuarta fase, ocurrió una caída de ceniza de cristal inusual cuando el magma residual (con un contenido de cristal de hasta el 80%), diferente al de la erupción pliniana fue expulsado casi al final de la erupción. **5)** En la quinta fase, los flujos de ceniza produjeron depósitos de caída retardada cerca del cráter, pequeños depósitos de flujo de ceniza de volúmenes no tan grandes en las cuencas proximales y una delgada capa de caída de ceniza en las áreas mediales y distales (32 – 100 km). Los depósitos proximales fueron producidos por flujos diluidos capaces de superar crestas de 1000 m de altura hasta 15 km al este del respiradero [9].

2.2.4. Fases de depósito de caída de ceniza

Las secciones estratigráficas muestran 5 depósitos de caída con un volumen de 11,4 – 12,1 km³: (1) Caída de piedra pómez, (2) Capas de ceniza (3) Ignimbritas (depósitos de flujo de piedra pómez), (4) Caída de ceniza de cristal y (5) Flujos y caídas de ceniza.

2.2.4.1. Unidad 1: Depósito de caída de piedra pómez (pliniano).

Los espesores medidos del depósito de piedra pómez permitieron la reconstrucción de un mapa de isópacas, resultando un lóbulo extenso de 95'000 km² (Ver Fig. 10) con un volumen de 7,9 km³ [9]. El depósito de caída de piedra pómez se denomina pliniano sobre la base de su dispersión, textura y composición.

2.2.4.1.1. Estratigrafía del depósito de piedra pómez (pliniano).

Cerca del cráter (< 1 km) el depósito pliniano tiene un espesor de 9 – 12 m. Las secciones proximales (1 – 15 km), muestran un depósito masivo de lapilli de piedra pómez con pocos líticos, de color amarillo, y cristales libres. Una capa de lapilli y ceniza co-pliniana de 10 cm se sitúa en la parte superior. En las secciones medial y distal, (15 – 45 km) y (45 – 100 km) del cráter, respectivamente, se presenta una estratigrafía similar a la sección proximal, con la diferencia de que está conformado en su mayoría por lapillis plinianos.

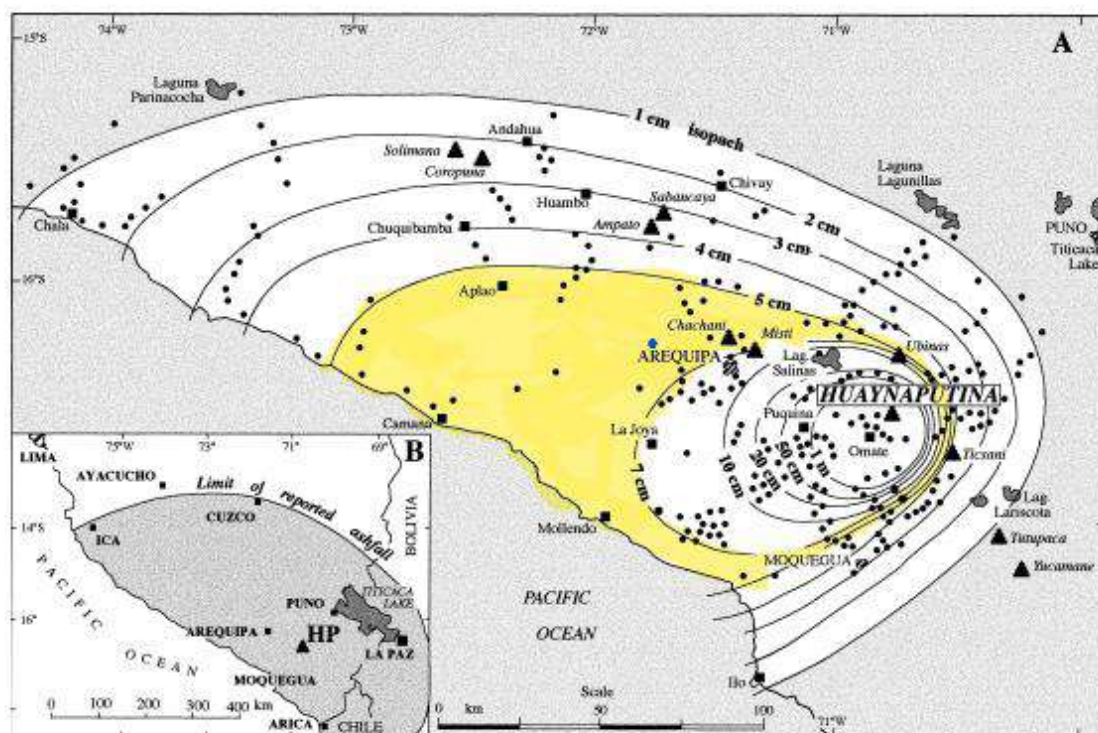


Fig. 7. (A) Isopach map of the AD 1600 plinian pumice-fall. Thickness in cm. Small circles represent ~260 measured sections. (B) Sketch map showing the approximate limit of ash-fall reported in February-March 1600, and principal localities.

Figura 12. Mapa de isópacas (depósito pliniano) del volcán Huaynaputina, erupción de 1600 d.C. Adaptado de Thouret et al [9]

Las secciones más distales (> 100 km) muestran una capa delgada de cenizas co-plinianas mezcladas con cenizas pos-plinianas de (5-6 cm), de color gris claro, rica en fragmentos de vidrio. La ceniza co-pliniana ubicada más allá de la isópaca de 5 cm, está mezclada con cenizas de co-ignimbrita y de cristal.

2.2.4.1.2. Granulometría y componentes líticos del depósito de caída de pómez.

El depósito pliniano presenta entre 70 – 80 % de pómez, 15 – 20 % de cristales libres (plagioclasa, anfíbol marrón, biotitas, opacos), y menos de 11% de fragmentos líticos. La ceniza co-pliniana presenta un espesor de 10 cm ubicado en la parte superior del depósito, presenta una composición mayor en pómez y menos de 1 % de cristales libres [9].

2.2.4.1.3. Volumen del depósito de caída de piedra pómez (pliniano).

Se calcula un volumen aparente de 7.9 km^3 dentro del área de $95'000 \text{ km}^2$ de la isópaca de 1 cm. Suponiendo que menos del 15% del volumen de ceniza fina se dispersa más allá de la isópaca de 1 cm, el volumen total del depósito pliniano sería de $9,1 \text{ km}^3$ [9].

De todo este volumen, el 80% es piedra pómez con una densidad media de 0,78 g/cm³ cerca del cráter y 0,66 g/cm³ distalmente. Como los fragmentos líticos (densidad 2,4 g/cm³) representan un volumen de 0,87 km³, el volumen de la unidad 1 sería de 9.97 km³.

2.2.4.2. Unidad 2: capas de caída de ceniza pos-pliniana.

Formado por múltiples capas de ceniza o lapilli de 5 – 20 cm de espesor que cubren el depósito de caída de piedra pómez, presenta un volumen entre 0.20 – 0.25 km³.

Consiste en capas de ceniza fina (mm de espesor) que se alternan con capas de pequeños lapillis (cm de espesor). La mayoría de las capas se interpretan como caídas de ceniza pos-plinianas. Las capas de ceniza son más ricas en cristales libres y fragmentos líticos, pero más pobres en piedra pómez que la ceniza co-pliniana. La composición de vidrio de las capas de ceniza es más rica en sílice que la del depósito pliniano [9].

2.2.4.3. Unidad 3: Depósitos de flujos piroclásticos y ceniza co-ignimbrita.

Esta unidad está conformada por depósitos piroclásticos de 1 – 3 m de espesor y capas de ceniza co-ignimbrita. La ceniza co-ignimbrita (color ocre), a menos de 15 km del cráter, se encuentra mezclada con la ceniza co-pliniana. En secciones mediales, la puzolana se encuentra entre las unidades 2 y 4, conservando el mismo espesor hasta una distancia de 25 a 75 km del cráter. En secciones distales (> 75 km) el espesor de la capa se reduce a 4 cm. Esta ceniza presenta un volumen de 1.5 km³.

2.2.4.4. Unidad 4: Depósitos de caída de ceniza de cristal.

Esta ceniza es el producto más inusual de la erupción de 1600 d.C., debe su origen a una erupción freatomagmática. La ceniza de cristal tiene un volumen de 0.15 – 0.25 km³ (densidad 1.05 g/cm³). En áreas cercanas al cráter, este depósito tiene 1 m de espesor, pero en secciones proximales (9 – 13 km) el espesor decrece a 15 cm (erosionado por flujos piroclásticos de la unidad 5); y a 13 km en dirección oeste, el espesor es de 40 cm.

Esta unidad se subdivide en dos capas: 1) La capa inferior, está formada por ceniza gruesa, mientras que 2) la capa superior es de ceniza fina. En distancias entre 15 – 60 km del cráter, una delgada capa de ceniza vítrica (formada en su mayoría por vidrio volcánico) muy fina (> 100 μm) cubre cada capa de la ceniza de cristal.

La composición mineral de la ceniza de cristal presenta un 80% de cristales libres (plagioclasa, anfíboles, biotita, opacos, menor piroxeno, apatita), algunos fragmentos de piedra pómez (más rica en cristales que la pómez pliniana) y una cantidad menor de fragmentos líticos (4 – 6 %).

2.2.4.5. Unidad 5: Flujo de cenizas.

En la quinta fase, depósitos de oleadas piroclásticas fueron dejadas por los flujos de cenizas y una capa de cenizas finas cayó en zonas mediales y distales, en más de 100'000 km², con un volumen entre 0.15 – 0.20 km³.

La unidad 5 consiste en ceniza vítrica fina de color gris claro mezclada con una pequeña cantidad de cristales, lapilli y bloques de piedra pómez de dacita. La piedra pómez porfídica predomina entre los componentes (68 – 83 %), pero los cristales y fragmentos glomeroporfídicos son abundantes en la ceniza fina (48 %).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo o alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

3.1.1.1. Método científico.

La naturaleza de la investigación será metódica, originando procedimientos. El conjunto de estos pasos es conocido como método científico, a través de ellos nos aproximaremos al objetivo de este análisis comparativo [55].

En suma, el proceso de investigación sigue los pasos del método científico y se direcciona a hallar la validez de las hipótesis planteadas. Generalmente se validan como pasos del proceso científico los mencionados a continuación: 1) observación de la realidad (contaminación por la demanda de cemento), 2) formulación del problema (aprovechamiento de las puzolanas como material remplazante del cemento) y planteamiento de objetivos, 3) hipótesis, 4) experimentación (análisis químicos, físicos y mecánicos en laboratorio), 5) análisis y discusión de resultados 6) comprobación de la hipótesis y 7) resultados.

3.1.1.2. Método analítico.

Entendiendo el análisis como un procedimiento para llegar a la comprensión mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos [56]. La determinación de la influencia de la ceniza volcánica en el concreto hidráulico se apoyará en la descomposición de sus dimensiones e indicadores de cada variable, para de esta manera poder comparar resultados entre muestras.

3.1.2. Tipo de investigación

Para Vargas [57] “la investigación aplicada recibe el nombre de investigación práctica o empírica, caracterizada por buscar la aplicación de los conocimientos adquiridos, a la vez que obtiene otros, después de implementar y sistematizar la practica basada en investigación”. Con los resultados de esta investigación se podrá saber si es o no, aprovechable, la sustitución de ceniza volcánica por cemento y, en qué medida, con el fin de su aplicación en mezclas de concreto que se realicen cerca a los depósitos de ceniza.

3.1.3. Nivel de investigación

Es experimental de corte transversal. Experimental, porque se manipula la variable independiente: Ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del Volcán

Huaynaputina, para determinar qué efectos tiene sobre la variable dependiente: propiedades del concreto hidráulico; además que, se tendrá tres grupos de estudio: Concreto sin adición, Concreto con adición 1, Concreto con adición 2. De corte transversal, porque los datos de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico patrón y modificado fueron recolectadas en un espacio – tiempo definido y cuantitativo.

3.1.4. Alcance de la investigación

Según Arias [58] la investigación explicativa busca el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de las causas (estudio post facto) o efectos (estudio experimental), mediante prueba de hipótesis. Por lo tanto, esta investigación sería de alcance explicativo, primero; porque tiene como objetivo hacer un análisis comparativo entre los “efectos” producidos por las cenizas volcánicas en las características mecánicas del concreto, mediante un diseño experimental (3.2.); además, “una investigación explicativa busca demostrar que los cambios en la variable dependiente fueron causados por la variable independiente” [58]; en este sentido, al considerar distintos porcentajes de reemplazos, propiedades físicas (finura), químicas (composición química) y mecánicas (IAR), de cada ceniza volcánica, se busca explicar el porqué de la afectación (VI) a las propiedades mecánicas del concreto (VD).

3.1.5. Diseño de la investigación

Se realizó un diseño experimental con estructura factorial 2x3 (dos factores con tres niveles cada uno) de series cronológicas múltiples, con un grupo de control (concreto hidráulico sin adición de ceniza).

	1	2	3
A	A1	A2	A3
B	B1	B2	B3

Control

Figura 13. Condiciones experimentales de la investigación.

Donde:

- A = Ceniza co-pliniana.
- B = Ceniza de cristal.
- 1 = Porcentaje de reemplazo del 10%.
- 2 = Porcentaje de reemplazo del 20%.
- 3 = Porcentaje de reemplazo del 30%.

Como se observa en la Figura 13, el primer factor fue el tipo de ceniza volcánica y sus niveles fueron: ceniza co-pliniana (A) y ceniza de cristal (B); mientras que el segundo factor fue el porcentaje de reemplazo en volumen de las cenizas volcánicas y sus niveles fueron: 10% (1), 20% (2) y 30% (3). Las variables de respuesta de diseño fueron las propiedades mecánicas del concreto modificado, obtenidas a 3, 7, 14 y 28 días para compresión y a los 28 días para tracción y flexión; quedando el esquema:

G ₁	X _{A1}	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄
G ₂	X _{A2}	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈
G ₃	X _{A3}	O ₉	O ₁₀	O ₁₁	O ₁₂
G ₄	X _{B1}	O ₁₃	O ₁₄	O ₁₅	O ₁₆
G ₅	X _{B2}	O ₁₇	O ₁₈	O ₁₉	O ₂₀
G ₆	X _{B3}	O ₂₁	O ₂₂	O ₂₃	O ₂₄
G ₇	----	O ₂₅	O ₂₆	O ₂₇	O ₂₈

Donde:

G = Grupo de casos.

X = Condición experimental

--- = Nivel “cero” en la variable independiente (ausencia de estímulo)

O = Respuesta de diseño (medición de sujetos de un grupo).

Por lo tanto, habrá 7 grupos de trabajo, repartidos en dos (2) tratamientos experimentales y un (1) grupo de control.

3.1.6. Población y muestra

3.1.6.1. Población.

La población de esta investigación está conformada por las propiedades mecánicas del concreto hidráulico (resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión) $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con porcentajes de reemplazo de 10%, 20% y 30% de la ceniza co – pliniana y de cristal.

3.1.6.2. Muestra.

Se selecciona un muestreo no probabilístico intencional, ya que tiene como criterios de selección: a criterio propio y conveniencia de la investigación [59]; conceptos apoyados en normas estandarizadas NTP y ASTM, como la cantidad representativa para muestras sometidas a compresión o los porcentajes de sustitución relativamente altos, dada la cantidad previa de

puzolana con la que cuenta el cemento, buscando una disminución más que relevante en la producción de clínker. Para las propiedades mecánicas se tienen la siguiente cantidad de muestras:

3.1.6.2.1. Resistencia a la compresión.

Tabla 7. Muestreo para resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

	Porcentajes de reemplazo (%)	Días de rotura	Tipo de ceniza	Muestreo	Total
Con adición			Ceniza co-pliniana y ceniza de cristal		
Cantidad	3	4	2	3	72
Sin adición			Sin ceniza, 100% cemento		
Cantidad	1	4	1	3	12
				Total	84

3.1.6.2.2. Resistencia a la tracción diametral.

Tabla 8. Muestreo para resistencia a la tracción diametral del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

	Porcentajes de reemplazo (%)	Tipo de ceniza	Muestreo	Total
Con adición			Ceniza co-pliniana y ceniza de cristal	
Cantidad	3	2	5	30
Sin adición			Sin ceniza, 100% cemento	
Cantidad	1	1	5	5
			Total	35

3.1.6.2.3. Resistencia a la flexión.

Tabla 9. Muestreo para resistencia a la flexión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

	Porcentajes de reemplazo (%)	Tipo de ceniza	Muestreo	Total
Con adición			Ceniza co-pliniana y ceniza de cristal	
Cantidad	3	2	1	6
Sin adición			Sin ceniza, 100% cemento	
Cantidad	1	1	1	1
			Total	7

3.1.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.1.7.1. Técnicas.

Al tratarse de una investigación con enfoque cuantitativo, se usará la técnica de la observación; se elige porque nos sirve para recolectar, agrupar y analizar los datos de los efectos que ocasionará la sustitución de ceniza en las propiedades mecánicas del concreto.

3.1.7.2. Instrumentos.

Para medir los efectos de las cenizas volcánicas sobre la variable dependiente, se usará fichas de observación estructuradas [Ver Anexo G] de elaboración propia, basadas en los lineamientos exigidos en las normas estandarizadas NTP y ASTM para la resistencia a la compresión, tracción, flexión, asentamiento, peso unitario y contenido de aire.

3.1.7.2.1. Validez.

Se determinará la validez de los instrumentos, por validez de contenido, específicamente, juicio de expertos; quienes juzgarán la capacidad de los instrumentos para medir la variable dependiente e independiente. Finalmente se calculará la validez de los instrumentos por medio de la V de Aiken.

Tabla 10. Tabla de Validez: Rango y Magnitud

Rango	Magnitud
0.53 a menos	Validez nula
0.54 a 0.65	Validez baja
0.60 a 0.65	Válida
0.66 a 0.71	Muy válida
0.72 a 0.99	Excelente validez
1.0	Validez perfecta

Nota: Tomada de Oseda (2015).

Mediante una compilación de la valoración de cada criterio por cada experto, se calcula la V de Aiken.

Tabla 11. Coeficiente de validez (V de Aiken) mediante juicio de expertos.

Juez	Criterios										Coeficiente de validez
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	
Experto 01	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	0.95
Experto 02	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	0.95
Experto 03	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	0.95
Experto 04	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.00

Experto 05	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.00
V de Aiken	1.0	0.9	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.97
	0.97										

El juicio promedio de los cinco expertos es de 0.97, validándose el instrumento como: “Excelente validez”.

3.2. Materiales y Métodos (aplicación de la ingeniería)

3.2.1. Preparación de las cenizas volcánicas

3.2.1.1. Procedimiento de obtención de la muestra de campo de las cenizas volcánicas.

La ceniza volcánica co-pliniana y de cristal utilizadas en este estudio fueron recolectadas del Volcán Huaynaputina, entre los distritos de Omate y Quinistaquillas (Moquegua). Para arribar a zonas aledañas al volcán, existen cuatro vías principales de acceso, dos desde Moquegua y dos desde Arequipa.

Tabla 12. Principales vías de acceso al volcán Huaynaputina.

Tramo	Distancia [km]	Tiempo [h]	Tipo de vía
Arequipa - Puquina - Coalaque - Omate - Quinistaquillas	151	4	Asfaltada / afirmada
Arequipa - Matalaque - Sijuaya - Quinistaquillas	260	6	Asfaltada / afirmada
Moquegua - Torata - Carumas - Calacoa - Muylaque - Sijuaya - Quinistaquillas	220	5	Asfaltada / afirmada
Moquegua - Torata - Jaguay Chico - Quinistaquillas	156	3	Asfaltada / afirmada

Nota: Tomada de Arias [60].

Para la obtención de la muestra de campo, fue necesario usar un equipo de protección personal adecuado, ya que las puzolanas naturales tienen efectos nocivos sobre el sistema respiratorio y la piel; el EPP consta de: Guantes, respiradores de media cara con filtros, zapatos de seguridad, casco, lentes y/o sobre-lentes. En cuanto a las herramientas que se usaron para la extracción fueron una zaranda (malla No. 4, ya que en laboratorio se tamizará con un tamiz No. 8) para separar todas las tobas y fragmentos de un diámetro mayor a 4.76 mm de la ceniza volcánica a

extraer; una pala pequeña y cucharón (debido al pequeño espesor de las isópacas), pico, sacos y flexómetro.

Las cenizas volcánicas de la erupción de 1600 d.C. fueron recolectadas en dos diferentes puntos.

1) La ceniza co-pliniana fue recolectada del sector de Calicanto (distrito: Quinistaquillas, ubicado a 15 km en dirección sur del cráter); mientras que, 2) la ceniza de cristal proviene del sector de Quinistacas (Omate, a 13 km al oeste del cráter). Los depósitos ilustrados por investigaciones geológicas de la zona, facilitaron el reconocimiento de las isópacas. Se extrae una muestra representativa por cada ceniza, aproximadamente de 25.0 kg, aunque (según la NTP 334.127, se debe tomar una muestra de 2.0 kg como mínimo por cada 400 ton).

3.2.1.1.1. Calicanto.

Se extrae ceniza co-pliniana de la parte superior del depósito de la Unidad 1. A este sitio arqueológico se accede por el distrito de Quinistaquillas; esta zona está dentro de un valle, por donde se canalizaron y depositaron los flujos piroclásticos y depósitos de caída de tefra [61], dando una geomorfología con muchas pequeñas quebradas que drenan en dirección sur y suroeste, dentro de estas, se encuentra una isópaca perteneciente a la ceniza co-pliniana.

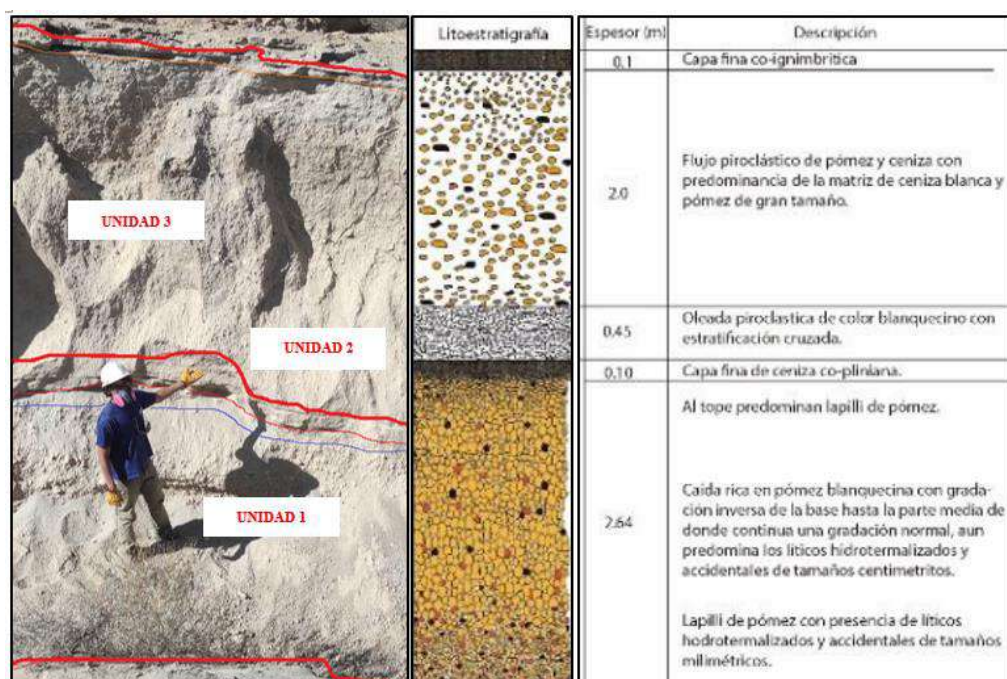


Figura 14. Perfil estratigráfico del sector de Calicanto. Tomado de Cueva [61].

Una vez identificado el primer punto (sector oeste de Calicanto), se hace un corte de unos 30 cm de profundidad por 30 cm de ancho, aproximadamente, a parte del ras de una cara expuesta de la quebrada; ya que, hay secuencias de depósitos de lahares que cubren los depósitos de

caídas de ceniza del año 1600 d.C. [61], se aprecian varias capas de las distintas fases de erupción con mayor distinción. Midiendo la isópaca, se tiene certeza en la identificación de la ceniza a recolectar; entonces, con mucho cuidado, comienza la extracción de la primera muestra con ayuda de un cucharón. Se tiende un saco en el suelo, se apoya la zaranda y se tamiza, esto con el fin de separar fragmentos de mayor tamaño.

3.2.1.1.2. *Quinistacas.*

A este sitio se accede por la ciudad de Omate. En esta zona los depósitos de caída de ceniza de la erupción del año 1600 d.C., presentan espesores entre 4 a 5 metros, aproximadamente, conformados casi en su totalidad por la unidad 1 (depósito de piedra pómez – pliniano) [62] y el resto, por las unidades de las demás fases de depósito de caída, por ejemplo: la capa de ceniza de cristal (color gris) de la unidad 4, tiene un espesor de 15 cm. Una vez identificada la isópaca (con ayuda del flexómetro, comienza la extracción, haciendo un corte de 30 cm de profundidad al ras del talud y extrayendo directamente con ayuda del cucharón la ceniza de cristal (no es necesario un zarandeo en campo, ya que tiene mayor finura que el tamiz No. 8) [62]. Cabe resaltar que en esta zona también se encuentra ceniza co-pliniana (parte superior de la unidad 1), pero tiene un espesor máximo de 5 cm, dificultando la extracción, ya que demandaría un mayor tiempo de zarandeo, puesto que está rodeado de lapillis y piedras pómez, por tal motivo, no se extrajo de aquí.

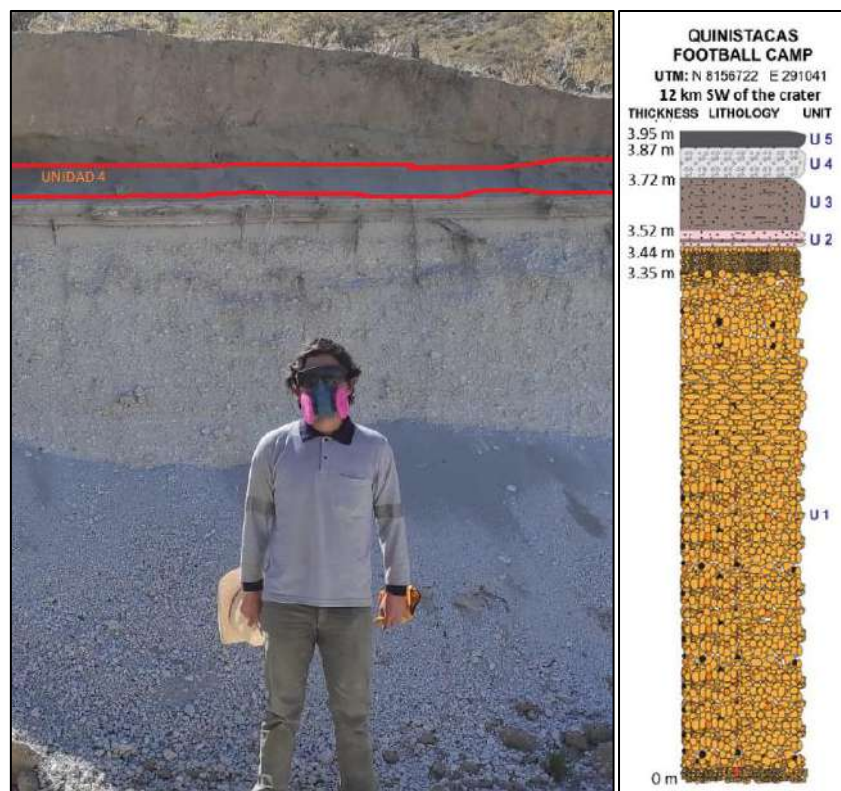


Figura 15. Perfil estratigráfico del sector de Quinistacas. Tomada de Mariño et al. [62].

3.2.1.2. Preparación en laboratorio de las cenizas volcánicas.

Una vez obtenidas las puzolanas en estado crudo, se realizó un secado en un horno eléctrico a 105°C por 48 horas para remover la humedad, no sin antes separar una muestra de 500 g de cada ceniza para su análisis químico. Después del secado se tamizó ambas puzolanas por la malla No. 8 (2.36 mm), quedándose con todo el material pasante (eliminando lapillis y otros desechos), ya que las cenizas son partículas menores a 2 mm [8]. Después del secado, se separó 12.0 kg por cada ceniza volcánica, de los cuales, 9.0 kg fueron reducidos en un molino de bolas los Ángeles, pasada media hora, se retiró 3.0 kg y así sucesivamente hasta obtener 4 muestras (0, 30, 60 y 90 minutos de molienda) de 3 kg por cada adición mineral; con el fin de determinar la finura de la ceniza volcánica de cada periodo por medio de la norma NTP 334.045. Obteniendo una curva de molienda para cada puzolana. Al final, 10 kg adicionales por cada ceniza, fueron molidos por 90 minutos para los reemplazos en los ensayos de Índice de Actividad de Resistencia en morteros y las resistencias mecánicas para los cilindros y vigas de concreto hidráulico experimental).

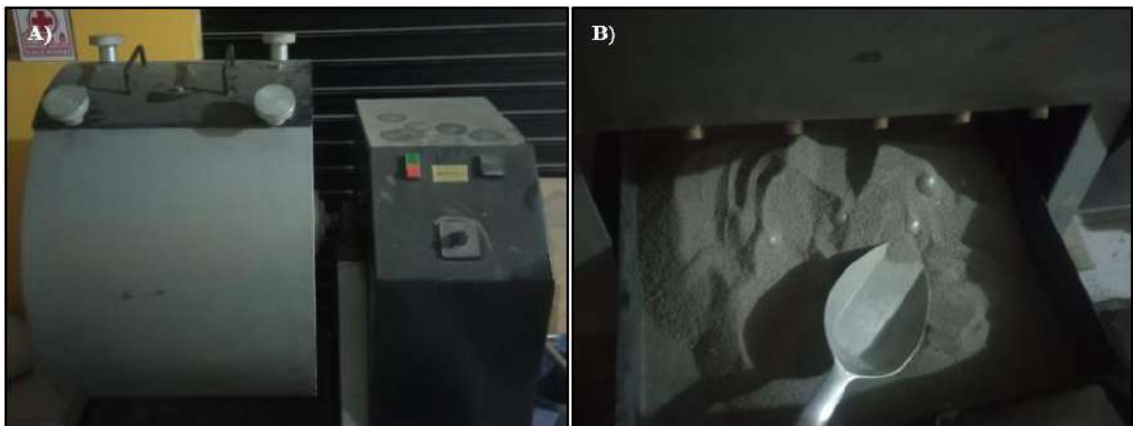


Figura 16. Molienda de ceniza volcánica. A) Molino de bolas de abrasión B) Ceniza co-pliniana después de 90 minutos de molienda.

3.2.2. Determinación de las propiedades de las cenizas volcánicas

Con el fin de conocer si la ceniza volcánica cumple con los criterios establecidos en la ASTM C618, se realizaron los siguientes ensayos:

3.2.2.1. Análisis químico.

Mediante la fusión alcalina, se identificó los porcentajes de los compuestos presentes en la ceniza co-pliniana y de cristal. Esto fue determinado por los Laboratorios Analíticos del Sur.

3.2.2.2. Finura (ASTM C430).

Aparatos: Pulverizador de rociado, medidor de presión y tamiz No. 325 (45 μm).

Procedimiento: Sobre el tamiz No. 325 (45 μm), seco y limpio, colocar una muestra de 1000 g de puzolana. Con ayuda del pulverizador, mojar la muestra levemente, se ajusta la presión del manómetro, se coloca el tamiz a una distancia de 12 mm del pulverizador y se lava durante un minuto, dibujando círculos imaginarios con el tamiz, en un plano horizontal. Después de esto, se lava la muestra con 50 ml de agua destilada teniendo cuidado de perder partes de la muestra. Seguidamente, la muestra iniciará su secado en un horno o sobre una placa metálica caliente (método que demanda más cuidado con el tamiz), después de un día a 110 $^{\circ}\text{C}$, se retira la muestra y se toman los datos necesarios.

Cálculo:

$$F = 100 - R_S$$

Donde:

F = Finura del cemento expresada como el porcentaje corregido que pasa el tamiz de 45 μm (No. 325), %

R_S = Residuo de la muestra retenida sobre el tamiz de 45 μm (No. 325), %.

Precisión: El coeficiente de variación de muestras analizadas en un mismo laboratorio es de 0.75% y los resultados obtenidos de dos laboratorios, presenta un coeficiente de variación igual a 2.1%.

3.2.2.3. Densidad absoluta de la ceniza volcánica.

Se calcula la densidad y absorción de las puzolanas por medio del método gravimétrico citado en la ASTM C128 (explicado en 3.2.3.1.).



Figura 17. Matraz / ceniza de cristal y picnómetro / ceniza co-pliniana.

3.2.2.4. Índice de Actividad de Resistencia (ASTM C109, ASTM C778).

Aparatos

Moldes de especímenes, molde para mezclar, paleta, apisonador (13 mm x 25 mm x 150 mm), espátula, balanza, máquina de ensayo.

Materiales

Para 6 especímenes de mortero de la muestra patrón, se usará 500 g de cemento portland Tipo I, 245 ml de agua y 1375 g de arena graduada. Y para 6 especímenes de mortero de la muestra puzolánica, se conserva las demás proporciones alterando únicamente el contenido de cemento (325 g), sustituyendo un 35% de su volumen (para esto se tendrá que dividir la densidad de la puzolana entre la del cemento y multiplicar este factor por 175 g).

Tabla 13. Límites granulométricos de arena para mortero.

Malla		L. Inferior	L. Superior
Pulg	Mm	[%]	[%]
No. 16	1.19	0	0
No. 30	0.60	0	4
No. 40	0.43	35	45
No. 50	0.30	70	80
No. 100	0.15	96	100

Nota: Tomada de ASTM C778 [63]. En el caso de la arena para mortero, esta tiene que estar entre los siguientes límites granulométricos.

Se usó arena de río, por lo tanto, con granos redondeados, pasante de la malla No. 16 y retenida en su mayoría en la malla No. 100. Se presentan los resultados del análisis granulométrico:

Tabla 14. Análisis granulométrico de la arena para morteros.

Tamiz		L. Inferior	Pasante	L. Superior	Limitación
Pulg.	mm	[%]	[%]	[%]	
N16	1.19	100	100.00	100	Cumple
#30	0.60	96	99.87	100	Cumple
#40	0.43	55	63.96	65	Cumple
#50	0.30	20	22.41	30	Cumple
#100	0.15	0	3.41	4	Cumple

Nota: Tomada de la NTP 334.051 [64].

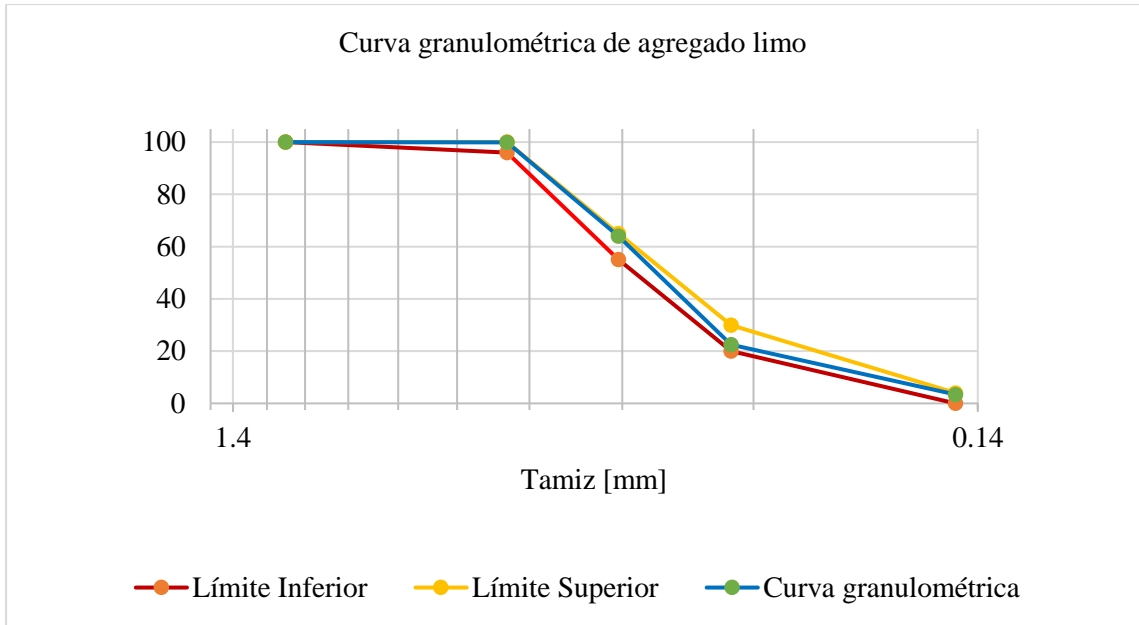


Figura 18. Curva granulométrica de la arena para morteros según la NTP 334.051.

Procedimiento

Una vez dosificados los materiales, se procede a lubricar las caras internas de los moldes. Después, se mezclan todos los materiales hasta que todas las partículas estén homogéneamente hidratadas. Luego, se vierte el mortero resultante, esto se hace en dos capas (de 25 mm), y entre cada capa con ayuda del apisonador se compacta (12 golpes por 4 rondas). Los especímenes deberán ser resguardados de factores externos en un cuarto húmedo durante 20 a 72 horas (curado inicial), para después ser desmoldados y sumergido bajo agua con cal hasta el día de su rotura.

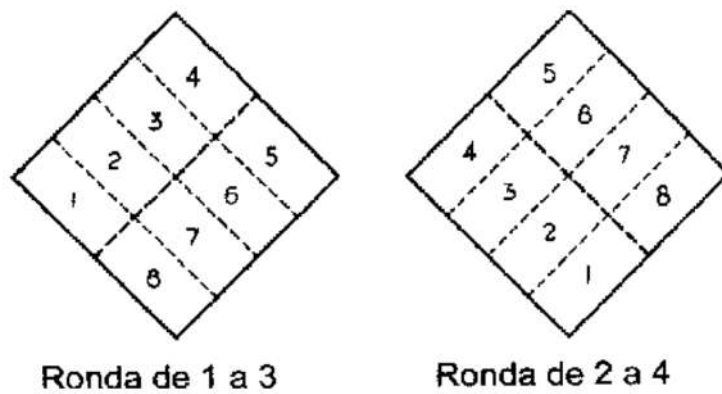


Figura 19. Orden de apisonado en el moldeo de especímenes de mortero. Tomado de ASTM C109 [51].

Cálculos:

$$IAP = \left(\frac{A}{B}\right) \times 100$$

Donde:

A = Resistencia a compresión media de los morteros adicionados.

B = Resistencia a compresión media de los morteros patrones.

La resistencia a la compresión del mortero, es el resultado de dividir la máxima carga soportada por el cubo antes de la rotura, entre su área transversal.

Precisión: Para un mortero elaborado con solo cemento portland, en el mismo laboratorio, el coeficiente de variación para la misma muestra a los 7 días es de 3.6% y a los 28 días es de 3.4%. En caso de los cementos adicionados, elaborados en un mismo laboratorio y para la misma muestra el coeficiente de variación a los 7 días es 3.8% y a los 28 días es de 3.4 % [51].

3.2.3. *Determinación de propiedades de los agregados*

Los agregados fueron recolectados de la cantera Radcom 3, ubicada en la ciudad de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.



Figura 20. Agregado grueso - HUSO 67 de la cantera Radcom 3.

Para realizar un diseño de mezcla por el método ACI 211, es necesario conocer ciertas propiedades de los agregados. Tales como:

3.2.3.1. Densidad relativa y absorción del agregado fino (ASTM C128).

Aparatos

Balanza, picnómetro (para uso con procedimiento gravimétrico), matraz u otro recipiente adecuado, cono metálico para la prueba de humedad superficial y horno.

Procedimiento

Primero, se utiliza 1 kg de muestra, reducida a esta cantidad por el método del cuarteo. Ya que el estado de la muestra al usarse en mezclas de concreto se encontrará en una condición naturalmente húmeda, no es necesario realizar un secado inicial. Se cubre con agua (inmersión) y deje reposar por un día (en el caso de muestras livianas, por 72 horas, agitando durante un minuto cada 24 h), Después de esto, se elimina el exceso de agua y se vierte la muestra sobre una superficie plana no absorbente expuesta a corrientes de aire caliente (con el fin de asegurar un secado homogéneo). Para asegurar el secado homogéneo se realiza la prueba de humedad superficial. Aplicando el procedimiento gravimétrico; una vez la muestra está en condición seca superficial se llena parcialmente el picnómetro o matraz con agua. Se introduce 500 g de muestra y se llena con más agua hasta el 90 % de la capacidad del recipiente. Se agita cuidadosamente el picnómetro o matraz manualmente por un periodo de 15 a 20 minutos con el fin de eliminar las burbujas de aire visibles. Después de esto, se vierte agua hasta conseguir que el picnómetro esté en su capacidad calibrada. Determinar la masa total del picnómetro, la muestra y el agua. Se retira el agregado fino del picnómetro / matraz y se determina su masa después de un secado en el horno a una temperatura de entre 105 a 115 °C. Determinar la masa del picnómetro lleno hasta su capacidad calibrada con agua a 23.0 °C.

Cálculos:

Densidad relativa (seca al horno – OD)

$$[OD] = \frac{A}{(B + S - C)}$$

Absorción (a)

$$[a] = 100 \times \left[\frac{S - A}{A} \right]$$

Donde:

- A = masa de muestra seca del horno, g
- B = masa de picnómetro lleno de agua, hasta la marca calibrada, g
- C = masa de picnómetro lleno de muestra y agua hasta la marca calibrada, g
- S = masa de muestra saturada de superficie seca, g

Precisión

La desviación estándar (S) de la densidad relativa seca al horno (OD) para un solo operador es de 0.011 y el rango aceptable entre dos resultados es de 0.032.

Resultados:

Tabla 15. Gravedad específica y absorción de agregado fino.

Ensayo	1	2	3	4	Promedio
Masa de muestra (OD) [g]	483.1	482.2	481.2	480.3	
Masa Picnómetro + agua [g]	687.3	687.3	687.4	687.3	
Masa Picnómetro + muestra + agua [g]	998.9	998.6	998.4	998.1	
Masa de muestra (SSD) [g]	500.0	500.0	500.0	500.0	
Densidad relativa (OD)	2.564	2.556	2.546	2.538	2.551
Densidad relativa (SSD)	2.654	2.650	2.646	2.642	2.648
Densidad relativa (A)	2.817	2.822	2.829	2.834	2.825
Absorción (a) [%]	3.498	3.691	3.918	4.112	3.805

3.2.3.2. Densidad relativa y absorción del agregado grueso (ASTM C127).

Los valores de absorción se usan para hallar el cambio de un agregado respecto a su masa, debido al agua que es absorbida por los “huecos” (espacios porosos) del agregado, en relación a su condición seca.

Procedimiento

Se seca la muestra en horno por un día y se deja enfriar durante 1 a 3 horas. Después se coloca bajo agua de 20 a 28 horas una muestra de agregado grueso. Seguidamente, se retira del agua, se seca, y se calcula la masa. Luego, se halla el volumen de la muestra por el método de desplazamiento de agua. Para finalizar, la muestra es secada en un horno y se calcula la masa.

Cálculos:

Densidad relativa (seca al horno - OD)

$$[OD] = \frac{A}{(B - C)}$$

Densidad relativa (superficie saturada - SSD)

$$[SSD] = \frac{B}{(B - C)}$$

Absorción (a)

$$[a] = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A, masa de muestra seca al horno en aire del agregado grueso, g

B, masa de muestra seca de superficie saturada en aire, g

C, masa aparente de muestra saturada en agua, g.

Resultados:

Tabla 16. Densidades relativas del agregado grueso

Ensayo	1	2	3	4	Promedio
Peso Seco (en horno) [g]	1252.5	1246.6	1250.2	1244.3	
Peso Sat. Sup. Seco (en aire) [g]	1267.7	1258.9	1264.8	1256.0	
Peso Sat. Sup. Seco (en agua) [g]	771.9	766.1	769.9	764.6	
Densidad relativa (OD)	2.526	2.530	2.526	2.532	2.529
Densidad relativa (SSD)	2.557	2.555	2.556	2.556	2.556
Absorción [%]	1.214	0.987	1.168	0.940	1.077

Nota: Para calcular únicamente la “densidad”, se multiplica la densidad relativa por la densidad del agua a 23°C que es 997.5 kg/m³.

3.2.3.3. Contenido de humedad (ASTM C566).

Debido a la porosidad presente en cualquier agregado, quedan espacios (vacíos) que pueden ser ocupados por agua. La importancia de conocer esta propiedad radica en saber la cantidad de agua que aportará el agregado a la mezcla de concreto.

Procedimiento

Se determina la masa de la muestra seca. Después, se seca la muestra en un horno a temperatura constante de 110 ± 5°C. Finalmente se determina nuevamente la masa de la muestra, después del calentamiento en horno.

Cálculo:

$$\rho = 100 \times \left[\frac{W - D}{D} \right]$$

Donde:

ρ → Contenido de humedad evaporable total de la muestra, %

W → masa de muestra original, g y

D → masa de muestra seca, g.

Nota: Para calcular el contenido de humedad superficial, se realiza una sustracción entre el contenido de humedad evaporable total [ρ] y la absorción (obtenida por el método C-127).

Resultados:

Tabla 17. *Contenido de humedad de agregado fino.*

Ensayo	1	2	Promedio
Muestra original [g]	603.1	665.7	
Muestra seca (horno) [g]	591.7	653.1	
Densidad evaporable [%]	1.927	1.929	1.928

Tabla 18. *Contenido de humedad de agregado grueso.*

Ensayo	1	2	Promedio
Muestra original [g]	3233.9	3050.7	
Muestra seca (horno) [g]	3217.3	3035.0	
Densidad evaporable [%]	0.516	0.517	0.517

3.2.3.4. Granulometría – módulo de fineza (ASTM C136).

La granulometría es la distribución del tamaño de partículas del agregado, que se divide a través de mallas (tamices), esto proporciona características físicas que sirven para determinar la (o la no) utilización de la muestra para elaboración de concretos.

Procedimiento

Por tratarse de una muestra con TMN de $\frac{3}{4}$ ", no es necesario un secado en horno, previo, según la ASTM C136 [65], ya que los valores de humedad no varían significativamente.

Se colocan los tamices en orden decreciente de apertura de arriba abajo; agitar los tamices. La cantidad de muestra de agregado estará en función del Tamaño Máximo Nominal (TMN). Se vierte la muestra, poco a poco, sobre el tamiz superior. Se realiza el proceso de cribado, manual o mecánico. Se tamiza por un periodo basto hasta que, después de esto y por un minuto de tamizado, no pase más del 1% en masa del material retenido en cualquier malla.

Cálculo

Se calcula los porcentajes en peso que pasan, los porcentajes totales retenidos o los porcentajes en fracciones de varios tamaños. Se calcula el módulo de finura dividiendo la sumatoria de los porcentajes acumulados retenidos entre 100.

Para el agregado fino:

$$MF_f = \frac{\sum \% \text{ Acumulado Retenido (No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50 y No.100)}}{100}$$

Para el agregado grueso:

MF

$$= \frac{\sum \% \text{ Acumulado Retenido (1 1/2", 3/4", 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50 y No.100)}}{100}$$

3.2.3.4.1. Análisis granulométrico del agregado fino.

Tabla 19. Análisis granulométrico del agregado fino.

Malla	P. Retenido	Retenido (%)		P. Pasante (%)	
		(g)	Total		Acumulado
#4	4.76	1.50	0.25	0.25	99.75
#8	2.36	101.60	17.17	17.42	82.58
#16	1.18	153.50	25.94	43.37	56.63
#30	0.59	125.90	21.28	64.64	35.36
#50	0.30	99.80	16.87	81.51	18.49
#100	0.15	66.50	11.24	92.75	7.25
#200	0.07	21.50	3.63	96.38	3.62
Fondo		21.40	3.62	100.00	0.00
Peso total (g)		591.70	100.00	MF	3.00

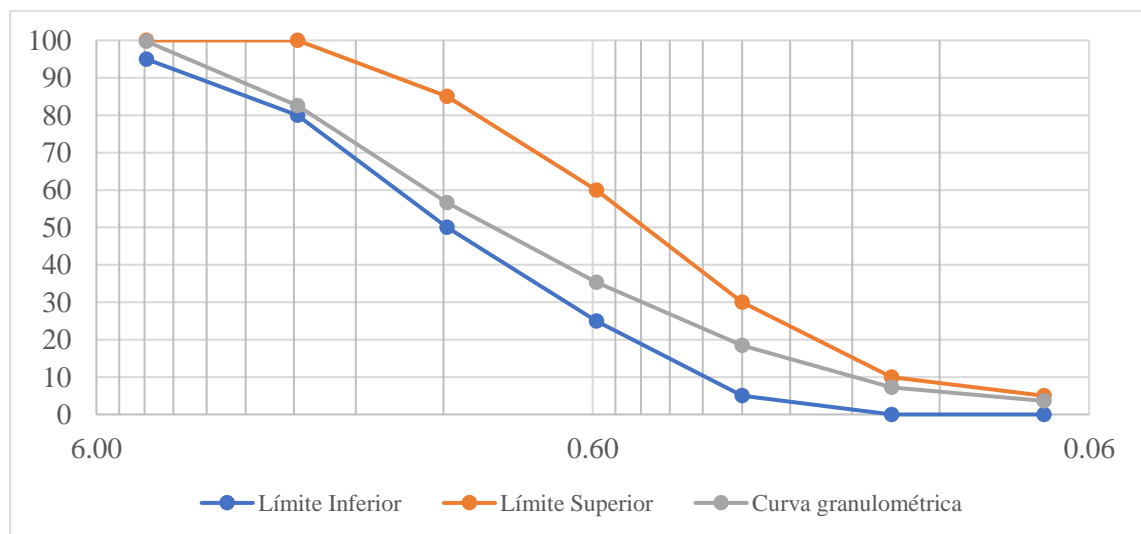


Figura 21. Curva granulométrica de agregado fino.

3.2.3.4.1. Análisis granulométrico del agregado grueso.

Tabla 20. Análisis granulométrico del agregado grueso

Malla		M. Retenido (g)	Retenido (%)		M. Pasante (%)
Pulg.	Mm		Total	Acumulado	
3/4"	19.00	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	2675.5	48.35	48.35	51.65
3/8"	9.51	1394.20	25.20	73.55	26.45
#4	4.75	1434.0	23.92	99.46	0.54
#8	2.38	17.7	0.32	99.78	0.22
Fondo		12.0	0.22	100.00	0.00
Masa total (g)		5533.4	100.00	MF	6.71

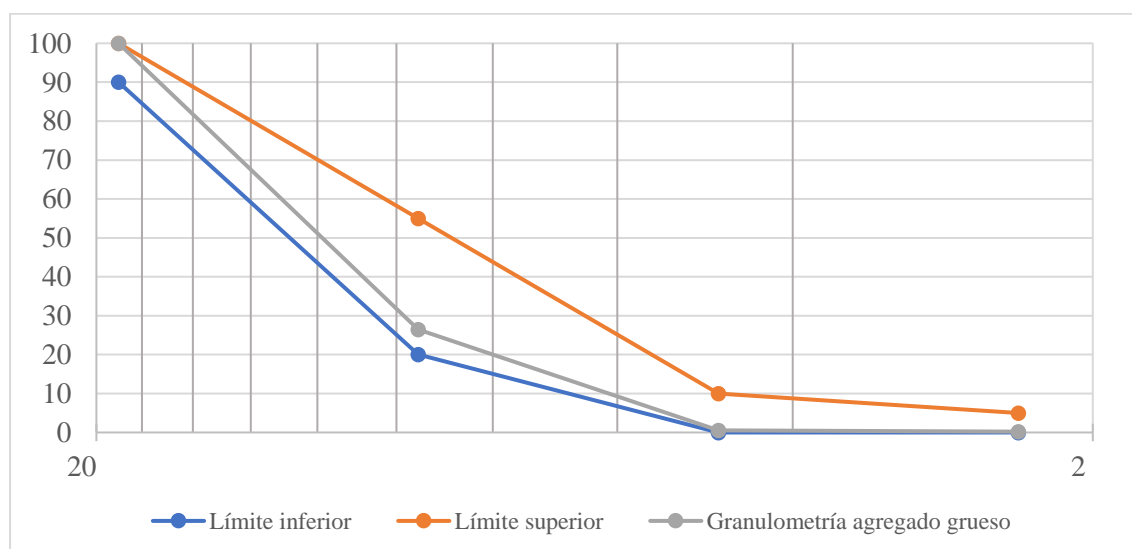


Figura 22. Curva granulométrica del agregado grueso.

3.2.3.5. Peso Unitario Compactado (P.U.C.), Peso Unitario Suelto (P.U.S.) – (ASTM C29).

El peso unitario es el peso por unidad de volumen (más correctamente, masa por unidad de volumen o densidad) [66].

Como el agregado a usar, es de HUSO 67, es decir, Tamaño Máximo Nominal de 3/4", se puede usar norma, por tener un TMN < 5".

Procedimiento

Se reduce la muestra por cuarteo manual, a continuación, se llena en tres capas de igual altura con 25 golpes de una varilla lisa por cada capa.

Cálculo

Según la ASTM C29 [66], se calcula con la siguiente expresión:

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

M, densidad aparente del agregado grueso, kg/m³

G, masa del agregado más el molde, kg

T, masa del molde, kg

V, volumen del molde, m³.

Resultados:

Tabla 21. *Peso unitario suelto del agregado fino.*

Ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Masa muestra + molde [kg]	15.226	15.310	15.345	15.270	15.326	
Masa de molde [kg]	9.229	9.229	9.229	9.229	9.229	
Masa muestra [kg]	5.997	6.081	6.116	6.041	6.097	
Volumen del molde [m ³]	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	
Peso unitario [kg/m ³]	1509.1	1530.2	1539.0	1520.2	1534.3	1526.6

Tabla 22. *Peso unitario compactado del agregado fino.*

Ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Masa muestra + molde [kg]	15.831	15.87	15.882	15.82	15.818	
Masa de molde [kg]	9.229	9.229	9.229	9.229	9.229	
Masa muestra [kg]	6.602	6.641	6.653	6.591	6.589	
Volumen del molde [m ³]	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	
Peso unitario [kg/m ³]	1661.3	1671.2	1674.2	1658.6	1658.1	1664.7

Tabla 23. *Peso unitario suelto del agregado grueso.*

Ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Masa muestra + molde [kg]	15.240	15.214	15.217	15.180	15.209	
Masa de molde [kg]	9.229	9.229	9.229	9.229	9.229	
Masa muestra [kg]	6.011	5.985	5.988	5.951	5.980	
Volumen del molde [m ³]	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	
Peso unitario [kg/m ³]	1512.6	1506.1	1506.8	1497.5	1504.8	1505.6

Tabla 24. *Peso unitario compactado del agregado grueso.*

Ensayo	1	2	3	4	5	Promedio
Masa muestra + molde [kg]	14.468	14.515	14.504	14.535	14.607	
Masa de molde [kg]	9.229	9.229	9.229	9.229	9.229	
Masa muestra [kg]	5.239	5.286	5.275	5.306	5.378	
Volumen del molde [m ³]	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	
Peso unitario [kg/m ³]	1318.4	1330.2	1327.4	1335.2	1353.3	1332.9

3.2.4. *Elaboración del concreto*

3.2.4.1. **Diseño de mezclas por el método del ACI.**

Se diseñará un concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, para elementos como vigas, columnas y muros estructurales. Se elige el cemento portland tipo GU de la marca FRONTERA, por ser una marca muy usada en las construcciones públicas de la localidad de Moquegua. Cabe destacar, que al añadir las puzolanas del Huaynaputina el cemento resultante será un cemento adicionado ternario.

Como los agregados cumplen con las especificaciones granulométricas de la ASTM C33, se puede optar por el método de diseño del Comité ACI-211. La mezcla se hará con agua, aire y los siguientes materiales:

Tabla 25. *Propiedades físicas de cemento y agregados.*

Cemento	
Marca	Frontera
Tipo	GU
Peso específico	2.80
Agregado fino	
Peso específico	2.551 g/cm ³
Absorción	3.81 %
Contenido de humedad	1.93 %
Módulo de Fineza	3.00
Agregado grueso	
TMN	¾"
P.U.C.	1332.90 kg/m ³
Peso específico	2.529 g/cm ³
Absorción	1.08 %
Contenido de humedad	0.52 %

Paso 01: Elegir resistencia promedio (f'_{cr})

La resistencia de diseño se hace a través de un análisis estadístico y para esto es necesario como mínimo 30 probetas del mismo tipo de concreto. También se puede usar un factor de corrección presente en la Tabla 1.A. del Comité ACI 211.

Tabla 26. Tabla 1.A. Resistencia promedio requerida.

Resistencia especificada a la compresión $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia promedio requerida f'_{cr} (kg/cm ²)
De 210 a 350 kg/cm²	$f'c + 85$ kg/cm²

Nota: Adaptado de ACI 211 [36].

Como la resistencia especificada es de 210 kg/cm² se usa la ecuación resalta para hallar la resistencia promedio requerida, siendo:

$$f'_{cr} = f'c + 85 \text{ kg/cm}^2$$
$$f'_{cr} = 295 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 02: Tamaño Máximo Nominal del agregado (TMN).

Se debe considerar tres criterios para su selección: 1) 1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados, 2) 1/3 de la altura de losas y 3) 3/4" del espacio libre entre barras de refuerzo. Por tratarse de un concreto para estructuras convencionales, se selecciona 3/4" como TMN.

Paso 03: Asentamiento.

Al tratarse de un diseño de laboratorio, el asentamiento debe tener una variabilidad de 1", se selecciona entre 3" a 4" porque las vigas, columnas y muros armados necesitan un concreto con grado de trabajo y consistencia media.

Tabla 27. Tabla 3. Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.

Tipo de construcción	Máxima	Mínima
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"

Nota: Adaptado del ACI Comité 211 [36].

Tabla 28. *Tabla 3.A. Valores de asentamiento según tipo de estructura y condiciones de colocación.*

Slump	Consistencia	Grado de trabajo	Tipo de estructura y condiciones de colocación
2" a 4"	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos compactados manualmente. Columnas, vigas y muros con vibración

Nota: Adaptado del ACI Comité 211 [36].

Siendo:

Slump: 3" - 4"

Paso 04: Volumen unitario del agua de diseño.

Esto depende del asentamiento y el contenido de aire; también la forma y textura del agregado grueso y su TMN.

Tabla 29. *Tabla 4.A – sin aire incorporado.*

Asentamiento	Agua en l/m ³ , para los TMN de agregado grueso y Slump							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-

Nota: Adaptado del ACI Comité 211 [36].

El Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso es de 3/4"; como no es un concreto diseñado por durabilidad, no se agregará aire más que el natural, se usan los datos de “**sin aire incorporado**”; por último, el asentamiento o Slump será de **3" a 4"**.

Siendo:

Agua = 205 l/m³.

Paso 05: Contenido de aire atrapado y/o incorporado.

Se determina el aire atrapado en base a la Tabla 6 del Comité ACI 211, para esto se necesita conocer el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso.

Tabla 30. *Tabla 6 – Contenido de aire atrapado según Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso.*

TMN de agregado grueso	Aire atrapado
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%

Nota: Adaptado del ACI Comité 211 [36]. Por cada 1% de aire incorporado se pierde un 5% de resistencia mecánica.

Siendo:

$$\text{Aire atrapado} = 2.00 \%$$

Paso 06: Relación agua/cemento (a/c).

Para la selección de este dato, se determina por requisitos de resistencia, durabilidad, impermeabilidad y acabado. Para este diseño, será por resistencia, por tal motivo, se usa los valores de la Tabla 8 del Comité ACI 211.

Como los valores de la resistencia requerida están dados por rangos de 50 kg/cm², se necesita interpolar, entonces:

$$y = \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) \cdot (y_2 - y_1) + y_1$$

Donde:

$$x = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$x_1 = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$x_2 = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$y_1 = 0.62$$

$$y_2 = 0.55$$

Tabla 31. *Tabla 8: Relación agua / cemento para diseño por resistencia mecánica.*

f'cr	a/c de diseño - en peso [Sin aire incorporado]
200	0.7
250	0.62
300	0.55
350	0.48

Nota: Adaptado del ACI Comité 211 [36].

Interpolando:

$$y = \left(\frac{294 - 250}{300 - 250} \right) \cdot (0.55 - 0.62) + 0.62$$
$$y = 0.5584 \approx 0.56$$

Siendo:

$$a/c \approx 0.56$$

Paso 07: Factor cemento.

Con estos datos, podemos calcular el “factor cemento”. Determinado por la siguiente fórmula:

$$\text{Cemento (kg)} = \frac{\text{Agua (kg)}}{\text{Relación } \left(\frac{A}{c} \right)}$$

Reemplazamos los datos obtenidos:

$$\text{Cemento} = \frac{205 \text{ kg}}{0.5584}$$

$$\text{Cemento} = 367.12 \text{ kg, por metro cúbico de concreto}$$

En el mercado, un pie cúbico de cemento es almacenado en bolsas de 42.5 kg; dividiendo el peso del cemento por metro cúbico entre 42.5 kg se obtiene el factor cemento.

Siendo:

$$\text{Factor Cemento} = \frac{367.12 \text{ kg}}{42.5 \text{ kg}}$$

$$\text{Factor Cemento} \approx \mathbf{8.64 \text{ Bolsas x m}^3 \text{ de concreto}}$$

Paso 08: Contenido de agregado grueso.

Determinar el contenido de agregado grueso, usando la Tabla 15 del Comité ACI-211, esto se hará con el valor del módulo de fineza del agregado fino (**MF = 3**) y el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso (**TMN = 3/4"**).

Tabla 32. *Tabla 15: Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diversos módulos de fineza.*

TMN	Módulo de fineza	
	2.8	3.0
1/2"	0.55	0.53
3/4"	0.62	0.60
1"	0.67	0.65

Nota: Adaptado del ACI Comité 211 [36].

Siendo:

$$\text{Volumen de agregado grueso} = 0.60 \text{ m}^3$$

Para determinar el peso del agregado grueso, se necesita también su |valor de Peso Unitario Compactado (**P.U.C. = 1332.90 kg/m³**).

Entonces:

$$\text{Peso} = P.U.C. \times Vol$$

$$\text{Peso} = 1332.90 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.60 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = \mathbf{799.74 \text{ kg}}$$

Este sería el Peso del Agregado Grueso por metro cúbico de concreto.

Paso 09: Suma de volúmenes absolutos de cemento, agua, aire y agregado grueso.

Se determina los volúmenes absolutos de todos los materiales, menos del agregado fino. Para esto se necesita conocer los pesos por metro cúbico y específicos de cada uno.

Entonces:

Tabla 33. Suma de volúmenes absolutos de cemento, agua, aire y agregado grueso.

	Peso x m ³ de	Peso específico	Volúmenes absolutos
Cemento	367.12 kg	2800 kg/m ³	0.131 m ³
Agua	205 l	1000 l/ m ³	0.205 m ³
Aire	2.00%	-	0.020 m ³
Ag. Grueso	799.74 kg	2529 kg/m ³	0.316 m ³
Total			0.672 m³

Paso 10: Volumen absoluto del agregado fino.

Con el “Total” del dato anterior, con una simple diferencia se puede calcular el volumen del agregado fino.

$$Vol. AF = 1m^3 - 0.672m^3$$

$$Vol. AF = 0.328m^3$$

Paso 11: Peso seco del agregado fino.

Multiplicando el peso específico por el volumen del agregado fino, calculamos la masa en kg que se necesitará para la dosificación.

Entonces:

$$Peso AF = P. esp. \times Vol$$

$$Peso AF = 2551 \frac{kg}{m^3} \times 0.328m^3$$

$$Peso AF = 836.73 kg$$

Paso 12: Valores del diseño de cemento, agua, aire y agregados.

Con los datos anteriores, se tiene los siguientes pesos por m³ de concreto.

Cemento	=	367.12 kg/m ³
Agua	=	205 l/m ³
Ag. Fino seco	=	836.73 kg/m ³
Ag. Grueso seco	=	799.74 kg/m ³

Paso 13: Corrección por humedad.

Se calcula el peso húmedo de los agregados, multiplicando el peso seco por su contenido de humedad, respectivamente. Siendo:

$$\begin{aligned} \text{Ag. Fino} &= 852.88 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Ag. Grueso} &= 803.90 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Ahora, se calcula la humedad superficial de cada uno de los agregados, con la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad superficial} = \text{Contenido de humedad} - \% \text{ Absorción}$$

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Ag. Fino} &= 1.93\% - 3.81\% = -1.88\% \\ \text{Ag. Grueso} &= 0.52\% - 1.08\% = -0.56\% \end{aligned}$$

Como los valores obtenidos son negativos, los agregados están quitando agua al diseño de mezcla, por ende, se tiene que adicionar agua en función de la humedad superficial.

Siendo:

$$\begin{aligned} \text{Ag. Fino} &= 836.73 \text{ kg/m}^3 \times -1.88\% = 15.73 \text{ l/m}^3 \\ \text{Ag. Grueso} &= 799.74 \text{ kg/m}^3 \times -0.56\% = 4.48 \text{ l/m}^3 \end{aligned}$$

La suma de estos valores, da como resultado: 20.21 litros de agua adicional por metro cúbico de concreto.

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Agua corregida por humedad} &= 205 \text{ l/m}^3 + 20.21 \text{ l/m}^3 \\ \text{Agua corregida por humedad} &= 225.21 \text{ l/m}^3 \end{aligned}$$

Seguidamente, el diseño de mezcla con los pesos corregidos por humedad superficial de los materiales, sería:

Tabla 34. *Diseño de mezcla $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (peso por metro cúbico).*

Material	Peso (kg) x Volumen (1 m ³)
Cemento	367.12
Agua	225.21
Agregado fino	852.88
Agregado grueso	803.90

Finalmente, el diseño de mezcla en función a una bolsa de cemento, sería:

Tabla 35. *Dosificación de mezcla para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en función a bolsa de cemento.*

Materiales	kg x bolsa de cemento	Unidad
Cemento	1.00	BLS
Agua	26.07	L
Agregado fino	2.41	P3
Agregado grueso	2.50	P3

3.2.4.2. Preparación y curado de especímenes de concreto (ASTM C31).

Aparatos

Los moldes deben ser hechos de acero, hierro fundido o cualquier otro material no absorbente como la madera. Estos deben ser herméticos para que no se pierda el agua de la mezcla a través de las juntas. Existen moldes cilíndricos (deben tener la forma de cilindros rectos circulares) y moldes para vigas (las superficies interiores deben ser lisas; los lados, el fondo y extremos deben formar ángulos rectos).

Una varilla de compactación, puede ser de 3/8" y de 5/8" (para moldes con diámetro mayor igual a 15 cm) de diámetro, debe ser de acero liso; además, una maza de goma (de entre 0.4 kg y 0.8 kg) y herramientas para el llenado del molde, como cuchara de albañil; para vigas, se permite una pala.

Especímenes de ensayo (muestras) - cilíndricos.

Los especímenes de resistencia a la compresión o a la tracción deben ser cilindros colocados y endurecidos en una posición perpendicular al suelo. En cuanto a sus dimensiones, su longitud debe ser dos veces el diámetro (este debe ser como mínimo 3 veces el TMN del agregado grueso). Pueden ser de 6" x 12" (150 mm x 300 mm) o de 4" x 8" (100 mm a 200 mm).

Especímenes de ensayo (muestras) - vigas.

Los especímenes de resistencia a la flexión deben ser vigas de concreto vaciado y endurecido en posición paralela al suelo. La longitud debe ser al menos 2" (50 mm) más grande que tres veces la profundidad o ancho. La viga normalizada tiene una sección transversal de 6" x 6" (150 mm x 150 mm) y una longitud de 20" (500 mm).

Procedimiento de mezclado.

El mezclado se realizó en un trompo eléctrico con una capacidad de 180 l. Primero, se humedece el interior del trompo. Se vierte el 10% de agua con el agregado grueso y fino. Después de mezclar por 30 segundos, se añade el cemento mezclado con ceniza volcánica.

Finalmente, se espera entre 3 a 5 minutos, tiempo en el cual se realiza un intercambio de materiales de extremo a extremo a través de las acciones de rolado, amasado y plegado. Procurar no trabajar sobre la capacidad de las mezcladoras, esto puede producir una mezcla poco homogénea (dejando proporciones de distintos materiales sin mezclarse).

Un procedimiento de mezclado alternativo varía el orden de la incorporación de los materiales a la mezcladora. Primero se añade agua, cemento y arena, formando un mortero. Después del correcto mezclado de estos materiales se añade el agregado grueso y el tercio de agua restante y se realiza el último mezclado durante 3 a 5 minutos [11].

Colocado y compactación de cilindros (moldeado de muestras).

En un lugar nivelado, libre de movimiento y cerca al sitio de almacenamiento, realizar el colocado y compactación.

Con ayuda del cucharón verter el concreto dentro del molde; después apisonar con 25 golpes uniformes sobre toda la sección transversal y finalmente golpear entre 10 a 15 veces con la maza de goma. Realizar todo esto tres veces (tres capas, de un tercio de altura del recipiente, aproximadamente).

Colocado y compactación de vigas (moldeado de muestras).

Con ayuda de un cucharón o una pala, verter la mezcla dentro del molde en dos capas. Después de cada capa apisonar el concreto con golpes cada 14 cm² de la sección longitudinal de la viga, siendo un total de 60 golpes uniformemente distribuidos, luego golpear con el combo de goma las paredes laterales del molde de 15 a 20 veces y, finalmente, enrasar cada capa.

Acabado.

Después de 5 minutos de haber compactado, humedecer una llana o alguna herramienta similar. Con esta, enrasar lo más plano posible la superficie respecto a los bordes del molde.

Curado inicial.

Inmediatamente, después del moldeado y enrasado final, los especímenes deben ser almacenados por un periodo de hasta 48 h a una temperatura entre 16 a 27 °C y un ambiente que evite la pérdida de humedad (no deben estar expuestos al sol).

Curado final.

Dentro de los 30 minutos después de desmoldar los especímenes, sumergirlos en agua, con hidróxido de calcio en el caso de las vigas, hasta 3 horas antes de su ensayo de rotura.

3.2.5. Determinación de las propiedades del concreto modificado en estado fresco**3.2.5.1. Determinación del asentamiento del concreto modificado.****Aparatos**

Cono de Abrams y varilla compactadora de acero lisa de 5/8”.

Procedimiento

Se humedece el molde y la plancha con agua para después colocar el molde sobre la plancha. La persona encargada del ensayo se sitúa encima de las pisaderas, con el fin de evitar el mínimo movimiento durante el llenado; se procede a llenar el molde en tres capas (procurar que tengan el mismo volumen, no la altura), entre cada capa se apisona con 25 golpes uniformes de la varilla sobre la sección transversal, esto último se realiza con el fin de compactar la muestra y reducir vacíos. Seguidamente, enrasar con ayuda de una plancha de albañilería o algo similar. Se limpia el concreto derramado en las faldas del molde y a plancha. Inmediatamente, se levanta el molde con ambas manos lo más perpendicular posible respecto al suelo (en un tiempo entre 3 a 7 segundos). Desde el llenado al levantamiento de molde no debe transcurrir más de 2.5 minutos. El dato a tomar se realiza en este punto, se debe medir la distancia de la altura del molde hacia el centro de la posición original de la masa que se haya asentado.

3.2.5.2. Determinación del peso unitario y contenido de aire del concreto.**Aparatos**

Se necesita una balanza con error de 50 g, una varilla lisa de 5/8”, un recipiente (según el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso), y herramientas manuales (maso de goma y cucharón).

Procedimiento

El procedimiento es similar al ensayo para determinar el asentamiento. Primero, pesar el recipiente. Luego, se vierten tres capas de mezcla, ocupando cada una un tercio de la capacidad del recipiente, después de cada capa se varilla con 25 golpes uniformemente distribuidos en toda la superficie y se golpea de 10 a 15 veces con un mazo de goma. Por último, con ayuda de la misma varilla se enrasa la última capa, se limpia todos los fragmentos de concreto dispersos alrededor del molde y se toma el peso [67].

Cálculos

Para el peso unitario o densidad, usar la siguiente ecuación:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Y para el contenido de aire:

$$A = \left[\frac{(T - D)}{T} \right] \times 100$$

Donde:

A	=	Contenido de aire (porcentaje de poros),
D	=	Densidad del concreto, en kg/m ³
M	=	Masa total de todos los materiales, en kg
M _c	=	Masa total del recipiente de medida lleno de concreto, en kg
M _m	=	Masa del recipiente de medida, en kg
T	=	Densidad teórica del concreto, en kg/m ³
V	=	Volumen absoluto total de los componentes de la mezcla, en m ³
V _m	=	Volumen del recipiente de medida, en m ³

3.2.6. *Determinación de las propiedades mecánicas del concreto adicionado*

3.2.6.1. **Determinación de la resistencia a la compresión del concreto.**

Este ensayo requiere que las muestras estén en estado húmedo, se recomienda que se realice la compresión tan pronto sean extraídas de sus condiciones de curado. Se establece también una tolerancia para determinadas edades de rotura. Se debe tener en cuenta que la edad de los testigos se toma desde el instante inicial de la mezcla. Se procede a colocar el espécimen entre los bloques de apoyo y a su respectivo alineado con mucho cuidado de no dañar la muestra. Se verifica que el indicador de carga esté colocado en cero y se aplica una velocidad de carga continua hasta que el indicador de carga comience a decrecer progresivamente y aparezca una falla definida.

Tabla 36. Edades de ensayo y tolerancias.

Edad de ensayo	Tolerancia
24 horas	± 0.5 horas
3 días	± 2 horas
7 días	± 6 horas
28 días	± 20 horas
90 días	± 2 días

Nota: NTP 339.034:2015 [38].

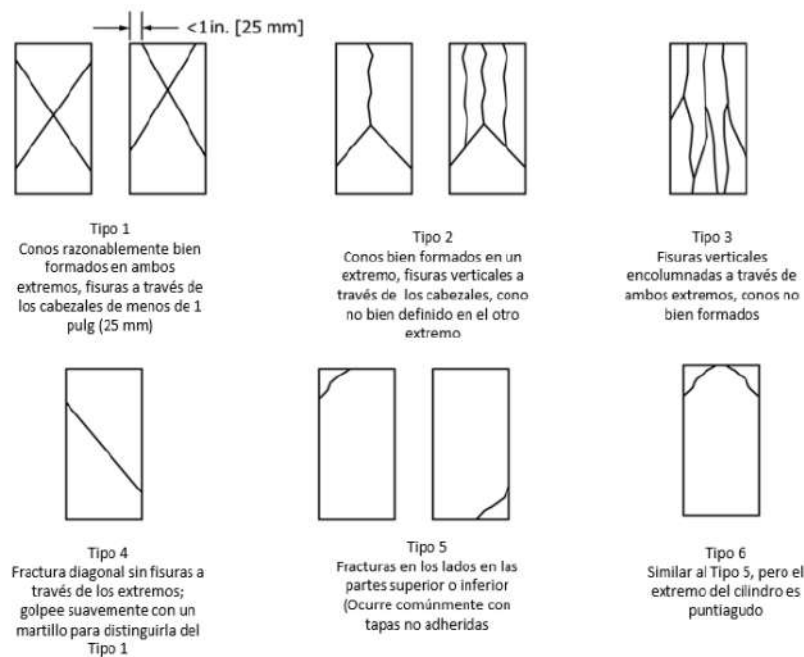


Figura 23. Modelos de fracturas típicos por ensayos de resistencia mecánica a la compresión. Tomada de NTP 339.034:2015 [38].

Cálculos:

$$f_{cm} = \frac{4P_{m\acute{a}x}}{\pi D^2}$$

Donde:

f_{cm} = Resistencia a la compresión en MPa (lb/pulg²).

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima kN (lbf).

D = Diámetro promedio en mm (pulg).

Precisión

Para tratar de manera correcta los resultados y conocer que tan buena fue la elaboración de la muestra, condiciones de curado, etc., es necesario obtener el coeficiente de variación.

Tabla 37. *Precisión / Coeficientes de variación para resistencia a la compresión.*

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia individual de cilindros	
		2 cilindros	3 cilindros
150 x 300 mm (6 x 12 pulg)			
Condiciones de laboratorio	2.40%	6.60%	7.80%
Condiciones de obra	2.90%	8.00%	9.50%
100 x 200 mm (4 x 8 pulg)			
Condiciones de laboratorio	3.20%	9.00%	10.60%

Nota: Tomado de NTP 339.034:2015 [38].

3.2.6.2. Determinación de la resistencia a la tracción indirecta del concreto.

Para realizar este método, es necesario contar con una **a)** máquina de ensayo calibrada y que pueda proporcionar la velocidad de carga normada, **b)** barra o placa de apoyo suplementaria que permita aplicar la carga uniformemente a lo largo de todo el espécimen y **c)** listones de madera de 3.2 mm de espesor nominal y 25 mm de ancho, con una longitud igual y/o mayor del cilindro de concreto [41].



Figura 24. Listones de madera, barra de apoyo suplementaria y dispositivo de alineación.

Cálculos:

$$T = \frac{2P}{\pi LD}$$

Donde:

- T = Resistencia a la tracción indirecta, MPa (psi).
- P = Máxima carga aplicada, N (lbf).
- L = Longitud, mm (pulg).
- D = Diámetro, mm (pulg).

Precisión

Los datos de investigación disponibles suscitan que el coeficiente de variación dentro de una misma muestra de concreto es 5% para testigos cilíndricos de 150 x 300 mm. Los resultados promedio de dos o más muestras elaboradas en base a las mismas proporciones de materiales en distinto tiempo, no deberían diferir en más de 14 % [68].

3.2.6.3. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto.

Para la determinación del módulo de ruptura del concreto, la ASTM, propone dos métodos: a) ASTM C78 (aplicar cargas a los tercios del espécimen) y b) ASTM C293 (aplicar una carga en el punto medio); cabe resaltar que se obtienen resultados superiores en un 15% con el segundo mencionado respecto al primero [38, 75].

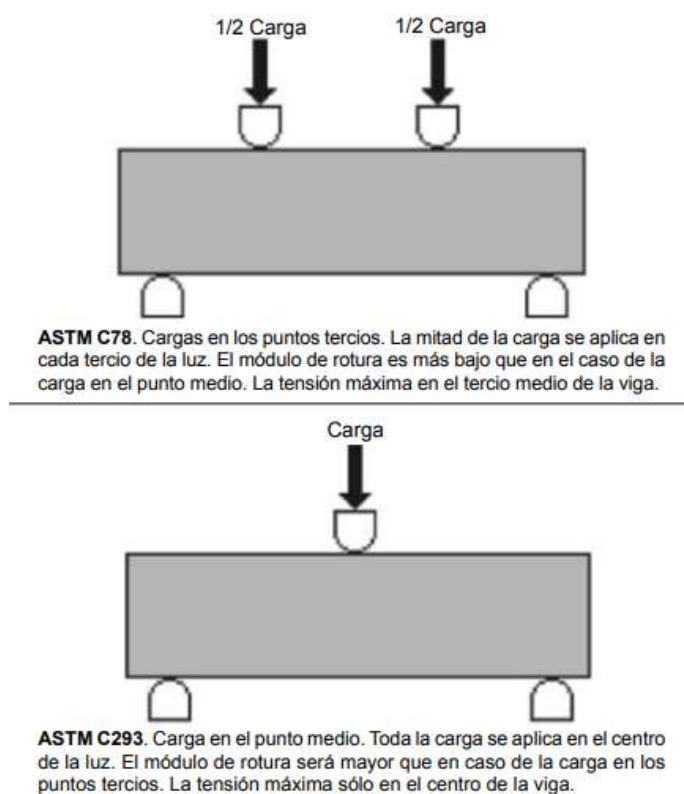


Figura 25. Resistencia a la flexión por ASTM C78 y ASTM C293. Tomada de NRMCA [44].

En el punto de aplicación de carga, la zona superior experimenta esfuerzos de compresión, mientras que la zona inferior de tracción, entre ambas, hay una capa que no experimenta compresión, tracción ni variación de longitud, esta se denomina capa neutra.

Los equipos necesarios para este ensayo son: Máquina de ensayo, b) bloque de aplicación 'de carga, c) dos bloques de soporte de la muestra no mayores a 5 cm de espesor y una placa de carga rígida que supere las medidas de la viga de concreto.

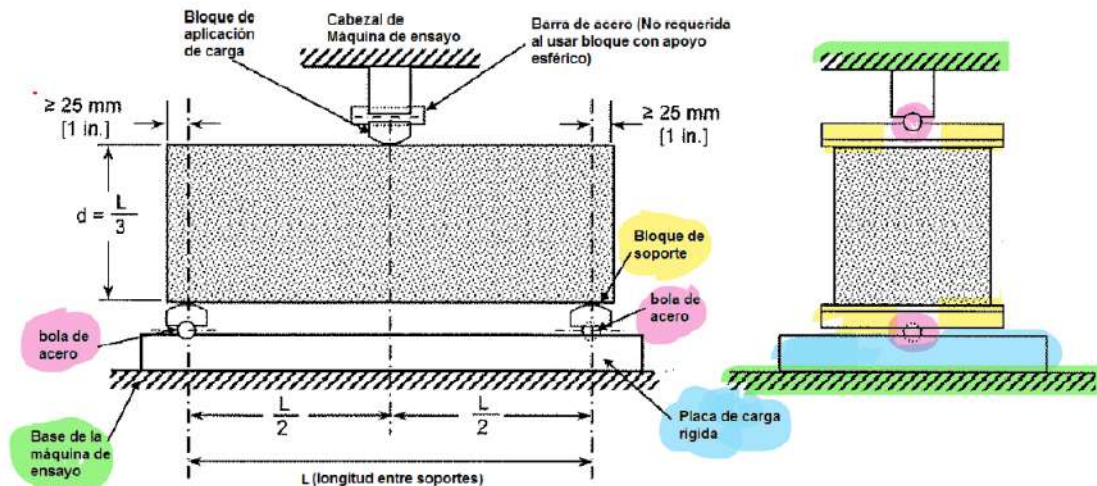


Figura 26. Aparatos para ensayo de flexión en vigas de concreto. Adaptada de ASTM C293-04 [69].

Procedimiento

Primero, las vigas de concreto deben ser sometidas al ensayo lo más antes posible después de abandonar las condiciones de curado, ya que un secado excesivo puede disminuir el módulo de ruptura; antes de ensayar las vigas, estas deben ser marcadas de manera transversal a lo largo de su luz, esto para garantizar la correcta ubicación de la muestra sobre los bloques de soporte y aplicación. Segundo, se gira la muestra 90° respecto a la posición en la que fue moldeada y se la coloca sobre los bloques de soporte. Finalmente, se aplica la carga de manera continua entre 0.9 y 1.2 MPa/min.

Cálculos:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

- R = Módulo de ruptura, MPa (lb/pulg²).
- P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf).
- L = Luz (longitud) entre soportes, mm (pulg).
- b = Ancho promedio del espécimen, en la fractura, mm (pulg).
- d = Espesor promedio del espécimen, en la fractura, mm (pulg).

Los valores de b y d se extraen de la sección transversal fracturada del espécimen, estos son un promedio de como mínimo tres medidas, tomadas en los extremos y el centro.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Resultados de las propiedades químicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal.

Se observa que la suma de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , en la ceniza de cristal es de 83.8%, siendo mayor respecto a la ceniza co-pliniana que presenta un 80.5%. Ambas son mayores que los requerimientos de la ASTM C618.

Tabla 38. Requisitos químicos según ASTM C618 vs resultados químicos de ceniza volcánica.

Propiedades químicas	Ceniza (puzolana)		
	N*	Co-pliniana	Cristal
Dióxido de silicio (SiO_2) + Óxido de aluminio (Al_2O_3) + Óxido de hierro (Fe_2O_3), mín. %	70.0	80.5	83.8
Óxido de calcio (CaO), %	solo informar	7.8	0.8
Contenido de humedad, máx., %	3.0	0.90	0.56
Pérdida en ignición, máx., %	10.0	1.89	1.99

Nota: (*) Requisitos para Puzolana Tipo N, según ASTM C618.

Se determina otra diferencia en el porcentaje de Óxido de Calcio (CaO), siendo la ceniza co-pliniana la que mayor contenido presenta respecto a la de cristal, 7.8 % contra 0.8 %, respectivamente. En cuanto al contenido de humedad, ambas cenizas no superan el porcentaje permitido por la ASTM C618, que es del 3.0 %,

Finalmente, respecto a la pérdida por calcinación o ignición (LOI), la ceniza co-pliniana muestra un porcentaje menor respecto a la ceniza de cristal, a su vez, ambas cenizas presentan un porcentaje muy inferior respecto al máximo permitido por la norma ASTM C618. La ceniza co-pliniana tiene un LOI de 1.89 % y la ceniza de cristal 1.99 %.

4.1.2. Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal

Tabla 39. Requisitos físicos-mecánicos según ASTM C618 y resultados físicos de las cenizas volcánicas.

Propiedades físicas / mecánicas	Ceniza (puzolana)		
	Tipo N	Co-pliniana	Cristal
Finura			
Cantidad retenida después de tamizado por	34	20.9	39.0
Índice de actividad de resistencia			
Con cemento portland, a 7 días, mín., %	75	76.06	47.62
Con cemento portland, a 28 días, mín., %	75	90.94	55.46
Densidad			
	Solo informar	1.44	1.86
Coficiente de variación, máx., %			
	5	1.26	1.12

Respecto a la finura, varía de acuerdo al tipo de ceniza y el tiempo de molienda; siendo para la ceniza co-pliniana y de cristal, 20.9 % y 39.0 %, respectivamente.

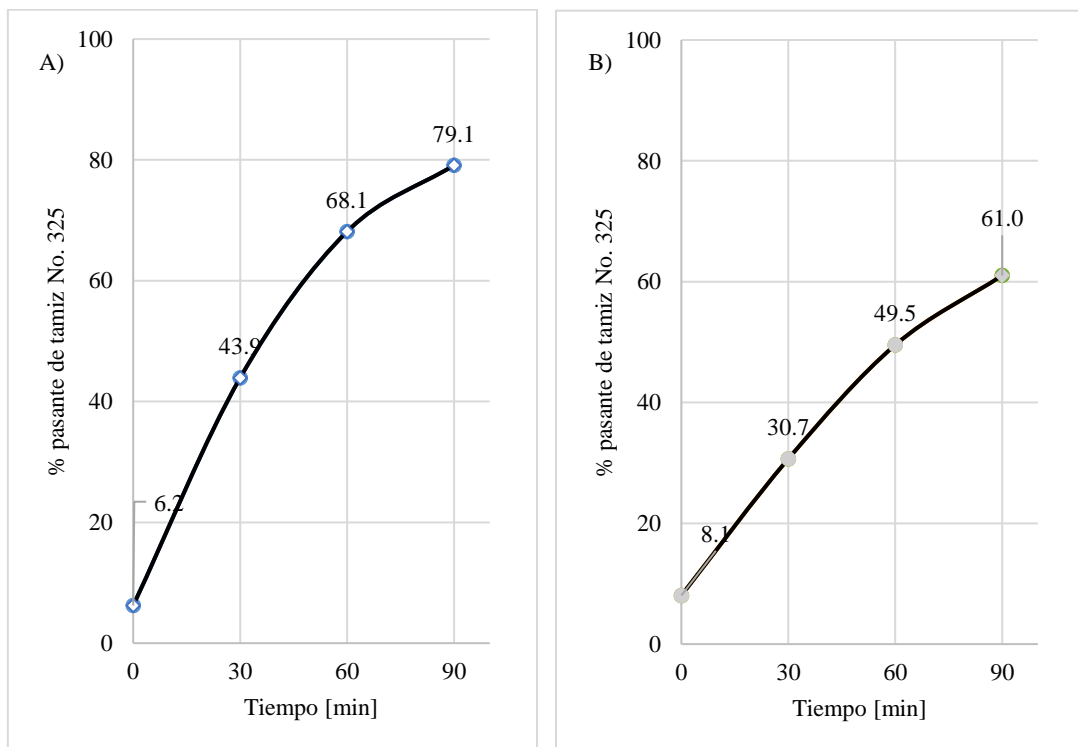


Figura 27. A) Finura de la ceniza co-pliniana y B) de cristal según el tiempo de molienda. Se observa como en función del tiempo la finura aumenta.

Si bien la densidad como tal, no es un requisito de la norma ASTM C618, sí lo es, la variación de sus resultados, estos no deben diferir en más de 5%; en las Tablas 40 y 41, se observa que ambas cenizas cumplen estos parámetros establecidos, además, se observó que la ceniza de cristal tiene mayor densidad que la ceniza co-pliniana, 1.86 y 1.44 g/cm³, respectivamente.

Tabla 40. *Densidad de la ceniza co-pliniana.*

Ensayo	1	2	3	S
Peso Seco (en horno) [g]	464.6	463.9	464.1	0.018
Masa Picnómetro lleno de agua [g]	1256.0	1254.0	1255.1	Cv [%]
Masa Picnómetro lleno de muestra y agua [g]	1432.4	1435.1	1427.9	1.264
Masa de muestra saturada de superficie seca [g]	500.0	500.0	500.0	Promedio
Densidad [g/cm ³]	1.436	1.455	1.418	1.44
Absorción [%]	7.619	7.782	7.735	7.712

Tabla 41. *Densidad de la ceniza de cristal.*

Ensayo	1	2	3	S
Peso Seco (en horno) [g]	488.4	489.0	488.5	0.021
Masa Picnómetro lleno de agua [g]	687.3	687.3	687.3	Cv [%]
Masa Picnómetro lleno de muestra y agua [g]	924.2	921.1	927.3	1.123
Masa de muestra saturada de superficie seca [g]	500.0	500.0	500.0	Promedio
Densidad [g/cm ³]	1.856	1.837	1.879	1.86
Absorción [%]	2.375	2.249	2.354	2.326

Para determinar el Índice de Actividad de Resistencia, se realiza los ensayos de mortero con el cemento tipo I, según lo establecido en la norma ASTM C109, el reemplazo de ceniza volcánica es de 35% en volumen del cemento. Las resistencias porcentuales están en base a la resistencia máxima de la muestra patrón a los 7 y 28 días (Tabla 42 y 43).

Tabla 42. *Resistencia a la compresión de mortero patrón a los 7 días.*

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv
IAP-001	3570	25.00	142.80	101.25	
IAP-002	3517	25.00	140.68	99.74	
IAP-003	3491	25.00	139.64	99.01	
Promedio			141.04	100.00	1.14

Tabla 43. Resistencia a la compresión de mortero patrón a los 28 días.

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv
IAP-004	4992	25.00	199.68	100.56	
IAP-005	5087	25.00	203.48	102.47	
IAP-006	4814	25.00	192.56	96.97	
Promedio			198.57	100.00	2.79

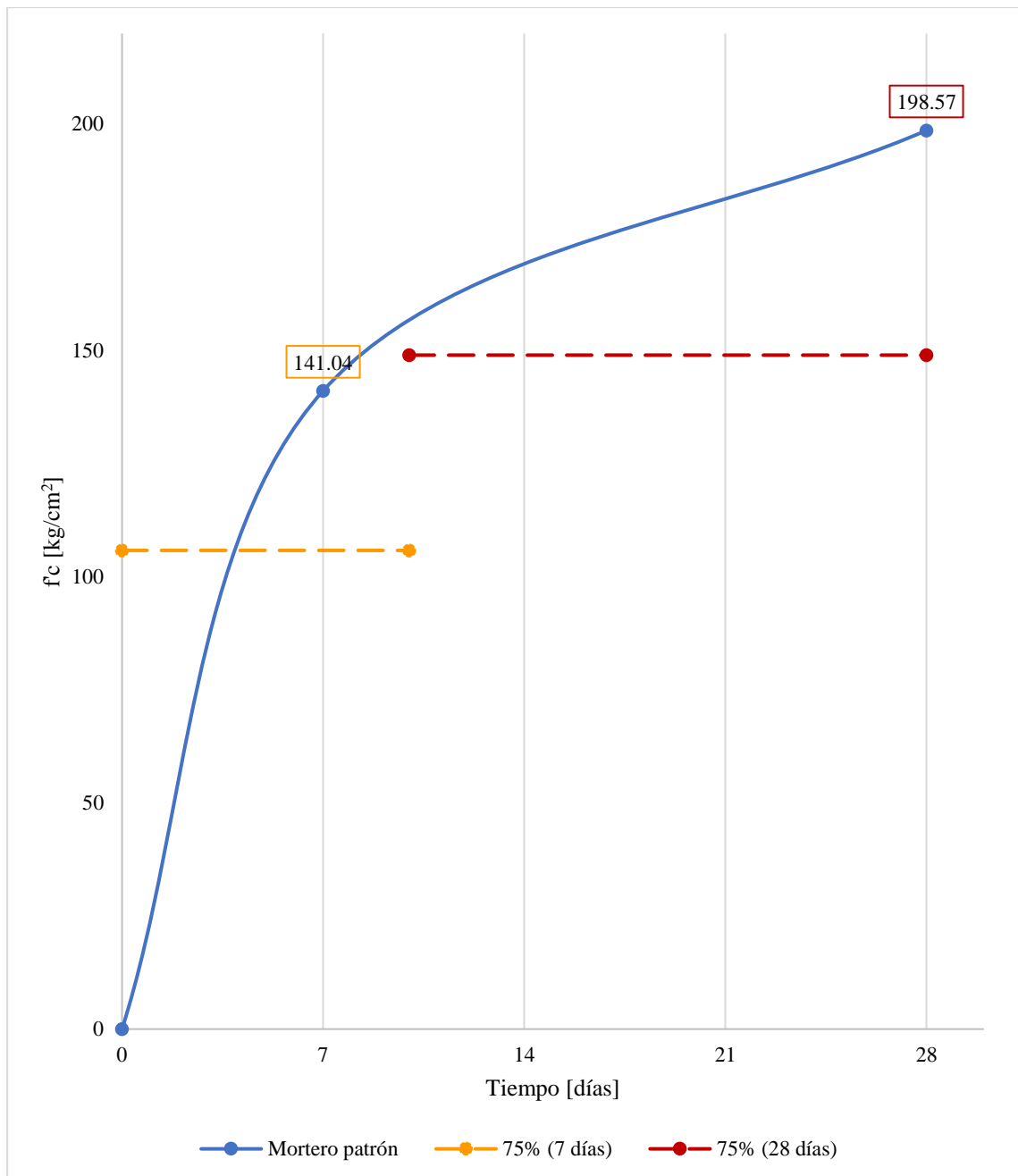


Figura 28. Resistencia a la compresión de morteros patrones a lo largo del tiempo.

Tabla 44. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza co-pliniana a los 7 días.

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv
IAP-007	2712	25.00	108.48	76.91	
IAP-008	2741	25.00	109.64	77.74	
IAP-009	2593	25.00	103.72	73.54	
Promedio			107.28	76.06	2.92

Tabla 45. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza co-pliniana a los 28 días.

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv
IAP-010	4598	25.00	183.92	92.62	
IAP-011	4507	25.00	180.28	90.79	
IAP-012	4438	25.00	177.52	89.40	
Promedio			180.57	90.94	1.78

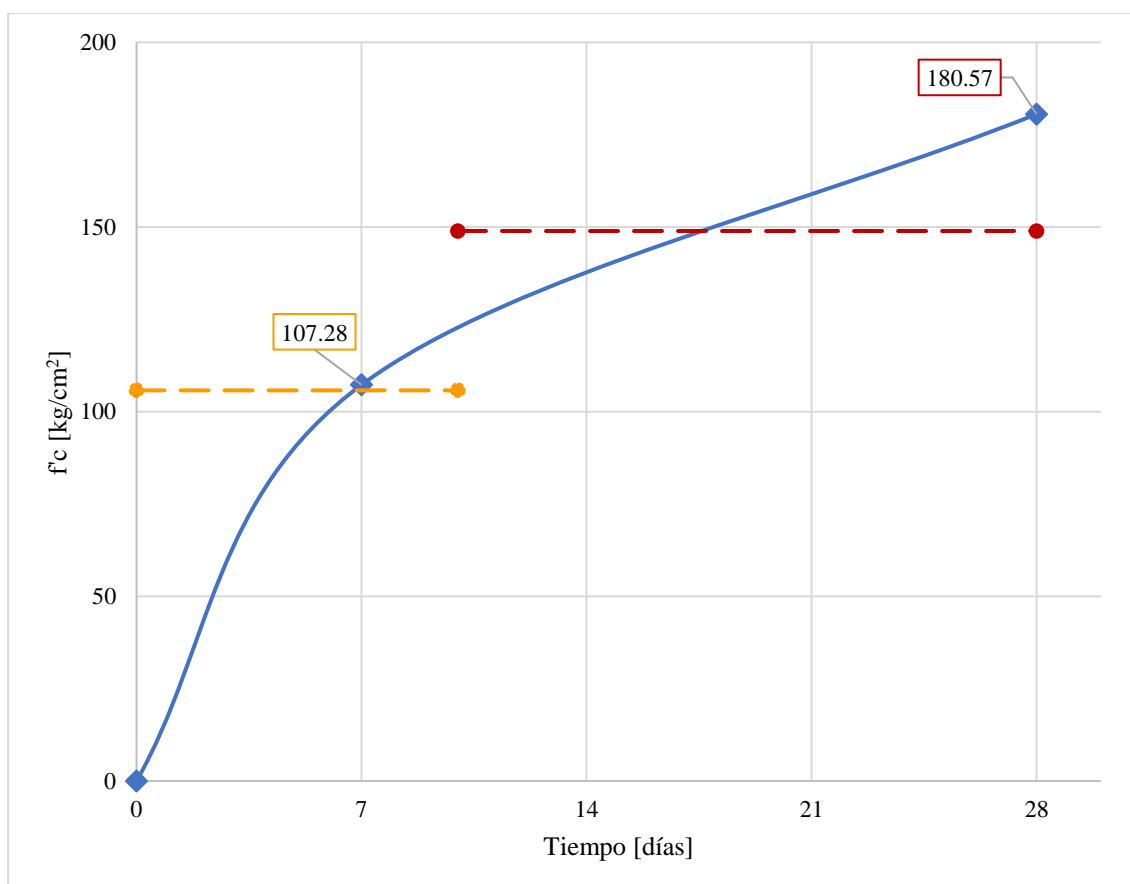


Figura 29. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza co-pliniana.

Tabla 46. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza de cristal a los 7 días.

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv
IAP-013	1632	25.00	65.28	46.28	
IAP-014	1672	25.00	66.88	47.42	
IAP-015	1733	25.00	69.32	49.15	
Promedio			67.16	47.62	3.03

Tabla 47. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza de cristal a los 28 días.

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv
IAP-016	2812	25.00	112.48	56.64	
IAP-017	2743	25.00	109.72	55.25	
IAP-018	2705	25.00	108.20	54.49	
Promedio			110.13	55.46	1.97

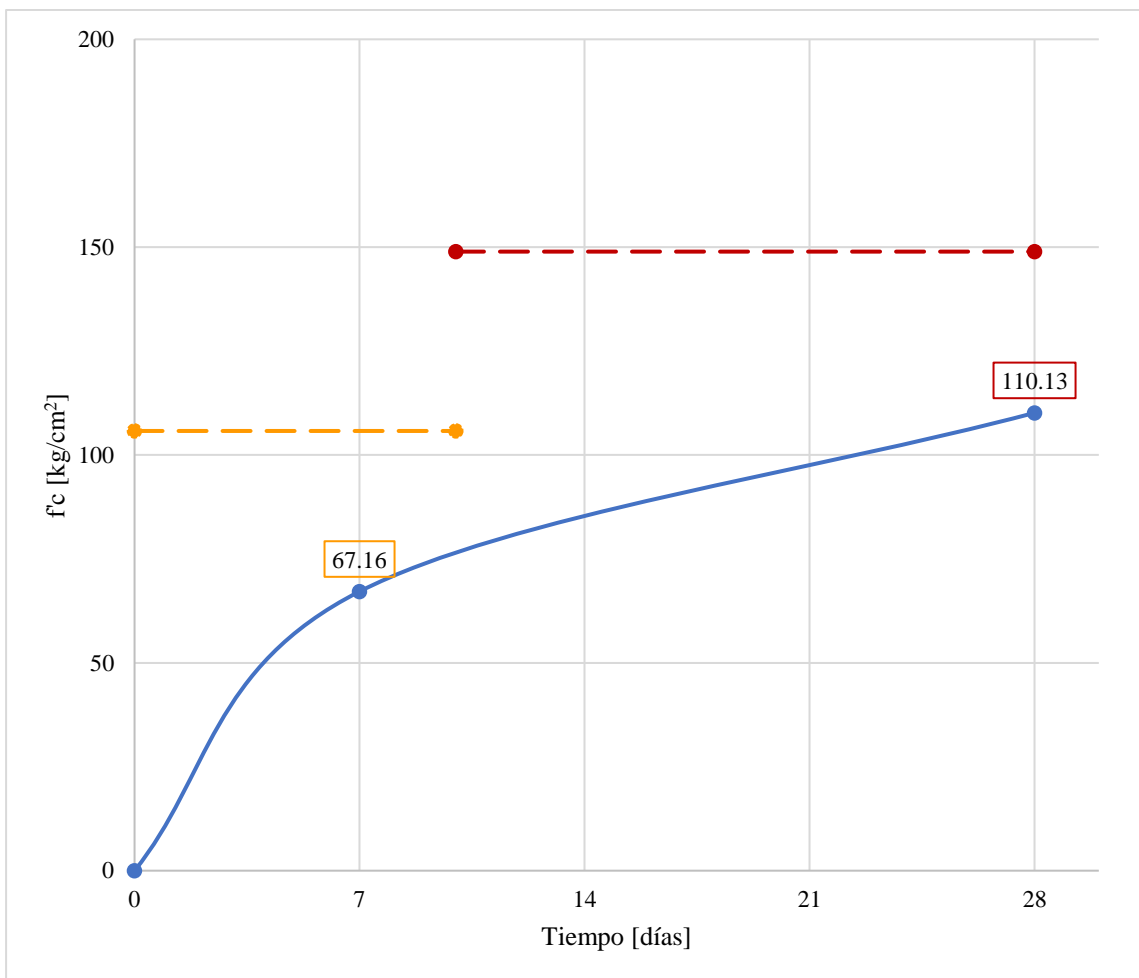


Figura 30. Resistencia a la compresión de morteros con ceniza de cristal a lo largo del tiempo.

4.1.3. Resultados de las propiedades en estado fresco del concreto modificado

4.1.3.1. Asentamiento del concreto.

Tabla 48. Asentamiento de concreto patrón y concretos experimentales.

Muestra	Porcentaje MCS	Asentamiento prom. [Slump]	
		[mm]	[in]
Patrón	0% CV	91	3.58
Ceniza co-pliniana	10% COP	88	3.46
	20% COP	72	2.83
	30% COP	63	2.48
Ceniza de cristal	10% CRI	90	3.54
	20% CRI	90	3.54
	30% CRI	83	3.27

4.1.3.2. Peso unitario y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto.

Tabla 49. Peso unitario y contenido de aire (método gravimétrico)

Muestra	Composición	Peso Unitario	Peso Unitario	Contenido de
		Real prom. [kg/m ³]	Teórico [kg/m ³]	aire prom. [%]
Patrón	0% CV	2246.9	2265.1	0.804
Ceniza co-pliniana	10% COP	2195.8	2260.4	2.857
	20% COP	2190.3	2255.6	2.894
	30% COP	2160.2	2232.4	3.235
Ceniza de cristal	10% CRI	2239.2	2262.5	1.030
	20% CRI	2210.7	2259.8	2.173
	30% CRI	2188.8	2238.7	2.226

Se observa que el contenido de aire es inversamente proporcional al peso unitario, ya sea real o teórico.

4.1.3.1. Análisis Estadístico Inferencial para las propiedades en estado fresco del concreto hidráulico modificado.

Primero, se analiza la distribución normal de todos los grupos experimentales y de control, en caso se cumpla, se continúa analizando la homogeneidad de varianzas, de cumplirse ambas se procesarán los datos mediante la prueba paramétrica “ANOVA de un Factor” y; en el caso que no se cumpla una o ambas condiciones se procesarán los datos mediante la prueba no paramétrica “H de Kruskal – Wallis” [70]. Se usa el programa SPSS Statistics v.29.

Para contrastar las hipótesis planteadas (en todas las pruebas y condiciones) se utilizará el siguiente criterio:

Si p-valor (Sig.) de la prueba $< \alpha = 0.05$ entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Si p-valor (Sig.) de la prueba $\geq \alpha = 0.05$ entonces se acepta la hipótesis nula H_0 .

Distribución Normal:

Al tener menos de 30 muestras para asentamiento, peso unitario y contenido de aire se utilizará la prueba de Shapiro-Wilk. Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : Los resultados presentan distribución normal.

H_1 : Los resultados no presentan distribución normal.

Homogeneidad de varianzas.

Se comprobará mediante la prueba de Levene. Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : Las varianzas en los grupos son iguales.

H_1 : Existe diferencia significativa entre las varianzas.

4.1.3.1.1. Asentamiento.

El asentamiento de los concretos hidráulicos pertenecientes al grupo control y grupos experimentales (10COP, 20COP y 10CRI), no presentan una distribución normal; ya que, en estos casos, p-valor (Sig.) es menor a $\alpha = 0.05$ (Tabla 50). Esto implicará que estos grupos mencionados tengan que ser analizados por estadística no paramétrica, no siendo necesario un análisis de homogeneidad de varianzas.

Tabla 50. Prueba de Normalidad (Shapiro – Wilk) - Asentamiento

MCS_Material_Cementicio_Suplementario	Estadístico	gl	Sig.
Grupo control	0.750	3	< 0.001
Ceniza Copliniana 10%	0.750	3	< 0.001
Ceniza Copliniana 20%	0.750	3	< 0.001
Asentamiento Ceniza Copliniana 30%	1.000	3	1.000
Ceniza de Cristal 10%	0.750	3	< 0.001
Ceniza de Cristal 20%	0.964	3	0.637
Ceniza de Cristal 30%	0.923	3	0.463

Nota: Corrección de significación de Lilliefors. Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v. 29.

Mediante la prueba no paramétrica de H. de Kruskal-Wallis, se analiza si existen diferencias significativas entre todos los grupos experimentales y el de control. [70]

Planteamiento de la hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): No existe una diferencia significativa entre el asentamiento promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto al asentamiento del grupo de control.

$$H_0 \rightarrow \mu_A - \mu_B = 0 \rightarrow \text{slump sin tratamiento} = \text{slump con tratamiento}$$

Hipótesis Alterna (H1): Sí existe una diferencia significativa entre el asentamiento promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto al asentamiento promedio del grupo de control.

$$H_1 \rightarrow \mu_A - \mu_B \neq 0 \rightarrow \text{slump sin tratamiento} \neq \text{slump con tratamiento}$$

Tabla 51. Resumen de prueba Kruskal – Wallis de muestras independientes – Asentamiento.

	Resultados
N total	21
Estadístico de prueba	18.128 ^a
Grado de libertad	6
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0.006

Nota: a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates. Adaptado del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Como se observa, p-valor (Sig. asintótica) = 0.006 < α = 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula; concluyendo que sí existe diferencias significativas entre algunos grupos experimentales con el de control.

Una vez hecho esto, se determinará que grupos experimentales presentan peor desempeño y cuáles, mejor, respecto al grupo control. Esto se hará mediante la prueba Post-Hoc de Mann-Whitney, que compara todos los grupos entre ellos.

Tabla 52. Comparaciones por parejas de MCS vs Grupo Control – Asentamiento.

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico de prueba estándar	Sig.	Sig. ajust. ^a
Ceniza Copliniana 30%-Grupo control	15.667	5.028	3.116	0.002	0.039
Ceniza Copliniana 20%-Grupo control	12.667	5.028	2.519	0.012	0.247
Ceniza de Cristal 30%-Grupo control	9.667	5.028	1.922	0.055	1.000
Ceniza Copliniana 10%-Grupo control	6.000	5.028	1.193	0.233	1.000
Ceniza de Cristal 20%-Grupo control	2.167	5.028	0.431	0.667	1.000
Ceniza de Cristal 10%-Grupo control	0.500	5.028	0.099	0.921	1.000

Nota: El nivel de significación es de 0.05. a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas. Adaptado del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Se concluye que solo los concretos experimentales con ceniza co-pliniana al 20 (Sig. = 0.012) y 30% (Sig. 0.002) presentan diferencias significativas respecto al grupo control, diferencias que indican una disminución notable en el asentamiento.

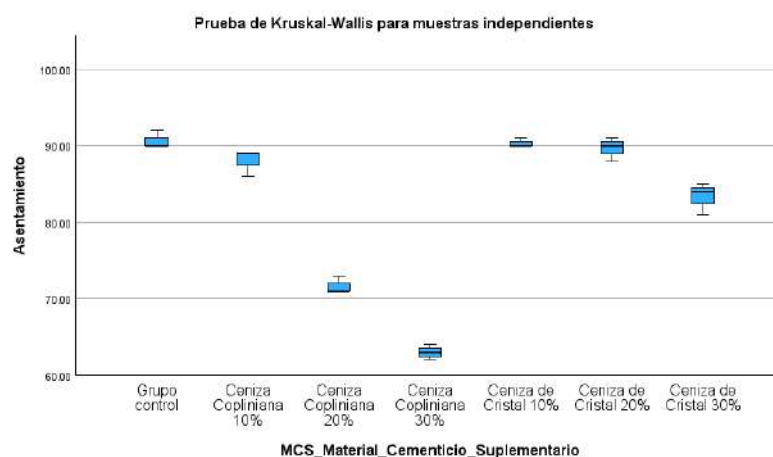


Figura 31. Prueba de Kruskal – Wallis para muestras independientes de asentamiento entre concretos hidráulicos de grupo control y experimentales.

4.1.3.1.2. *Peso Unitario.*

El peso unitario de los concretos hidráulicos pertenecientes al grupo control y grupos experimentales presentan una distribución normal; ya que, en todos los casos, p-valor (Sig.) es mayor a $\alpha = 0.05$.

Tabla 53. Prueba de Normalidad (Shapiro – Wilk) – Peso Unitario.

MCS: Material Cementicio Suplementario	Estadístico	gl	p-valor (Sig.)
Grupo control	0.999	3	0.928
Ceniza Copliniana 10%	0.801	3	0.118
Ceniza Copliniana 20%	0.994	3	0.847
Peso Unitario Ceniza Copliniana 30%	0.994	3	0.847
Ceniza de Cristal 10%	0.996	3	0.880
Ceniza de Cristal 20%	0.999	3	0.933
Ceniza de Cristal 30%	0.987	3	0.780

Nota: Corrección de significación de Lilliefors. Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v. 29.

En cuanto a la homocedasticidad, se acepta la hipótesis nula para todos los grupos (control y experimental), puesto que p-valor (Sig.) es mayor a $\alpha = 0.05$. Por ende, las varianzas en los grupos son iguales.

Tabla 54. Pruebas de homogeneidad de varianzas (Levene) – Peso Unitario.

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Peso Unitario Se basa en la media	0.292	6	14	0.931
Se basa en la mediana	0.270	6	14	0.942
Se basa en la media recortada	0.291	6	14	0.931

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Dado que los datos cumplen con los parámetros de normalidad y homocedasticidad, se analizará si existe diferencias significativas entre los grupos por la prueba paramétrica: ANOVA de un factor.

Tabla 55. ANOVA de un factor – Peso Unitario

Peso Unitario	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16579.731	6	2763.289	219.524	0.0001
Dentro de grupos	176.227	14	12.588		
Total	16755.958	20			

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Como se observa, p -valor (Sig.) = 0.0001 < α = 0.05, por ende, se acepta la hipótesis alternativa; concluyendo que sí existe diferencias significativas entre la mayoría de los grupos experimentales respecto al control.

Hecho esto, se aplica la prueba Post-Hoc de Scheffe, para saber qué grupo experimental presenta mejor desempeño y, cuales, peor, respecto al grupo control.

Tabla 56. Comparaciones múltiples – Prueba Post – Hoc de Scheffe – Contenido de aire.

(I) MCS_Materia I_Cementicio _Suplementari o	(J) MCS_Materia I_Cementicio _Suplementar io	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Grupo Control	10% Ceniza Co-pliniana	51.100	2.897	< 0.001	39.126	63.074
	20% Ceniza Co-pliniana	56.600	2.897	< 0.001	44.626	68.574
	30% Ceniza Co-pliniana	86.700	2.897	< 0.001	74.726	98.674
	10% Ceniza de Cristal	7.700	2.897	0.372	-4.274	19.674
	20% Ceniza de Cristal	36.200	2.897	< 0.001	24.226	48.174
	30% Ceniza de Cristal	58.100	2.897	< 0.001	46.126	70.074

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

En resumen, solo los concretos con 10% de ceniza de cristal no presentan diferencias significativas respecto a la muestra patrón (Sig. = 0.372 > 0.05); mientras que todos los demás grupos experimentales sí presentan diferencias significativas, de los cuales, los concretos hidráulicos del grupo experimental con 30% de ceniza co-pliniana como MCS presenta mayor disminución en el peso unitario (I-J = 86.700).

4.1.3.1.1. Contenido de aire.

El contenido de aire de los concretos hidráulicos pertenecientes al grupo control y grupos experimentales presentan una distribución normal; ya que, en cada caso, p -valor (Sig.) es mayor a α = 0.05 (Tabla 57).

Tabla 57. Prueba de Normalidad (Shapiro – Wilk) – Contenido de aire.

MCS: Material Cementicio Suplementario	Estadístico	gl	p- valor (Sig.)
Grupo control	0.995	3	0.870
Ceniza Copliniana 10%	0.807	3	0.132
Ceniza Copliniana 20%	0.995	3	0.862
Contenido de aire Ceniza Copliniana 30%	0.992	3	0.833
Ceniza de Cristal 10%	0.997	3	0.890
Ceniza de Cristal 20%	0.996	3	0.886
Ceniza de Cristal 30%	0.991	3	0.823

Nota: Corrección de significación de Lilliefors. Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v. 29.

Respecto a la homocedasticidad, no existen diferencias entre las varianzas, puesto que el p-valor (Sig.) es superior a $\alpha = 0.05$ (Tabla 58).

Tabla 58. Pruebas de homogeneidad de varianzas (Levene) – Contenido de aire.

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	0.283	6	14	0.936
Se basa en la mediana	0.260	6	14	0.947
Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.260	6	12.896	0.946
Se basa en la media recortada	0.282	6	14	0.936

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Por tales motivos, se analizará por la prueba paramétrica, ANOVA de un factor, por cumplir con las condiciones de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Tabla 59. ANOVA de un factor – Contenido de aire

Contenido de aire	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	15.911	6	2.652	107.365	< 0.001
Dentro de grupos	0.346	14	0.025		
Total	16.257	20			

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Como se observa, p-valor (Sig.) = < 0.001, por ende, se rechaza la hipótesis nula; concluyendo que sí existe diferencias significativas entre algunos grupos experimentales respecto al de control.

Hecho esto, se aplica la prueba Post-Hoc de Scheffe con el fin de conocer que grupos presentan mejor y peor comportamiento en relación al contenido de aire de los concretos del grupo control.

Tabla 60. Comparaciones múltiples – Prueba Post-Hoc de Scheffe – Contenido de aire.

(I) MCS_Materia l_Cementicio _Suplementari o	(J) MCS_Materia l_Cementicio _Suplementar io	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Grupo Control	10% Ceniza Co-pliniana	-2.050	0.128	< 0.001	-2.580	-1.520
	20% Ceniza Co-pliniana	-2.093	0.128	< 0.001	-2.624	-1.563
	30% Ceniza Co-pliniana	-2.430	0.128	< 0.001	-2.960	-1.900
	10% Ceniza de Cristal	-0.223	0.128	0.795	-0.754	0.307
	20% Ceniza de Cristal	-1.367	0.128	< 0.001	-1.897	-0.836
	30% Ceniza de Cristal	-1.423	0.128	< 0.001	-1.954	-0.893

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Concluyendo que sólo los concretos con 10% de ceniza de cristal no presentan diferencias significativas respecto a la muestra patrón (p-valor: Sig. = 0.795 > 0.05); caso contrario a los demás grupos experimentales, siendo los más distantes las muestras pertenecientes al grupo de 30% de ceniza co-pliniana (I-J = -2.430), guardando relación con los resultados obtenidos para los pesos unitarios.

4.1.4. Resultados de las propiedades mecánicas del concreto modificado

4.1.4.1. Resistencia a la compresión del concreto.

4.1.4.1.1. Resistencia a la compresión de la muestra patrón.

Tabla 61. Resistencia a la compresión de muestra patrón (3 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-001	13550	179.08	75.67	34.94	
CCC-002	13720	177.89	77.13	35.61	
CCC-003	13500	177.89	75.89	35.04	
Promedio			76.23	35.20	1.03

Tabla 62. Resistencia a la compresión de muestra patrón (7 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-004	26940	176.71	152.46	70.40	
CCC-005	27410	177.89	154.08	71.15	
CCC-006	27520	181.43	151.69	70.03	
Promedio			152.74	70.52	0.80

Tabla 63. Resistencia a la compresión de muestra patrón (14 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-007	33860	177.89	190.34	87.89	
CCC-008	33390	177.89	187.70	86.67	
CCC-009	33540	177.89	188.54	87.06	
Promedio			188.86	87.20	0.71

Tabla 64. Resistencia a la compresión de muestra patrón (28 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-010	40840	188.69	216.44	99.94	
CCC-011	39940	183.85	217.24	100.31	
CCC-012	39720	183.85	216.04	99.75	
Promedio			216.57	100.00	0.28

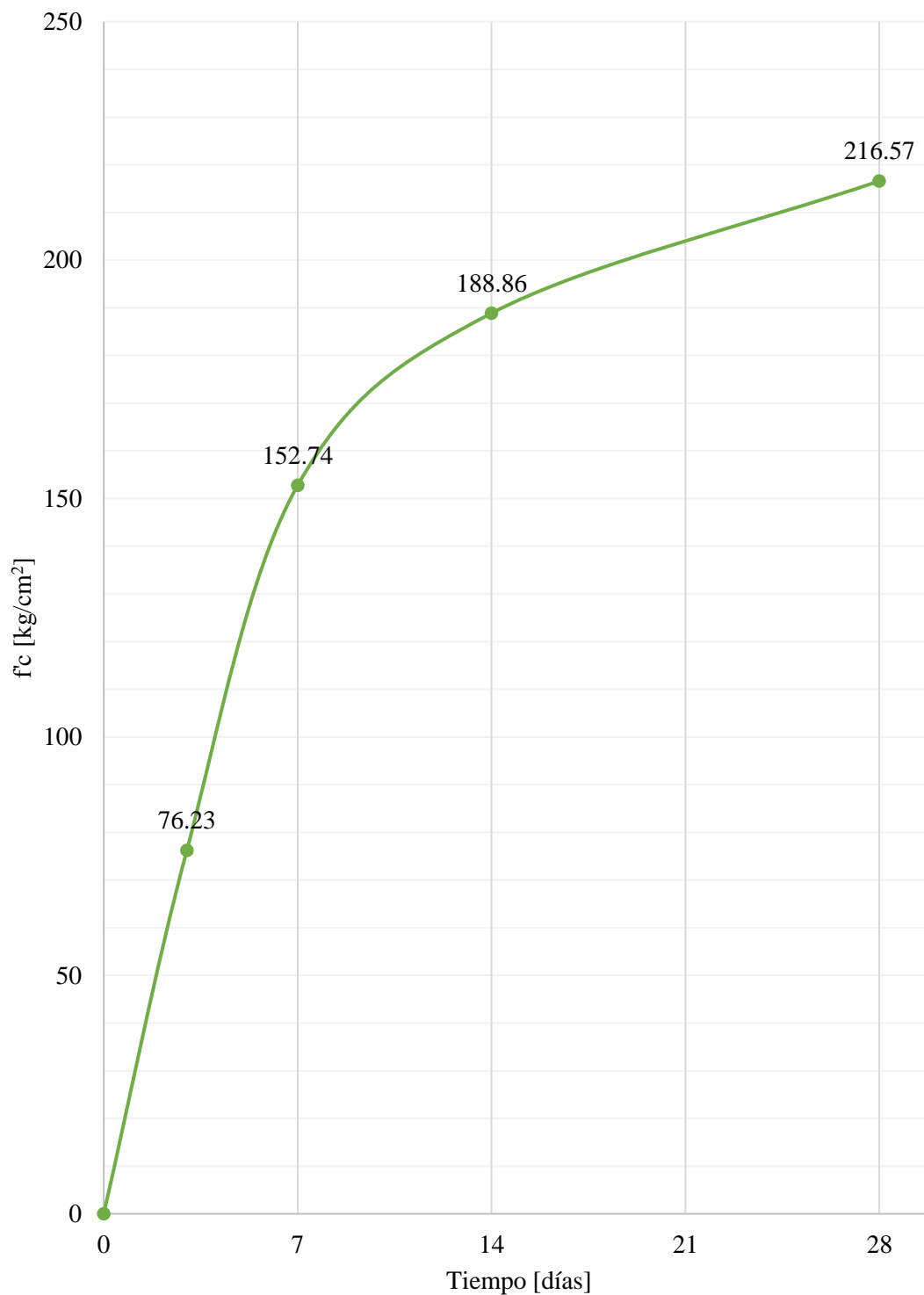


Figura 32. Resistencia a la compresión promedio de probetas de control a través del tiempo.

En la Figura 32 se aprecia el crecimiento en la resistencia a la compresión de las probetas del grupo de control. Considerando la resistencia promedio alcanzada a los 28 días como la resistencia final, se determina lo siguiente: 1) a los 3 días alcanza un 35.20%, de su resistencia final, 2) a los 7 días alcanza un 70.52% y 3) a los 14 días un 87.20%.

4.1.4.1.2. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana.

Tabla 65. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana (3 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-013	20530	176.71	116.18	50.44	
CCC-014	19380	176.71	109.67	47.62	
CCC-015	20680	177.89	116.25	50.47	
Promedio			114.03	49.51	3.31

Tabla 66. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana (7 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-016	32440	176.71	183.58	79.71	
CCC-017	32940	177.89	185.17	80.39	
CCC-018	31380	178.49	175.81	76.33	
Promedio			181.52	78.81	2.76

Tabla 67. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana (14 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-019	36710	176.71	207.75	90.20	
CCC-020	37660	177.89	211.70	91.91	
CCC-021	36410	178.49	203.99	88.57	
Promedio			207.81	90.23	1.85

Tabla 68. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana (28 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-022	40870	176.71	231.29	99.60	
CCC-023	40750	176.71	230.61	99.31	
CCC-024	41480	176.71	234.74	101.90	
Promedio			232.21	100.00	0.95

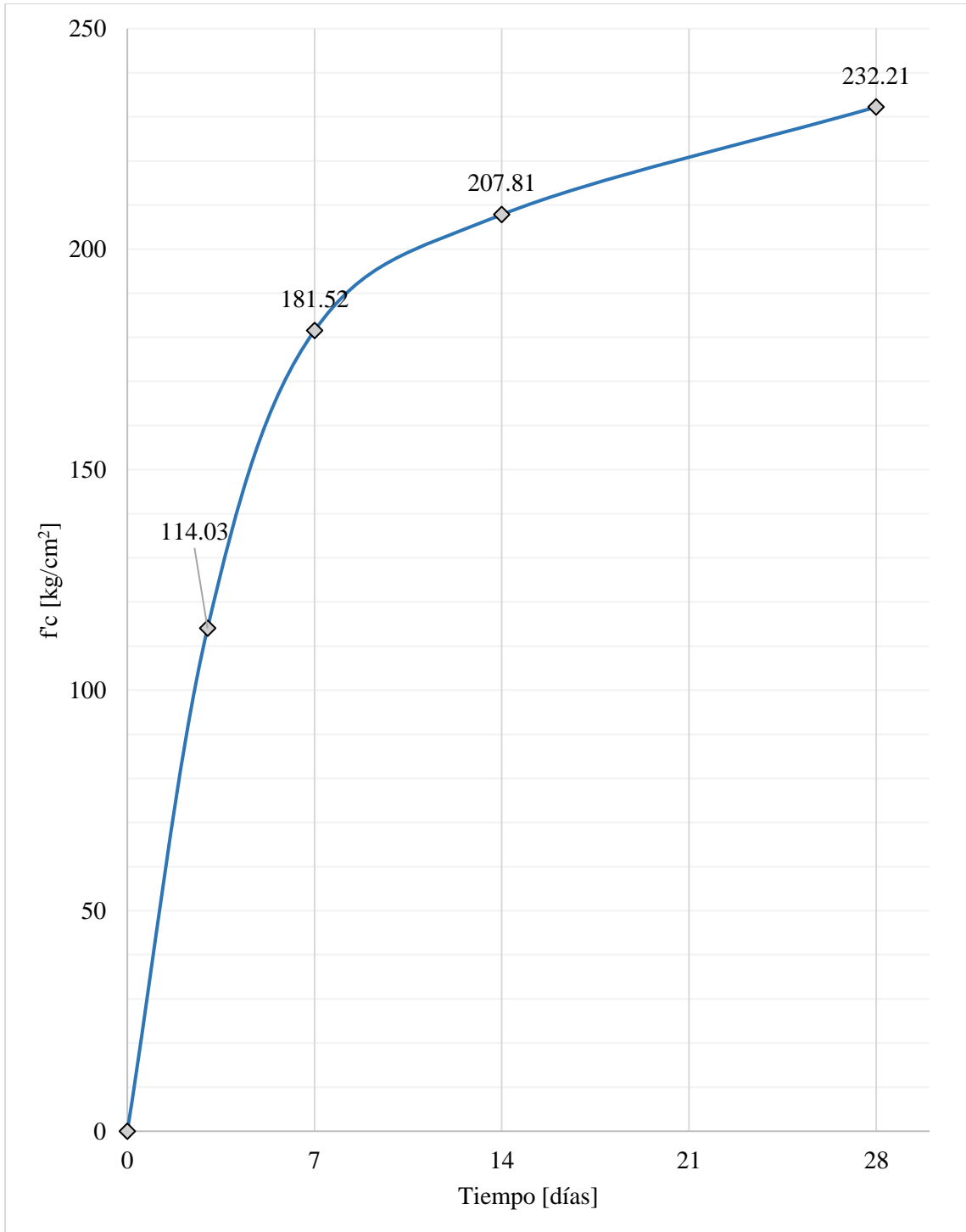


Figura 33. Resistencia promedio a la compresión de probetas con 10% de ceniza co-pliniana.

En la Figura 33, se aprecia el crecimiento en la resistencia a la compresión promedio de las probetas con 10% de ceniza co-pliniana como reemplazo de cemento. Considerando la resistencia promedio alcanzada a los 28 días como la resistencia final, se determina lo siguiente: 1) a los 3 días alcanza un 49.51%, de su resistencia final, 2) a los 7 días alcanza un 78.81% y 3) a los 14 días un 90.23%. Además, esta sustitución produce la mayor resistencia a la compresión, siendo 232.21 kg/cm².

4.1.4.1.3. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza co-pliniana.

Tabla 69. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza co-pliniana (3 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-037	19020	174.37	109.08	51.64	
CCC-038	18880	176.71	106.84	50.58	
CCC-039	19390	177.89	109.00	51.60	
Promedio			108.31	51.28	1.17

Tabla 70. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza co-pliniana (7 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-040	25600	176.71	144.87	80.51	
CCC-041	27520	177.89	154.70	85.98	
CCC-042	26470	177.89	148.80	82.70	
Promedio			149.45	83.06	3.31

Tabla 71. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza co-pliniana (14 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-043	32450	176.71	183.64	102.06	
CCC-044	33050	177.89	185.79	103.26	
CCC-045	32870	177.89	184.77	102.69	
Promedio			184.73	102.67	0.58

Tabla 72. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza co-pliniana (28 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-046	32310	179.08	180.45	100.29	
CCC-047	31500	176.71	178.25	99.07	
CCC-048	32030	176.71	181.09	100.64	
Promedio			179.93	100.00	0.83

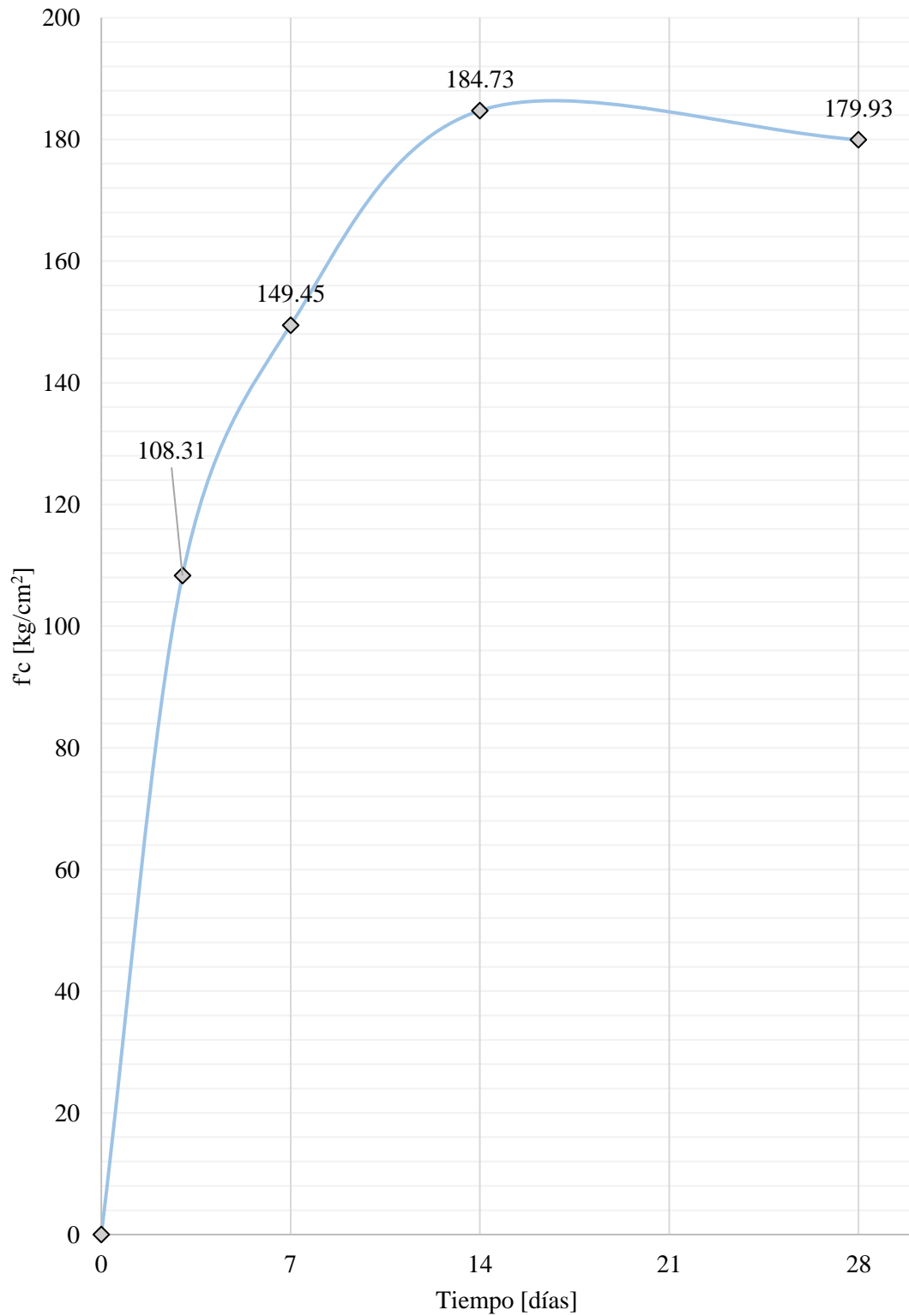


Figura 34. Resistencia a la compresión promedio de probetas con 20% de ceniza co – pliniana.

La resistencia promedio a los 28 días es de 179.93 kg/cm² (Figura 34), ligeramente inferior de la resistencia promedio a los 14 días, 184.73 kg/cm², esto puede ser un indicador de un efecto de dilución.

4.1.4.1.4. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana.

Tabla 73. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana (3 días)

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-061	14880	176.71	84.21	49.36	
CCC-062	14420	177.89	81.06	47.52	
CCC-063	13940	177.89	78.36	45.94	
Promedio			81.21	47.61	3.60

Tabla 74. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana (7 días)

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-064	21250	174.37	121.87	71.44	
CCC-065	21710	176.71	122.85	72.02	
CCC-066	20490	177.89	115.18	67.52	
Promedio			119.97	70.33	3.48

Tabla 75. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana (14 días)

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-067	26190	176.71	148.21	86.88	
CCC-068	26730	177.89	150.26	88.08	
CCC-069	27420	177.89	154.14	90.36	
Promedio			150.87	88.44	2.00

Tabla 76. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana (28 días)

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-070	30840	183.85	167.74	98.33	
CCC-071	31430	183.85	170.95	100.21	
CCC-072	31820	183.85	173.07	101.46	
Promedio			170.59	100.00	1.57

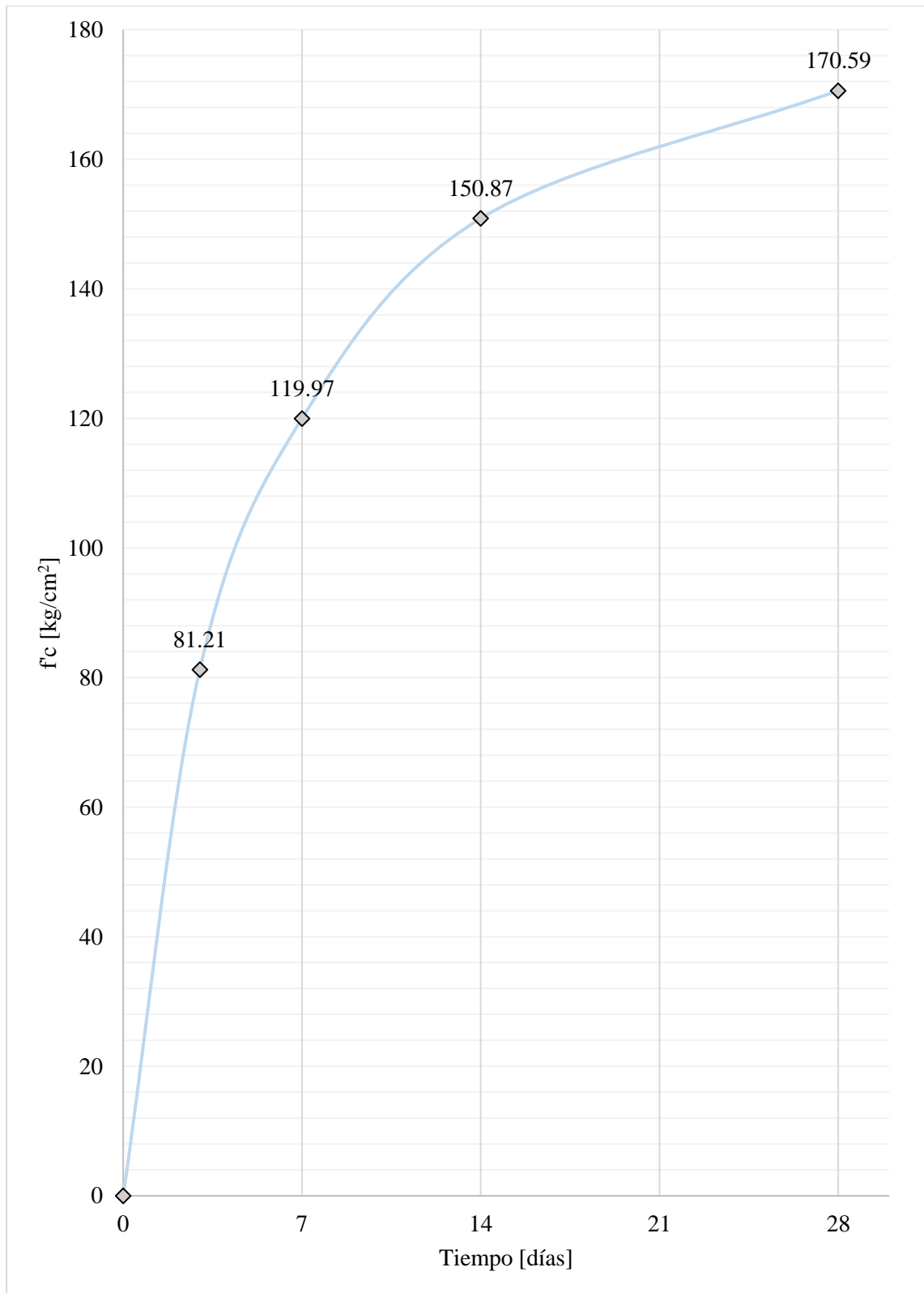


Figura 35. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza co-pliniana.

En la Figura 35, se observa que la resistencia a la compresión de este grupo (COP-30), la resistencia a los 28 días es de 170.59 kg/cm^2 , inferior a los reemplazos de 10% y 20% de ceniza co-pliniana y por ende, a la resistencia de diseño.

4.1.4.1.5. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza de cristal.

Tabla 77. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza de cristal (3 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-025	14980	183.85	81.48	42.71	
CCC-026	14420	186.27	77.42	40.59	
CCC-027	14280	186.27	76.66	40.19	
Promedio			78.52	41.16	3.30

Tabla 78. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza de cristal (7 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-028	24380	186.27	130.89	68.62	
CCC-029	25570	183.85	139.08	72.91	
CCC-030	24330	183.85	132.33	69.37	
Promedio			134.10	70.30	3.26

Tabla 79. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza de cristal (14 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-031	28870	186.27	154.99	81.25	
CCC-032	30350	186.27	162.94	85.42	
CCC-033	29970	183.85	163.01	85.46	
Promedio			160.31	84.04	2.87

Tabla 80. Resistencia a la compresión de probetas con 10% de ceniza de cristal (28 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-034	32640	176.71	184.70	96.83	
CCC-035	35200	176.71	199.20	104.43	
CCC-036	33730	179.08	188.35	98.74	
Promedio			190.75	100.00	3.95

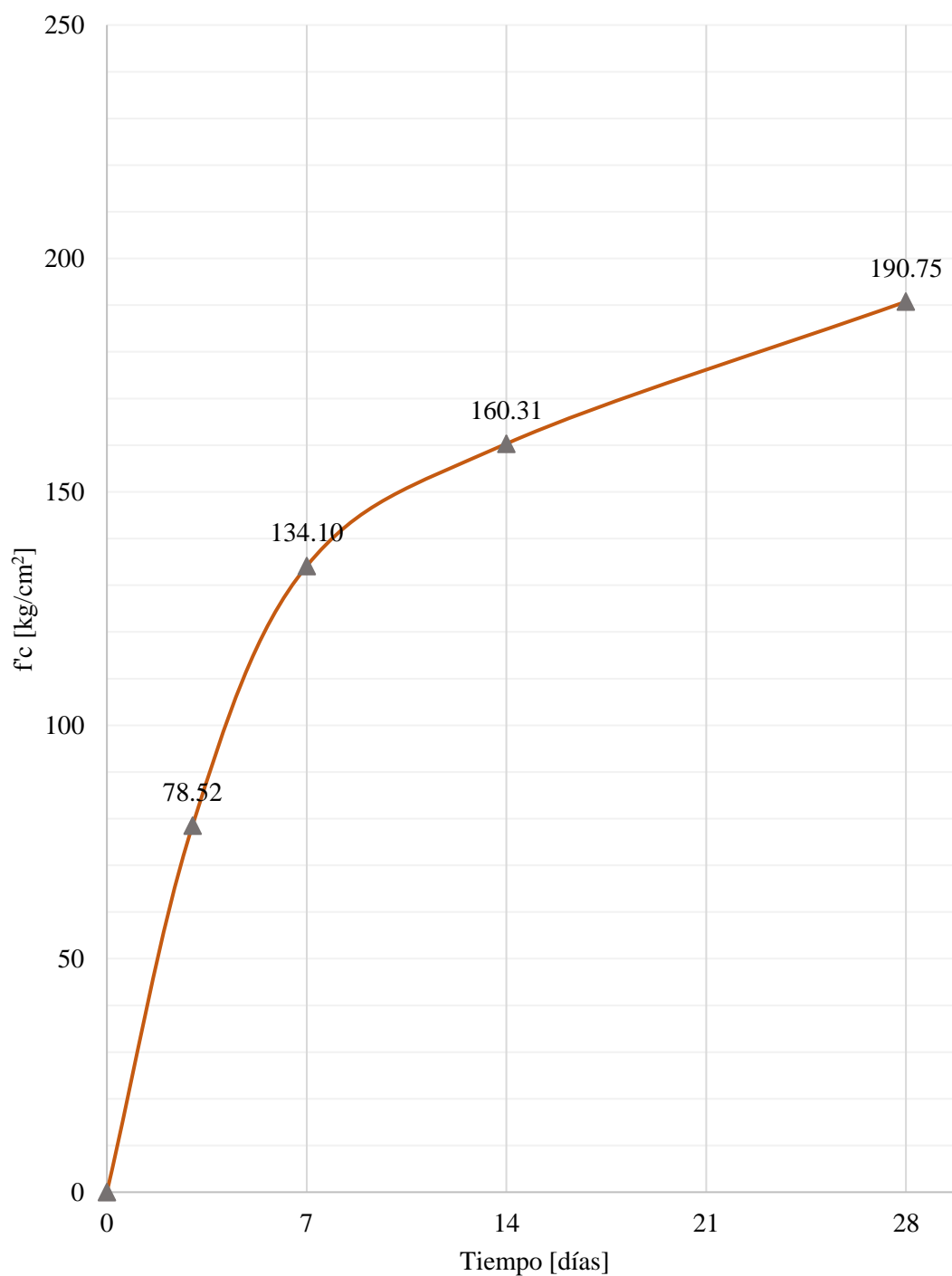


Figura 36. Resistencia a la compresión promedio de probetas con 10% de ceniza de cristal.

La resistencia promedio a la compresión a los 3 días para las probetas de concreto con 10% de ceniza de cristal en vez de cemento, es de 78.52 kg/cm^2 (42.64%), a los 7 días es de 134.10 kg/cm^2 (72.82%) y, a los 14 días es de 160.31 kg/cm^2 (87.06%). Además, la dispersión en las muestras de 28 días es la mayor (3.79%) de entre todos los grupos (de control y experimentales), esto puede deberse a problemas en el traslado, elaboración o curado, pese a ello, esta variación sigue indicando un concreto de una calidad aceptable.

4.1.4.1.6. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza de cristal.

Tabla 81. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza de cristal (3 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-049	13610	176.71	77.02	49.69	
CCC-050	12780	176.71	72.32	46.66	
CCC-051	13310	177.89	74.82	48.27	
Promedio			74.72	48.21	3.15

Tabla 82. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza de cristal (7 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-052	20980	176.71	118.73	76.60	
CCC-053	22540	177.89	126.71	81.74	
CCC-054	21680	177.89	121.87	78.63	
Promedio			122.43	78.99	3.28

Tabla 83. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza de cristal (14 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-055	26460	177.30	149.24	96.28	
CCC-056	25140	177.89	141.32	91.17	
CCC-057	25470	179.08	142.23	91.76	
Promedio			144.26	93.07	3.00

Tabla 84. Resistencia a la compresión de probetas con 20% de ceniza de cristal (28 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm ²]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-058	27480	176.71	155.51	100.33	
CCC-059	27800	176.71	157.32	101.50	
CCC-060	26890	176.71	152.17	98.17	
Promedio			155.00	100.00	1.69

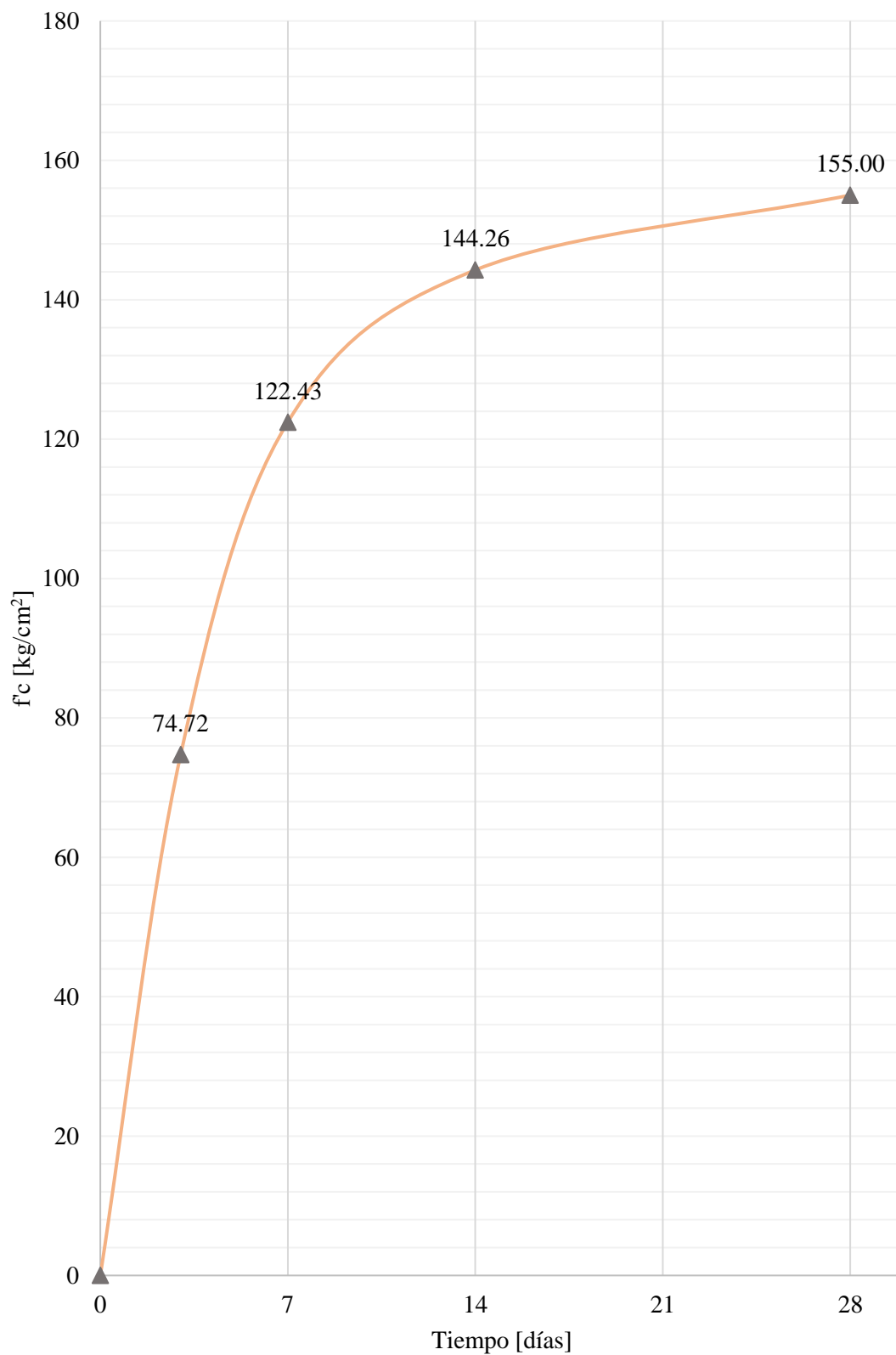


Figura 37. Resistencia a la compresión promedio de probetas con 20% de ceniza de cristal.

El crecimiento de las resistencias respecto a la resistencia promedio a los 28 días (155.00 kg/cm^2), es similar al crecimiento del anterior grupo (CRI-10).

4.1.4.1.7. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza de cristal.

Tabla 85. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza de cristal (3 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-073	11610	176.71	65.70	49.69	
CCC-074	10780	177.89	61.00	46.14	
CCC-075	11310	178.49	63.58	48.09	
Promedio			63.43	47.97	3.71

Tabla 86. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza de cristal (7 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-076	18980	176.71	107.41	81.24	
CCC-077	20540	177.89	115.46	87.33	
CCC-078	19680	177.89	110.63	83.67	
Promedio			111.17	84.08	3.65

Tabla 87. Resistencia a la compresión de probetas con 30% de ceniza de cristal (14 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-079	24460	177.30	137.96	104.34	
CCC-080	23140	177.89	130.08	98.38	
CCC-081	23470	179.08	131.06	99.13	
Promedio			133.03	100.62	3.23

Tabla 88. Resistencia a la compresión de muestras con 30% de ceniza de cristal (28 días).

Código	Carga última [kgf]	Área [cm²]	Resistencia [kgf/cm²]	Resistencia [%]	Cv [%]
CCC-082	23470	176.71	132.82	100.46	
CCC-083	23800	176.71	134.69	101.87	
CCC-084	22820	176.71	129.14	97.67	
Promedio			132.21	100.00	2.14

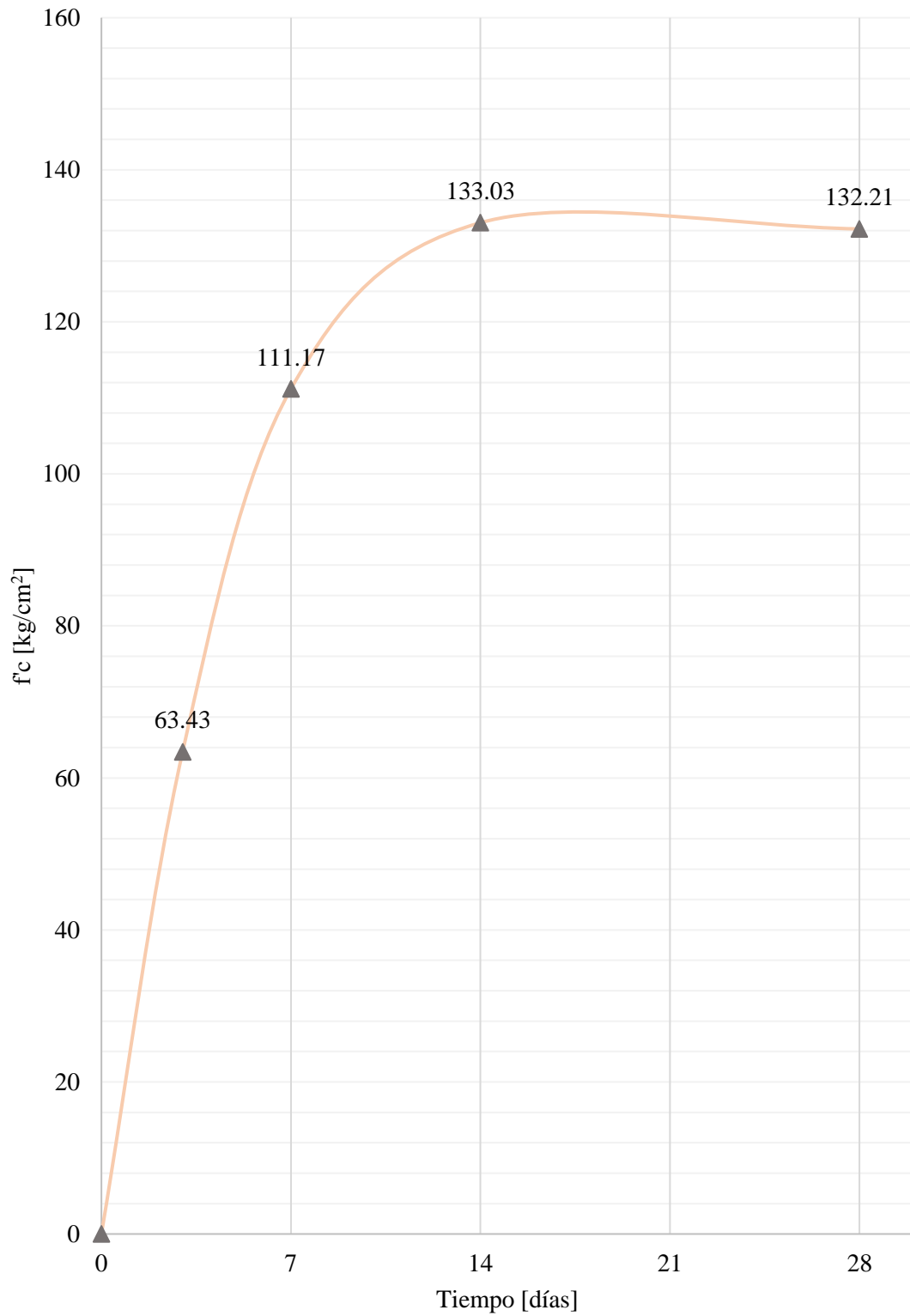


Figura 38. Resistencia a la compresión promedio de probetas con 30% de ceniza de cristal.

En la Figura 38, se determina que el grupo experimental (CRI-30) representa las menores resistencias de entre todos los grupos, siendo la resistencia promedio a los 28 días de 132.21 kg/cm^2 .

4.1.4.2. Resistencia a la tracción indirecta del concreto.

Tabla 89. Resistencia a la tracción indirecta de muestra patrón (28 días).

Código	D_{prom} [cm]	L_{prom} [cm]	P [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
TTT-001	14.89	29.95	15550	22.20	10.25	
TTT-002	14.89	29.95	15571	22.24	10.27	
TTT-003	14.86	29.95	15496	22.17	10.23	
TTT-004	14.86	29.95	15521	22.20	10.25	
TTT-005	14.83	29.95	15484	22.19	10.25	
Promedio				22.20	10.25	0.11

Tabla 90. Resistencia a la tracción indirecta de muestras con 10% de ceniza co-pliniana (28 días).

Código	D_{prom} [cm]	L_{prom} [cm]	P [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
TTT-006	14.95	29.95	22490	31.98	13.77	
TTT-007	15.01	29.95	22170	31.40	13.52	
TTT-008	15.01	29.95	23455	33.22	14.30	
TTT-009	15.01	29.95	23195	32.85	14.15	
TTT-010	14.96	29.95	22848	32.49	13.99	
Promedio				32.38	13.95	2.22

Tabla 91. Resistencia a la tracción indirecta de muestras con 20% de ceniza co-pliniana (28 días).

Código	D_{prom} [cm]	L_{prom} [cm]	P [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
TTT-016	15.09	29.95	20957	29.51	16.40	
TTT-017	15.09	29.95	20459	28.82	16.02	
TTT-018	14.92	29.95	20325	28.96	16.10	
TTT-019	14.90	29.95	20710	29.54	16.42	
TTT-020	14.90	29.95	20591	29.37	16.33	
Promedio				29.24	16.25	1.14

Tabla 92. Resistencia a la tracción indirecta de muestras con 30% de ceniza co-pliniana (28 días).

Código	D_{prom} [cm]	L_{prom} [cm]	P [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
TTT-026	14.82	29.95	16110	23.11	13.54	
TTT-027	14.84	29.95	16191	23.19	13.59	
TTT-028	14.82	29.95	16236	23.29	13.65	
TTT-029	14.96	29.95	15409	21.89	12.83	
TTT-030	14.96	29.95	16444	23.36	13.70	
Promedio				22.97	13.46	2.65

Tabla 93. Resistencia a la tracción indirecta de probetas con 10% de ceniza de cristal (28 días).

Código	D_{prom} [cm]	L_{prom} [cm]	P [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
TTT-011	14.84	29.95	15884	22.75	11.93	
TTT-012	14.84	29.95	16444	23.56	12.35	
TTT-013	14.82	29.95	14504	20.80	10.90	
TTT-014	14.88	29.95	15488	22.12	11.60	
TTT-015	14.84	29.95	15395	22.05	11.56	
Promedio				22.26	11.67	4.56

Tabla 94. Resistencia a la tracción indirecta de probetas con 20% de ceniza de cristal (28 días).

Código	D_{prom} [cm]	L_{prom} [cm]	P [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
TTT-021	14.87	29.95	15376	21.97	14.18	
TTT-022	14.76	29.95	15396	22.17	14.30	
TTT-023	14.80	29.95	15452	22.19	14.32	
TTT-024	14.80	29.95	15385	22.10	14.26	
TTT-025	14.81	29.95	15433	22.15	14.29	
Promedio				22.12	14.27	0.40

Tabla 95. Resistencia a la tracción indirecta de muestras con 30 % de ceniza de cristal (28 días).

Código	D_{prom} [cm]	L_{prom} [cm]	P [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]	Cv [%]
TTT-031	14.84	29.95	14946	21.41	16.19	
TTT-032	14.84	29.95	14679	21.03	15.90	
TTT-033	14.87	29.95	14232	20.34	15.38	
TTT-034	14.84	29.95	14118	20.22	15.30	
TTT-035	14.87	29.95	14845	21.22	16.05	
Promedio				20.84	15.77	2.56

Los valores de las resistencias porcentuales están en función de la resistencia promedio a la compresión de cada grupo (de control y experimental) a los 28 días.

4.1.4.3. Resistencia a la flexión del concreto.

Tabla 96. Resistencia a la flexión de viguetas de concreto a los 28 días de edad.

Composición	Código	b [cm]	d [cm]	L [cm]	Carga última [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia [%]
100% C + 0% CV	FFF-001	15.4	15.4	51.0	1620	33.93	15.67
90% C + 10% COP	FFF-002	15.0	15.0	50.0	1580	35.11	15.12
90% C + 10% CRI	FFF-005	15.5	16.0	50.0	1450	27.41	14.88
80% C + 20% COP	FFF-003	15.0	15.0	50.0	1350	30.00	14.20
80% C + 20% CRI	FFF-006	15.8	14.7	50.5	1150	25.51	16.46
70% C + 30% COP	FFF-004	15.0	15.0	50.0	1270	28.22	16.54
70% C + 30% CRI	FFF-007	15.2	15.2	50.0	1050	22.42	16.13

Los valores de las resistencias porcentuales están en función de la resistencia promedio a la compresión de cada grupo (de control y experimental) a los 28 días.

4.1.4.4. Análisis Estadístico Inferencial para las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado (Resistencia a la Compresión).

Se analiza de manera comparativa un grupo de control contra dos grupos experimentales; al compartir todos estos grupos la misma medición son grupos independientes. [70]

Primero, se analiza la distribución normal y la homogeneidad de varianzas de todos los grupos experimentales y de control usando el programa SPSS Statistics v.29.

Para contrastar las hipótesis, en todas las pruebas, se hará con el siguiente criterio:

Si p-valor de la prueba $< \alpha = 0.05$ entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Si p-valor de la prueba $\geq \alpha = 0.05$ entonces se acepta la hipótesis nula H_0 .

Distribución Normal

Al tener menos de 30 muestras, se utilizará la prueba de Shapiro-Wilk. [70]. Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : Los resultados presentan distribución normal.

H_1 : Los resultados no presentan distribución normal.

Homogeneidad de varianzas.

Se comprobará mediante la prueba de Levene [70]. Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : Las varianzas en ambos grupos son iguales.

H_1 : Existe diferencia significativa entre las varianzas.

Al tercer día, la medición de la compresión del concreto experimental con 20% de ceniza copliniana como MCS, no cumple con una distribución normal adecuada; de igual manera, los concretos con 10% de ceniza de cristal en el día catorce; ya que en ambos casos p-valor (Sig.) $0.018; 0.014 < 0.05$ (Tabla 97). Esto implicará que los grupos Compresión_3d y Compresión_14d sean analizados por una prueba no paramétrica [70].

Tabla 97. Pruebas de Normalidad (Shapiro – Wilk) – Compresión.

MCS: Material Cementicio Suplementario	Estadístico	gl	p-valor (Sig.)	
Compresión_3d	Grupo Control	0.860	3	0.268
	10% COP	0.758	3	0.018
	20% COP	0.777	3	0.06
	30% COP	0.998	3	0.915
	10% CRI	0.865	3	0.281
	20% CRI	0.999	3	0.930
	30% CRI	0.997	3	0.892
	Compresión_7d	Grupo Control	0.960	3
10% COP		0.873	3	0.304
20% COP		0.987	3	0.78
30% COP		0.844	3	0.225
10% CRI		0.877	3	0.316
20% CRI		0.985	3	0.766
30% CRI		0.987	3	0.780
Compresión_14d		Grupo Control	0.958	3
	10% COP	1.000	3	0.973
	20% COP	0.999	3	0.944
	30% COP	0.969	3	0.663
	10% CRI	0.757	3	0.014
	20% CRI	0.835	3	0.201
	30% CRI	0.842	3	0.218
	Compresión_28d	Grupo Control	0.964	3
10% COP		0.870	3	0.294
20% COP		0.909	3	0.413
30% COP		0.986	3	0.776
10% CRI		0.924	3	0.467
20% CRI		0.971	3	0.676
30% CRI		0.966	3	0.645

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Tabla 98. Pruebas de homogeneidad de varianzas (Levene) – Compresión.

	Se basa en la...	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p-valor (Sig.)
Compresión_3d	...media	1.371	6.000	14.000	0.292
	...mediana	0.293	6.000	14.000	0.931
	...media recortada	1.253	6.000	14.000	0.339
Compresión_7d	...media	0.846	6.000	14.000	0.556
	...mediana	0.217	6.000	14.000	0.965
	...media recortada	0.780	6.000	14.000	0.599
Compresión_14d	...media	1.906	6.000	14.000	0.150
	...mediana	0.265	6.000	14.000	0.945
	...media recortada	1.685	6.000	14.000	0.197
Compresión_28d	...media	3.765	6.000	14.000	0.019
	...mediana	0.957	6.000	14.000	0.487
	...media recortada	3.463	6.000	14.000	0.026

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Respecto a la homogeneidad, se rechaza la hipótesis nula para los casos Compresión_14d y Compresión_28d, ya que p-valor (Sig.) es igual a 0.019 y 0.026, respectivamente, siendo estos valores menores a 0.05.

Por lo tanto, solo se analizará por la prueba paramétrica, ANOVA de un factor, las muestras ensayadas el séptimo día; todas las demás serán sometidas a pruebas no paramétricas, H. de Kruskal-Wallis, por no cumplir con los requisitos de normalidad y/o homogeneidad de varianzas.

4.1.4.4.1. Resistencia a la compresión a los 3 días.

Mediante la prueba no paramétrica de H. de Kruskal-Wallis, se analiza si existe diferencias significativas entre todos los grupos experimentales y el de control.

Planteamiento de la hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Al tercer día, no existe una diferencia significativa entre la resistencia a la compresión promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

$$H_0 \rightarrow \mu_A - \mu_B = 0 \rightarrow f^c \text{ promedio con tratamiento} = f^c \text{ promedio sin tratamiento}$$

Hipótesis Alterna (H1): Al tercer día, sí existe una diferencia significativa entre la resistencia a la compresión promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

$$H_1 \rightarrow \mu_A - \mu_B \neq 0 \rightarrow f^c \text{ promedio con tratamiento} \neq f^c \text{ promedio sin tratamiento}$$

Tabla 99. Resumen de prueba Kruskal – Wallis de muestras independientes – Compresión 3 días.

N total	21
Estadístico de prueba	18.667 ^a
Grado de libertad	6
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0.005

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29. a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Como se observa, p-valor (Sig. asintótica) = 0.005 < α = 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula; concluyendo que sí existe diferencias significativas entre los grupos experimentales y de control, al tercer día de las muestras. Hecho esto, se determinará que grupos experimentales presentan menor desempeño y cuáles, mejor, respecto al grupo control. Esto se hará mediante la prueba Post-Hoc de Mann-Whitney, que compara todos los grupos entre ellos.

Tabla 100. Comparaciones por parejas de MCS vs Grupo Control – Compresión 3 días.

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico de prueba estándar	Sig.	Sig. ajust.
Ceniza de Cristal 30% - Grupo control	5.667	5.066	1.119	0.263	1.000
Ceniza de Cristal 20% - Grupo control	1.667	5.066	0.329	0.742	1.000
Ceniza de Cristal 10% - Grupo control	-3.333	5.066	-0.658	0.511	1.000
Ceniza Copliniana 30% - Grupo control	-5.667	5.066	-1.119	0.263	1.000
Ceniza Copliniana 20% - Grupo control	-9.333	5.066	-1.842	0.065	1.000
Ceniza Copliniana 10% - Grupo control	-12.333	5.066	-2.434	0.015	0.313

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29. Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales.

Se concluye que la ceniza co-pliniana al 10 % mejora significativamente la resistencia promedio a la compresión en el tercer día (Sig. = 0.015 < 0.05).

4.1.4.4.2. Resistencia a la compresión a los 7 días.

Mediante la prueba paramétrica de ANOVA de un factor, analizaremos si existe diferencias significativas entre todos los grupos experimentales y el de control.

Planteamiento de la hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Al séptimo día, no existe una diferencia significativa entre la resistencia a la compresión promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

$$H_0 \rightarrow \mu_A - \mu_B = 0 \rightarrow \bar{f}^c \text{ promedio con tratamiento} = \bar{f}^c \text{ promedio sin tratamiento}$$

Hipótesis Alternativa (H1): Al séptimo día, sí existe una diferencia significativa entre la resistencia a la compresión promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

$$H_1 \rightarrow \mu_A - \mu_B \neq 0 \rightarrow \bar{f}^c \text{ promedio con tratamiento} \neq \bar{f}^c \text{ promedio sin tratamiento}$$

Tabla 101. ANOVA de un factor – Compresión 7 días.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	10623.352	6	1770.559	103.133	0.0001
Dentro de grupos	240.349	14	17.168		
Total	10863.701	20			

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Como se observa, p-valor (Sig.) = 0.0001 < $\alpha = 0.05$, por ende, se rechaza la hipótesis nula; concluyendo que sí existe diferencias significativas entre la mayoría de los grupos experimentales respecto al control, al séptimo día de los testigos.

Hecho esto, se aplica la prueba Post-Hoc de Scheffe, para saber qué grupo experimental presenta mejor desempeño y, cuales, peor, respecto al grupo control.

Tabla 102. Comparaciones múltiples – Prueba Post-Hoc de Scheffe.

(I) MCS_Materia I_Cementicio _Suplementari	(J) MCS_Materia I_Cementicio _Suplementar	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Grupo Control	10% Ceniza Co-pliniana	-28.7767	3.3831	<.001	-42.761	-14.793
	20% Ceniza Co-pliniana	3.2867	3.3831	.984	-10.697	17.271
	30% Ceniza Co-pliniana	32.7767	3.3831	<.001	18.793	46.761
	10% Ceniza de Cristal	18.6433	3.3831	.006	4.659	32.627
	20% Ceniza de Cristal	30.3067	3.3831	<.001	16.323	44.291
	30% Ceniza de Cristal	41.5767	3.3831	<.001	27.593	55.561

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Concluyendo que solo los concretos con 20% de ceniza co-pliniana no presentan diferencias significativas respecto a la muestra patrón (Sig. = 0.984 > 0.05); mientras que todos los demás grupos experimentales sí presentan diferencias significativas, pero solo los concretos con sustitución de 10% de ceniza co-pliniana muestran una mejora notable, ya que las diferencias de medias es la menor (I-J = -28.7767) respecto al grupo control.

4.1.4.4.3. Resistencia a la compresión a los 14 días.

Con la prueba no paramétrica de H. de Kruskal-Wallis, se determina si existen diferencias significativas entre la resistencia promedio de control y experimentales, a las dos semanas.

Planteamiento de la hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): Al día catorce, no existe una diferencia significativa entre la resistencia a la compresión promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

$$H_0 \rightarrow \mu_A - \mu_B = 0 \rightarrow f^c \text{ promedio con tratamiento} = f^c \text{ promedio sin tratamiento}$$

Hipótesis Alterna (H1): Al día catorce, sí existe una diferencia significativa entre la resistencia a la compresión promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

$$H_1 \rightarrow \mu_A - \mu_B \neq 0 \rightarrow \bar{f}^c \text{ promedio con tratamiento} \neq \bar{f}^c \text{ promedio sin tratamiento}$$

Tabla 103. Resumen de prueba Kruskal – Wallis de muestras independientes – Compresión 14 días.

N total	21
Estadístico de prueba	19.498 ^a
Grado de libertad	6
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0.003

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29. a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Se determina que el p-valor (Sig. asintótica) = 0.003 < $\alpha = 0.05$, por lo tanto, se toma la hipótesis alterna; concluyendo que sí existe diferencias significativas entre los grupos experimentales y de control, a las dos semanas de elaborar las probetas.

Mediante la prueba Post-Hoc de Mann-Whitney, se determinará que grupos experimentales presentan mejor desempeño y cuáles, peor, respecto al promedio de los concretos patrones.

Tabla 104. Comparaciones por parejas de MCS vs Grupo Control – Compresión 14 días.

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico de prueba estándar	Sig.	Sig. ajust.
Ceniza de Cristal 30%-Grupo control	15.000	5.066	2.961	0.003	0.064
Ceniza de Cristal 20%-Grupo control	11.667	5.066	2.303	0.021	0.447
Ceniza Copliniana 30%-Grupo control	9.333	5.066	1.842	0.065	1.000
Ceniza de Cristal 10%-Grupo control	6.000	5.066	1.184	0.236	1.000
Ceniza Copliniana 20%-Grupo control	3.000	5.066	0.592	0.554	1.000
Ceniza Copliniana 10%-Grupo control	-3.000	5.066	-0.592	0.554	1.000

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29. Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales.

Se concluye que los concretos con cenizas de cristal al 30 y 20% (Sig. = 0.003; 0.021 < 0.05), empeoran significativamente las propiedades del grupo control; asimismo, los concretos con

ceniza co-pliniana al 20 y 10% (Sig. = 0.554; $0.554 > 0.05$), superan a la resistencia patrón, pero no de manera notable.

4.1.4.4.4. Resistencia a la compresión a los 28 días.

Con la prueba no paramétrica de H. de Kruskal-Wallis, se determina si existen diferencias significativas entre los grupos experimentales y de control a los 28 días.

Planteamiento de la hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): A los 28 días, no existe una diferencia significativa entre la resistencia a la compresión promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

$$H_0 \rightarrow \mu_A - \mu_B = 0 \rightarrow f^c \text{ promedio con tratamiento} = f^c \text{ promedio sin tratamiento}$$

Hipótesis Alterna (H1): A los 28 días, sí existe una diferencia significativa entre la resistencia a la compresión promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

$$H_1 \rightarrow \mu_A - \mu_B \neq 0 \rightarrow f^c \text{ promedio con tratamiento} \neq f^c \text{ promedio sin tratamiento}$$

Tabla 105. Resumen de prueba Kruskal – Wallis de muestras independientes – Compresión 28 días.

N total	21
Estadístico de prueba	19.636 ^a
Grado de libertad	6
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0.003

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Se determina que el p-valor (Sig. asintótica) = $0.003 < \alpha = 0.05$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula; concluyendo que sí existe diferencias significativas entre los grupos.

Utilizando la prueba Post-Hoc de Mann-Whitney, se halla cuál de las cenizas y en qué porcentaje presenta mejor y peor desempeño respecto de la resistencia a la compresión del grupo control.

Tabla 106. Comparaciones por parejas de MCS vs Grupo Control – Compresión 28 días.

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico de prueba estándar	Sig.	Sig. ajust.
Ceniza de Cristal 30%- Grupo control	15.000	5.066	2.961	0.003	0.064
Ceniza de Cristal 20%- Grupo control	12.000	5.066	2.369	0.018	0.375
Ceniza Copliniana 30%-Grupo control	9.000	5.066	1.776	0.076	1.000
Ceniza Copliniana 20%-Grupo control	6.000	5.066	1.184	0.236	1.000
Ceniza de Cristal 10%- Grupo control	3.000	5.066	0.592	0.554	1.000
Ceniza Copliniana 10%-Grupo control	-3.000	5.066	-0.592	0.554	1.000

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29. Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales.

Se obtiene que el concreto con cenizas de cristal al 30 y 20% (Sig. = 0.003; 0.018 < 0.05), empeora de manera significativa respecto a las propiedades del grupo control; además, solo el concreto con ceniza co-pliniana al 10%, mejora la resistencia a la compresión (Estadístico de prueba estándar = -0.592) pero no de manera notable, ya que Sig. = 0.554 > 0.05.

4.1.4.5. Análisis Estadístico Inferencial para las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado (Resistencia a la Tracción).

Al igual que para la resistencia a la compresión, como primer paso se analiza la distribución normal y homocedasticidad, con el fin de definir que prueba usar, ya sea paramétrica o no paramétrica [70], valiéndose del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

Para el contraste de la hipótesis, en todas las pruebas, se toma el siguiente criterio:

Si p-valor de la prueba < $\alpha = 0.05$ entonces se rechaza la hipótesis nula H0.

Si p-valor de la prueba $\geq \alpha = 0.05$ entonces se acepta la hipótesis nula H0.

Distribución Normal.

Al tener solo 5 muestras por grupo, se utilizará la prueba de Shapiro-Wilk. Planteamiento de la hipótesis:

H0: Los resultados presentan distribución normal.

H1: Los resultados no presentan distribución normal.

Tabla 107. Pruebas de Normalidad (Shapiro – Wilk).

MCS: Material_Cementicio_Suplementario	Estadístico	gl	p-valor (Sig.)
Grupo Control	0.921	3	0.537
10% COP	0.979	3	0.929
20% COP	0.860	3	0.228
Tracción_28_días	30% COP	3	0.009
	10% CRI	3	0.893
	20% CRI	3	0.211
	30% CRI	3	0.324

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29.

La medición de la tracción del concreto experimental con 30% de ceniza de cristal como MCS, no presenta distribución normal; ya que el p-valor (Sig.) = 0.009 < 0.05. Al no cumplir el requisito de normalidad, se analizará mediante una prueba no paramétrica, sin ser necesario demostrar la homogeneidad de varianzas.

Mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, analizamos si los grupos experimentales presentan la misma tracción promedio que el grupo control, planteando las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H0): No existe una diferencia significativa entre la resistencia a la tracción promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

$$H_0 \rightarrow \mu_A - \mu_B = 0 \rightarrow f^t \text{ promedio con tratamiento} = f^t \text{ promedio sin tratamiento}$$

Hipótesis Alterna (H1): Sí existe una diferencia significativa entre la resistencia a la tracción promedio del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal respecto a la resistencia promedio del grupo de control.

$$H_1 \rightarrow \mu_A - \mu_B \neq 0 \rightarrow f^t \text{ promedio con tratamiento} \neq f^t \text{ promedio sin tratamiento}$$

Tabla 108. Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes – Tracción 28 días.

N total	35
Estadístico de prueba	28.301 ^a
Grado de libertad	6
Sig. asintótica (prueba bilateral)	< 0.001

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29. a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Como el p-valor (Sig. asintótica) = “<0.001” < $\alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula; concluyendo que sí existe diferencias significativas entre algunos grupos.

Tabla 109. Comparaciones por parejas de MCS vs Grupo Control – Tracción 28 días.

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Error estándar	Estadístico de prueba estándar	Sig.	Sig. ajust.
Ceniza de Cristal 30%- Grupo control	13.000	6.479	2.006	0.045	0.941
Ceniza de Cristal 20%- Grupo control	4.800	6.479	0.741	0.459	1.000
Ceniza de Cristal 10%- Grupo control	3.000	6.479	0.463	0.643	1.000
Ceniza Copliniana 30%-Grupo control	-2.800	6.479	-0.432	0.666	1.000
Ceniza Copliniana 20%-Grupo control	-11.400	6.479	-1.759	0.079	1.000
Ceniza Copliniana 10%-Grupo control	-16.400	6.479	-2.531	0.011	0.239

Nota: Adaptada del programa estadístico SPSS Statistics v.29. Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales.

Utilizando la prueba Post-Hoc de Mann-Whitney, se determina que la sustitución de 30% de ceniza de cristal, empeora de manera significativa (Sig. = 0.045 < 0.05) el comportamiento a tracción respecto al grupo control y, la sustitución del 10% de ceniza co-pliniana mejora notablemente (Sig. = 0.011 < 0.05) la resistencia a la tracción del grupo control.

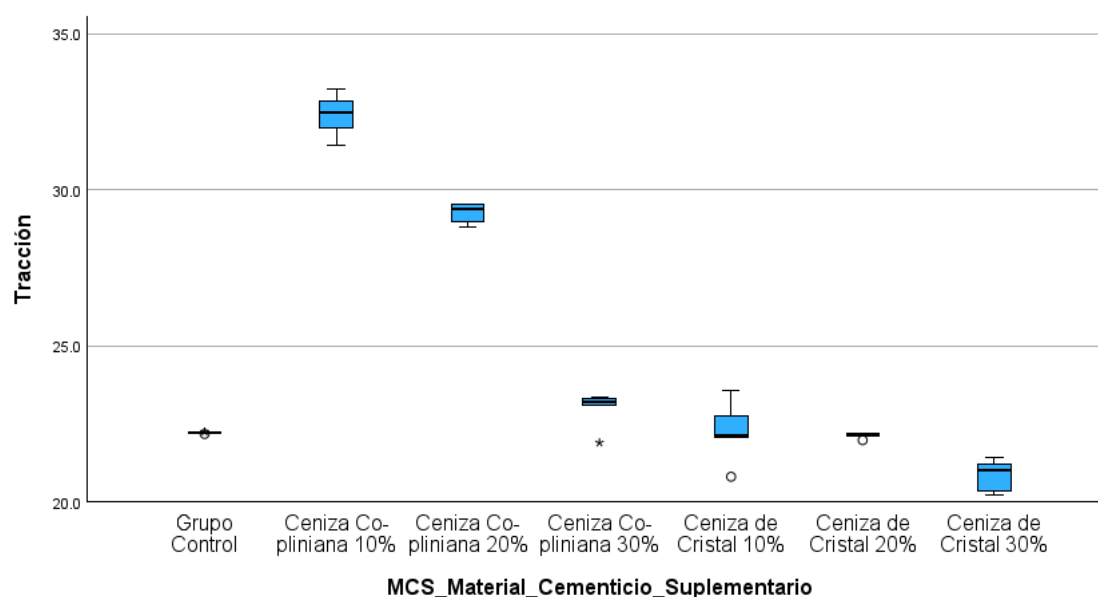


Figura 39. Prueba de Kruskal – Wallis para muestra independientes – Tracción. Elaboración propia mediante el programa SPSS Statistics v.29.

4.2. Discusión de resultados

4.2.1. Composición química de las cenizas volcánicas

En esta investigación, al determinar las propiedades químicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina, se pudo encontrar que 1) el contenido de dióxido de silicio (SiO_2) presente en la ceniza de cristal es de 64.20 %, superior a la ceniza co-pliniana, que es de 59.64 %, la mayor presencia de silicatos indica mayor presencia de cristales, esto se debe a que la ceniza co-pliniana presenta (< 1 %) de cristales, a diferencia de la ceniza de cristal, que por tener un origen freatomagmático y ser producto de un magma más rico en sílice, presenta más cristales (> 80 %) [9]; 2) también se determina que la ceniza co-pliniana presenta 7.84 % de óxido de calcio (CaO) al igual que la ceniza de cristal, pero con la diferencia de que el contenido en esta es casi insignificante, 0.84 %; según Siddique [8] una mayor presencia de CaO en la puzolana indica que fue producto de una erupción violenta, esto es corroborado por Thouret [9], quien determina que la ceniza co-pliniana es producto de una erupción pliniana ($\text{IEV} = 6$) del volcán Huaynaputina. Todos los requerimientos químicos establecidos en la ASTM C618, son cumplidos por ambas cenizas. 3) La suma de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , superan el 80 % de la composición química, en ambas cenizas de estudio; esta suma, es similar a lo obtenido por Galeas et al. [17], Silva et al. [18], Fragoso et al. [20], Molina [21] y Hermoza [13] quienes analizaron la química de diferentes cenizas procedentes de volcanes de Perú, Ecuador y Colombia. No obstante, la proporción de los componentes por separado no son similares en ninguna muestra, autores como Silva et al. [18] y Hermoza [13], quienes analizan el volcán Puracé (Colombia) y Ubinas (Perú), obtienen porcentajes elevados de SiO_2 , 87.45 % y 70.57 %, respectivamente.

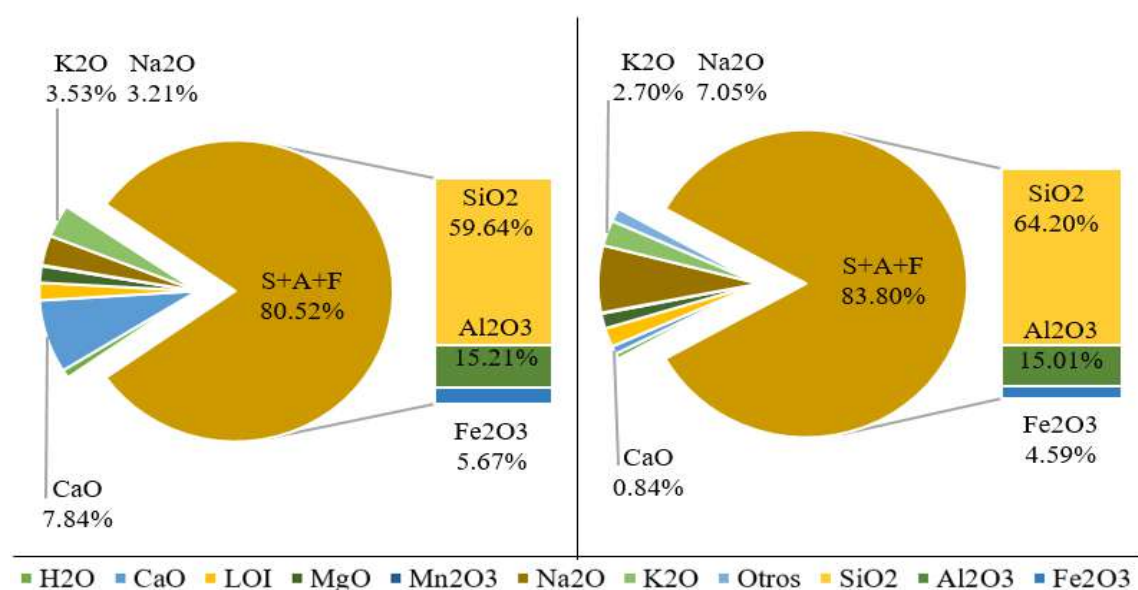


Figura 40. Composición química de la ceniza co-pliniana y de cristal.

En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar estos resultados, se confirma que la erupción pliniana, de naturaleza violenta, produjo una ceniza con mayor contenido de óxido de calcio [71]; también, un enfriamiento lento da como resultado una estructura cristalina en la ceniza de cristal, factor que afecta a la reactividad de esta puzolana hacia la cal [8].

Tabla 110. *Composición química de cenizas volcánicas de distinta procedencia.*

Volcán	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	LOI
Tungurahua	56.69	18.12	6.79	6.26	1.96	4.38	-
Puracé	87.45	0.23	1.89	0.07	-	0.05	8.35
Tolima	64.36	15.90	4.92	4.71	-	5.38	0.40
Cotopaxi cima	63.35	17.36	5.50	4.55	2.10	5.29	-
Pululahua	64.10	15.79	5.40	6.50	1.49	4.22	-
Chalupas	58.28	19.34	5.28	7.37	1.72	4.62	-
G. Pichincha	59.97	19.28	4.34	7.73	1.40	4.28	-
Ubinas	70.57	20.90	10.48	8.08	2.31	0.41	0.35

Nota: Adaptado de Galeas et al. [17], Silva et al. [18], Fragoso et al. [20], Molina [21], y Hermoza [13].

4.2.2. Propiedades físicas y mecánicas de las cenizas volcánicas.

Al determinar las propiedades físicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina, se pudo encontrar que la finura, medida como el porcentaje retenido en la malla No. 325 (45 µm) según la ASTM C430, de la ceniza de cristal, es de 39.0 % y de la co-pliniana de 20.1 % (estos valores fueron obtenidos después de 90 minutos de molienda). Esto significa que la ceniza de cristal es más resistente a la molienda que la co-pliniana.

Frente a esto, la hipótesis es rechazada para la ceniza de cristal, ya que no cumple con la finura requerida por la ASTM C618, ni en estado natural, ni procesado. Los resultados obtenidos son corroborados por Burgos [72] quien afirma que una ceniza predominantemente cristalina, es más resistente a la molienda; otros autores como Galeas et al. [17], sustituyen puzolana con partículas de mayor tamaño (pasante de la malla No. 200) a lo exigido por la norma ASTM C618 (pasante de la malla No. 325); otro autor, Carpio et al. [37] muele cenizas volcánicas de Arequipa, a los 90 minutos de molienda obtiene de 24 a 27 % de material retenido en la malla No. 325 (45 µm). Analizando los resultados obtenidos, se confirma que el tiempo de molienda que necesitan diferentes cenizas para obtener una misma fineza, depende de la dureza de los minerales que la compongan; si la ceniza de cristal pudiera reaccionar con mayor finura, esto demandaría, en términos de producción, mayor consumo de energía respecto a la ceniza co-pliniana.

Respecto a la densidad, se determina que para la ceniza co-pliniana es de 1.44 g/cm^3 y para la ceniza de cristal 1.86 g/cm^3 . Por esta razón, las sustituciones de ceniza por cemento, serán distintas en masa, pero iguales en volumen para cada porcentaje de MCS. Por otra parte, la hipótesis es aceptada, ya que la variabilidad, entre ensayos de densidad para ambas cenizas requerida por la norma ASTM C618, no es mayor al 5%. Estos resultados son corroborados con la investigación de Galeas et al. [17], quien afirma que la ceniza volcánica tiene una densidad que varía entre $0.5 - 2 \text{ g/cm}^3$. Sin embargo, la investigación realizada por Thouret [9] determina que la ceniza co-pliniana tiene una densidad de 0.73 g/cm^3 y la ceniza de cristal 1.04 g/cm^3 , estas diferencias pueden deberse al método usado, ya que lo recomendable es usar un frasco de Le Chatelier cuando la finura del material es menor a $75 \mu\text{m}$ (No. 200). Analizando todo lo obtenido, la ceniza co-pliniana está compuesta por bastante pómez y los cristales presentes en la ceniza de cristal, elevan el valor de su densidad.

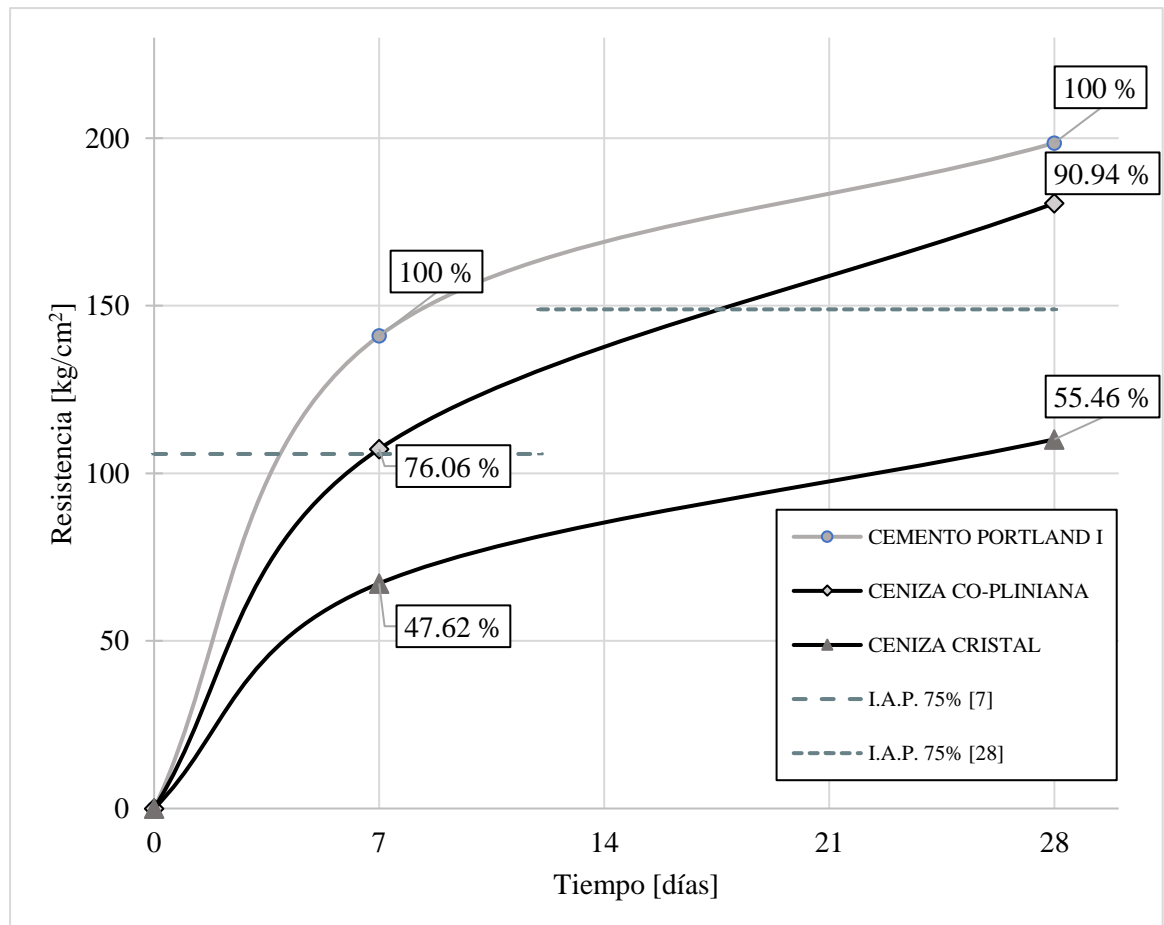


Figura 41. Gráfico comparativo de resistencia a la compresión de morteros con cemento portland I, ceniza co-pliniana y de cristal.

Por otra parte, al determinar las propiedades mecánicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal, se encuentra que el IAP de la ceniza co-pliniana es de 76.06 % y para la ceniza de cristal

es de 47.62 % a los 7 días de rotura, y a los 28 días, 90.94 % y 55.46 %, respectivamente (Figura 41). Esto significa que la ceniza co-pliniana (teniendo menos SiO₂) presenta reacción puzolánica frente a los hidróxidos de calcio del cemento a los 7 como 28 días, mientras que, la ceniza de cristal no presenta reacción, considerándose una materia inerte. Frente a esto, se acepta la hipótesis para el caso de la ceniza co-pliniana, más no para la ceniza de cristal, ya que la primera cumple con los requerimientos establecidos por la norma ASTM C618. Esto coincide con la investigación de Salazar [71] quien afirma que el CaO (óxido de calcio) es un factor determinante en la reacción puzolánica, ya que la puzolana, por su propia cuenta no reacciona con agua; además, a mayor finura, la velocidad de reacción tarda menos tiempo en evidenciarse, cumpliendo el IAR para la ceniza co-pliniana a los 7 días. No obstante, Valdez et al. [73] afirma que los minerales cristalinos, presentan algo de reactividad puzolánica, como es el caso de la cristobalita; Çavdar & Yetgin [74] refieren lo mismo, incluyendo al cuarzo, a este grupo de minerales presentes en cenizas volcánicas; Carpio et al. [37] evaluó la resistencia a la compresión a los 28 días en morteros con sustituciones de 35 % de cemento por puzolana, determina que usando distintas cenizas procedentes de tres fuentes, obtiene un IAR de 57 % para la cantera de piedra pómez, 61 % para la ceniza del km 48 y, 47 % para la cantera Yura. Analizando lo obtenido, el IAR varía si la ceniza es distinta, además, cumplir los requerimientos químicos no garantiza resultados positivos en los requerimientos mecánicos; también, la ASTM C311 indica una sustitución del 20 %, y la ASTM C109 un 35 %; en cuanto a la arena, se evidencia influencia dependiendo su tipo (estándar o local) [12].

4.2.3. Propiedades en estado fresco del concreto adicionado

Al determinar cómo afecta la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades en estado fresco del concreto hidráulico, 1) se pudo encontrar que la trabajabilidad, medida como asentamiento, de los grupos experimentales, es ligeramente menor a la muestra patrón, a excepción de los concretos con sustituciones de 10 y 20 % de ceniza co-pliniana por cemento, presentando asentamientos fuera del rango de diseño, siendo 72 mm (2.83”) y 63 mm (2.48”), respectivamente. Esto quiere decir, que mientras mayor es el porcentaje de sustitución de ceniza volcánica, ya sea co-pliniana o de cristal, el concreto es menos trabajable, esto puede deberse a la morfología y/o absorción de las cenizas.

Por lo tanto, se confirma la hipótesis específica de la investigación, ya que, las propiedades en estado fresco de los grupos experimentales empeoran respecto al grupo de control. Esta disminución en la trabajabilidad, es respaldado por Soria [80], quien en su investigación afirma que, en algunos casos, dada la gran variedad de materiales, la trabajabilidad se ve afectada, exigiendo mayor cantidad de agua. No obstante, otras investigaciones, como Carpio et al. [37]

evidencia un aumento de la trabajabilidad en concretos con cenizas volcánicas como MCS, este incremento es proporcional al porcentaje de sustitución de puzolana; a su vez, Gómez et al. [76] afirma que generalmente las puzolanas naturales otorgan mejor trabajabilidad a las mezclas de concreto ya que se añade un volumen adicional de finos. Bajo lo referido anteriormente y tras analizar estos resultados, la razón de la disminución de la trabajabilidad en el caso de los concretos con ceniza co-pliniana podría deberse a la elevada absorción (7.71 %) de esta y, en el caso de los concretos con ceniza de cristal, a su textura cristalina [9] dificultando ligeramente la circulación del agua en la mezcla; por estas razones, el uso de aditivos plastificantes podría ser una opción si se trabajara con sustituciones elevadas.

2) en cuanto al peso unitario (o peso específico) y el contenido de aire, se determina que para la mezcla del grupo de control es de 2246.9 kg/m³ y 0.804 %, respectivamente; el menor peso unitario de los grupos experimentales se observa en las mezclas con un 30 % de sustitución de ceniza co-pliniana por cemento, siendo de 2232.4 kg/m³, a su vez, las mezclas de este grupo experimental (COP 30), presentan el mayor contenido de aire, siendo de 3.235 %. Los resultados obtenidos evidencian una ligera disminución del peso unitario, en los concretos experimentales, ya sea con cualquier ceniza o porcentaje de sustitución; inversamente a esto, el contenido de aire de los grupos experimentales, aumenta, mientras mayor sea el porcentaje de reemplazo. Esto quiere decir que todos los concretos presentan una densidad normal y un contenido de aire menor al 4 %. Autores como Carpio et al. [37] determinan que el aumento del porcentaje de reemplazo de puzolana, produce pesos específicos menores respecto a concretos sin adición, aunque la diferencia, es mínima. Sin embargo, Tupa [11] al sustituir materiales volcánicos por agregados (gruesos y finos) obtiene un contenido de aire de 9 %, esto se debe, a la naturaleza porosa de los agregados, ya que, al momento del mezclado, una parte del volumen de aire que corresponde a los poros permeables de los agregados se queda en la pasta, y otra parte abandona la mezcla durante la compactación.

4.2.4. Propiedades mecánicas del concreto adicionado

4.2.4.1. Resistencia a la compresión del concreto.

Al determinar cómo afecta la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades mecánicas del concreto hidráulico. Se obtiene mediante ensayos de rotura de probetas a compresión que en los concretos (COP 10) se evidencia reacción puzolánica y, que el límite de sustitución de ceniza co-pliniana es menor al 20%; además, la ceniza de cristal influye de manera negativa en las mezclas de concreto.

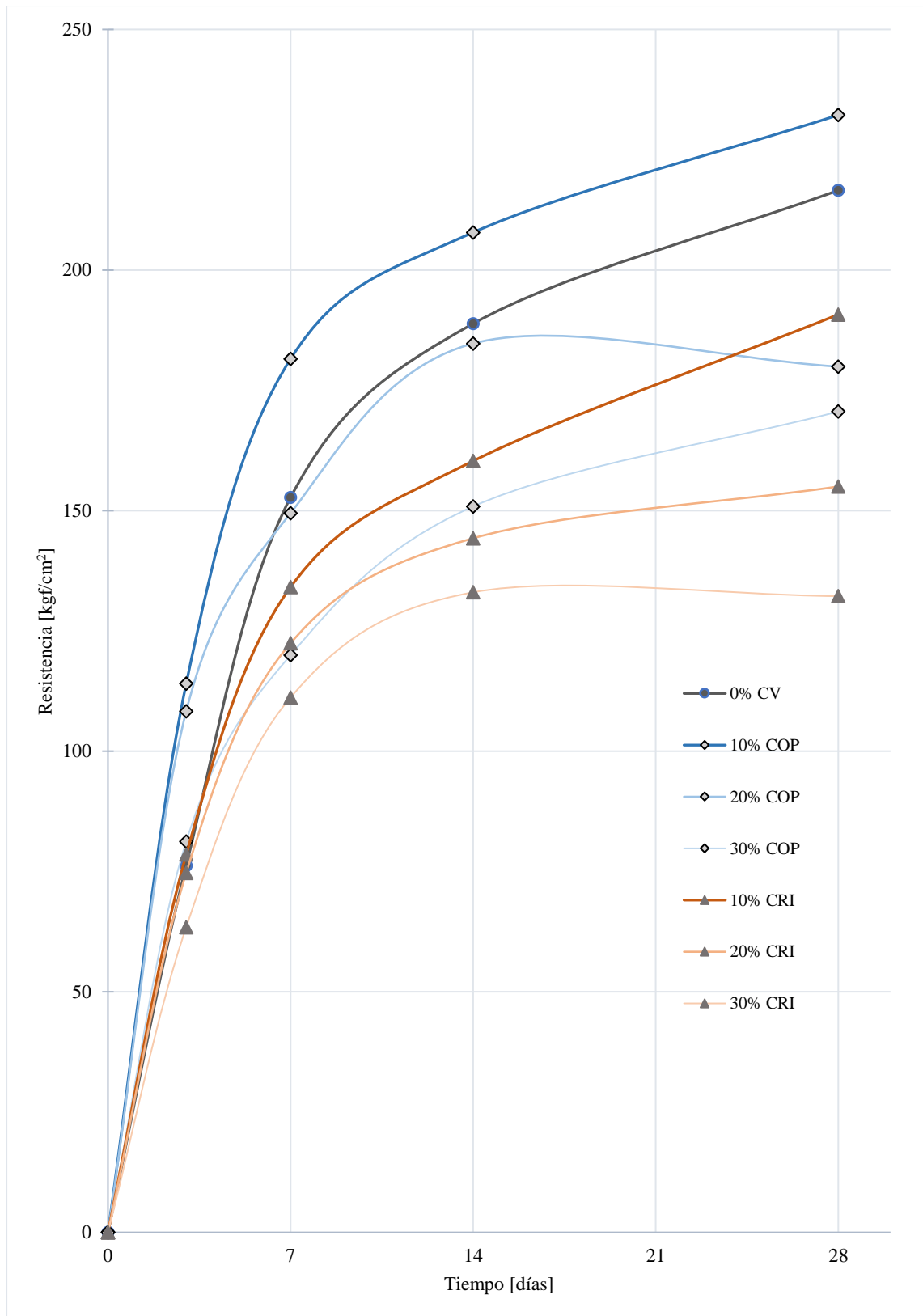


Figura 42. Resistencia a la compresión de muestras de concreto a través del tiempo con reemplazo en masa de cemento de ceniza co-pliniana y de cristal en 0%, 10%, 20% y 30%.

La Figura 42 muestra un comportamiento de la resistencia a la compresión ascendente en casi todos los casos, a excepción de 20 % COP y 30 % CRI.

4.2.4.1.1. Resistencia a la compresión de muestras de concreto a los 3 días, con reemplazo en masa de cemento de ceniza co-pliniana y de cristal en 0%, 10%, 20% y 30%.

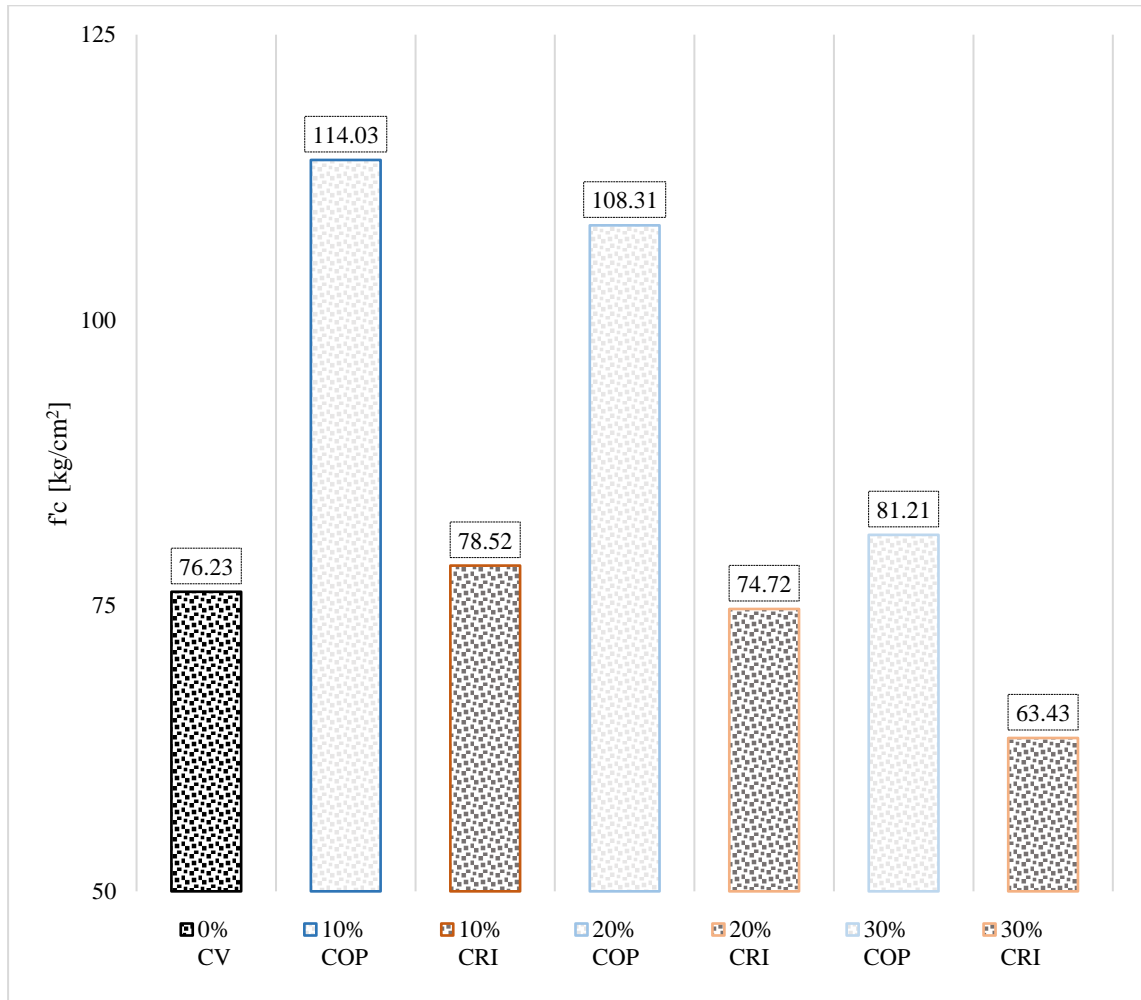


Figura 43. Influencia de cenizas volcánicas en la resistencia a la compresión de concreto a los 3 días.

En la Figura 43, se observa como la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón no difiere mucho con respecto a los concretos experimentales con ceniza de cristal (CRI 10, CRI 20 y CRI 30), estos concretos, al tercer día, alcanzan entre el 45 a 50 % de su resistencia de 28 días, por lo tanto, presentan resistencias iniciales más altas en porcentaje respecto a la muestra patrón, que alcanza el 35.20 %; sabiendo que la ceniza de cristal es un material inerte (sin reacción puzolánica), estas resistencias iniciales evidencia efecto filler, dada la finura del material. Cabe resaltar que esto también sucede en los concretos con ceniza co-pliniana, con la diferencia de que también ocurre reacción puzolánica. Esto coincide con la investigación de Zhang et al. [77] quienes afirman que la reacción puzolánica puede venir acompañada de efecto filler.

4.2.4.1.2. Resistencia a la compresión de muestras de concreto a los 7 días, con reemplazo en masa de cemento de ceniza co-pliniana y de cristal en 0%, 10%, 20% y 30%.

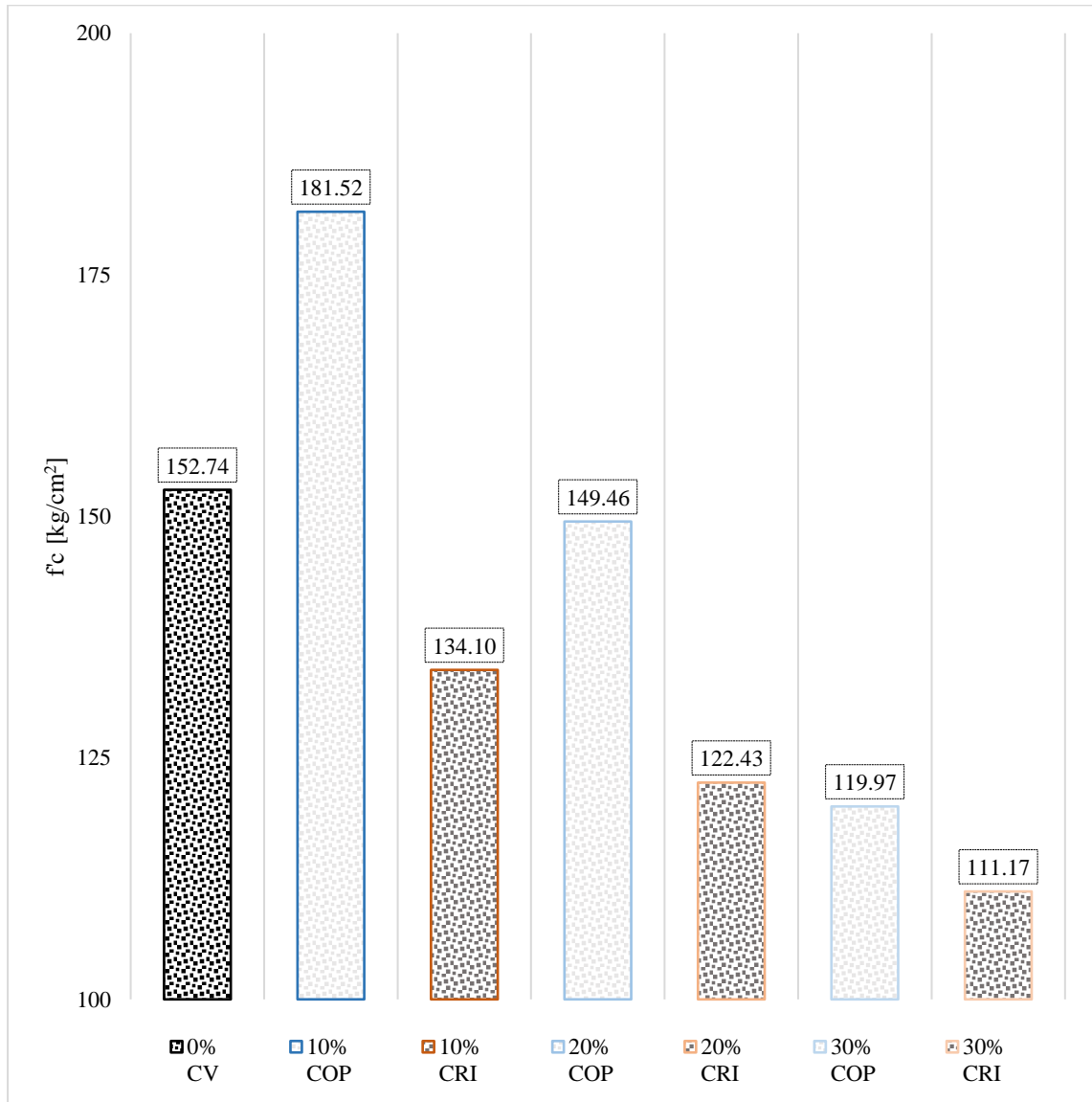


Figura 44. Influencia de cenizas volcánicas en la resistencia a la compresión de concreto a los 7 días.

Se determina que, a los 7 días, la resistencia a la compresión promedio de la muestra patrón es 152.74 kg/cm² (70.52 %) muy similar a la de los concretos (COP 20), sin embargo, la resistencia promedio mayor le corresponde al concreto (COP 10), siendo 181.52 kg/cm² (78.81 %), esta es evidencia de reacción puzolánica y efecto filler combinados [77]. También se observa que mientras mayor es el porcentaje de sustitución con cualquier tipo de ceniza, menor es la resistencia.

4.2.4.1.3. Resistencia a la compresión de muestras de concreto a los 14 días, con reemplazo en masa de cemento de ceniza co-pliniana y de cristal en 0%, 10%, 20% y 30%.

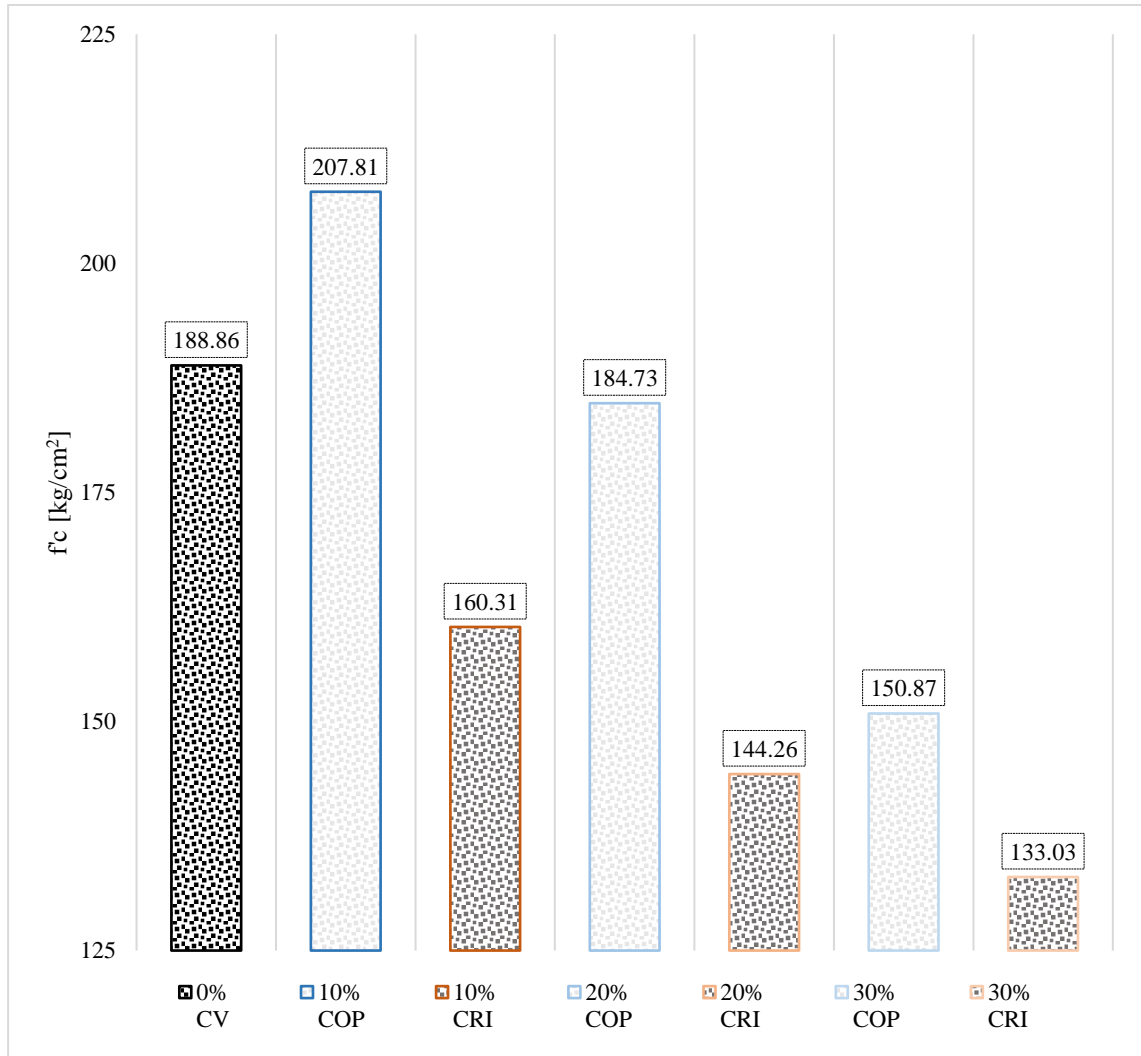


Figura 45. Influencia de cenizas volcánicas en la resistencia a la compresión de concreto a los 14 días.

A los 14 días, se observa que la resistencia a la compresión promedio de los concretos (COP 20), es de 184.73 kg/cm² (102.67 %) y a los 28 días, es ligeramente menor, siendo 179.93 kg/cm² (100.00 %). La disminución de la resistencia, puede indicar que no ocurre más reacción puzolánica, sino un efecto de dilución, probablemente, no se puede generar más C-S-H, ya que todo el CH disponible de la hidratación del cemento ya reaccionó con toda la puzolana posible, dejando una porción de ceniza sin reacción, delimitando el porcentaje de sustitución en el 20%. Una disminución similar se observa en las resistencias de los grupos (CRI 30), este efecto puede indicar el fin del efecto filler en los concretos con ceniza de cristal, dando el paso a un efecto de dilución.

4.2.4.1.4. Resistencia a la compresión de muestras de concreto a los 28 días, con reemplazo en masa de cemento de ceniza co-pliniana y de cristal en 0%, 10%, 20% y 30%.

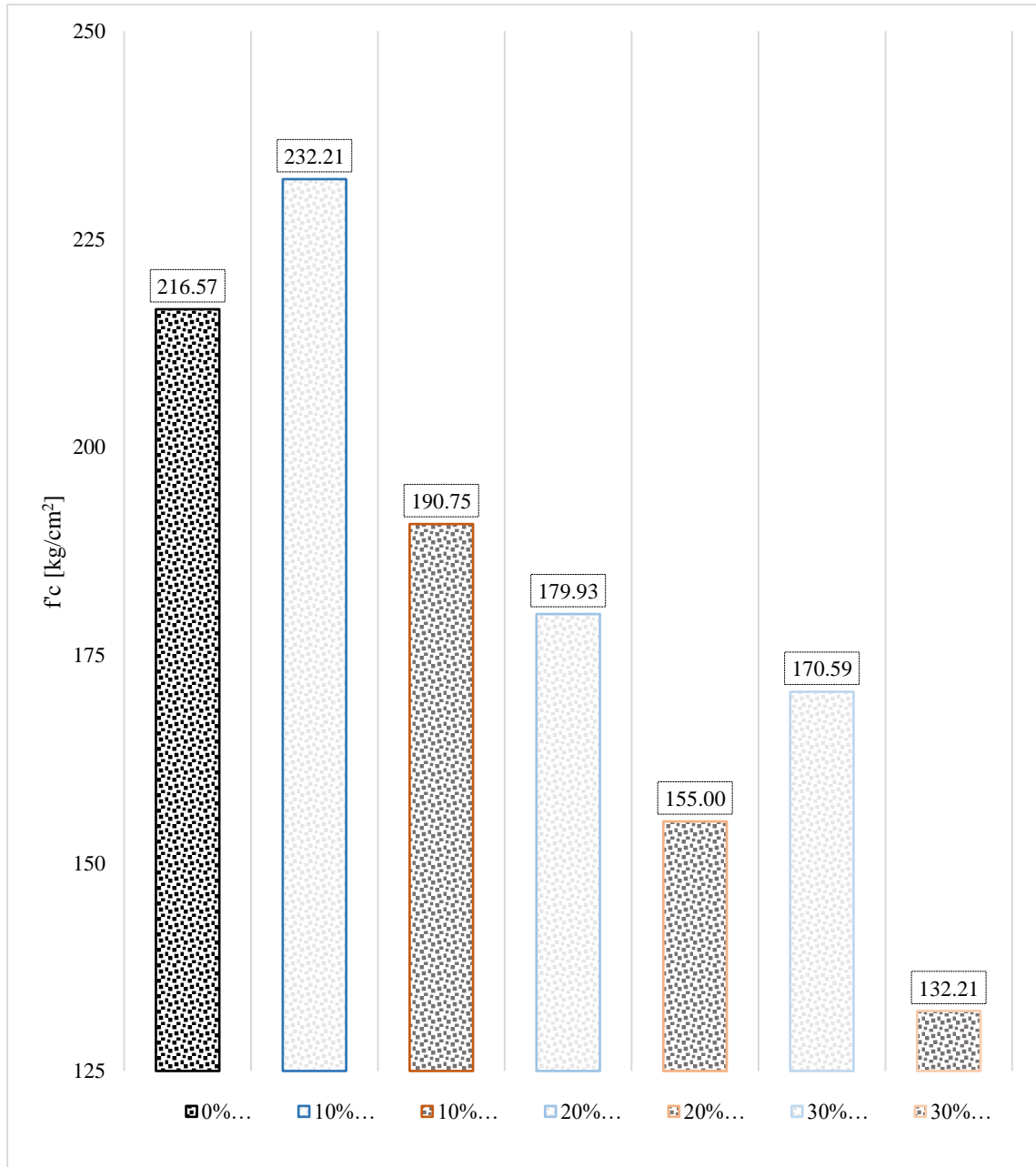


Figura 46. Influencia de cenizas volcánicas en la resistencia a la compresión de concreto a los 28 días.

Se determina que la resistencia promedio a la compresión de los concretos es 232.21 kg/cm² (COP 10), esta supera a la resistencia patrón en 7.22 %, indicador de reacción puzolánica. También, se observa que la resistencia de los concretos (CRI 20, COP 30 y CRI 30), es menor a 175 kg/cm², por tal razón, no son concretos estructurales, a diferencia de los concretos (CRI 10 y COP 20), que, si bien no llegan a la resistencia de diseño, superan los 175 kg/cm².

Investigaciones como las de Apaza et al. [15] analizando cenizas volcánicas de tres volcanes distintos (Sabancaya, Misti y Ubinas), obtiene resistencias hasta de 64 MPa a los 28 días, que se deben a la activación por medio de soluciones básicas a temperaturas de 70°C y probablemente se trabajó con un cemento tipo I.

Después de analizar estos resultados, la razón del aumento de resistencia usando 10 % de ceniza co-pliniana en edades mayores, se debe tanto a la composición química (mayor contenido de CaO, apoyando al cemento y al agua a la formación de más hidróxidos de calcio, que reaccionaran con el SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃ de la ceniza) como a la morfología y tamaño, sabiendo que esta ceniza está conformada en su mayoría por pómez [9], de naturaleza porosa y, posee un tamaño mayor a las partículas de cemento, la reacción puzolánica puede estar dándose dentro de esta, formando núcleos rígidos, disminuyendo los vacíos (esto se explica con un aumento ligero en el contenido de aire en sustituciones del 20 y 30 %, ya que no hay la cantidad suficiente de hidróxidos de calcio para reaccionar con toda la puzolana, dando paso a la evaporación del agua, aumentando los espacios vacíos), y alrededor de la puzolana, generando mayor adherencia de la pasta con los agregados.

En el caso de los concretos con ceniza de cristal, la razón de su no reacción puede deberse a su morfología cristalina [5, 6], a su composición química (porcentaje despreciable de CaO, aunque quizá pueda reaccionar con menores porcentajes de sustitución, valiéndose solo del óxido del calcio del cemento) y tamaño (recomendado por la ASTM C618).

Que los menores porcentajes de reemplazo de cemento por ceniza volcánica, den mejores resultados, no garantiza que con cementos compuestos en su mayoría por clinker portland, como el tipo I, pueda incluso incrementar la resistencia con mayores porcentajes de sustitución, puesto que se formarían más hidróxidos de calcio para hacer reaccionar a un porcentaje mayor de puzolana. Al adicionar puzolana a un cemento tipo GU, que ya contiene una proporción de esta (aunque de distinta procedencia), se forma un cemento ternario; entonces, al presentar reacción con un porcentaje de 10 %, probablemente posea cantidades menores al 15 %, siendo un IPM, que claro, la NTP 334.082 dice que, si no se especifica lo que es, se use la nomenclatura GU.

4.2.4.2. Resistencia a la tracción indirecta del concreto.

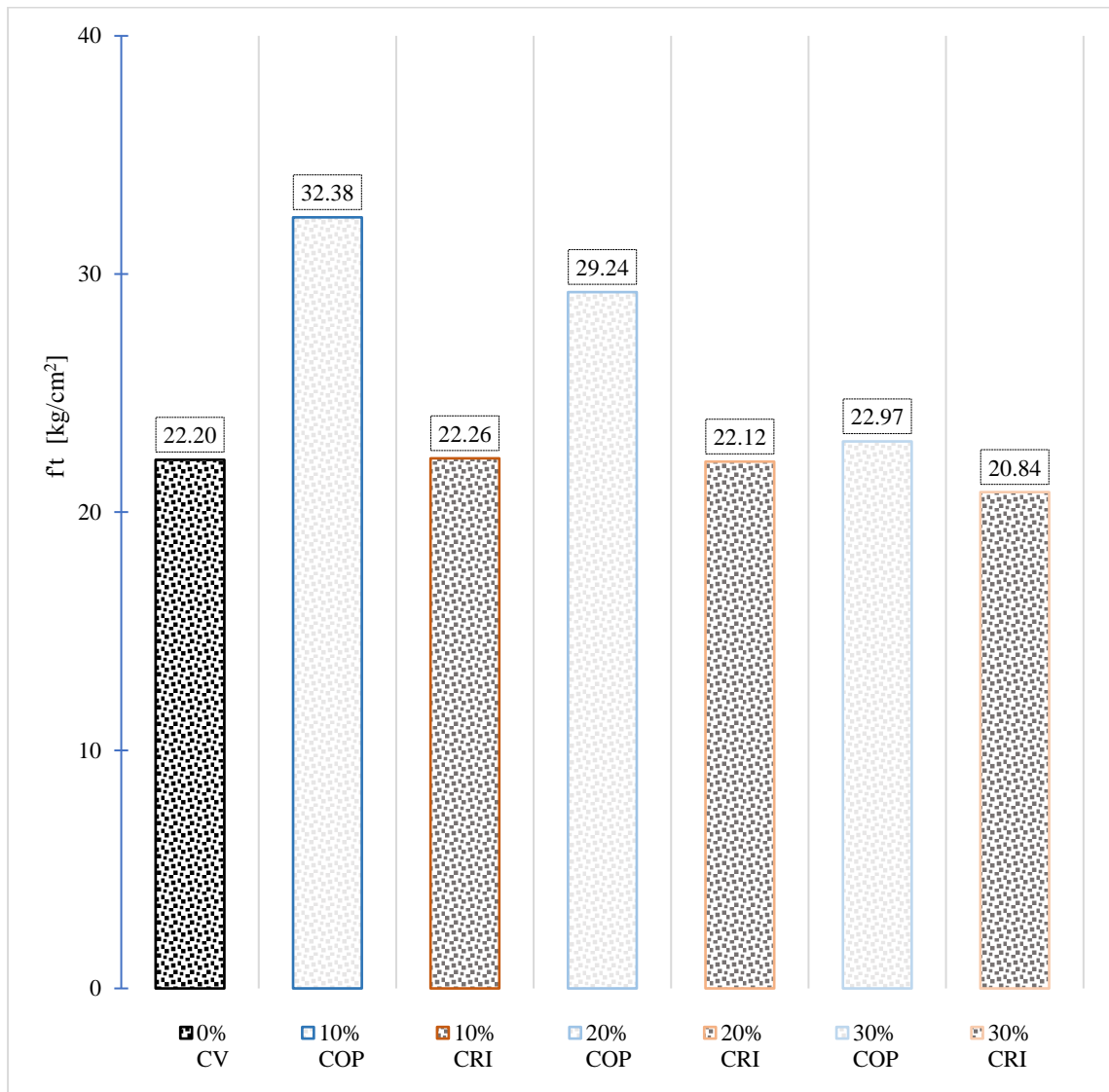


Figura 47. Influencia de las cenizas volcánicas en la resistencia a la tracción del concreto a los 28 días.

Se determina mediante ensayos de rotura de probetas de compresión diametral que los concretos de los grupos experimentales (CRI 10) presentan una resistencia a la tracción de 22.26 kg/cm² y los del grupo (CRI 20) de 22.12 kg/cm², siendo muy similares a pesar de tener 10 % menos de cemento. También, se determina que la resistencia mayor corresponde a los concretos (COP 10), siendo en promedio 32.38 kg/cm², la cual supera ampliamente a la resistencia de la muestra patrón, que es de 22.20 kg/cm². Comparados con el concreto patrón, casi todos los concretos experimentales presentan resistencias similares o mayores, y entre ambas cenizas el mejor comportamiento corresponde a los concretos con ceniza co-pliniana, esto podría explicarse por un mejor entrelace mecánico, producido por un mayor fraccionamiento (más lados angulares) de estas durante el proceso de molienda. (Figura 47).

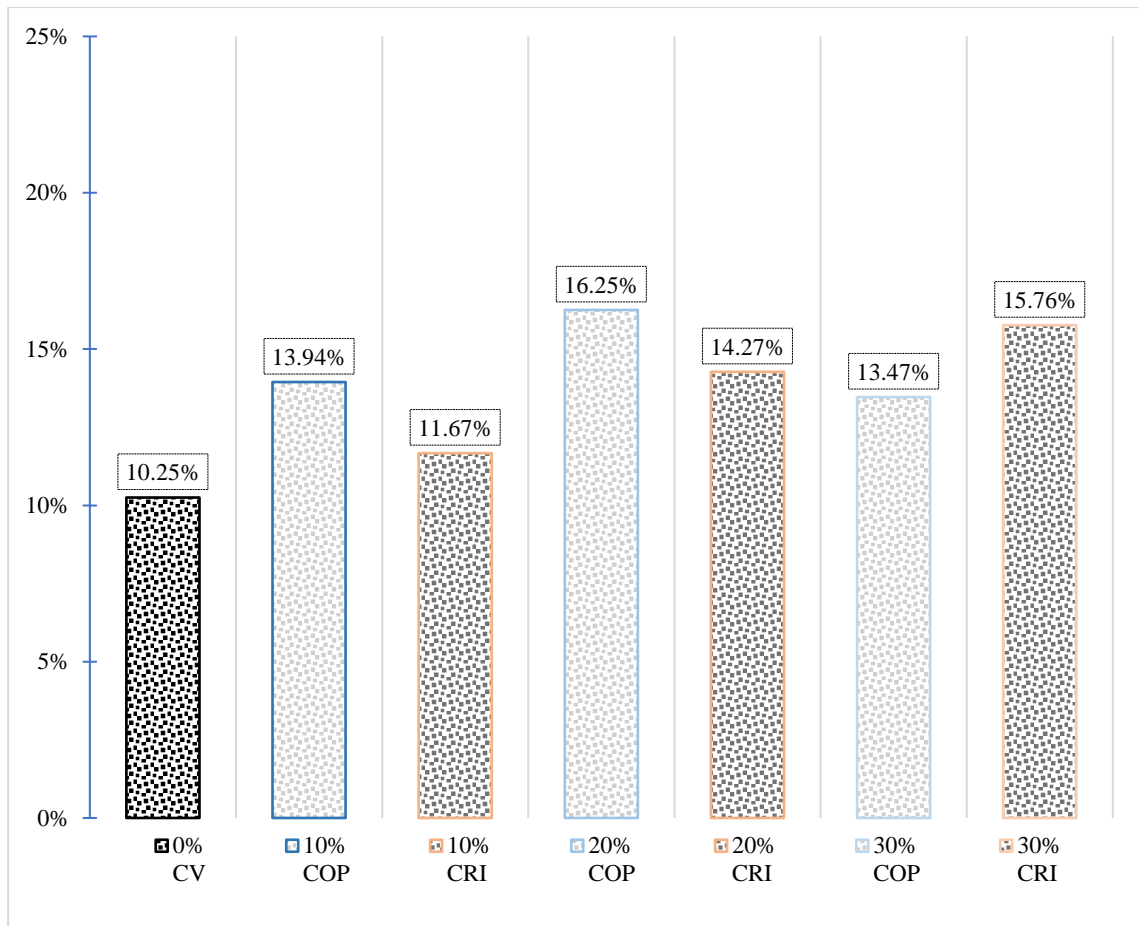


Figura 48. Porcentajes de la resistencia a la tracción indirecta respecto a la resistencia a la compresión de concretos con ceniza volcánica a los 28 días.

Para la reacción a la tracción, se observa que mantiene relación con la compresión, presenta porcentajes entre 10 a 16%, pero la mayoría de las cenizas presenta una resistencia similar; mientras que la muestra patrón es la que menos resistencia a la tracción tiene respecto a su compresión, con un 10 %. (Figura 48). Esto puede indicar que la adición de ceniza, genera más adherencia de la pasta con los agregados.

La relación entre la resistencia a la tracción y compresión de la muestra patrón coincide con la investigación de Tupa [11], quien obtiene un 25.16 kg/cm^2 (11.98 % de la resistencia a la compresión, $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$), también, evidencia un mejor comportamiento del concreto sin adición en la resistencia a la flexión, mas no en tracción.

Analizando lo obtenido, se observa que el contenido de álcalis (K_2O , Na_2O) en ambas cenizas es mayor a 6 %, probablemente estos estén incrementando la capacidad de adhesión de la pasta y/o agregados [78] obteniendo una relación porcentual tracción-compresión, ligeramente mayores respecto a la resistencia a la compresión. Resistencia a la flexión del concreto.

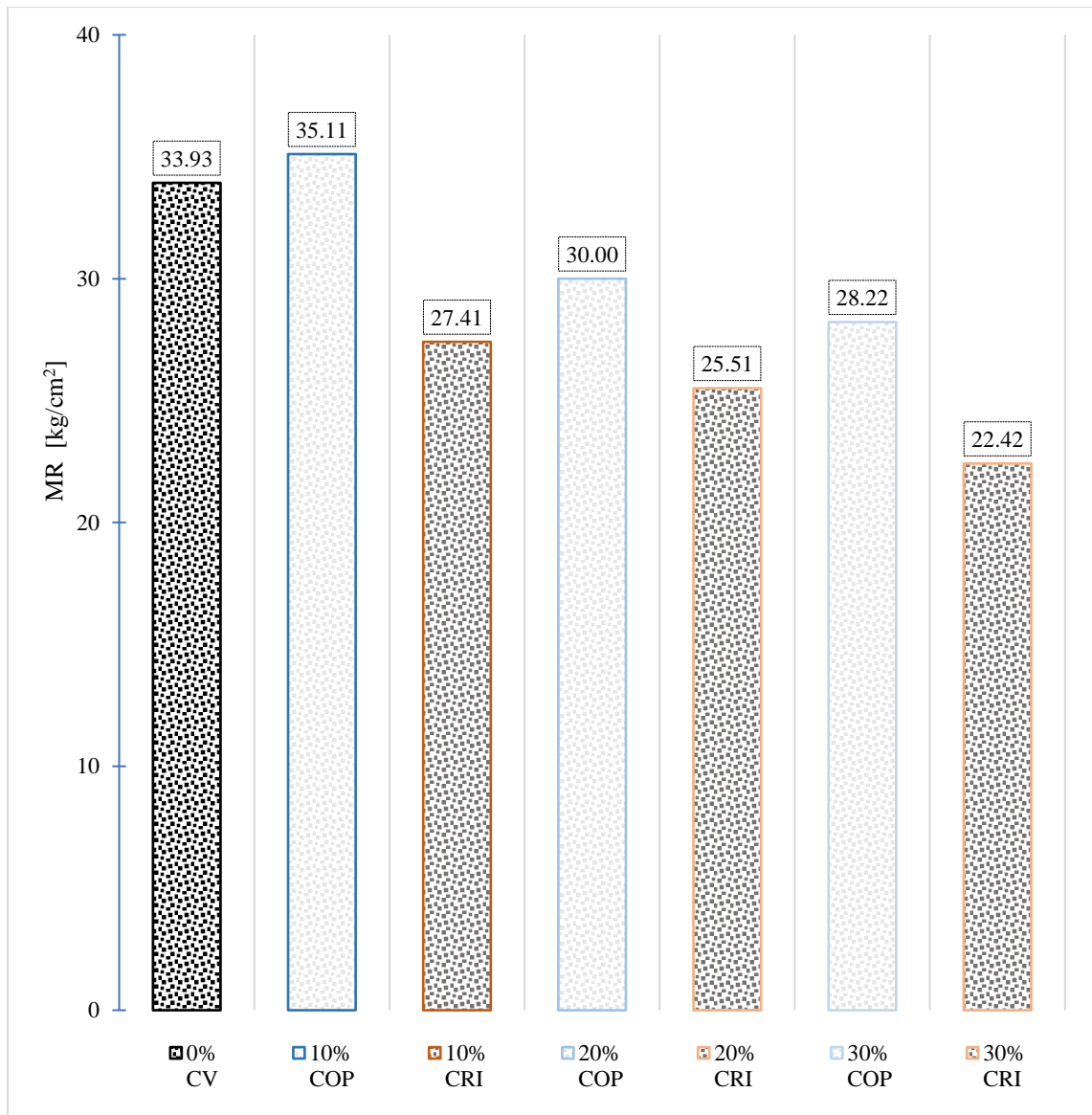


Figura 49. Influencia de las cenizas volcánicas en el módulo de rotura del concreto a los 28 días.

Mediante ensayos de flexión en vigas simples de concreto con carga aplicada a la mitad de la luz, se determina que el módulo de rotura del concreto patrón es 33.93 kg/cm², superado solo por el concreto experimental (COP 10) que registra 35.11 kg/cm², lo que indica que la ceniza co-pliniana en menor proporción mejora esta propiedad mecánica; además, la resistencia a la flexión del concreto experimental (COP 30) es 28.22 kg/cm², ligeramente mayor al concreto (CRI 10) de 27.41 kg/cm², lo que indica que incluso el concreto con más reemplazo de ceniza co-pliniana, es superior al concreto con menor reemplazo de ceniza de cristal. Esto se debe a que la resistencia a la compresión para estos concretos (COP) es mayor, y al realizar la rotura de las vigas, estas fuerzas aparecen en la parte superior.

Tabla 111. Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura.

Porcentaje MCS	$f'c$ [kg/cm ²]	MR [kg/cm ²]	$k = \frac{MR}{\sqrt{f'c}}$
0% CV	216.57	33.93	2.31
10% COP	232.21	35.11	2.30
10% CRI	190.75	27.41	1.98
20% COP	179.93	30.00	2.24
20% CRI	155.00	25.51	2.05
30% COP	170.59	28.22	2.16
30% CRI	132.21	22.42	1.95

Según el A.C.I., el módulo de rotura, MR para un concreto de peso normal, se aproxima a valores de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión. En este estudio, los valores de k varían entre 1.95 a 2.31 la raíz cuadrada de $f'c$.

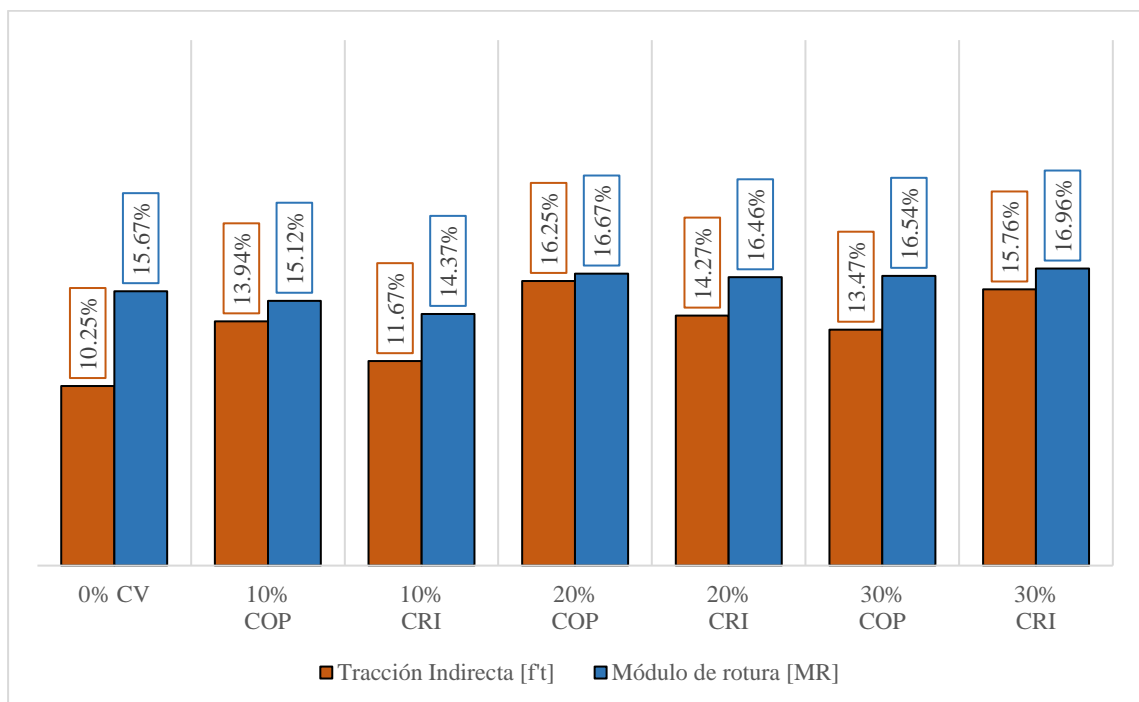


Figura 50. Porcentajes de la resistencia a la tracción indirecta y el módulo de rotura respecto a la resistencia a la compresión de concretos con ceniza volcánica a los 28 días.

La resistencia a la flexión se sitúa entre el 10 al 20 % [44] de la resistencia a la compresión. En esta investigación estos valores oscilan entre el 14.88 a 16.67 %.

Se determina que el módulo de rotura, respecto a la resistencia a la compresión para el concreto patrón, es de 15.67 %, valor que aumentó considerablemente respecto al porcentaje de tracción,

que es de 10.25 %. Se observa en la Figura 50 que para todos los concretos experimentales y de control, la resistencia a la flexión es mayor que la resistencia a la tracción. Esto se debe, que, durante el ensayo de flexión, las vigas son sometidas no solo a esfuerzos de tracción, sino también, de compresión (zona superior) [79].

4.2.4.3. Efectos en otras propiedades del concreto hidráulico.

4.2.4.3.1. Tiempo de fraguado.

La composición química de las cenizas indica una cantidad similar de aluminatos, 15 % (aproximadamente) para cada puzolana; es sabido, que los aluminatos son los compuestos que se hidratan más rápido durante el mezclado, lo contrario ocurre en el caso de los sulfatos (aportados por el yeso); por lo tanto, alterar la relación sulfatos / aluminatos (S/A), traerá como consecuencia cambios en la velocidad de hidratación, será en menos tiempo, probablemente estas diferencias sean imperceptibles con sustituciones bajas, pero a mayor porcentaje de reemplazo, la relación (S/A) será más alterada, pudiendo producir un fraguado rápido (10 a 45 minutos) o instantáneo (menos de 10 minutos).

Por otro lado, analizando el tiempo de fraguado según el tamaño de las partículas (finura); es sabido que la incorporación de MCS bien divididas produce un aumento en el tiempo de fraguado.

En consecuencia, se puede intuir que en los concretos hidráulicos con grandes cantidades de ceniza co-pliniana el tiempo de fraguado, aumente, ya que predominará la finura de la ceniza a su contenido de aluminatos; en cambio, para los concretos experimentales con ceniza de cristal, dada la menor finura, probablemente predomine el efecto químico, acortando el tiempo de fraguado. Aunque lo más seguro es que ambas sustituciones puzolánicas lo dilaten, al disminuir la cantidad de cemento en la mezcla, funcionando como agentes retardantes pudiendo considerar su uso en obras de concreto masivas en caso se demuestre lo mencionado.

4.2.4.3.2. Contracción por secado.

Las altas concentraciones de MCS incrementan la contracción por secado [80], como todos los reemplazos fueron elevados (debido a que ya existía puzolana de por sí en el cemento Frontera: GU) podemos deducir que los efectos de secado (agrietamientos y fisuras) serán evidentes en todos los concretos experimentales, sobre todo en los de mayor porcentaje de sustitución.

4.2.4.3.3. Permeabilidad y durabilidad.

A partir de una relación $a/c = 0.48$ a menos, se puede considerar un concreto hidráulico impermeable [81]. Para esta investigación, la relación a/c es 0.56 para todos los concretos (experimentales y de control), por lo tanto, se fabricaron concretos permeables.

Los MCS en su mayoría reducen la permeabilidad, si este es el caso, los concretos experimentales podrían ser más impermeables que los concretos del grupo control [8]. Puede sonar un poco contradictorio visto el contenido de aire obtenido, pero no tiene que ser así necesariamente, ya que, este contenido de aire puede implicar una mayor porosidad que de mantenerse, no implica que los concretos se vuelvan permeables, puesto que, pueden existir poros, pero si estos no están conectados, no habría permeabilidad. Además, que estos vacíos (poros) serán llenados por la formación de cristales debidos a la reacción puzolánica a lo largo del tiempo.

El hecho de que ambas cenizas hayan sido molidas para cumplir con los requerimientos físicos de la ASTM C618, generó una escala fraccionada, sobre todo en el caso de la ceniza co-pliniana que presentó menos resistencia a la abrasión, esta fracturación puede estar generando un mejor entrase mecánico, puesto que, mientras más pequeño el tamaño de partícula habrá mayor ocupación de espacios en la mezcla, obteniendo un concreto menos permeable, pese a pesar menos.

Dicho esto, a más permeabilidad menor es la resistencia a la compresión [81]. Por lo tanto, se puede intuir que la sustitución del 10% de ceniza co-pliniana sería el concreto hidráulico más impermeable y la sustitución del 30% de ceniza de cristal el más permeable.

Por otra parte, al disminuir el contenido de cemento reemplazándolo por puzolana, hay menos probabilidad de que se presente permeabilidad, ya que, por la reacción puzolánica, quedarán menos partículas por hidratar, haciendo que el agua no utilizada sea menor, disminuyendo los vacíos que se crearían por la evaporación.

Como es sabido, la impermeabilidad y durabilidad están relacionados, es decir, mientras más impermeable sea un concreto, más resistencia presentará a la congelación, a los sulfatos, actividad álcali – agregados, entre otros ataques químicos; además, en los concretos armados, aísla al acero de la humedad, protegiéndolo de la corrosión.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

5.1.1. *Conclusión Específica No. 1*

Se concluye que ambas puzolanas, pese a tener origen en la misma erupción, presentan diferencias en su química; por ejemplo, el contenido de SiO₂ en la ceniza de cristal, es de 64.20%, mayor al 59.64% de la ceniza co-pliniana; a diferencia de esto, el porcentaje de óxido de calcio, CaO, es de 7.84 %, en la ceniza co-pliniana, mayor al 0.84 % de la otra puzolana; además, las propiedades químicas de ambas cenizas, como la suma de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃, LOI y contenido de humedad, cumplen con los requerimientos establecidos por la ASTM C618.

5.1.2. *Conclusión Específica No. 2*

Se concluye que ambas cenizas, pese a provenir de la misma fuente, presentan diferencias en su densidad, resistencia a la molienda, absorción y reactividad puzolánica. Además, las propiedades físicas de ambas cenizas cumplen con los requerimientos establecidos por la ASTM C618, excepto en la finura, ya que la ceniza de cristal presenta un porcentaje retenido de 39.0 %, incumpliendo lo estipulado en la norma, a pesar de haber sido procesada por 90 minutos en un molino Los Ángeles. Por otra parte, cabe destacar que la densidad de las puzolanas, es muy importante durante el diseño de las mezclas experimentales, sirviendo para hacer una correcta sustitución por volumen y no por peso. Por último, el IAR de la ceniza co-pliniana a los 7 y 28 días, indica que es apta para ser usada en la fabricación de concretos, mientras que el IAR de la ceniza de cristal, no cumple con este parámetro, siendo menor al 75% de la resistencia a la compresión de los morteros de cemento.

5.1.3. *Conclusión Específica No. 3*

Respecto a las propiedades en estado fresco, la trabajabilidad, disminuye ligeramente con la adición de cualquier puzolana, pero solo para los reemplazos de 20 y 30 % de ceniza co-pliniana, incumple el asentamiento para el cual fue diseñado, siendo 72 mm (2.83”) y 63 mm (2.48”), respectivamente.

5.1.4. *Conclusión General*

Se concluye que cada puzolana influye de manera distinta en las propiedades mecánicas del concreto hidráulico, siendo una perjudicial (ceniza de cristal) y otra, aprovechable (ceniza co-pliniana); sin embargo, el porcentaje de sustitución en ambas cenizas es inversamente proporcional a las resistencias mecánicas. En cuanto a la resistencia a la compresión de los

testigos con ceniza co-pliniana como MCS, casi todas las sustituciones obtienen concretos estructurales, pero la muestra patrón, es superada únicamente con la adición de 10%; asimismo, se evidencia una combinación de efecto filler y reacción puzolánica en edades tempranas como la aparición de un efecto de dilución en la sustitución del 20%; para la ceniza de cristal, ningún reemplazo supera ni alcanza a la muestra patrón, más la sustitución de 10 % obtiene un concreto estructural de 190 kg/cm²; también, se evidencia altas resistencias iniciales (porcentuales) debido al efecto filler, el cual termina con la sustitución del 30%. Se resume en la siguiente tabla la aplicación que se puede dar a cada concreto experimental basado en la resistencia a la compresión. Las aplicaciones que pueden tener (basados en resistencia a la compresión), se indican en la siguiente tabla.

Tabla 112. Usos de los concretos hidráulicos experimentales basados en su resistencia a la compresión.

Tipo	Material Cementicio Suplementario	Compresión [f'c]	Aplicaciones / Usos
Estructural	10% COP	> 210 kg/cm ²	Prefabricados de albañilería aportificada, placas, muros de contención, cimentaciones, pisos, tanques, gradas, columnas, vigas, losas.
	20% COP	> 175 kg/cm ²	Prefabricados de albañilería confinada, concreto ciclópeo, paredes y unidades de mampostería.
	10% CRI		
No estructural	30% COP	< 175 kg/cm ²	Aislamiento térmico y acústico, relleno de techos, protectores contra incendios, aislante de segunda capa para el recubrimiento de exteriores, acabados sobre calderas u hornos, solados, etc.
	20% CRI		
	30% CRI		

Nota: No se puede usar ningún concreto experimental en estructuras expuestas al agua ya que la relación a/c es alta.

Por otro lado, el porcentaje de la resistencia a la tracción respecto a la compresión, aumenta ligeramente pero no significativamente (excepto el grupo experimental con 10% de ceniza co-pliniana como MCS) en todos los concretos experimentales, comparado con la relación existente en la muestra patrón, evidenciando un ligero incremento en la adherencia de la pasta (cohesión) con los agregados. A diferencia de los demás grupos, existe una mejora significativa en el grupo (10% COP) pudiendo ser usado en diques, presas, o estructuras similares en donde el punto de contacto del concreto con el macizo rocoso, por movimiento pueda ser sometido a fuerzas de tracción; en estas estructuras la resistencia a la compresión no es una propiedad tan relevante como la tracción.

Por último, la resistencia a la flexión guarda una relación proporcional con la resistencia a la compresión, siendo mayor la de los concretos con 10% de ceniza co-pliniana; además, no se evidencia una mejora en los demás concretos experimentales como fue en la resistencia a la tracción, ya que durante la flexión se presentan fuerzas de compresión en la parte superior de las vigas, compensado de este modo la baja tracción de la muestra patrón. Debido a que los concretos hidráulicos experimentales con 10 y 20% de ceniza co-pliniana presentan un módulo de rotura superior a 30 kg/cm² son las únicas muestras que pueden ser usadas en la construcción de pavimentos.

5.2. Recomendaciones

5.2.1. Recomendación Específica No. 1

Se recomienda determinar la química de las cenizas de otros depósitos de caída; además, determinar la composición mineral (mineralógica) de cada ceniza volcánica, por medio de la Difracción de Rayos X, o algún método similar.

5.2.2. Recomendación Específica No. 2

Se recomienda determinar las propiedades físicas y mecánicas de otras cenizas provenientes de la erupción de 1600 d.C. del Huaynaputina. Respecto a la finura, se recomienda hallarla expresada como superficie específica, en cm²/g usando el aparato de permeabilidad al aire de Blaine. Por otro lado, se recomienda determinar la densidad de cada ceniza volcánica por medio del frasco de Le Chatelier. Por último, se recomienda analizar la reactividad puzolánica por otros métodos, como el método químico de Frattini y/o activadores alcalinos.

5.2.3. Recomendación Específica No. 3

En caso de realizar mezclas con la ceniza de cristal o co-pliniana, se recomienda usar aditivos plastificantes.

5.2.4. Recomendación General

Se recomienda analizar las cenizas de otras diferentes fases de depósito de caída, o la combinación de estas, con la finalidad de determinar la influencia de diferentes porcentajes de sustitución en el comportamiento mecánico del concreto. También, se recomienda evaluar las resistencias mecánicas del concreto al sustituir los mismos porcentajes de ceniza de esta investigación (10, 20 y 30 %) en cementos con solo clinker y yeso, como el cemento tipo I, con el fin de verificar el mayor porcentaje de sustitución posible de cada puzolana. Asimismo, se recomienda analizar la influencia de la calcinación de las puzolanas a diferentes temperaturas en las propiedades mecánicas del concreto; como la influencia de mayor molienda (partículas

más pequeñas obtenidas con un molino de bolas planetario). Finalmente, se recomienda determinar la resistencia a la compresión, tracción y flexión a mayores tiempos de rotura, 56, 90, 180 y 360 días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MAN-SHI, L. *Material Flow Analysis of Concrete in the United States* [en línea]. Tesis (Título de Arquitecto). Estados Unidos: Massachusetts Institute of Technology, Departamento de Arquitectura – MIT, 2005 [fecha de consulta: 18 abril 2022]. 189 pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1721.1/33030>
2. LEHNE, J. & PRESTON, F. Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. *Chatham House Report* [en línea]. 2018 [fecha de consulta: 25 abril 2022]. ISBN: 978-1-78413-272-9. Disponible en: <https://www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete>
3. Redacción PBL. China now no. 1 in CO2 emissions: USA in second position. *PBL Netherlands Environmental Assessment Agency* [en línea]. Holanda, 18 agosto 2018 [fecha de consulta: 05 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.pbl.nl/en/Chinanowno1inCO2emissionsUSAinsecondposition>
4. HUALLA, Gonzalo. *Presentación y sustentación del informe memoria de experiencia profesional y rendimiento de una prueba de conocimiento – Modalidad Suficiencia Profesional* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Arequipa: UNSA, 2017 [fecha de consulta: 5 mayo 2023]. 141 pp. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3382>
5. APAZA, Henry. Frenan intento de cementera Yura de aumentar producción y contaminación. *Veracidad Periodística VP*. 28 marzo 2016. pp. 8-9. (En sección: Local).
6. *El Peruano* [en línea]. Lima, © 2016 [fecha de consulta: 04 mayo 2023] Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-la-estrategia-regional-de-cambio-climatico-2016-202-ordenanza-no-10-2016-crgrm-1429721-2/>
7. VALDEZ, P., DAS, T. y RIVERA, R. Evaluación de la velocidad de hidratación en sistemas puzolanas naturales – portlandita. *Ciencia UANL* [en línea]. 2004, Vol. VII, No. 2, 190 – 195 [fecha de consulta: 03 mayo 2022] Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/1606>.
8. SIDDIQUE, R. Volcanic Ash. *Waste Materials and By-Products in Concrete* [en línea]. India: Thapar University, 2008, pp. 323 – 349 [fecha de consulta: 01 mayo 2022]. ISBN: 978-3-540-74293-7. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-74294-4>
9. THOURET, J.-C. et al. Reconstruction of the AD 1600 Huaynaputina eruption base on the correlation of geologic evidence with early Spanish chronicles. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* [en línea]. 2002, 115, pp. 529 – 570 [fecha de consulta: 19 abril 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/4759>
10. JAPURA, S. *Estudio estratigráfico y sedimentológico del depósito de caída pliniana de la erupción del año 1600 D.C. del volcán Huaynaputina* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2018 [fecha de consulta: 10 mayo 2022].

- 187 pp. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9246>.
11. TUPA, A. *Concreto estructural liviano con escoria y ceniza volcánicas del distrito de Yura* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2018 [fecha de consulta: 29 abril 2022]. 245 pp. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5523>
 12. TUPAYACHY, D. *Estudio y caracterización de geopolímeros a partir de ceniza volcánica para la obtención de materiales de construcción* [en línea]. Tesis (Doctorado en Ingeniería Mecánica). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2021. [fecha de consulta: 29 abril 2022]. 239 pp. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/10562>.
 13. HERMOZA, M. *Estudio comparativo del comportamiento mecánico, físico y microestructural de morteros geopoliméricos obtenidos a partir de ceniza volcánica y morteros de cemento Portland de uso tradicional* [en línea]. Tesis (Maestría en Ciencias con mención en Ingeniería Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2019. [fecha de consulta: 24 abril 2022]. 112 pp. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8146>.
 14. ITUZA, M. y TICONA, J. *Propuesta de diseño de concreto de baja densidad con agregados industriales, aplicada en el diseño de una edificación sobre un suelo con baja capacidad portante en la ciudad de Arequipa* [en línea] Tesis (Título de Ingeniero Civil). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2019. [fecha de consulta: 25 abril 2022]. 275 pp. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8528>.
 15. APAZA, F. et al. Estudio de la ceniza de volcanes peruanos como materia prima para la industria de la construcción. En: Ed. AGUILAR, R. *Libro de resúmenes: VIII Foro Internacional los Volcanes y su Impacto...* [en línea]. Perú: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, 2018, pp. 93 – 95 [fecha de consulta: 02 mayo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1441>.
 16. CABANA, B. y YUPANQUI, H. *Análisis de sustitución óptima de cemento por ceniza volcánica de Ubinas evaluado en un concreto autocompactante* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Arequipa: Universidad Católica San Pablo, 2020. [fecha de consulta: 10 mayo 2022]. 153 pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12590/16595>.
 17. GALEAS, E. y GUZMÁN, F. *Propuesta de dosificación de hormigón reemplazando el cemento en diferentes porcentajes de peso, con ceniza volcánica del Tungurahua; identificando la influencia de utilizar la fracción fina, gruesa y completa* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2019. [fecha de consulta: 21 abril 2022]. 125 pp. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20728>.
 18. SILVA, Y. y DELVASTO, S. Concreto autocompactante con materiales cementicios suplementarios de Colombia. En: Ed. LLANO-TORRE, A. et al. *V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales* [en línea]. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2018, pp. 505 – 524 [fecha de consulta: 27 abril 2022] Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.6090>.

19. BARRIENTO-MONSALVE, E. J. Comportamiento del concreto ante la fibra y ceniza volcánica. Mundo FESC [en línea]. 10(19), pp. 203 – 215. [fecha de consulta: 22 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/726>
20. FRAGOSO, J. y VISBAL, J. *El uso de la puzolana de origen natural en concreto hidráulico* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bolívar: Universidad de Cartagena, 2021. [fecha de consulta: 22 abril 2022]. 66 pp. Disponible en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/14628/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
21. MOLINA, T. *Análisis comparativo de las cenizas volcánicas provenientes de los volcanes Cotopaxi, Pululahua, Chalupas, Guagua Pichincha y Tungurahua para su uso en la fabricación de concreto* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2021. [fecha de consulta: 24 abril 2022]. 126 pp. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21675>.
22. CEMENTOS. Cementos Portland. Especificación de la performance - NTP 334.082. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2000.
23. KOSMATKA, S., KERKHOFF, B., PARANESE, W. & TANESI, J. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* [en línea]. Estados Unidos: Portland Cement Association, 2004 [fecha de consulta: 28 agosto 2022]. Disponible en: https://elingeniero.pe/wp-content/uploads/2020/06/Diseno_Y_Control_De_Mezclas_De_Concreto-1.pdf
24. TORRE, A. “CURSO BÁSICO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO PARA INGENIEROS CIVILES”. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2004.
25. American Society for Testing and Materials. *ASTM C125/C125M-12. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. Pensilvania: ASTM, 2012.
26. CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos – NTP 334.009. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2005.
27. American Society for Testing and Materials. *ASTM C595/C595M-21. Standard Specification for Hydraulic Blended Cements*. Pensilvania: ASTM, 2021.
28. CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos - NTP 334.090. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2013.
29. American Society for Testing and Materials. *ASTM C1157/C1157M-17. Standard Performance Specification for Hydraulic Cement*. Pensilvania: ASTM, 2017.
30. NRMCA. Supplementary Cementitious Materials. *Concrete In Practice* [en línea]. 2014, 30, 59-60 [fecha de consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.nrmca.org/association-resources/research-and-engineering/cip/>
31. AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos) - NTP 400.011. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2008.

32. DÍAZ, A. y RAMÍREZ, J. *Estudio Geológico-Económico de Rocas y Minerales Industriales de Arequipa y Alrededores* [en línea]. Perú: INGEMMET, 2010, p. 74 [fecha de consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/215>
33. CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados - NTP 339.047. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2019.
34. AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concretos – NTP 400.037. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2014.
35. JIMENEZ, Pedro, GARCÍA, Álvaro y MORÁN, Francisco. *Hormigón Armado*. 14 ed. Ed. Gustavo Pili. España: Barcelona, 2000.
36. American Concrete Institute Committee 211. *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-22)*. EE. UU.: Journal Articles on ACI 211, 2022.
37. CARPIO, E. y PEÑA, E. *Análisis comparativo de las diferentes canteras de puzolana de la ciudad de Arequipa para concretos de resistencias $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, 280 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 en el año 2017* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2017 [fecha de consulta: 18 setiembre 2022]. 193 pp. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/7012>
38. CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas – NTP 339.034:2015. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2015.
39. American Society for Testing and Materials. *ASTM C617/C617M-15. Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens*. Pensilvania: ASTM, 2015.
40. GARROTE, E. *Efecto de la temperatura en la tenacidad de diferentes mezclas bituminosas* [en línea]. Tesina, UPC, Escola Tecnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori, 2006 [fecha de consulta: 29 agosto 2022]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3324>
41. CONCRETO. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica – NTP 339.084:2012. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2017.
42. STÖCKHERT, F. *Fracture Mechanics applied to Hydraulic Fracturing in Laboratory Experiments* [en línea]. Tesis Doctoral. Bochum: Ruhr University Bochum, 2015 [fecha de consulta: 29 agosto 2022]. 315 pp. Disponible en: <https://hss-opus.ub.ruhr-uni-bochum.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/4383>
43. CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo – NTP 339.079:2012. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2017.
44. NRMCA. Flexural Strength of Concrete. *Concrete In Practice* [en línea]. 2016, 16, 31-32

- [fecha de consulta: 23 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.nrmca.org/association-resources/research-and-engineering/cip/>
45. ALVAREZ, L. y MARTINEZ, M. *Variabilidad de resultados en la modelación numérica de pisos industriales, alterando el módulo de rotura del concreto* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2015 [fecha de consulta: 19 setiembre 2022]. 48 pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10983/2441>
 46. JOHNSTON, D. *Physical and social impacts of past and future volcanic eruptions in New Zealand* [en línea]. Tesis Doctoral. Christchurch: University of Canterbury, 1997 [fecha de consulta: 4 noviembre 2022]. 288 pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10179/4636>
 47. American Society for Testing and Materials. *ASTM C618/C618M-17. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. Pensilvania, ASTM, 2017.
 48. TRIVIÑO VÁZQUEZ, F. Bases para la interpretación de los resultados de la pérdida al fuego, SO₃ y residuo insoluble. *Materiales de Construcción* [en línea]. 1985, 35(198), 3-5 [fecha de consulta: 11 setiembre 2022]. Disponible en: <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/920/1190>
 49. PANDEYA, S., SINGHA, A., SHARMAB, R. & TIWARIA, A. Studies on high-performance blended/multiblended cements and their durability characteristics. *Cement and Concrete Research* [en línea]. 2003, 33(9), 1433-1436 [fecha de consulta: 15 setiembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00091-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00091-7)
 50. American Society for Testing and Materials. *ASTM C311/C311M-22. Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete*. Pensilvania: ASTM, 2022.
 51. American Society for Testing and Materials. *ASTM C109/C109M-16a. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or [50-mm] Cube Specimens)*. Pensilvania: ASTM, 2016.
 52. RAMOS, V. & ALEMAN, A. Tectonic Evolution of the Andes. En: Umberto CORDANI et al. *Tectonic Evolution of South America* [en línea]. Brasil: Geological Society, 2000, pp. 635-685 [fecha de consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.iugs.org/gslbooks>
 53. INGEMMET. [Segmento norte de la Zona Volcánica de los Andes Centrales, con los volcanes activos y potencialmente activos del sur peruano]. 1:2,000.000 [en línea]. En: *Patrimonio geológico asociado a la erupción del volcán Huaynaputina en el año 1600 d.C. en el distrito de Quinistaquillas* [fecha de consulta: 22 setiembre 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3306>
 54. MARIÑO, J. et al. Multidisciplinary Study of the Impacts of the 1600 CE Huaynaputina Eruption and a Project for Geosites and Geo-touristic Attractions. *Geoheritage* [en línea]. 2021, 13(3), 64 [fecha de consulta: 03 setiembre 2022]. Disponible en:

<http://hdl.handle.net/20.500.12816/5091>

55. TAMAYO Y TAMAYO, M. *El proceso de la investigación científica*. 4 ed. México: Reimpres, 2004.
56. LOPERA, J. et al. El método analítico como método natural. *Normadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas* [en línea]. 2010, 25(1) [fecha de consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18112179017>.
57. VARGAS, Z. La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación* [en línea]. 2009, 33(1), 155-165 [fecha de consulta: 22 julio 2022]. ISSN: 0379-7082. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.538>
58. ARIAS, F. *El proyecto de investigación: Introducción a la investigación científica*. 5ta ed. Venezuela: Episteme, 2006.
59. HERNÁNDEZ, R. et al. *Metodología de la investigación*. 6 ed. México: McGraw-Hill, 2014.
60. ARIAS, C. *Recursos geoturísticos generados a partir del impacto de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d.C. como patrimonio geológico* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Puno: Universidad Nacional del Altiplano Puno, 2021. 225 pp. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15619>
61. CUEVA, K. et al. *Columna estratigráfica de las 3 primeras unidades estratigráficas de los depósitos piroclásticos de la erupción del Huaynaputina 1600 d.C. en la Quebrada Calicanto* [figura]. Arequipa: INGEMMET, abril 2018 [fecha de consulta: 21 julio 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1474>
62. MARIÑO, J. et al. *Correlación estratigráfica de los depósitos piroclásticos de la erupción del HPV-1600, en sectores proximales al cráter* [figura]. Moquegua: INGEMMET, setiembre 2021 [fecha de consulta: 29 setiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00577-5>
63. American Society for Testing and Materials. *ASTM C778/C778M-02. Standard Specification for Standard Sand*. Pensilvania: ASTM, 2002.
64. CEMENTOS. Método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de Cemento Portland cubos de 50 mm de lado - NTP 334.051. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2019.
65. American Society for Testing and Materials. *ASTM C136/C136M-06. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. Pensilvania: ASTM, 2006.
66. American Society for Testing and Materials. *ASTM C29/C29M-97. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. Pensilvania: ASTM, 1997.
67. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto) - NTP 339.046. NORMA TÉCNICA PERUANA. Lima, Perú: INDECOPI, 2008. (2da).
68. WRIGHT, P. Comments on an indirect tensile test on concrete cylinders. *Magazine of Concrete*

- Research* [en línea], 1995, 7(20), 87-96 [fecha de consulta: 12 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1680/mac.1955.7.20.87>
69. American Society for Testing and Materials. *ASTM C293/C293M-16. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)*. Pensilvania: ASTM, 2016.
 70. JURADO, S. *Estadística Inferencial* [en línea]. Huancayo: Universidad Continental: Fondo Editorial, 2017 [fecha de consulta: 05 junio 2023]. Disponible en: Repositorio Continental: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/6431>
 71. SALAZAR, A. Puzolana. *Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender los materiales compuestos*. Colombia: Universidad del Valle, 2004, pp. 73-105.
 72. BURGOS, D., CARDONA, L. y DELVASTO, S. Estudio de dos materiales volcánicos y efecto del tipo de molienda en su reactividad. *Revista Ingeniería de Construcción* [en línea]. 2014, 29(2), 159-174 [fecha de consulta: 19 octubre 2022]. Disponible en: www.ricuc.cl
 73. VALDEZ, P., DAS, T., RIVERA, R. Evaluación de la velocidad de hidratación en sistemas puzolanas naturales-portlandita. *CIENCIA UANL* [en línea]. 2004, 7(2), 190-195 [fecha de consulta: 11 octubre 2022]. Disponible en: https://cienciauanl.uanl.mx/?page_id=947
 74. ÇAVDAR, A. & YETGIN, Ş. Availability of tuffs from northeast of Turkey as natural pozzolan on cement, some chemical and mechanical relationships. *Construction and Building Materials* [en línea]. 2007, 21(12), 2066-2071 [fecha de consulta: 11 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/>
 75. SORIA, F. Las puzolanas y el ahorro energético en los materiales de construcción. *Materiales de Construcción* [en línea]. 1983, 33(190-191), 69-84 [fecha de consulta: 11 octubre 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3989/mc.1983.v33.i190-191.974>
 76. GÓMEZ, J. et al. Determining cement ball mill dosage by artificial intelligence tools aimed at reducing energy consumption and Environmental impact. *Ingeniería e Investigación* [en línea]. 2013, 33(3), 49-54, ISSN: 0120-5609. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-56092013000300009
 77. ZHANG, C., WANG, A., TANG, M. & LIU, X. The filling role of pozzolanic material. *Cement and Concrete Research* [en línea]. 1996, 26(6), 934-947. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00064-6](https://doi.org/10.1016/0008-8846(96)00064-6)
 78. CHRYSO SAINT-GOBAIN [en línea]. Toledo, © 2021 [fecha de consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.chryso.es/news/896/alcalis+en+el+cemento#:~:text=%C3%81calis%20del%20cemento%20%C2%BFQu%C3%A9%20es,es,es%20contacto%20con%20el%20agua>
 79. BENAVENTE, D. Resistencia a la flexión. *Universidad de Alicante* [en línea]. Valencia, España, 01 octubre 2017 [fecha de consulta: 10 octubre 2022]. Disponible en: <https://personal.ua.es/es/david-benavente/docencia/practic-de-petrofisica/resistencia-a-la->

[flexion.html](#)

80. BONAVENTTI, V. *Cementos con filler calcáreo. Mecanismos de interacción y su influencia sobre las propiedades resistentes*. Tesis (Magister en Tecnología y Construcciones de Hormigón). Buenos Aires: UNCPBA, 1998. 242 pp.
81. QUIROZ, M y SALAMANCA, L. *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de “Tecnología del concreto”* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón, 2006. [fecha de consulta: 12 junio 2023]. 429 pp. Disponible en: <http://bibliotecas.umss.edu.bo/site/php/index.php>
82. DAFALLA, M. & MUTAZ, E. Study of the Mineralogical Changes of Clay Due to Cement and Lime Addition Using X Ray Diffraction Technique. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* [en línea]. 2012, 4(19), 3746-3754 [fecha de consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://maxwellsci.com/print/rjaset/v4-3746-3754.pdf>
83. JUENGER, M. & SIDDIQUE, R. Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. *Cement and Concrete Research* [en línea]. 2015, 78(A), 71-80 [fecha de consulta: 24 setiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.03.018>
84. LOTHENBACH, B., SCRIVENER, K., & HOOTON, R. Supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Research* [en línea]. 2011, 41(12), 1244-1256 [fecha de consulta: 11 octubre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.12.001>
85. ZAMUDIO, P., & QUIROGA, J. *Evaluación de material cementante basado en metacaolín con activación alcalina* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2018. 64 pp. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/22857>
86. PASQUEL, E. *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. 2 ed. Perú: [s.n], 1998.
87. COPPIANO, I. *Uso de ceniza volcánica como puzolana natural en mezclas de hormigón* [en línea]. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Samborondón: Universidad de Especialidades Espíritu Santo, 2016. 101 pp. Disponible en: <http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/550>
88. NURDEEN, M. & KABIR, S. Reducing Environmental Impacts through Green Concrete Technology. *The 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference (TISD2010)* [en línea]. 2010, 194-206 [fecha de consulta: 06 octubre 2022]. Disponible en: https://www.academia.edu/21219226/Reducing_Environmental_Impacts_through_Green_Concrete_Technology
89. NEWHALL, C. & SELF, S. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. *Journal of Geophysical Research* [en línea]. 1982, 87(C2), 1231-1238 [fecha de consulta: 09 julio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1029/JC087iC02p01231>
90. KING, H. Volcanic Explosivity Index (VEI). *Geology.com* [en línea]. [s.l], [200?] [fecha de

consulta: 18 julio 2022]. Disponible en: <http://geology.com/stories/13/volcanic-explosivity-index/>

91. BALL, J. Types of Volcanic Eruptions. *Geology.com* [en línea]. [s.l], [200?] [fecha de consulta: 18 julio 2022]. Disponible en: <http://geology.com/stories/13/volcanic-explosivity-index/>
92. BALL, J. Volcanic Hazards. *Geology.com* [en línea]. [s.l], [200?] [fecha de consulta: 18 julio 2022]. Disponible en: <http://geology.com/stories/13/volcanic-explosivity-index/>

ANEXOS

Anexo A: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Sub-dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Tipo de Variable	Escala de medición
Ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del Volcán Huaynaputina	Material de origen volcánico menor a 2 mm de diámetro extraídos en capas estratigráficas formadas por los distintos periodos de tiempo explosivos, del estratovolcán Huaynaputina, añadidas como reemplazo parcial a algún material puzolánico en específico.	Se analizará dos cenizas volcánicas (co-pliniana y de cristal), para clasificarlas como puzolanas según la ASTM C618, haciendo ensayos químicos y físicos: - Composición química - LOI - Contenido de humedad - Finura - IAR Satisfechas estas propiedades, se calcula la densidad para cada puzolana, para poder usar las cenizas como materiales cementicios suplementarios, modificando la cantidad de cemento en el diseño de mezcla por cada porcentaje de sustitución (10, 20 y 30%).	Propiedades físicas	Densidad	Masa y volumen	g/cm ³	Independiente	Razón
				Finura	< 35 % retenido en malla No. 325	%		
				IAR	> 75 % de grupo control	%		
			Propiedades químicas	Composición química	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min 70%	Fórmula molecular		
				LOI	< 10 %	%		
				Contenido de Humedad	< 3 %	%		
				Tipos de ceniza	Ceniza co-pliniana	Porcentajes de sustitución: 10 %, 20 % y 30 %		
Ceniza de cristal		%						
Propiedades mecánicas del concreto hidráulico	Propiedades de la mezcla de agua, agregado, y cemento que están relacionadas con su capacidad de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones tanto en estado líquido como una vez solidificado	Primero, se elaboran testigos de concreto basados en un diseño de mezclas único; luego mezclar componentes (cemento, ceniza volcánica, agregados y otros) hasta lograr una masa homogénea; después, realizar ensayos basados en normas ASTM / NTP para medir las propiedades en estado fresco (asentamiento y peso unitario) y en estado endurecido. La resistencia a la compresión se mide pasado 3, 7, 14 y 28 días de la elaboración de la muestra, midiendo los cilindros y vigas para calcular el área afectada por la carga de una máquina de presión; asimismo, pasado 28 días realizamos los ensayos de las probetas y vigas, por tracción y flexión, respectivamente, tomando las medidas longitudinales y superficiales de las muestras y registrando la fuerza necesaria hasta llegar a la rotura.	Propiedades en estado endurecido	Resistencia a la compresión	> f'c grupo control (3, 7, 14 y 28 días)	kg/cm ²	Dependiente	Razón
				Resistencia a la tracción indirecta	> f't de grupo control	kg/cm ²		
				Resistencia a la flexión	> MR de grupo control	kg/cm ²		
			Propiedades en estado fresco	Trabajabilidad	3" a 4"	mm [in]		
				Peso Unitario y Contenido de Aire	Masa y volumen	kg/cm ²		

Anexo B: Matriz de consistencia

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA EXTRAÍDA DE DIFERENTES FASES DE DEPÓSITO DE CAÍDA DEL VOLCÁN HUAYNAPUTINA, MOQUEGUA, 2022.					
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
<p>PG: ¿En qué medida las propiedades mecánicas del concreto hidráulico son afectadas por la adición de ceniza volcánica extraída de depósitos de caída de diferentes fases del volcán Huaynaputina?</p>	<p>OG: Comparar las propiedades mecánicas del concreto modificado con la adición de ceniza volcánica extraída de depósitos de caída de diferentes fases del volcán Huaynaputina.</p>	<p>HG: Las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza co-pliniana son mejoradas notablemente en comparación a la adición de ceniza de cristal, extraídas de depósitos de caída de diferentes fases del volcán Huaynaputina.</p>	<p>VD: Propiedades mecánicas del concreto hidráulico</p>	<p>> Resistencia a la compresión de grupo control (3, 7, 14 y 28 días)</p> <p>> Resistencia a la tracción de grupo control</p> <p>> Resistencia a la flexión de grupo control</p> <p>3 - 4"</p>	<p>Tipo de estudio</p> <p>Aplicada</p>
<p>PE1: ¿Las propiedades químicas la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina cumplen con los requerimientos para puzolanas naturales por la normativa ASTM C 618 - 19?</p>	<p>OE1: Determinar las propiedades químicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina.</p>	<p>HE1: Las propiedades químicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina cumplen con los requerimientos para puzolanas naturales de la norma ASTM C 618 - 19.</p>		<p>Masa y volumen</p> <p>Masa y volumen</p> <p>< 35 % retenido en malla No. 325</p>	<p>Nivel de investigación</p> <p>Experimental de corte transversal</p>
<p>PE2: ¿Las propiedades físicas y mecánicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina cumplen con los requerimientos para puzolanas naturales por la normativa ASTM C 618 - 19?</p>	<p>OE2: Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina.</p>	<p>HE2: Las propiedades físicas y mecánicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina cumplen con los requerimientos para puzolanas naturales de la norma ASTM C 618 - 19.</p>	<p>VI: Ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Huaynaputina.</p>	<p>> 75 % de grupo control</p> <p>$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min 70%</p> <p>< 10 %</p>	<p>Diseño de investigación</p> <p>Experimental con estructura factorial 2 x 3</p>
<p>PE3: ¿Cómo influye la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraídas de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades en estado fresco del concreto hidráulico?</p>	<p>OE3: Determinar cómo afecta la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades en estado fresco del concreto hidráulico.</p>	<p>HE3: La adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina mejora las propiedades en estado fresco del concreto hidráulico.</p>		<p>< 3 %</p> <p>Porcentajes de sustitución: 10 %, 20 % y 30 %</p>	<p>Muestra</p> <p>No Probabilístico - intencional</p>

Anexo C: Glosario de términos

1. Reacción puzolánica: La reacción puzolánica se produce entre los compuestos de sílice de las puzolanas y el hidróxido de calcio del cemento Portland, para producir C-S-H, es decir, consume hidróxido de calcio en vez de generarlo. Esta reacción solo puede ocurrir en presencia de hidróxido de calcio; por lo tanto, las puzolanas deben usarse junto con el cemento Portland. Esta reacción es más lenta que la hidratación del cemento puro, lo que implica generalmente, que los concretos con adiciones, presenten desarrollos de resistencias más lentos comparados con los concretos sin puzolanas [82]. Los productos de reacción rellenan, de forma eficaz, los espacios vacíos restantes después de la hidratación de los componentes del cemento, reduciendo la permeabilidad y aumentando las resistencias mecánicas [37]. Silva [18] afirma que “no todas las puzolanas presentan reactividades elevadas, puesto que la velocidad de reacción está influenciada por la composición química de las puzolanas, así como también, por el área superficial de las partículas y por su morfología, derivada, entre otros, del proceso de enfriamiento de ellas”.

2. Efecto filler: Debido a una mayor finura, los materiales cementicios suplementarios (MCS) logran llenar los vacíos, aumentando las propiedades mecánicas a edades tempranas, mejorando el proceso de hidratación y desacelerando el tiempo de hidratación gracias a la “dilución” del contenido de cemento dando espacio para la formación de silicatos de calcio hidratado esto se traduce en menor tiempo de fraguado y menor puzolanidad [83]. Este efecto puede producirse a raíz de espacio extra para la hidratación y/o mejoras en la nucleación gracias a una mayor área superficial [84].

3. Efecto de dilución: Un factor importante en la inclusión de MCS es el efecto de dilución, en donde se da un efecto de remoción del cemento, por lo que, si no es un material de reacción temprana, existirá una reducción en la ganancia de resistencia que será proporcional a cantidad de cemento que se sustituya [85].

4. Química del cemento: Generalmente, la composición química del cemento presenta óxido de calcio [CaO (C) → 58% - 67%], dióxido de silicio [SiO₂ (S) → 16% - 26%], óxido de aluminio [Al₂O₃ (A) → 4% - 8%] y trióxido de hierro [Fe₂O₃ (F) → 2% - 5%]. Como el componente que más predomina es el óxido de calcio, se requiere que los componentes que más presentes estén en las puzolanas sean los -complementarios a este, principalmente el dióxido de silicio. Después de la formación del clinker y su molienda, se forman compuestos que fueron establecidos por primera vez por Le Chatelier en 1852 y, que son los que definen el

comportamiento del cemento hidratado. Se presenta el Silicato Tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C3S) \rightarrow Alita) presente entre un 30% a 50%, determina la resistencia inicial (7 días) y tiene mucha relevancia en el calor de hidratación; también se encuentra el Silicato Dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ \rightarrow C2S \rightarrow Belita) que determina resistencias mayores a una semana y tiene poca incidencia en el calor de hidratación; a parte, el Aluminato Tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ \rightarrow C3A) presente entre un 4% a 12%, que es el primero en hidratarse, influencia levemente en la resistencia mecánica y es muy malo frente a acciones de hielo y deshielo, junto a los silicatos ayudan a prevenir el fraguado violento, actuando como **catalizador**, para controlarlo. Finalmente se encuentra el Aluminio-Ferrito Tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ \rightarrow C4AF \rightarrow Celita) que tiene transcendencia en la velocidad de hidratación e influye en el color final del cemento. [86]

4.1. Silicato de calcio hidratado (C-S-H): “Constituye aproximadamente tres cuartas partes del volumen de la pasta hidratada y en consecuencia es el responsable de la estabilidad volumétrica y del comportamiento mecánico y durable de la misma”. [80]

4.2. Hidróxido de calcio (CH): “Es un material bien cristalizado, responsable de la buena protección frente a la corrosión que tiene el acero embebido en el concreto y de la baja resistencia de la pasta de cemento al ataque por ácidos [...] Los cristales de CH ocupan entre el 20 y el 25 % del volumen de la pasta hidratada, tienen una forma prismática hexagonal y crecen dentro de los poros capilares. El tamaño de estos cristales es variable (entre 10 y 100 μm) y depende del espacio disponible que tengan para crecer.” [80].

5. Mortero: El mortero es una mezcla entre arena, agua y algún aglomerante que sirve para unir los ladrillos o agregados que integran las obras de fábrica y para revestirlos con revocos o enlucidos. Se denominan según sea el aglomerante, así se tienen morteros de yeso, de cal o de cemento [87].

6. Álcalis: “Como álcalis del cemento se le conoce a la reacción química que se produce entre los áridos silíceos reactivos y los constituyentes alcalinos del hormigón, cuando entran en contacto con el agua. Esta reacción produce un beneficio para el hormigón, tal como un incremento en la capacidad de adhesión de la pasta o agregado. Sin embargo, también puede resultar perjudicial porque se producen presiones internas muy fuertes como consecuencia de la expansión de los productos de reacción, conllevando así a problemas graves como la fractura del hormigón.” [78].

“Existen otros requerimientos químicos opcionales de magnesia (MgO) y álcalis disponibles (Na_2O), cuando las puzolanas van a usarse para propósitos especiales, como en autoclaves

(material prefabricado a partir de aglomerantes, usado principalmente para construir muros portantes) o para reducir la reacción álcali agregado.” [88].

7. Índice de Explosividad Volcánica (IEV): Es un indicador general del carácter explosivo de una erupción volcánica para dar una medida o estimación de su magnitud, densidad, destructividad, poder dispersivo y violencia. Comprende valores de 0 a 8, siendo "0" una erupción débil como a causa de una simple salida de gases, y "8" en caso de una erupción ultra pliniana cuyo impacto es planetario.” [89].

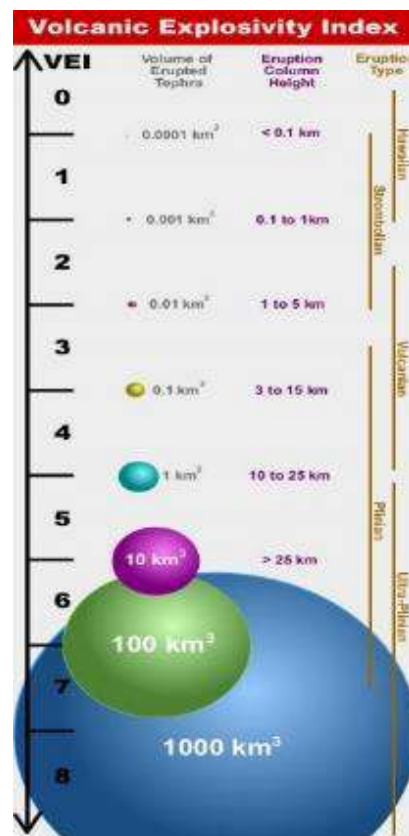


Figura 51. Índice de Actividad Volcánica (volumen, altura de columna eruptiva y tipo de erupción). Tomada de King [90].

8. Espesor (mapa de isópacas): “La medida del espesor máximo de un depósito de caída, se utiliza para construir un mapa de isópacas, las cuales son indicadores significativos de: a) la superficie del depósito b) el eje mayor de dispersión y c) el volumen del depósito. La construcción de un mapa de isópacas consiste en interpolar curvas de igual espesor del depósito, a veces sobre grandes áreas. Un mapa de un depósito de caída piroclástica histórica, generalmente muestra su distribución original modificada ya que entre puntos el depósito podría estar erosionado o sobre acumulado, ya sea por una oleada o un flujo piroclástico.” [10].

9. Tipos de erupciones volcánicas

9.1. Erupción vulcaniana: En los estratovolcanes, el tipo más común de erupción ocurre cuando la lava o los productos volcánicos relacionados obstruyen temporalmente un conducto eruptivo; presión que se acumula hasta que ocurre una explosión, expulsando una espesa nube de ceniza. Esto es lo que ocurre durante las erupciones explosivas "vulcanianas", que se identifican mejor a través de los pequeños flujos piroclásticos que producen. Estas explosiones vulcanianas están separadas por períodos de relativa inactividad que duran entre 1 minuto y 36 horas. Sin embargo, una erupción volcánica también puede ocurrir cuando el lado de un domo de lava es inestable y se desprenden bloques que liberan flujos piroclásticos. [91]

9.2. Erupción pliniana: Si una erupción tiene una columna sostenida, que dura entre horas a días, es una erupción pliniana. Durante las erupciones plinianas, se expulsan cantidades significativas de ceniza a la atmósfera, llegando a menudo a la estratosfera. [91] Es bastante común que parte de la columna de erupción colapse, creando flujos piroclásticos de largo recorrido. Si una columna de erupción sostenida tiene menos de 20 km de altura, es una erupción sub-pliniana; si es mayor de 20 km, es una erupción pliniana y; si una erupción con una columna de erupción sostenida expulsa más de 10 km³ de material de forma explosiva, se denomina erupción ultra-pliniana. [10]

9.3. Erupción freatomagmática: Este hecho puede sorprender a algunas personas, pero hay toda una clase de erupciones volcánicas que no expulsan lava. En las erupciones freáticas, el magma permanece en las profundidades y calienta las aguas subterráneas cercanas [91]. El agua subterránea calentada luego se convierte en vapor, y dado que el vapor ocupa más espacio que la misma masa de agua líquida, desencadena una poderosa explosión. Las erupciones freáticas pueden ocurrir como eventos únicos, pero se observan más comúnmente en las primeras etapas de una erupción magmática. Si una erupción freática es lo suficientemente grande, o si el magma que desencadena la erupción es bastante superficial, se pueden expulsar pequeños marcos de lava en lo que se denomina erupción freatomagmática. La naturaleza generalmente de esta erupción da como resultado que el magma y la roca sólida que rodea el respiradero se rompan en partículas del tamaño de la arena. [8]

10. Volcán compuesto o estratovolcán: “Un estratovolcán o volcán compuesto tiene una forma exterior cónica con flancos empinados y se compone de capas de lavas y piroclastos (cenizas, bombas, etc.) alternándose. Son estructuras que pueden alcanzar 8000 metros de altura y generalmente tienen un cráter en la cima, el cual puede contener un conducto o varios.” [10].

11. Peligros volcánicos

11.1. Flujos y oleadas de piroclásticos: Son mezclas de gases y materia volcánica que se mueve sobre las faldas del volcán alcanzando velocidades entre 100 – 400 km/h y temperaturas mayores a los 700°C. El origen de estos fenómenos se da de dos formas, 1) por una columna eruptiva de más de 10 km de altura que colapsa y 2) por la explosión de un domo de lava. También existen las llamadas oleadas piroclásticas (formadas generalmente cuando el agua interactúa de manera explosiva con el magma) se mueve con mayor velocidad porque contiene más gases que partículas y es capaz de rebasar barreras topográficas [92].

11.2. Flujos de lodo – lahares: Durante una erupción o acabada esta, cuando el material piroclástico se acumula en los flancos del volcán y se mezcla con agua (proveniente de lluvias, lagos en cráteres, glaciares) se forman los lahares. Pueden alcanzar velocidades de hasta 80 km/h inundando valles allende a su origen [92].

Anexo D: Fotografías de la investigación.



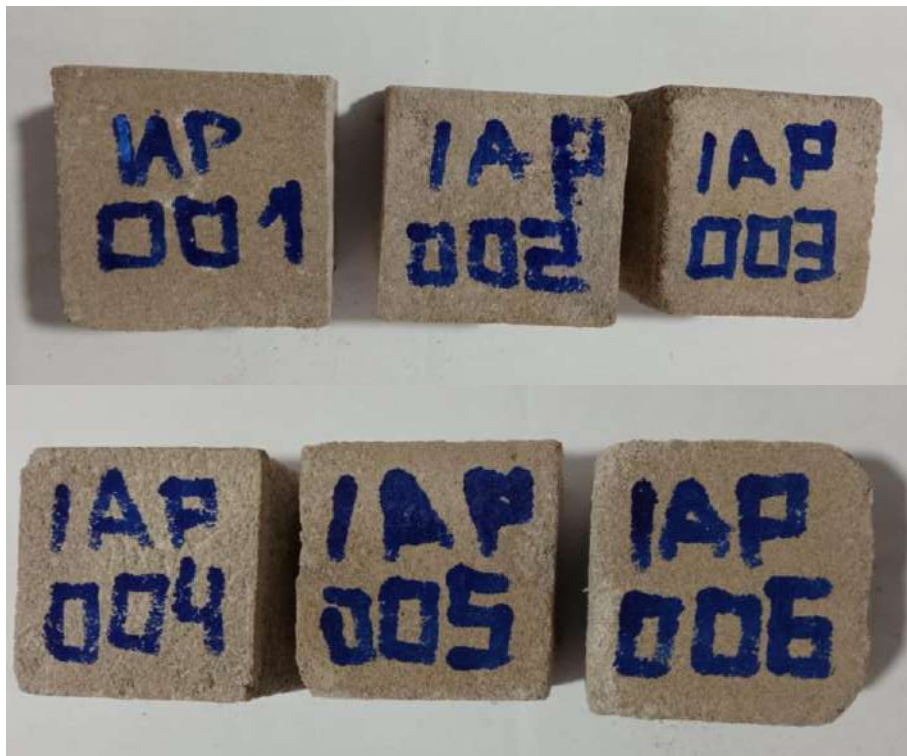
Horno eléctrico.



Lavado de cenizas en un tamiz No. 325 (45 μ m).



Ensayo de compresión para morteros.



Morteros de muestra patrón y ceniza co-pliniana.



Morteros de cemento tipo I con ceniza co-pliniana después de la falla.



Ensayos para los agregados.



Elaboración de cubos de mortero, cilindros y vigas de concreto.



Cemento y ceniza co-pliniana.



Asentamiento de la mezcla patrón y 30 % de ceniza co-pliniana.



Peso Unitario del concreto con 10 y 30% ceniza co-pliniana y 30% ceniza de cristal.



Máquinas de ensayo.



Fallas en probetas de concreto después de ser sometidas a esfuerzos de compresión.



Ensayo de resistencia a la tracción indirecta del concreto.



Ensayo de resistencia a la flexión en vigas de concreto.

Anexo E: Fichas técnicas y certificados de materiales para la elaboración de concreto

1) Ficha MSDS de cemento FRONTERA – GU

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD MSDS

REVISIÓN 2022

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO:

NOMBRE	CEMENTO FRONTERA TIPO GU ULTRA FUERTE
CÓDIGO DEL PRODUCTO	Bolsa 42.5
PROVEEDOR	YURA S.A.
TELÉFONO DE EMERGENCIA	(51 54) 495060 - Cel. 985628612



COMPOSICIÓN / INGREDIENTES:

Naturaleza química: Silicatos, Aluminatos y Ferroatuminatos Cálcicos

COMPONENTES DE RIESGO	N° CAS	LÍMITE PERMISIBLE
Dioxido de silicio (SiO ₂ +Rf)	14808-60-7	3mg PTS / m ³ aire respirable
Óxido de Calcio (como silicatos)	1305-78-8	10mg PTS / m ³ aire inhalable

IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

MARCA EN ETIQUETA	NTP	ASTM DESIGNACIÓN	N° CAS	LÍMITES PERMISIBLES
Cemento Frontera GU	334.082	C 1157	65997-15-1	10mg PTS / m ³ aire

	SALUD	1 RIESGO MENOR
	INFLAMABILIDAD	0 RIESGO MÍNIMO
	REACTIVIDAD	0 RIESGO MÍNIMO

SOBREEXPOSICIÓN	AGUDA (UNA SOLA VEZ)	CRÓNICA (A LARGO PLAZO)
INHALACIÓN	Irritación de las membranas mucosas húmedas de la nariz, garganta y tracto respiratorio superior.	Respuesta alérgica en el tracto respiratorio. Inhalación continuada puede agravar otras afecciones pulmonares, neumoconiosis o silicosis según su composición % de SiO ₂ .
CONTACTO CON:	PIEL: Seco: reseca; ardor o irritación. Mezcla de concreto o cemento seco en piel húmeda puede derivar en agrietamientos.	Exposición prolongada puede derivar en daño en la piel en forma de quemaduras químicas, engrosamiento y agrietamiento.
	OJOS: Inflamación, irritación, enrojecimiento y posible quemadura.	Origina desde irritación aguda, a quemaduras químicas o conjuntivitis severa.
INGESTIÓN	Puede derivar en irritación en mucosidades de tracto digestivo y náuseas.	Evitar su ingestión, por su probable acción sobre la mucosidad de tracto digestivo.

MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

En caso de contacto masivo en CC o tiempo de exposición con el producto, realizar lo siguiente:

INHALACIÓN	Libere a la persona afectada a exposición e inmediatamente llevarla a un ambiente fresco. Remueva el material depositado en fosas nasales y consiga atención médica si es preciso.
CONTACTO CON:	PIEL: Lavar periódicamente el área expuesta con agua, jabón PH neutro y haga buen enjuague.
	OJOS: Lavar con abundante agua fresca al menos durante 15 minutos.
INGESTIÓN	Si esta consciente dar de beber abundante agua fresca, sin producir vómitos. Solicitar ayuda médica de inmediato.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

ESTADO FÍSICO	APARIENCIA / COLOR	SOLUBILIDADES
Sólido particulado	Color Gris, inoloro	Ligera en agua (0.1 a 1.0 %)
PESO ESPECÍFICO	PH	TAMAÑO DE PARTICULAS
2.78 - 2.88 (gr. / cm ³)	(En agua): 12 a 13	0.8 - 3.0 % retenido en malla #325

TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN	No aplicable	TEMPERATURA DE DESCOMPOSICIÓN	No aplicable
PUNTO DE INFLAMACIÓN	No aplicable	PUNTO DE EXPLOSIÓN	No aplicable

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

ESTABILIDAD	Compuesto estable; mantenerlo seco hasta el momento de su utilización.
CONDICIONES QUE DEBEN EVITARSE	Evitar contacto involuntario del cemento con agua y sustancias incompatibles
MATERIALES QUE DEBEN EVITARSE	Por la naturaleza alcalina el cemento es incompatible con ácidos, sales amoniacales y aluminio; liberando gas hidrógeno en una reacción exotérmica.
PRODUCTOS PELIGROSOS DE LA DESCOMPOSICIÓN	Si se añade agua, el cemento se hidrata y produce Hidróxido de Calcio (causico)

INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

MEZCLA PELIGROSA	USDOL-OSHA considera a cemento mezclado como peligroso (Plan Contingencias)
MEZCLA PELIGROSA	SARA Título III considera a la mezcla de cemento como sustancia peligrosa, con efectos retardados en la salud epidérmica de los expuestos.
DEFINICIÓN	El cemento Frontera GU, resistente a suelos con contenido de sulfatos, tiene la característica de incremento de resistencia en concreto a lo largo del tiempo; su mayor impermeabilidad le hace ideal para construcción de presas y obras hidráulicas, menor calor de hidratación optimizando vaciados de grandes volúmenes.
RECOMENDACIÓN FINAL	Usuarios del producto deben recibir la capacitación precedente, que garantice la calidad en el empleo adecuado, la seguridad y protección de salud a operarios.

INFORMACIÓN ECOLÓGICA

INESTABILIDAD	No aplicable, el cemento es estable.
BIO - ACUMULACION	No hay información disponible.
EFFECTOS SOBRE EL AMBIENTE	Dañino para áreas verdes, en circunstancias que fragua en contacto con el agua.

CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

MÉTODO DE ELIMINACIÓN DEL PRODUCTO EN LOS RESIDUOS	ELIMINACIÓN DE ENVASES / EMBALAJES CONTAMINADOS
Luego de recupero del derrame o desperdicio, efectuar barrido y diluir con abundante agua.	Envases de papel utilizados en proceso constructivo. Envases de papel pueden ser fácilmente incinerados. Envases Big Bag son incinerados en hornos cemento.

CONSIDERACIONES SOBRE TRANSPORTE

Número UN ADR, ADN, IMDG, IATA	No aplica	Peligros para el medio ambiente: Contaminante marino	No
Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas ADR, ADN, IMDG, IATA	No aplica	Precauciones particulares para los usuarios	No regulado
Clase(s) de peligro para el transporte ADR, ADN, IMDG, IATA	No aplica	Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC	No regulado
Grupo de embalaje ADR, IMDG, IATA	No aplica	"Reglamentación Modelo" de la UNECE	-

NORMAS VIGENTES

NORMAS INTERNACIONALES APLICABLES	ASTM C 1157
NORMAS NACIONALES APLICABLES	NTP 334.082

OTRAS INFORMACIONES

Fuentes bibliográfica principales:
 - Toxic and Hazardous. Industrial Chemicals Safety Manual (The international information Institute)
 - Annual Book of ASTM standards
 - Material Safety Data Sheet for Heet (Austin Powder Company)

Los datos consignados en esta hoja informativa son obtenidos de nuestro laboratorio y fuentes confiables. Sin embargo expresa valores que pueden variar respecto a lo especificado, según sea la característica de cada tipo de producto. Las opiniones expresadas en este formulario son las de profesionales capacitados y la información transmitida es la actualmente conocida sobre la materia.

Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, la empresa no asume responsabilidad alguna por este concepto. Determinar las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.

2) Densidad de las cenizas volcánicas



**LYD CONTRATISTAS PROMOTORES
GENERALES S.R.L.**

DIRECCIÓN : Av. Nueva Esperanza 542, 303 Urb. - 72, MOQUEGUA
SUCURSAL : Av. Parado Nro. 1° Urb - 14, San Antonio MOQUEGUA
RUC : 3062280134
CELULAR : 984576778 / 984857916
E-mail : contratistas@lyd.com.pe

pagina 1 de 1

EXPEDIENTE N°	: 240 - 2022 - L Y D
SOLICITANTE	: BACH. RICARDO CÉSAR UGARTE DÁVILA
PROYECTO	: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA EXTRAÍDA DE DIFERENTES FASES DE DEPÓSITO DE CAÍDA DEL VOLCÁN HUAY-NAPUTINA, MOQUEGUA, 2022.
UBICACIÓN	: MARISCAL NIETO, MOQUEGUA, PERÚ
FECHA DE EMISIÓN	: 27 DE MAYO DEL 2022

1.0 MÉTODO DE ENSAYO

Título : AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DENSIDAD RELATIVA (PESO ESPECÍFICO) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.
Estándar : ASTM C128
Título : STANDARD TEST METHOD FOR DENSITY, RELATIVE DENSITY (SPECIFIC GRAVITY), AND ABSORPTION OF FINE AGGREGATE.
Code : ASTM C128

2.0 DE LA MUESTRA

- 1) CENIZA VOLCÁNICA COPLINIANA (PROCEDENTE DEL VOLCAN HUAYNAPUTINA) PASANTE DE LA MALLA No. 200.
- 2) CENIZA VOLCÁNICA DE CRISTAL (PROCEDENTE DEL VOLCAN HUAYNAPUTINA) PASANTE DE LA MALLA No. 200.

3.0 DEL EQUIPO

- : BALANZA DIGITAL DE CAPACIDAD DE 30 KG - MARCA: OHAUS
- : CILINDRO DE VIDRIO, GRADUADO, 1000 ml - MARCA: PYS EQUIPOS.
- : CONO DE ABSORCIÓN DE ARENA - MARCA: PYS EQUIPOS
- : HORNO ELÉCTRICO SHX-2A - MARCA: A y A INSTRUMENTS

4.0 RESULTADOS

1)	MUESTRA (CENIZA COPLINIANA)	UND	1	2	3	4	5	PROMEDIO
	MASA SECA EN HORNO	g	464.6	463.9	464.1	-	-	
	MASA PICNOMETRO (AGUA)	g	1256.0	1254.0	1255.1	-	-	
	MASA PICNOMETRO (MUESTRA + AGUA)	g	1432.4	1435.1	1427.9	-	-	
	MASA DE MUESTRA SATURADA DE SUPERFICIE SECA	g	500.0	500.0	500.0	-	-	
	DENSIDAD RELATIVA (CD)	g/cm ³	1.436	1.436	1.418	-	-	1.41
	DENSIDAD RELATIVA (SSD)	g/cm ³	1.545	1.568	1.528	-	-	1.55
	DENSIDAD RELATIVA (A)	g/cm ³	1.612	1.640	1.593	-	-	1.62
	ABSORCIÓN	%	7.619	7.702	7.735	-	-	7.7

2)	MUESTRA (CENIZA DE CRISTAL)	UND	1	2	3	4	5	PROMEDIO
	MASA SECA EN HORNO	g	486.4	489.0	486.5	-	-	
	MASA PICNOMETRO (AGUA)	g	687.3	687.3	687.3	-	-	
	MASA PICNOMETRO (MUESTRA + AGUA)	g	924.2	921.1	927.3	-	-	
	MASA DE MUESTRA SATURADA DE SUPERFICIE SECA	g	500.0	500.0	500.0	-	-	
	DENSIDAD RELATIVA (CD)	g/cm ³	1.656	1.637	1.678	-	-	1.66
	DENSIDAD RELATIVA (SSD)	g/cm ³	1.900	1.878	1.923	-	-	1.90
	DENSIDAD RELATIVA (A)	g/cm ³	1.942	1.916	1.966	-	-	1.94
	ABSORCIÓN	%	2.375	2.249	2.354	-	-	2.3

5.0 OBSERVACIONES

LA(S) MUESTRA(S) Y LA INFORMACIÓN REFERENTE A ESTA(S) HA SIDO PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE.
EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD (PREMIUM) Y VÍA ELECTRÓNICA (NOTA: SIN G. 1000).



LYD CONTRATISTAS PROMOTORES GENERALES S.R.L.
ING. JUAN CÉSAR ROMERO VELASQUEZ
INGENIERO CIVIL
N° 181727

3) Propiedades de los agregados para el concreto hidráulico



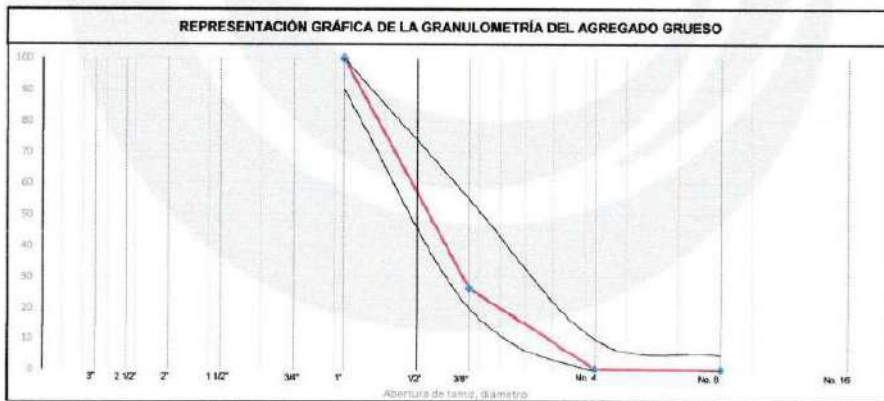
CONTROL DE CALIDAD &
LABORATORIO PARA LA CONSTRUCCION

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (NTP 400.012)

Expediente N° : 108 - 2022
 Tesis : "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Huisyapulina, Moquegua, 2022".
 Lugar : Calle Amazonas n° 105 - Moquegua
 Testista : Bach. Ricardo César Ugarte Dávila
 Fecha : Viernes, Mayo 13, 2022
 Cartera : "RADCOM 3"

Código: NTP 400.012 / ASTM D 422
 Título: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

Tamices in	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante	Especificaciones	Descripción de la muestra	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		Peso inicial	5533.4 g
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00		HUSO	67
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		TMN	3/4"
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00		M ²	6.71
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		NTP 400.037 / ASTM C33	
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		Tamiz	L. Inferior L. Superior
1/2"	12.70	2875.50	48.35	48.35	51.65		3/4"	90.00 100.00
3/8"	9.51	1394.20	25.20	73.55	26.45		3/8"	20.00 55.00
N° 4	4.75	1434.00	25.92	99.46	0.54		#4	95.00 100.00
N° 8	2.38	17.70	0.32	99.78	0.22		#8	80.00 100.00
N° 16	1.18	0.00	0.00	99.78	0.22		#16	50.00 85.00
N° 30	0.59	0.00	0.00	99.78	0.22		#30	25.00 60.00
N° 50	0.30	0.00	0.00	99.78	0.22		#50	5.00 30.00
N° 100	0.15	0.00	0.00	99.78	0.22		#100	0.00 10.00
N° 200	0.07	0.00	0.00	99.78	0.22		#200	0.00 5.00
< N° 200	< 0.07	12.00	0.22	100.00	0.00		Cartera	
Total		5533.40	100.00				RADCOM 3	



Nota(s):
 El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Guía Peruana Indecopi: GP.004.2003).



[Signature]
 ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 145225

Dirección : Calle Amazonas N° 105 - Moquegua
 Teléfono: 970009482 RUC : 20600479866
 E-mail: abgbuilding@gmail.com

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NTP 400.012)**

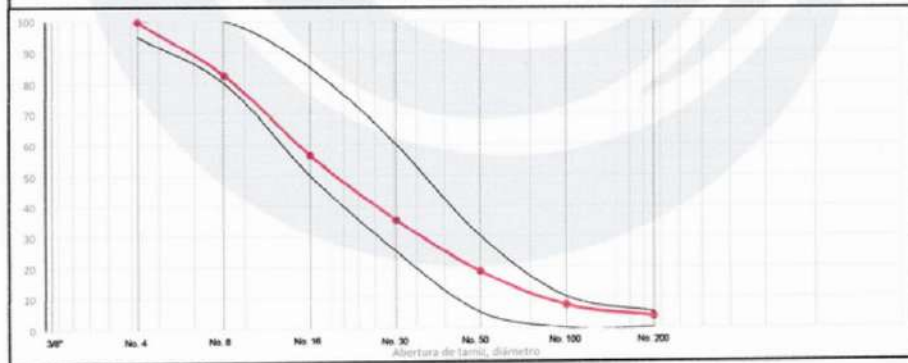
Expediente N° : 109 - 2022
 Tesis : "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Huaynaputina, Moquegua, 2022".
 Lugar : Calle Amazonas n° 105 - Moquegua
 Tesiseta : Bach. Ricardo César Ugarte Dávila
 Fecha : Viernes, Mayo 13, 2022
 Cantera : "RADCOM 3"

Código: NTP 400.012 / ASTM D 422

Título: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

Tamices In	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasante	Especificaciones	Descripción de la muestra		
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		Peso inicial	591.7 g	
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00		HUSO		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		TMN	No. 4	
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00		MF	3.00	
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		NTP 400.037 / ASTM C33		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		Tamiz	L. Inferior	L. Superior
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00		3/4"	90.00	100.00
3/8"	9.51	0.00	0.00	0.00	100.00		3/8"	20.00	55.00
N° 4	4.75	1.50	0.25	0.25	99.75		#4	95.00	100.00
N° 8	2.38	101.80	17.17	17.42	82.58		#8	80.00	100.00
N° 16	1.18	153.50	25.94	43.37	56.63		#16	50.00	85.00
N° 30	0.59	125.90	21.28	64.64	35.36		#30	25.00	60.00
N° 50	0.30	99.80	16.87	81.51	18.49		#50	5.00	30.00
N° 100	0.15	66.50	11.24	92.75	7.25		#100	0.00	10.00
N° 200	0.07	21.50	3.63	96.38	3.62		#200	0.00	5.00
< N° 200	< 0.07	21.40	3.62	100.00	0.00		Cantera		
Total		591.70	100.00				RADCOM 3		

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO



Nota(s):
 El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Guía Peruana Indecopi: GP-004:2003).




 ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 145225

**PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE AGREGADOS
(NTP 400.017)**

Expediente N° : 111 - 2022
 Tesis : "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Huaynaputina, Moquegua, 2022".
 Lugar : Calle Amazonas n° 105 - Moquegua
 Tesis : Bach. Roberto César Ugarte Divina
 Fecha : Viernes, Mayo 13, 2022
 Centro : "TRACOM 3"

Código: NTP 400.017 / ASTM C29
 Título: AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.

AGREGADO GRUESO						
MUESTRA	PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S)					5
	1	2	3	4	5	
PESO DE MOLDE	UND	9.23	9.23	9.23	9.23	9.23
PESO DE MUESTRA	kg	6.01	5.99	5.99	5.95	5.98
VOLUMEN DEL MOLDE	m ³	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040
PESO UNITARIO SUELTO SECO	kg/m ³	1512.62	1506.08	1508.83	1497.52	1504.82
PESO UNITARIO SUELTO SECO	kg/m ³	1505.57				
PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.)						
MUESTRA	PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.)					5
	1	2	3	4	5	
PESO DE MOLDE	UND	9.23	9.23	9.23	9.23	9.23
PESO DE MUESTRA	kg	5.24	5.29	5.28	5.31	5.38
VOLUMEN DEL MOLDE	m ³	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO	kg/m ³	1318.35	1330.18	1327.41	1335.21	1353.33
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO	kg/m ³	1332.90				
AGREGADO FINO						
MUESTRA	PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S)					5
	1	2	3	4	5	
PESO DE MOLDE	UND	9.23	9.23	9.23	9.23	9.23
PESO DE MUESTRA	kg	6.00	6.08	6.12	6.04	6.10
VOLUMEN DEL MOLDE	m ³	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040
PESO UNITARIO SUELTO SECO	kg/m ³	1509.10	1530.23	1539.04	1520.17	1534.26
PESO UNITARIO SUELTO SECO	kg/m ³	1528.56				
MUESTRA	PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.)					5
	1	2	3	4	5	
PESO DE MOLDE	UND	9.23	9.23	9.23	9.23	9.23
PESO DE MUESTRA	kg	6.60	6.64	6.65	6.59	6.59
VOLUMEN DEL MOLDE	m ³	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO	kg/m ³	1661.34	1671.15	1674.17	1658.57	1658.07
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO	kg/m ³	1664.66				



ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 145225

Nota(s):
 El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Guía Peruana Indecopi: GP-004-2003).

**PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO
(NTP 400.021 - NTP 400.022)**

Expediente N° : 112 - 2022
 Tesis : "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Huaynaputina, Moquegua, 2022".
 Lugar : Calle Amazonas n° 105 - Moquegua
 Tesisista : Bach. Ricardo César Ugarte Dávila
 Fecha : Viernes, Mayo 13, 2022
 Cantera : "RADCOM 3"

Código: NTP 400.021 / ASTM C127
 Título: AGREGADOS. Método de ensayo para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.

AGREGADO GRUESO					
MUESTRA	UND	1	2	3	4
PESO SECO EN HORNO	g	1252.50	1246.60	1250.20	1244.30
PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (EN)	g	1207.70	1258.90	1264.80	1256.00
PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (EN)	g	771.90	796.10	769.90	764.60
DENSIDAD RELATIVA (OD)	g/cm ³	2.53	2.53	2.53	2.53
		2.53			
DENSIDAD RELATIVA (SSD)	g/cm ³	2.56	2.55	2.56	2.56
		2.56			
DENSIDAD RELATIVA (A)	g/cm ³	2.61	2.59	2.60	2.59
		2.60			
ABSORCIÓN	%	1.2	1.0	1.2	0.9
		1.1			

Código: NTP 400.022 / ASTM C128
 Título: AGREGADOS. Método de ensayo para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.

AGREGADO FINO					
MUESTRA	UND	1	2	3	4
PESO SECO EN HORNO	g	483.10	482.2	481.15	480.25
MASA PIGNÓMETRO (AGUA)	g	687.30	687.29	687.35	687.34
MASA PIGNÓMETRO (MUESTRA + AGUA)	g	998.90	998.60	998.40	998.10
MASA DE MUESTRA SATURADA DE SUPERFICIE	g	500.00	500.00	500.00	500.00
DENSIDAD RELATIVA (OD)	g/cm ³	2.56	2.55	2.55	2.54
		2.55			
DENSIDAD RELATIVA (SSD)	g/cm ³	2.65	2.65	2.65	2.64
		2.65			
DENSIDAD RELATIVA (A)	g/cm ³	2.82	2.82	2.83	2.83
		2.83			
ABSORCIÓN	%	3.5	3.7	3.9	4.1
		3.8			

Nota(s):

El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Guía Peruana Indecopi: GP-004:2003).




 ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 CIR. 145225

Anexo F: Diseño de mezcla de concreto hidráulico por el método ACI



CONTROL DE CALIDAD &
LABORATORIO PARA LA CONSTRUCCION

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO A.C.I.

Expediente N°	: 113 - 2022
Tesis	: "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes bases de depósito de caída del volcán Huaynaputina, Moquegua, 2022"
Lugar	: CALLE AMAZONAS N°105 - MOQUEGUA
Testista	: Bach. Ricardo César Ugarte Dávila
Fecha	: Viernes, Mayo 13, 2022
Cantera	: "RADCOM 3"
Código:	ACI PRC-211.1-91
Título:	Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009)

DATOS DE DISEÑO			
DOSIFICACIÓN $f_c =$ kg/cm ²			
Asentamiento		3 @ 4 in	
Cemento			
Peso Especifico del Cemento		2.80	
Factor Cemento		8.64 bc/m ³	
Relación Agua Cemento		0.56	
Peso Especifico del Agua		1000 kg/m ³	
Contenido de Aire atrapado		2.00 %	
PROPIEDADES FÍSICAS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	
Peso Unitario Compactado	1864.7 kg/m ³	1332.9 kg/m ³	
Peso Especifico	2.551 g/cm ³	2.529 g/cm ³	
Contenido de Humedad	1.93 %	0.52 %	
Absorción	3.81 %	1.08 %	
Módulo de fineza	3.00	6.71	
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	- in	3/4 in	
PROPORCIÓN EN PESO		PROPORCIÓN EN VOLUMEN	
Cemento	42.5 kg	Cemento	1.00 bls de cemento
Ag. Fino	98.7 kg/saco	Ag. Fino	2.41 pie ³
Ag. Grueso	03.0 kg/saco	Ag. Grueso	2.50 pie ³
Agua	26.1 litros de agua	Agua	26.07 litros
CANTIDAD DE MATERIALES SECOS POR METRO CÚBICO DE CONCRETO (teórico)			
Peso (m³)	2208.69 kg/m³		
Cemento	367.12 kg/m ³	Marca: FRONTERA - Tipo: GU	
Agua	205.10 kg/m ³	Potable	
Agregado Fino	836.73 kg/m ³	Cantera "RADCOM 3"	
Agregado Grueso	799.74 kg/m ³	Cantera "RADCOM 3"	
CANTIDAD DE MATERIALES POR METRO CÚBICO, CORREGIDOS POR HUMEDAD			
Peso (m³)	2249.11 kg/m³		
Cemento	367.12 kg/m ³	Marca: FRONTERA - Tipo: GU	
Agua	225.21 kg/m ³	Potable	
Agregado Fino	852.88 kg/m ³	Cantera "RADCOM 3"	
Agregado Grueso	803.90 kg/m ³	Cantera "RADCOM 3"	

Notas(s):

Se recomienda utilizar un aditivo plastificante y retardante para un mejor control de calidad de concreto a altas temperaturas garantizando una mayor durabilidad a través del tiempo.
El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Guía Peruana Indecup: GP-004-2003).



ERICK ANGEL FLORES ARIAS
INGENIERO CIVIL
CIP. 145225

Dirección : Calle Amazonas N° 105 - Moquegua
Teléfono: 970009482 RUC : 20600479866
E-mail: abgbuilding srl@gmail.com

Anexo G: Instrumentos (fichas de observación: ejemplos) de recolección de datos.

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS (JUICIO DE EXPERTOS)

Estimado(a) especialista: MBA. Ing. Jairo René Niño Hernández

Considerando su actitud académica y trayectoria profesional, permítame nombrarlo como JUEZ EXPERTO para revisar el contenido del instrumento de recolección de datos.

- ✓ INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS (Finura).
- ✓ INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS (Índice de Actividad de Resistencia - IAR)
- ✓ INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS (*)
- ✓ INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO (Asentamiento).
- ✓ INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO (Peso Unitario y Contenido de Aire).
- ✓ INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO (Compresión).
- ✓ INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO (Tracción).
- ✓ INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO (Flexión).

(*) La composición química, LOI y contenido de humedad de las cenizas volcánicas se obtendrá en el laboratorio: Laboratorio Analítico del Sur; por medio del método de ensayo para rocas fusión alcalina (SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Mn_2O_3 , Na_2O , K_2O , LOI).


A la vez, adjunto la matriz de consistencia y operacionalización de variables para la revisión respectiva del proyecto de tesis que tiene como enfoque: **cuantitativo**.

El resultado de esta evaluación permitirá la validez de contenido del instrumento para la tesis:

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA EXTRAÍDA DE DIFERENTES FASES DE DEPÓSITO DEL VOLCÁN HUAYNAPUTINA, MOQUEGUA, 2022.”

En la línea de investigación: Gestión de la construcción.

Sincero agradecimiento por sus aportes.


Bach. Ricardo César Ugarte Dávila
DNI: 72861132

Moquegua, 01 de junio del 2022

FORMATO DE VALIDACIÓN DE CRITERIOS DE EXPERTOS

1. CRITERIOS DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Revisar cada ítem del instrumento de recolección de datos y marcar con una equis (×) o cruz (+) según corresponda a cada uno de los indicadores de la ficha teniendo en cuenta:

1	Deficiente [D]	Si menos del 30% de los ítems cumplen con el indicador.
2	Regular [R]	Si entre el 31% y 70% de los ítems cumplen con el indicador.
3	Buena [B]	Si más del 70% de los ítems cumple con el indicador.

2. COEFICIENTE DE VALIDEZ: V DE AIKEN

$$V = \frac{S}{(n(c - 1))}$$

Donde:

S = Sumatoria de s_i

s_i = Valor asignado por el juez "i".

n = Número de jueces (5, en este caso).

c = Número de valores de la escala de valoración (3, en este caso).

Experto 01: MBA. NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo Rene.

Fecha: 25/06/2022

Criterios	Indicadores	D [1]	R [2]	B [3]	Observación
Pertinencia	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
Coherencia	Responden a los que se debe medir en la variable dimensiones e indicadores.			X	
Congruencia	Están acorde con el avance de la ciencia y tecnología.			X	
Suficiencia	Son suficientes en cantidad para medir los indicadores de la variable.		X		Se pueden realizar medición de MR (módulo de rotura) en vigas para la flexión en usos como los pavimentos.
Objetividad	Se expresan en comportamiento y acciones observables y verificables.			X	
Consistencia	Se han formulado en relación a la teoría de las dimensiones de la variable.			X	
Organización	Son secuenciales y distribuidos de acuerdo a dimensiones.			X	
Claridad	Están redactados en un lenguaje claro y entendible.			X	
Oportunidad	El instrumento se aplica en un momento adecuado.			X	En este momento la sostenibilidad ambiental es primordial, esta investigación puede conducir a mejorar estas condiciones.
Estructura	El instrumento cuenta con instrucciones y opciones de respuesta bien definida.			X	



CEMTECC

Jairo Niño Hernández
GERENTE GENERAL

$$\frac{D + R + B}{30} = 0.97$$

FIRMA Y SELLO DEL VALIDADOR

Experto 02: ING. QUISPE COLOMA, Lina Cristina

Fecha: 21/06/2022


Criterios	Indicadores	D [1]	R [2]	B [3]	Observación
Pertinencia	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
Coherencia	Responden a los que se debe medir en la variable dimensiones e indicadores.			X	
Congruencia	Están acorde con el avance de la ciencia y tecnología.			X	
Suficiencia	Son suficientes en cantidad para medir los indicadores de la variable.		X		En cuanto a los ensayos de Módulo de Rotura, sería adecuado practicar uno o dos más por cada sustitución.
Objetividad	Se expresan en comportamiento y acciones observables y verificables.			X	
Consistencia	Se han formulado en relación a la teoría de las dimensiones de la variable.			X	
Organización	Son secuenciales y distribuidos de acuerdo a dimensiones.			X	
Claridad	Están redactados en un lenguaje claro y entendible.			X	
Oportunidad	El instrumento se aplica en un momento adecuado.			X	
Estructura	El instrumento cuenta con instrucciones y opciones de respuesta bien definida.			X	


 LINA QUISPE COLOMA
 Gerente de Calidad

$$\frac{D + R + B}{30} = 0.97$$

FIRMA Y SELLO DEL VALIDADOR

Crterios	Indicadores	D [1]	R [2]	B [3]	Observación
Pertinencia	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
Coherencia	Responden a los que se debe medir en la variable dimensiones e indicadores.		X		Sería recomendable analizar la finura no solo por el método del porcentaje retenido en la malla No. 325, sino también expresada en superficie específica (Blaine).
Congruencia	Están acorde con el avance de la ciencia y tecnología.			X	
Suficiencia	Son suficientes en cantidad para medir los indicadores de la variable.			X	
Objetividad	Se expresan en comportamiento y acciones observables y verificables.			X	
Consistencia	Se han formulado en relación a la teoría de las dimensiones de la variable.			X	
Organización	Son secuenciales y distribuidos de acuerdo a dimensiones.			X	
Claridad	Están redactados en un lenguaje claro y entendible.			X	
Oportunidad	El instrumento se aplica en un momento adecuado.			X	
Estructura	El instrumento cuenta con instrucciones y opciones de respuesta bien definida.			X	

$$\frac{D + R + B}{30} = 0.97$$


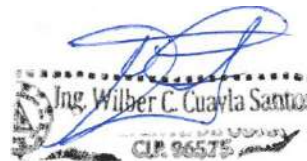
RUDI WALTER ACUÑA OJEDA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 149908

FIRMA Y SELLO DEL VALIDADOR

Experto 04: ING. CUAYLA SANTOS, Wilber C.

Fecha: 05/06/2023

Crterios	Indicadores	D [1]	R [2]	B [3]	Observación
Pertinencia	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
Coherencia	Responden a los que se debe medir en la variable dimensiones e indicadores.			X	
Congruencia	Están acorde con el avance de la ciencia y tecnología.			X	
Suficiencia	Son suficientes en cantidad para medir los indicadores de la variable.			X	
Objetividad	Se expresan en comportamiento y acciones observables y verificables.			X	
Consistencia	Se han formulado en relación a la teoría de las dimensiones de la variable.			X	
Organización	Son secuenciales y distribuidos de acuerdo a dimensiones.			X	
Claridad	Están redactados en un lenguaje claro y entendible.			X	
Oportunidad	El instrumento se aplica en un momento adecuado.			X	
Estructura	El instrumento cuenta con instrucciones y opciones de respuesta bien definida.			X	



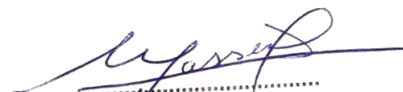
$$\frac{D + R + B}{30} = 1.00$$

FIRMA Y SELLO DEL VALIDADOR

Experto 05: ING. LAURA MAMANI, Yasser Vladimiro

Fecha: 14/05/2023

Criterios	Indicadores	D [1]	R [2]	B [3]	Observación
Pertinencia	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X	
Coherencia	Responden a los que se debe medir en la variable dimensiones e indicadores.			X	
Congruencia	Están acorde con el avance de la ciencia y tecnología.			X	
Suficiencia	Son suficientes en cantidad para medir los indicadores de la variable.			X	
Objetividad	Se expresan en comportamiento y acciones observables y verificables.			X	
Consistencia	Se han formulado en relación a la teoría de las dimensiones de la variable.			X	
Organización	Son secuenciales y distribuidos de acuerdo a dimensiones.			X	
Claridad	Están redactados en un lenguaje claro y entendible.			X	
Oportunidad	El instrumento se aplica en un momento adecuado.			X	Por supuesto, cualquier propuesta hacia el aprovechamiento de nuestros recursos siempre será una oportunidad para la mejora ambiental, social y económica.
Estructura	El instrumento cuenta con instrucciones y opciones de respuesta bien definida.			X	


 Yasser Vladimiro Laura Mamani
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 81871

$$\frac{D + R + B}{30} = \boxed{1.00}$$

FIRMA Y SELLO DEL VALIDADOR

PRESENTACIÓN DE EXPERTOS

Apellidos y nombres	Profesión	Código de colegiatura	Cargo	Experiencia laboral y/o académica
NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo Rene	Ing. Civil	En trámite	Gerente	<p>MBA de la Universidad Católica de Murcia – España Magister en International Management del IPADE – USA. Ingeniero Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Bogotá – Colombia con más de 32 años de experiencia. Ha sido gerente de varias empresas nacionales y multinacionales en Perú y Colombia de la industria del cemento y concreto.</p> <p>Estudios superiores en patología y rehabilitación de estructuras de concreto reforzado en varias instituciones de Colombia, Perú, España, Francia y EEUU.</p> <p>Actualmente es gerente general del Centro de Ensayos de Materiales y Tecnología para Construcción – CEMTECC en Lima y Director de Ingeniería de DINAMIKO INGENIERÍA. De igual forma, docente Universitario de la Universidad Católica San Pablo y Universidad Católica Santa María. Miembro de ASTM International.</p>

Apellidos y nombres	Profesión	Código de colegiatura	Cargo	Experiencia laboral y/o académica
<p style="text-align: center;">QUISPE COLOMA, Lina Cristina</p>	<p style="text-align: center;">Ing. Civil</p>	<p style="text-align: center;">84924</p>	<p style="text-align: center;">Gerente de Calidad</p>	<p>Ingeniera Civil de la Universidad José Carlos Mariátegui – Perú, con más de 17 años de experiencia. Ha sido gerente de varias empresas nacionales e internacionales en el Perú de la industria de la calidad, concreto y construcción.</p> <p>Especialización en: Gestión de las Normas ASTM y Reportes ACI Relacionados, para su Aplicación Eficiente en las Obras Civiles. Identificación y Evaluación de Patologías de Fallas del Concreto Industrializado en Estado Fresco y Endurecido en Obra, su Trascendencia y Alternativas de Solución bajo los Estándares ASTM y ACI. Selección, Evaluación, Calificación y Control de Calidad de los Materiales para la Producción de Concreto.</p> <p>Actualmente es Gerente de Calidad en Cumbra S.A. del Proyecto: Planta de Flotación de Partículas Gruesas (CPF) – del Proyecto Quellaveco – en Moquegua.</p>

Apellidos y nombres	Profesión	Código de colegiatura	Cargo	Experiencia laboral y/o académica
ACUÑA OJEDA, Rudi Walter	Ing. Civil	149008	Supervisor de Proyectos en ANGLO AMERICAN QUELLAVECO	<p>Maestría en Ciencias de la Tierra con Mención en Geotecnia por la Universidad Nacional de San Agustín – 2021</p> <p>Ingeniera Civil por la Universidad Nacional Federico Villareal - Universidad Alas Peruanas.</p> <p>Diplomado en Gerencia de Proyectos según enfoques PMI – Universidad de Piura.</p> <p>Profesional en Ingeniería Civil con más de 11 años de experiencia en la gestión de proyectos en el sector público y privado.</p> <p>Actualmente, me desempeño en el sector minero desarrollando proyectos de diferentes disciplinas desde el inicio hasta el cierre de los mismos, como coordinador de proyectos aplicando las mejores prácticas del PMI y Gestión por Resultados.</p>

Apellidos y nombres	Profesión	Código de colegiatura	Cargo	Experiencia laboral y/o académica
CUAYLA SANTOS, Wilber Cristhian	Ing. Civil	96575	Supervisor en AGRO RURAL - MOQUEGUA	<p>Ingeniero civil de la Universidad Privada de Tacna, con más de 16 años de experiencia.</p> <p>Ha sido sub-gerente, supervisor y residente en instituciones públicas y empresas privadas, en áreas dedicadas a la construcción y mantenimiento de pavimentos, irrigaciones, obras sanitarias e hídricas.</p> <p>SUB GERENTE DE OBRAS PÚBLICAS DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MARISCAL NIETO – MOQUEGUA, ENTRE MARZO 2015 A MAYO 2017.</p> <p>PRESIDENTE DEL CAPÍTULO DE CIVILES – MOQUEGUA, ENTRE 2016 A 2018.</p> <p>SUPERVISOR EN LA “CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CENTRO POBLADO MUYLAQUE – SECTOR AGRÍCOLA CHINA – EMPALME CARRETERA SAN CRISTÓBAL QUINISTAQUILLAS, DISTRITO SAN CRISTÓBAL, PROVINCIA DE MARISCAL NIETO – MOQUEGUA”.</p> <p>Diplomado en Pavimentos Asfálticos por la Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.</p> <p>Diplomado en Supervisor de Seguridad por la Universidad Nacional de San Agustín, 2012.</p>

Apellidos y nombres	Profesión	Código de colegiatura	Cargo	Experiencia laboral y/o académica
LAURA MAMANI, Yasser Vladimiro	Ing. Civil	81871	Gerente	<p>Ingeniero Civil de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno – Perú, con más de 12 años de experiencia.</p> <p>Ha sido residente, supervisor, coordinador y gerente de varias empresas públicas y privadas en los sectores de construcción, saneamiento y concreto.</p> <p>Supervisor de la Obra: Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado en la ciudad de Desagüadero. – CONSORCIO RH SUPERVISORES.</p> <p>Supervisor de la Obra: Instalación del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado en el área urbana del Centro Poblado de Santiago del distrito de Juli, Provincia de Chucuito, Puno. – H&U INGENIEROS SAC.</p>

INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES FÍSICA Y MECÁNICAS DE LA CENIZA VOLCÁNICA (Finura)

La siguiente ficha tiene como objeto: Determinar las propiedades físicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina.

Tesista	Ricardo César Ugarte Dávila
Fecha y lugar de ensayo	Laboratorio de suelos y concreto L y D
Norma	ASTM C430 / NTP 334.045

No.	Ceniza Volcánica	Tiempo de Molienda	Muestra Retenida [Rs] - [g]	Factor de corrección [C]	Muestra Corregida [Rc] - [%]	Finura [F] - [%]	Coefficiente de Variación	Aceptado / Rechazado
004	X) Co-pliniana B) Cristal	1) 0 min	557.4	0.00	557.4	44.3		A
005		X) 30 min	560.8	0.00	560.8	43.9	0.80%	A
006		3) 60 min	564.1	0.00	564.1	43.6		A
		4) 90 min						
007	X) Co-pliniana B) Cristal	1) 0 min	320.4	0.00	320.4	68.0		A
008		2) 30 min	317.0	0.00	317.0	68.3	0.22%	A
009		X) 60 min	319.4	0.00	319.4	68.1		A
		4) 90 min						
010	X) Co-pliniana B) Cristal	1) 0 min	207.7	0.00	207.7	79.2		A
011		2) 30 min	210.5	0.00	210.5	79.0	0.13%	A
012		3) 60 min	208.7	0.00	208.7	79.1		A
		X) 90 min						

Presión del rociador

69 kPa ± 4 kPa
2.5 ± 0.5 kg/cm²

Fórmula

$$Rc = Rs \times (100 + C)$$

$$F = 100 - Rc$$

INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES FÍSICA Y MECÁNICAS DE LA CENIZA VOLCÁNICA (Índice de Actividad de Resistencia)

La siguiente ficha tiene como objeto: Determinar las propiedades mecánicas de la ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina.

Realizado por		Ricardo César Alvarado Davila												
Norma		ASTM C109												
Probeta		Ceniza Volcánica		Fecha de		Edad [días]	Longitud [cm]		Área [cm ²]	Carga [kgf]	Resistencia [kgf/cm ²]	Resistencia Promedio [kgf/cm ²]	IAR [%]	Coeficiente de variación
No.	Código	% Sustitución	Tipo	Vaciado	Rotura		L1	L2						
03	IAP007	35%	<input checked="" type="checkbox"/> Co-pliniana <input type="checkbox"/> B) Cristal <input type="checkbox"/> C) Sin ceniza	22/07/22	29/07/22	<input checked="" type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> B) 28	5.0	5.0	25.0	2712	108.5	107.3	76.1	2.92
	IAP008						5.0	5.0	25.0	2741	109.6			
	IAP009						5.0	5.0	25.0	2593	103.7			
04	IAP010	de puzolana por cemento	<input checked="" type="checkbox"/> Co-pliniana <input type="checkbox"/> B) Cristal <input type="checkbox"/> C) Sin ceniza	22/07/22	17/08/22	<input type="checkbox"/> A) 7 <input checked="" type="checkbox"/> 28	5.0	5.0	25.0	4598	183.9	180.6	90.1	1.78%
	IAP011						5.0	5.0	25.0	4507	180.3			
	IAP012						5.0	5.0	25.0	4438	177.5			

INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO (Asentamiento)

La siguiente ficha tiene como objeto: Determinar cómo afecta la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades en estado fresco del concreto hidráulico.

Tesista	: Ricardo César Ugarte Dávila
Fecha y lugar de ensayo	: 02/07/2022
Norma	: NTP 339.035:2015
Slump de diseño	: 3" - 4"

Probeta		Ceniza Volcánica		Asentamiento			
No.	Código	Porcentaje de sustitución	Tipo	[mm]	Promedio	[in]	Promedio
02	SSS-004	1) 10% 2) 20% 3) 30%	A) Co-pliniana B) Cristal	89	88	3 1/2"	3 1/2"
	SSS-005			89		3 1/2"	
	SSS-006			86		3 1/2"	
03	SSS-007	1) 10% 2) 20% 3) 30%	A) Co-pliniana B) Cristal	73	72	2 3/4"	2 3/4"
	SSS-008			71		2 3/4"	
	SSS-009			71		2 3/4"	
07	SSS-019	1) 10% 2) 20% 3) 30%	A) Co-pliniana B) Cristal	85	83	3 1/4"	3 1/4"
	SSS-020			84		3 1/4"	
	SSS-021			81		3 1/4"	

INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO (Peso Unitario y Contenido de Aire)

La siguiente ficha tiene como objeto: Determinar cómo afecta la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades en estado fresco del concreto hidráulico.

Tesista													
Ricardo César Ugarte Dávila													
Probeta		Ceniza Volcánica		Fecha de Ensayo	Peso de la muestra [Mc - Mm] [kg]	Volumen del recipiente [Vm] [m3]	Peso Unitario del Concreto [D] [kg/m3]	Masa Teórica [kg]	Volumen Absoluto [m3]	Peso Unitario Teórico [T] [kg/m3]	Contenido de aire [A] [%]	Contenido de aire prom. [%]	Coeficiente de Variación
No.	Código	Porcentaje de sustitución	Tipo										
1	PU-001	1) 0% 2) 10% 3) 20% 4) 30%	A) Co-pliniana B) Cristal C) Control	27/06/22	15.836	0.00709	2243.0	2249.13	0.9929	2265.1	0.98	0.804	0.17
	PU-002				15.890	0.00709	2250.7				0.64		
	PU-003				15.865	0.00709	2247.1				0.79		

Fórmulas:

Para el peso unitario o densidad, usar la siguiente ecuación:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Y para el contenido de aire:

$$A = \left[\frac{(T - D)}{T} \right] \times 100$$

INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO (Compresión)

La siguiente ficha tiene como objeto: Determinar cómo afecta la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades mecánicas del concreto hidráulico.

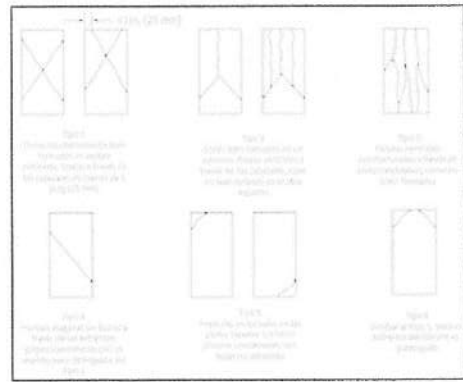
Norma		NTP 339:034:2015				f'c de diseño		210 kg/cm ²									
Porcentaje de sustitución		30%				Tipo de ceniza volcánica		Ceniza co-pliniana									
No.	Código	Fecha de		Edad (días)	Diámetro		Área (cm ²)	Carga (kgf)	Peso de Probeta (lb)	Resistencia		Resistencia promedio		Tipo de Falla	Desviación estándar	Coeficiente de Variación	Aceptado / Rechazado
		Vaciado	Rotura		D ₁	D ₂				(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(%)				
16	ccc-064	03 dd	10 dd		14.9	14.9	174.37	21250	11.28	121.87	71.44			II			A
16	ccc-065	07 mm	07 mm	A)3 X C)14 D)28	15.0	15.0	176.71	21710	11.44	122.85	72.02	119.97	70.33	II	4.17%	3.48%	A
16	ccc-066	2022 aaaa	2022 aaaa		15.1	15.0	177.89	20490	11.50	115.18	67.52			III			A

Fórmula

$$f_{cm} = \frac{4P_{máx}}{\pi D^2}$$

Velocidad de carga

0.25 ± 0.05 MPa/s
2.5 ± 0.5 kg/cm²



INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO (Tracción)

La siguiente ficha tiene como objeto: Determinar cómo afecta la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades mecánicas del concreto hidráulico.

Tesis		Ricardo César Ugarte Delaño																	
Norma		NTP 339.084:2012																	
Fc de diseño		210 kg/cm ²							Edad		28 días								
No.	Código	Ceniza Volcánica		Fecha de		Diámetro [D] - [cm]		Longitud [L] [cm]	Área [cm ²]	Carga [P] [kgf]	Peso de Probeta [g]	Resistencia [T]		Resistencia promedio		Coeficiente de Variación	Aceptado / Rechazado		
		Porcentaje de sustitución	Tipo	Vaciado	Rotura	D ₁	D ₂					[kgf/cm ²]	[%]	[kg/cm ²]	[%]				
04	TTT 026	A) 0% B) 10% C) 20% D) 30%	*Co-pliniana B) Cristal C) Control	03/	31/	14.81	14.83	29.93	443.86	16110	11155	23.11	13.54	22.97	13.46	2.65%	A		
	TTT 027					14.82	14.85	29.95	444.46	16191	11163	23.19	13.59				A		
	TTT 028					07/	07/	14.80	14.83	29.95	443.86	16236	11148				23.29	13.65	A
	TTT 029					2022	/	14.95	14.97	29.95	448.05	15409	11339				21.89	12.83	A
	TTT 030					2022	14.96	14.96	29.95	448.05	16444	11354	23.36				13.70	A	

Velocidad de carga

Fórmula

1.05 ± 0.35 MPa/s
10.7 ± 3.6 kg/cm²

$$T = \frac{2P}{\pi LD}$$

INSTRUMENTO PARA MEDIR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO (Flexión).

La siguiente ficha tiene como objeto: Determinar cómo afecta la adición de ceniza volcánica co-pliniana y de cristal extraída de los depósitos de caída del volcán Huaynaputina en las propiedades mecánicas del concreto hidráulico.

Tesisista		Ricardo César Ugarte Dávila										
Norma		ASTM C293 // NTP 339.079 : 2012										
f _c de diseño		: 210 kg/cm ²					Edad		28 días			
Probeta		Ceniza Volcánica		Fecha de		Dimensiones			Carga [P] [kgf]	Peso de Viga [g]	Módulo de rotura	
						Alto	Ancho	Largo			[kg/cm ²]	[%]
No.	Código	Porcentaje de sustitución	Tipo	Vaciado	Rotura	h prom [cm]	d prom [cm]	L prom. [cm]				
3	FFF-005	A) 0% B) 10% C) 20% D) 30%	Cristal	15/07/2022	12/08/2022	15.5	16.0	50.0	1450	26745	27.41	14.88
4	FFF-003	A) 0% B) 10% C) 20% D) 30%	Co-pliniana	14/07/2022	11/08/2022	15.0	15.0	50.0	1350	25590	30.00	14.20

Velocidad de carga	Fórmula
0.9 a 1.2 MPa/s 9.2 ± 12.2 kg/cm ²	$R = \frac{3PL}{2bd^2}$

Anexo H: Certificados de calidad de cenizas volcánicas y propiedades mecánicas de los concretos hidráulicos de control y experimentales.



Laboratorios Analíticos del Sur
Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-22-04137

Fecha de emisión: 11/06/2022

Pág.: 1/1

Señores: RICARDO CESAR UGARTE DAVILA
Dirección: AV EMANCIPACIÓN Nº 3466 - MOQUEGUA
Atención: RICARDO CESAR UGARTE DAVILA
Recepción: 8/06/2022
Realización: 8/06/2022


Observación: Laboratorio No realiza la toma de muestra.

Proyecto: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de calda del volcán Huaynaputina Moquegua 2022

Método de ensayo aplicado

*592 Método de Ensayo para Rocas Fusión alcalina (SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Mn₂O₃, Na₂O, K₂O, LOI)

Muestra #	Nombre de muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	*700 H ₂ O %	*592 SiO ₂ %	*592 CaO %	*592 MgO %	*592 Al ₂ O ₃ %	*592 Fe ₂ O ₃ %	*592 Mn ₂ O ₃ %	*592 Na ₂ O %	*592 K ₂ O %	*592 LOI %
MN22008583	CENIZA COPLINIANA	Ceniza	VOLCAN HUAYNAPUTINA	0,90	59,64	7,84	1,78	15,21	5,87	0,09	3,21	3,53	1,89


 Laboratorios Analíticos del Sur E.S.R.L.
 Sixto Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.F. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

Valor numérico Límite de detección del método, ***Valor Numérico*** Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Sus resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está estrictamente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier errata o omisión en el contenido del presente documento la anula.

Web: <http://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1, Cerro Colorado - Arequipa - Perú (054) 443294 - (054) 444582



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-22-04136

Fecha de emisión: 11/06/2022

Pág.: 1/1

Señores: RICARDO CESAR UGARTE DAVILA
Dirección: AV. EMANCIPACIÓN X9 SAMEGUA - MOQUEGUA
Atención: RICARDO CESAR UGARTE DAVILA
Recepción: 8/06/2022
Realización: 8/06/2022

Observación: Laboratorio No realiza la toma de muestra.

Proyecto: Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de calda del volcán Huaynaputina Moquegua 2022

Método de ensayo aplicado

*592 Método de Ensayo para Rocas Fusión alcalina (SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Mn₂O₃, Na₂O, K₂O, LOI)

Muestra #	Nombre de muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	*T00 H ₂ O %	*592 SiO ₂ %	*582 CaO %	*592 MgO %	*582 Al ₂ O ₃ %	*592 Fe ₂ O ₃ %	*592 Mn ₂ O ₃ %	*592 Na ₂ O %	*592 K ₂ O %	*592 LOI %
MN22003582	CENIZA DE CRISTAL	Ceniza	VOLCAN HUAYNAPUTINA	0,56	64,20	0,84	1,58	15,01	4,59	0,09	7,05	2,70	1,99

(Firma)
Laboratorios Analíticos del Sur
Gusto Vicente Juárez Huilás
Gerente General
ING. Colegiado C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

*=Valor numérico=Límite de detección del método, **=Valor Numérico=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado de sistema de calidad de la entidad que lo produjo. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier errata o modificación en el contenido del presente documento es anula.

Web: <http://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colérico-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)444582



EXPEDIENTE No.	: 247 -2022 - L Y D
SOLICITANTE	: RICARDO CÉSAR UGARTE DÁVILA
PROYECTO	: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA EXTRAIDA DE DIFERENTES FASES DE DEPÓSITO DE CAÍDA DEL VOLCÁN HUAY-NAPUTINA, MOQUEGUA, 2022".
UBICACIÓN	: MARISCAL NIETO, MOQUEGUA, PERÚ
FECHA DE EMISIÓN	: 27 DE MAYO DEL 2022

1.0 MÉTODO DE ENSAYO

Título : CEMENTOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA FINURA DEL CEMENTO CON TAMIZ DE 45 µm (No. 325)
Código : NTP 334.045
Titulo : STANDARD TEST METHOD FOR FINENESS OF HYDRAULIC CEMENT BY THE 45-µm (No. 325) SIEVE
Code : ASTM C430

2.0 DE LA MUESTRA

: CENIZA VOLCÁNICA COPLINIANA (PROCEDENTE DEL VOLCÁN HUAYNAPUTINA).

3.0 DEL EQUIPO

: TAMIZ MALLA No. 325 (45 µm) DE 8" DE ACERO INOX - MARCA: RICELI EQUIPOS
: BALANZA DIGITAL DE CAPACIDAD DE 30 KG - MARCA: OHAUS
: HORNO ELÉCTRICO STHX-2A - MARCA: A y A INSTRUMENTS
: MEDIDOR DE PRESIÓN DE POLICARBONO - MARCA: ASHCROFT

4.0 RESULTADOS

MUESTRA	MASA RETENIDO (g)	MASA QUE PASA (%)	TIEMPO DE MOLIENDA
1	932.4	6.8	00:00 HORAS = 0 RPM
2	937.6	6.2	
3	944.6	5.5	MASA POR MUESTRA
4	-	-	
5	-	-	
PROM.	938.2	6.2	1000 g

MUESTRA	MASA RETENIDO (g)	MASA QUE PASA (%)	TIEMPO DE MOLIENDA
1	557.4	44.3	00:30 HORAS = 1000 RPM
2	560.8	43.9	
3	564.1	43.6	MASA POR MUESTRA
4	-	-	
5	-	-	
PROM.	560.8	43.9	1000 g

MUESTRA	MASA RETENIDO (g)	MASA QUE PASA (%)	TIEMPO DE MOLIENDA
1	320.4	68.0	01:00 HORAS = 2000 RPM
2	317.0	68.3	
3	319.4	68.1	MASA POR MUESTRA
4	-	-	
5	-	-	
PROM.	318.9	68.1	1000 g

MUESTRA	MASA RETENIDO (g)	MASA QUE PASA (%)	TIEMPO DE MOLIENDA
1	207.7	79.2	01:30 HORAS = 3000 RPM
2	210.5	79.0	
3	208.7	79.1	MASA POR MUESTRA
4	-	-	
5	-	-	
PROM.	209.0	79.1	1000 g

5.0 OBSERVACIONES

- 1) LA MUESTRA TOTAL FUE DE 3.0 KG (REANALIZADA CUATRO VECES, LUEGO DE SER MOLIDA EN UNA MÁQUINA DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES 220-240 V 60/60 HZ, EN INTERVALOS DE TREINTA MINUTOS Y VUELTA A SECAR EN HORNO DURANTE 1 HORA A 105 °C); LA MISMA FUE PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE.
- 2) EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO



LYD CONTRATISTAS PROMOTORES GENERALES S.R.L.

ING. JULIO CARLOS ROMERO VELASQUEZ
INGENIERO CIVIL
CIP: 161727



EXPEDIENTE N°	: 248 - 2022 - L Y D
SOLICITANTE	: BACH. RICARDO CÉSAR UGARTE DÁVILA
PROYECTO	: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA EXTRAÍDA DE DIFERENTES FASES DE DEPÓSITO DE CAÍDA DEL VOLCÁN HUAY-NAPUTINA, MOQUEGUA, 2022".
UBICACIÓN	: MARISCAL NIETO, MOQUEGUA, PERÚ
FECHA DE EMISIÓN	: 27 DE MAYO DEL 2022

1.0 MÉTODO DE ENSAYO

Título : CEMENTOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA FINURA DEL CEMENTO CON TAMIZ DE 45 µm (No. 325)
Código : NTP 334.045
Titulo : STANDARD TEST METHOD FOR FINENESS OF HYDRAULIC CEMENT BY THE 45-µm (No. 325) SIEVE
Code : ASTM C430

2.0 DE LA MUESTRA

: CENIZA VOLCÁNICA DE CRISTAL (PROCEDENTE DEL VOLCAN HUAYNAPUTINA).

3.0 DEL EQUIPO

: TAMIZ MALLA No. 325 (45 µm) DE 8" DE ACERO INOX - MARCA: RICELI EQUIPOS
: BALANZA DIGITAL DE CAPACIDAD DE 30 KG - MARCA: OHAUS
: HORNO ELÉCTRICO STHX-2A - MARCA: A y A INSTRUMENTS
: MEDIDOR DE PRESIÓN DE POLICARBONO - MARCA: ASHCROFT

4.0 RESULTADOS

MUESTRA	MASA RETENIDO (g)	MASA QUE PASA (%)	TIEMPO DE MOLIENDA
1	922.2	7.8	00.00 HORAS = 0 RPM
2	919.3	8.1	
3	915.0	8.5	MASA POR MUESTRA
4	-	-	
5	-	-	
PROM.	918.8	8.1	1000 g

MUESTRA	MASA RETENIDO (g)	MASA QUE PASA (%)	TIEMPO DE MOLIENDA
1	693.1	30.7	00.30 HORAS = 1000 RPM
2	697.1	30.3	
3	689.7	31.0	PESO POR MUESTRA
4	-	-	
5	-	-	
PROM.	693.3	30.7	1000 g

MUESTRA	MASA RETENIDO (g)	MASA QUE PASA (%)	TIEMPO DE MOLIENDA
1	508.7	49.1	01.00 HORAS = 2000 RPM
2	503.1	49.7	
3	504.0	49.5	MASA POR MUESTRA
4	-	-	
5	-	-	
PROM.	505.3	49.5	1000 g

MUESTRA	MASA RETENIDO (g)	MASA QUE PASA (%)	TIEMPO DE MOLIENDA
1	360.2	61.0	01.30 HORAS = 3000 RPM
2	367.5	61.3	
3	392.4	60.8	MASA POR MUESTRA
4	-	-	
5	-	-	
PROM.	360.0	61.0	1000 g

5.0 OBSERVACIONES

- 1) LA MUESTRA TOTAL FUE DE 3.0 KG (REALIZADA CUATRO VECES, LUEGO DE SER MOLIDA EN UNA MÁQUINA DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES 220-240 V 50/60 HZ. EN INTERVALOS DE TREINTA MINUTOS Y VUELTA A SECAR EN HORNO DURANTE 1 HORA A 105 °C). LA MISMA FUE PROPORCIONADA POR EL SOLICITANTE.
- 2) EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD (Resolución N°002-38/INDECOPI -CTE del 07.06.1999).



LYD CONTRATISTAS PROMOTORES GENERALES S.R.L.
ING. JULIO CESAR DOMINGO VELASQUEZ
INGENIERO CIVIL
CIP 181727

**ENSAYO MECÁNICO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(NTP 339.034)**

Expediente N° : 259-2022
 Tesis : "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Maquiguashiro, Moquegua, 2022"
 Tesis de : Bach. Ricardo César Ugarte Cárvela
 Fecha : Mística, 09 de agosto, 2022

Código : NTP 339.034 / ASTM C 39
 Título : CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión de muestras de concreto.

1) Información de la muestra:

: Probetas de concreto cilíndricas de 160 X 300 mm (6" X 12")
 Sin sustitución de cemento por ceniza volcánica - Cemento Tipo GU, Marca: Frontera.

2) Información del equipo:

: Prensa de concreto - Marca: ELE

3) Resistencia de diseño (F_c):

: 210 kg/cm²

4) Resultados:

Muestra N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (Días)	Diámetro		Carga de rotura (kgf)	Resistencia Compresión (kgf/cm ²)	Tipo de fractura
					d1 (cm)	d2 (cm)			
1	CCC - 001	27/06/2022	30/06/2022	03	15.1	15.1	13550	75.7	II
2	CCC - 002	27/06/2022	30/06/2022	03	15.1	15.0	13720	77.1	II
3	CCC - 003	27/06/2022	30/06/2022	03	15.1	15.0	13500	75.9	II
4	CCC - 004	27/06/2022	04/07/2022	07	15.1	14.9	26940	162.4	III
5	CCC - 005	27/06/2022	04/07/2022	07	15.1	15.0	27410	154.1	III
6	CCC - 006	27/06/2022	04/07/2022	07	15.2	15.2	27520	151.7	III
7	CCC - 007	27/06/2022	11/07/2022	14	15.0	15.1	33860	190.3	III
8	CCC - 008	27/06/2022	11/07/2022	14	15.0	15.1	33390	187.7	II
9	CCC - 009	27/06/2022	11/07/2022	14	15.1	15.0	33540	188.5	III
10	CCC - 010	27/06/2022	25/07/2022	28	15.5	15.5	40840	216.4	II
11	CCC - 011	27/06/2022	25/07/2022	28	15.3	15.3	39940	217.2	II
12	CCC - 012	27/06/2022	25/07/2022	28	15.3	15.3	39720	216.0	II

TIPO I

TIPO II

TIPO III

TIPO IV

TIPO V

TIPO VI

Nota(s):
 La información referente a las muestras, procedencia, fecha de obtención e identificación han sido proporcionados por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Resolución N°002-381-INDECOPI, del 07 de Julio del 2001).



ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. 145225

**ENSAYO MECÁNICO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(NTP 339.034)**

Expediente N° : 280-2022
 Tests : *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Hualayupata, Moquegua, 2022*
 Tesista : Bach: Ricardo César Ugarte Dávila
 Fecha : Martes, 09 de agosto, 2022

Código : NTP 339.034 / ASTM C 39
 Título : CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión de muestras de concreto.

1) Información de la muestra:

: Probetas de concreto cilíndricas de 150 X 300 mm (6" x 12")
 Sustitución de 10% de cemento por ceniza volcánica copliniana.

2) Información del equipo:

: Prensa de concreto - Marca: ELE

3) Resistencia de diseño (F_c):

: 210 kg/cm²

4) Resultados:

Muestra N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (Días)	Diámetro		Carga de rotura (kgf)	Resistencia Compresión (kgf/cm ²)	Tipo de fractura
					d1 (cm)	d2 (cm)			
1	CCC - 013	02/07/2022	05/07/2022	03	15.1	14.9	20530	116.2	II
2	CCC - 014	02/07/2022	05/07/2022	03	15.1	14.9	19380	109.7	III
3	CCC - 015	02/07/2022	05/07/2022	03	15.1	15.0	20680	116.2	II
4	CCC - 016	02/07/2022	09/07/2022	07	15.1	14.9	32440	183.6	III
5	CCC - 017	02/07/2022	09/07/2022	07	15.0	15.1	32940	185.2	III
6	CCC - 018	02/07/2022	09/07/2022	07	15.1	15.0	31380	176.4	III
7	CCC - 019	02/07/2022	16/07/2022	14	15.1	14.9	36710	207.7	III
8	CCC - 020	02/07/2022	16/07/2022	14	15.0	15.1	37660	211.7	II
9	CCC - 021	02/07/2022	16/07/2022	14	15.1	15.1	36410	204.0	III
10	CCC - 022	02/07/2022	30/07/2022	28	15.1	14.9	40870	231.3	II
11	CCC - 023	02/07/2022	30/07/2022	28	15.1	14.9	40750	230.6	III
12	CCC - 024	02/07/2022	30/07/2022	28	14.9	15.1	41480	234.7	III

TIPO I 	TIPO II 	TIPO III 	TIPO IV 	TIPO V 	TIPO VI
------------	-------------	--------------	-------------	------------	-------------

Nota(s):

La información referente al muestreo, procedencia, fecha de obtención e identificación han sido proporcionados por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Resolución N°002-2019-DEE/COPI -CTE del 07.08.1996)



ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. 145225

**ENSAYO MECÁNICO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(NTP 339.034)**

Expediente N° : 291-2022
 Tema : "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes tasas de depósito de caída del volcán Huaynaputina, Moquegua 2022"
 Testista : Bach. Ricardo César Ligante Dávila
 Fecha : Meses, 09 de agosto, 2022

Código : NTP 339.034 / ASTM C 39
 Título : CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión de muestras de concreto.

1) Información de la muestra:

: Probetas de concreto cilíndricas de 150 X 300 mm (6" x 12")
 Sustitución de 10% de cemento por ceniza volcánica de cristal.

2) Información del equipo:

: Prensa de concreto - Marca: ELE

3) Resistencia de diseño (F_d):

: 210 kg/cm²

4) Resultados:

Muestra N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (Días)	Diámetro		Carga de rotura (kgf)	Resistencia Compresión (kgf/cm ²)	Tipo de fractura
					d1 (cm)	d2 (cm)			
1	CCC - 025	01/07/2022	04/07/2022	03	15.3	15.3	14980	81.5	II
2	CCC - 026	01/07/2022	04/07/2022	03	15.4	15.4	14420	77.4	III
3	CCC - 027	01/07/2022	04/07/2022	03	15.4	15.4	14280	76.7	III
4	CCC - 028	01/07/2022	08/07/2022	07	15.4	15.4	24380	130.9	II
5	CCC - 029	01/07/2022	08/07/2022	07	15.3	15.3	25570	139.1	II
6	CCC - 030	01/07/2022	08/07/2022	07	15.3	15.3	24330	132.3	II
7	CCC - 031	01/07/2022	15/07/2022	14	15.4	15.4	28870	155.0	III
8	CCC - 032	01/07/2022	15/07/2022	14	15.4	15.4	30350	162.9	II
9	CCC - 033	01/07/2022	15/07/2022	14	15.3	15.3	29970	163.0	II
10	CCC - 034	01/07/2022	29/07/2022	28	15.0	15.0	32640	184.7	II
11	CCC - 035	01/07/2022	29/07/2022	28	15.0	15.0	35200	199.2	III
12	CCC - 036	01/07/2022	29/07/2022	28	15.1	15.1	33730	188.4	III

TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TIPO V	TIPO VI

Nota(s):
 La información referente al muestreo, procedencia, fecha de obtención e identificación han sido proporcionados por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Resolución N°002-38INDECOPI - CTE del 07.06 1996).



ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 145225

Dirección : Calle Amazonas N° 105 - Moquegua
 Teléfono: 970009482 RUC : 20600479866
 E-mail: abgbuildingsrl@gmail.com

**ENSAYO MECÁNICO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(NTP 339.034)**

Expediente N° : 252-2022
 Teste : "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica estralada de diferentes fases de depósito de caída del volcán Huaynapuina, Moquegua, 2022"
 Testado : Bach. Ricardo César Ugarte Devia
 Fecha : Martes, 09 de agosto, 2022

Código : NTP 339.034 / ASTM C 39
 Título : CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión de muestras de concreto.

1) Información de la muestra:

: Probetas de concreto cilíndricas de 150 X 300 mm (6" x 12")
 Sustitución de 20% de cemento por ceniza volcánica copitiana.

2) Información del equipo:

: Prensa de concreto - Marca: ELE

3) Resistencia de diseño (Fc):

: 210 kg/cm²

4) Resultados:

Muestra N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (Días)	Diámetro		Carga de rotura (kgf)	Resistencia Compresión (kgf/cm ²)	Tipo de fractura
					d1 (cm)	d2 (cm)			
1	CCC - 037	02/07/2022	05/07/2022	03	14.9	14.9	19020	109.1	II
2	CCC - 038	02/07/2022	05/07/2022	03	15.0	15.0	18880	106.8	II
3	CCC - 039	02/07/2022	05/07/2022	03	15.1	15.0	19390	109.0	III
4	CCC - 040	02/07/2022	09/07/2022	07	15.0	15.0	25600	144.9	III
5	CCC - 041	02/07/2022	09/07/2022	07	15.1	15.0	27520	154.7	III
6	CCC - 042	02/07/2022	09/07/2022	07	15.0	15.1	26470	148.8	III
7	CCC - 043	02/07/2022	16/07/2022	14	15.1	14.9	32450	183.8	III
8	CCC - 044	02/07/2022	16/07/2022	14	15.1	15.0	33050	186.8	IV
9	CCC - 045	02/07/2022	16/07/2022	14	15.1	15.0	32870	184.8	II
10	CCC - 046	02/07/2022	30/07/2022	28	15.1	15.1	32310	180.4	III
11	CCC - 047	02/07/2022	30/07/2022	28	15.0	15.0	31500	178.3	III
12	CCC - 048	02/07/2022	30/07/2022	28	15.0	15.0	32030	181.3	II

TIPO I 	TIPO II 	TIPO III 	TIPO IV 	TIPO V 	TIPO VI
------------	-------------	--------------	-------------	------------	-------------

Nota(s):

La información referente al muestreo, procedencia, fecha de obtención e identificación han sido proporcionados por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Resolución N°022-381NDECOPI -CTE del 07.06.1996).



ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 145225

Dirección : Calle Amazonas N° 105 - Moquegua
 Teléfono: 970009482 RUC : 20600479866
 E-mail: abgbuildingst@gmail.com

**ENSAYO MECÁNICO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(NTP 339.034)**

Expediente N° : 263-2022
 Tesis : "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Huaynaputina, Moquegua, 2022"
 Tesista : Bach. Ricardo César Ugarte Davila
 Fecha : Martes, 09 de agosto, 2022

Código : NTP 339.034 / ASTM C 39
 Título : CONCRETO Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión de muestras de concreto.

1) Información de la muestra:

: Probetas de concreto cilíndricas de 150 X 300 mm (6" x 12")
 Sustitución de 20% de cemento por ceniza volcánica de cristal.

2) Información del equipo:







: Prensa de concreto - Marca: ELE

3) Resistencia de diseño (F_c):

: 210 kg/cm²

4) Resultados:

Muestra N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (Días)	Diámetro		Carga de rotura (kgf)	Resistencia Compresión (kgf/cm ²)	Tipo de fractura
					d1 (cm)	d2 (cm)			
1	CCC - 049	04/07/2022	07/07/2022	03	15.0	15.0	13610	77.0	I
2	CCC - 050	04/07/2022	07/07/2022	03	15.0	15.0	12780	72.3	III
3	CCC - 051	04/07/2022	07/07/2022	03	15.0	15.1	13310	74.8	II
4	CCC - 052	04/07/2022	11/07/2022	07	15.1	14.9	20980	118.7	II
5	CCC - 053	04/07/2022	11/07/2022	07	15.1	15.0	22540	126.7	II
6	CCC - 054	04/07/2022	11/07/2022	07	15.0	15.1	21680	121.9	II
7	CCC - 055	04/07/2022	18/07/2022	14	15.0	15.1	26460	149.2	IV
8	CCC - 056	04/07/2022	18/07/2022	14	15.1	15.1	25140	141.3	III
9	CCC - 057	04/07/2022	18/07/2022	14	15.1	15.1	25470	142.2	IV
10	CCC - 058	04/07/2022	01/08/2022	28	15.1	14.9	27480	155.5	III
11	CCC - 059	04/07/2022	01/08/2022	28	14.9	15.1	27800	167.3	II
12	CCC - 060	04/07/2022	01/08/2022	28	15.1	14.9	26890	152.2	II

TIPO I 	TIPO II 	TIPO III 	TIPO IV 	TIPO V 	TIPO VI 
---	--	---	--	--	--

Nota(s):

La información referente al muestreo, procedencia, fecha de obtención e identificación han sido proporcionados por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Resolución N°002-381-IN-REG-011 - CTE del 07.06.1996).




 ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. 145225

**ENSAYO MECÁNICO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(NTP 339.034)**

Expediente N° : 264-2022
 Tesis : "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Huaynaputina, Moquegua, 2022"
 Técnico : Bach. Ricardo César Ugarte Dávila
 Fecha : Martes, 09 de agosto, 2022

Código : NTP 339.034 / ASTM C 39
 Título : CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión de muestras de concreto

1) Información de la muestra:

: Probetas de concreto cilíndricas de 150 X 300 mm (6" x 12")
 Sustitución de 30% de cemento por ceniza volcánica copliniana.

2) Información del equipo:

: Prensa de concreto - Marca: ELE

3) Resistencia de diseño (f'c):

: 210 kg/cm²

4) Resultados:

Muestra N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (Días)	Diámetro		Carga de rotura (kgf)	Resistencia Compresión (kgf/cm ²)	Tipo de fractura
					d1 (cm)	d2 (cm)			
1	CCC - 061	03/07/2022	06/07/2022	03	14.9	15.1	14880	84.2	III
2	CCC - 062	03/07/2022	06/07/2022	03	15.1	15.0	14420	81.1	III
3	CCC - 063	03/07/2022	06/07/2022	03	15.0	15.1	13940	78.4	II
4	CCC - 064	03/07/2022	10/07/2022	07	14.9	14.9	21250	121.9	II
5	CCC - 065	03/07/2022	10/07/2022	07	15.0	15.0	21710	122.9	II
6	CCC - 066	03/07/2022	10/07/2022	07	15.1	15.0	20490	115.2	III
7	CCC - 067	03/07/2022	17/07/2022	14	15.0	15.0	26190	146.2	II
8	CCC - 068	03/07/2022	17/07/2022	14	15.0	15.1	26730	150.3	II
9	CCC - 069	03/07/2022	17/07/2022	14	15.0	15.1	27420	154.1	III
10	CCC - 070	03/07/2022	31/07/2022	28	15.3	15.3	30840	167.7	III
11	CCC - 071	03/07/2022	31/07/2022	28	15.3	15.3	31430	171.0	III
12	CCC - 072	03/07/2022	31/07/2022	28	15.3	15.3	31820	173.1	III

TIPO I

TIPO II

TIPO III

TIPO IV

TIPO V

TIPO VI

Nota(s):

La información referente al muestreo, procedencia, fecha de obtención e identificación han sido proporcionados por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Resolución N°002-38-INDECOPI - CTE del 07.06.1995)



ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 145225

**ENSAYO MECÁNICO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(NTP 339.034)**

Expediente N° : 265-2022
 Tesis : "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico modificado con adición de ceniza volcánica extraída de diferentes fases de depósito de caída del volcán Huiraynaputina, Moquegua, 2022"
 Tesisista : Bch. Ricardo César Ugarte Dávila
 Fecha : Marías, 09 de agosto, 2022

Código : NTP 339.034 / ASTM C 39
 Título : CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión de muestras de concreto.

1) Información de la muestra:
 : Probetas de concreto cilíndricas de 150 X 300 mm (6" x 12")
 Sustitución de 30% de cemento por ceniza volcánica de cristal.

2) Información del equipo:
 : Prensa de concreto - Marca: ELE

3) Resistencia de diseño (F_c):
 : 210 kg/cm²

4) Resultados:

Muestra N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (Días)	Diámetro		Carga de rotura (kgf)	Resistencia Compresión (kgf/cm ²)	Tipo de fractura
					d1 (cm)	d2 (cm)			
1	CCC - 073	02/07/2023	05/07/2023	03	15.0	15.0	11610	65.7	III
2	CCC - 074	02/07/2023	05/07/2023	03	15.0	15.0	10780	61.0	III
3	CCC - 075	02/07/2023	05/07/2023	03	15.1	15.0	11310	63.6	II
4	CCC - 076	02/07/2023	09/07/2023	07	15.1	14.9	18980	107.4	II
5	CCC - 077	02/07/2023	09/07/2023	07	15.0	15.1	20540	115.5	III
6	CCC - 078	02/07/2023	09/07/2023	07	15.0	15.1	19680	110.6	II
7	CCC - 079	02/07/2023	16/07/2023	14	15.0	15.1	24460	138.0	II
8	CCC - 080	02/07/2023	16/07/2023	14	15.1	15.1	23140	130.1	III
9	CCC - 081	02/07/2023	16/07/2023	14	15.1	15.1	23470	131.1	III
10	CCC - 082	02/07/2023	30/07/2023	28	15.1	14.9	23470	132.8	III
11	CCC - 083	02/07/2023	30/07/2023	28	14.9	15.1	23600	134.7	III
12	CCC - 084	02/07/2023	30/07/2023	28	14.9	15.1	22820	129.1	III

TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TIPO V	TIPO VI

Nota(s):
 La información referente al muestreo, procedencia, fecha de obtención e identificación han sido proporcionados por el solicitante.
 El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (Resolución N°002-36INDECOPI-CTE del 07.06.1995)

ERICK ANGEL FLORES ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 145225

Dirección : Calle Amazonas N° 105 - Moquegua
 Teléfono: 970009482 RUC : 20600479666
 E-mail: abgbuilding@gmail.com



Universidad José Carlos Mariátegui

Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Carrera Profesional de Ingeniería Civil
Dirección



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

CONSTANCIA

"El Director de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil"

Hace Constar:

Que el Sr. RICARDO CESAR UGARTE DAVILA, con código 153021001P, Bachiller de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil, modalidad Presencial, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, ha realizado los ensayos en el Laboratorio de Materiales, Suelos y Concreto entre el 29/07/22 y el 17/08/22; correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniería Civil, con la tesis denominada:

"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO MODIFICADO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA EXTRAÍDA DE DIFERENTES FASES DE DEPÓSITO DE CAÍDA DEL VOLCÁN HUAYNAPUTINA, MOQUEGUA, 2022"

Los ensayos efectuados por el señor Bachiller fueron los siguientes:

DESCRIPCIÓN
Tracción de probetas de Concreto de 6" (tracción de probetas – compresión diametral)
Flexión de Concreto en vigas de 6"x6"x20" simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo
Compresión de cubos de Mortero de 50 mm de lado

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

Moquegua, 10 de Mayo del 2023



Campus San Antonio – CP San Antonio- Mariscal Nieto- Moquegua – Perú/T-973583614

Anexo I: Certificados de calibración de equipos y máquinas de ensayo

1) Horno eléctrico

PYS
EQUIPOS
LABORATORIO DE METROLOGIA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT-1393-2022

Página: 1 de 3

SOLICITANTE: L Y D CONTRATISTAS PROMOTORES GENERALES S.R.L.
DIRECCIÓN: BL. ASOC. NUEVA ESPERANZA MZA. M3 LOTE. 22 C.P. SAN ANTONIO MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA.
EQUIPO: HORNO ELECTRICO
MARCA: A y A INSTRUMENTS
MODELO: STHX-2A
N° SERIE: 141057
PROCEDENCIA: CHINA
IDENTIFICACIÓN: NO INDICA
UBICACIÓN: Instalaciones Del Laboratorio De L Y D Contratistas Promotores Generales S.R.L.- Moquegua.

TEMPERATURA DE TRABAJO: 110°C

DESCRIPCIÓN	CONTROL	INSTRUMENTO DEL EQUIPO
Alcance De Indicación	300 °c	(*)
Div. Escala / Resolución	0.1	(*)
Tipo	Digital	(*)

FECHA Y LUGAR DE MEDICIÓN
La calibración se efectuó el 2022/02/22 en las Instalaciones Del Laboratorio De L Y D Contratistas Promotores Generales S.R.L.- Moquegua.

MÉTODO Y PATRÓN DE MEDICIÓN:
La calibración se efectuó por comparación con patrones que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990, tomando como referencia el Procedimiento de Calibración de Incubadoras y Estufas PC-007 del SNM/INDECOPI.
Se utilizó un termómetro patrón con Certificado de Calibración 020-CT-T-2022 trazable a CORPORACION 2M & N/INACAL

RESULTADOS:
La calibración se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales:
Temperatura Ambiental: 20.7 °C Humedad Relativa: 76 % Presión Ambiental: 1 bar
Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.
La incertidumbre de la medición se ha determinado con un factor de cobertura k = 2, para un nivel de confianza de 95% aproximadamente.

OBSERVACIONES
Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO". (*) El equipo solo cuenta con un control analógico de temperatura.
La periodicidad de la calibración está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o reglamentos vigentes.
Los resultados se refieren únicamente al instrumento ensayado en el momento de la calibración y en las condiciones especificadas en este documento. No se realizó ningún tipo de ajuste al equipo antes de la calibración."

Revisado por:
Eler Pozo Solis
Dpto. de Metrología

Calibrado por:
Javier Negrón C.
Técnico.

Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
Telf.: 485 3873 Cel.: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe
Web Page: www.pys.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT-1393-2022

TEMPERATURA DE TRABAJO : 110 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	Indicación de termómetros patrones										Temperatura promedio (°C)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
00	110	108.7	109.2	109.3	110.4	109.3	113.4	112.5	113.3	113.4	114.0	111.4
02	110	109.3	109.8	109.7	109.9	110.1	113.8	113.3	113.8	113.8	114.4	111.8
04	110	109.5	110.1	110.2	111.4	110.4	113.8	113.6	114.1	114.2	114.3	112.2
06	110	109.0	109.7	109.8	110.9	110.0	113.4	113.3	113.7	113.7	114.0	111.8
08	110	108.8	109.4	109.3	110.6	110.3	113.3	112.7	112.9	113.5	113.8	111.5
10	110	108.9	109.6	109.6	110.5	109.5	113.6	112.8	113.2	113.6	113.9	111.5
12	107	108.7	109.4	109.3	110.4	109.3	113.4	112.5	113.0	113.3	113.7	111.3
14	110	109.3	109.5	109.5	110.7	109.8	113.7	112.9	113.5	113.6	114.0	111.7
16	110	108.7	109.2	109.6	110.4	109.4	113.3	112.4	113.3	113.3	113.8	111.3
18	110	108.9	109.4	110.0	110.7	109.6	113.6	112.7	113.7	113.7	114.3	111.7
20	110	109.3	109.8	110.3	110.9	110.1	113.9	113.1	114.0	114.1	114.7	112.0
22	110	109.5	110.2	110.4	111.2	110.4	114.1	114.4	114.3	114.3	114.4	112.3
24	110	109.3	109.7	110.1	110.7	110.0	113.1	113.8	113.8	113.8	114.0	111.8
26	110	109.5	109.9	110.3	110.9	110.5	113.4	114.0	114.1	114.1	114.3	112.1
28	110	109.9	109.4	110.0	110.4	109.9	113.0	113.6	113.6	113.6	113.6	111.7
30	110	109.4	109.6	110.4	110.7	110.3	113.3	113.8	113.9	113.9	114.0	111.9
32	110	109.0	109.2	109.9	110.2	109.8	112.8	113.3	113.4	113.3	113.5	111.4
34	110	109.2	109.4	110.1	110.5	110.2	113.1	113.5	113.7	113.6	113.9	111.7
36	110	109.2	109.6	110.3	110.7	110.5	113.4	113.8	113.8	113.7	113.9	111.9
38	110	109.8	109.4	110.0	110.3	110.1	113.0	113.4	113.4	113.3	113.5	111.6
40	110	109.3	109.7	110.3	110.5	110.3	113.3	113.7	113.6	113.6	113.9	111.8
T. PROM.	110	109.2	109.6	109.9	110.6	110.0	113.4	113.3	113.6	113.7	114.0	111.7
T. MAX.	110	109.9	110.2	110.4	111.4	110.5	114.1	114.4	114.3	114.3	114.7	
T. MIN.	107	108.7	109.2	109.3	109.9	109.3	112.8	112.4	112.9	113.3	113.5	
DTT	3.8	1.2	1.0	1.1	1.5	1.2	1.3	2.0	1.4	1.0	1.2	

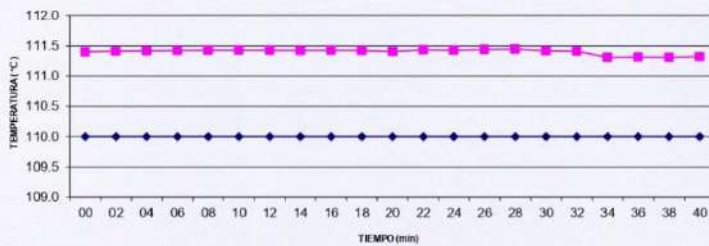
DTT: Diferencia de temperatura (T. Max - T. Min.)

Temperatura Ambiental Promedio: 15 °C
 Tiempo de calibración del equipo: 40 minutos
 Tiempo de estabilización del equipo: 1 h 20 min

DESVIACIÓN MÁXIMA DE TEMPERATURA EN EL EQUIPO		INCERTIDUMBRE
EN EL TIEMPO (°C)	EN EL ESPACIO (°C)	(± °C)
10.2	3.9	2.0

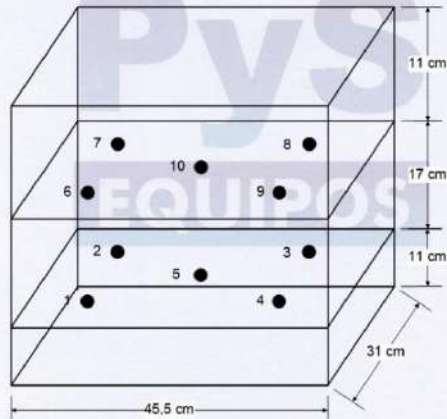


**"DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO
TEMPERATURA DE TRABAJO: 110 °C"**



—●— Temperatura del equipo —■— Temperatura Proxecto Pátin

UBICACIÓN DE LOS SENSORES



Los termopares 5 y 10 están ubicados sobre el centro de sus respectivos niveles a 1,5 cm por encima de ellos.

Los demás termopares están ubicados a un cuarto de la longitud de los lados del equipo (en el centro de cada cuadrante) y a 1,5 cm por encima de sus niveles.

2) Máquina de abrasión los Ángeles

Pys
EQUIPOS

LABORATORIO DE METROLOGIA

CERTIFICADO DE CALIBRACION
LTF - 1049 - 2022

Página: 1 de 3

INSTRUMENTO : **MAQUINA DE LOS ANGELES**
Instrument

MARCA : **A y A INSTRUMENTS**
Manufacturer

MODELO : **STMH-3**
Model

NÚMERO DE SERIE : **171008**
Serial Number

SOLICITANTE : **L Y D CONTRATISTAS PROMOTORES GENERALES S.R.L.**
Customer

CLASE DE PRECISION : **1**
Accuracy

FECHA DE CALIBRACION : **2022 - 02-22**
Date of calibration

NUMERO DE PAGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS: (TRES)
Number of pages of this certificate and documents attached

Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido total o parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito de la organización que lo emite.
This certificate is an accredited record of the results of measurements performed. This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing organization.

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. La organización que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.
The result of this certificate refers to the moment and conditions in which the measurements were made. The issuing organization assumes no responsibility for damages ensuing misuse of the calibrated instruments.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.
The user is responsible for having the apparatus calibrated at appropriated intervals.



Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
Telf.: 485 3873. Cel.: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe
Web Page: www.pys.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.



LABORATORIO DE METROLOGIA

**CERTIFICADO DE CALIBRACION
LTF – 1049 - 2022**

Página: 2 de 3

OBJETO DE PRUEBA : MAQUINA DE LOS ANGELES

TRABAJO REALIZADO : CALIBRACIÓN

METODO UTILIZADO : COMPARACIÓN DIRECTA

SITIO DE CALIBRACIÓN : Instalaciones Del Laboratorio De L Y D Contratistas Promotores
Generales S.R.L. - Moquegua.

METODO DE CALIBRACION

La MAQUINA descrita **CUMPLE** con los errores máximos tolerados en uso, según lo estipulado en el método de descrito en el TH-001 del CEM de España.

TRAZABILIDAD:

PATRÓN DE CALIBRACIÓN **PATRÓN DE CALIBRACIÓN**
Se utilizaron patrones calibrados en METROIL: Ts-0067-2021 / INACAL: LLA-091-2021 y DSI PERU
AUTOMATION M-1541-2021

UNIDADES EMPLEADAS Sistema internacional de unidades



Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
 Telf.: 485 3873. Cel.: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
 E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe
 Web Page: www.pys.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.



LABORATORIO DE METROLOGIA

CERTIFICADO DE CALIBRACION
LTF - 1049/ 22

Página: 3 de 3

RESULTADOS DE LA CALIBRACION TAMBOR
RESULTADOS DE CALIBACION DE LAS ESFERAS

Tiempo Segundo	Vuelta 1 N1	Vuelta 2 N2	Vuelta 3 N3	Promedio	Tiempo/vuelta segundo	Error de Repetibilidad
60	31	31	31	31.0	1.91	0.0
120	63	63	63	63.0	1.93	0.0
180	95	95	95	95.0	1.93	0.0
240	127	127	126	126.7	1.92	0.6
300	158	158	158	158.0	1.92	0.0
360	190	190	190	190.0	1.92	0.0
420	222	222	222	222.0	1.92	0.0
480	254	254	253	253.7	1.92	0.6
540	286	285	285	285.3	1.92	0.6
600	317	317	317	317.0	1.92	0.0
660	349	349	349	349.0	1.92	0.0
720	381	380	380	380.3	1.92	0.6
780	412	412	412	412.0	1.92	0.0
840	444	444	444	444.0	1.92	0.0
900	476	476	476	476.0	1.92	0.0

Nº	Peso(g)	Diámetro		Promedio (mm)
	390 g – 445 g	1mm	2mm	
1	418.30	46.87	46.80	46.84
2	418.40	46.83	46.83	46.83
3	418.30	46.82	46.83	46.83
4	418.30	46.84	46.85	46.85
5	418.30	46.80	46.82	46.81
6	418.30	46.89	46.89	46.89
7	118.40	46.87	46.86	46.87
8	418.30	46.86	46.87	46.87
9	418.30	46.82	46.80	46.81
10	418.30	46.88	46.89	46.89
11	418.30	46.83	46.85	46.84
12	418.30	46.80	46.79	46.80
Masa total	4719.80			

EAP
Revisado por:
Elar Pozo Solís
Dpto. Metrología.

Javier Negrón C.
Calibrado por:
Javier Negrón C.
Dpto. Metrología



Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
Telf.: 485 3873. Cel.: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe
Web Page: www.pys.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.

3) Balanza electrónica

 CALIBRATEC S.A.C. LABORATORIO DE METROLOGIA		CALIBRACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS RUC: 20606479680
Área de Metrología <i>Laboratorio de Masas</i>		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 0236 - 2021
		Página 1 de 4
1. Expediente	02483-2021	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
2. Solicitante	LYD CONTRATISTAS PROMOTORES GENERALES S.R.L.	
3. Dirección	ASOC. PARAISO MZ F LOT 14 CP SAN ANTONIO - PROVINCIA MARISCAL NIETO - MOQUEGUA	
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	
Capacidad Máxima	2000 g	
División de escala (d)	0.01 g	
Div. de verificación (e)	0.01 g	
Clase de exactitud	III	
Marca	CENTAURUS SCALE	
Modelo	NO INDICA	
Número de Serie	NO INDICA	
Capacidad mínima	0.2 g	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	OB-01	
5. Fecha de Calibración	2021-09-21	
Fecha de Emisión	Jefe del Laboratorio de Metrología	Sello
2021-09-22	 MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES	
913 028 621 - 913 028 622	Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima	
913 028 623 - 913 028 624	ventascalibratec@gmail.com	
	CALIBRATEC SAC	



CALIBRACIÓN DE
EQUIPOS E INSTRUMENTOS
RUC: 20606479680

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 0236 - 2021

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM- INACAL

7. Lugar de calibración

En las instalaciones del cliente.
ASOC. PARAISO MZ F LOT 14 CP SAN ANTONIO - PROVINCIA MARISCAL NIETO - MOQUEGUA

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	18.4	20.8 °C
Humedad Relativa	73%	74%

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
METROIL	JUEGO DE PESAS 1 g a 1 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0689-2021

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (**) Código indicada en una etiqueta adherido al equipo.



☎ 913 028 621 - 913 028 622
☎ 913 028 623 - 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima
✉ ventascalibratec@gmail.com
🏢 CALIBRATEC SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 0236 - 2021

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura	Inicial	Final
	18,2 °C	18,5 °C

Medición Nº	Carga L1 = 1,000 g			Carga L2 = 2,000 g			
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	
1	1000.00	5	0	2000.00	5	0	
2	1000.00	5	0	2000.01	5	10	
3	1000.00	4	1	2000.00	5	0	
4	1000.00	5	0	2000.00	6	-1	
5	1000.00	5	0	2000.01	7	8	
6	1000.00	5	0	2000.00	5	0	
7	1000.01	6	9	2000.00	6	-1	
8	1000.00	5	0	2000.00	6	-1	
9	1000.00	4	1	2000.00	4	1	
10	1000.00	5	0	2000.00	5	0	
Diferencia Máxima			9	Diferencia Máxima			11
Error Máximo Permissible			30	Error Máximo Permissible			30

ENSAYO DE EXCENRICIDAD



Posición
de las
cargas

Temperatura	Inicial	Final
	18,2 °C	18,5 °C

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)
1	0.10	0.10	5	0	600.00	600.00	4	1	1
2		0.10	6	-1		599.99	5	-10	-9
3		0.10	6	-1		600.00	5	0	1
4		0.10	5	0		600.00	6	-1	-1
5		0.11	7	8		600.00	5	0	-8
Error máximo permisible									30

* Valor entre 0 y 10e



ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	18.2 °C	18.5 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p** (± mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0.10	0.10	5	0						
0.20	0.20	5	0	0	0.20	5	0	0	10
1.00	1.00	4	1	1	1.00	5	0	0	10
10.00	10.00	5	0	0	10.00	6	-1	-1	10
20.00	20.00	5	0	0	20.00	5	0	0	10
50.00	50.00	6	-1	-1	50.00	6	-1	-1	20
100.00	100.00	6	-1	-1	100.00	5	0	0	20
500.00	500.00	5	0	0	500.00	6	-1	-1	30
1000.00	1000.00	5	0	0	1000.00	5	0	0	30
1500.00	1500.00	6	-1	-1	1500.00	5	0	0	30
2000.00	2000.01	7	8	8	2000.01	7	8	8	30

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza. ΔL: Carga adicional. E₀: Error en cero.
l: Indicación de la balanza. E: Error encontrado. E_c: Error corregido.

Incertidumbre expandida de medición $U = 2 \times \sqrt{(0.000033 \text{ g}^2 + 0.00000000002 \text{ R}^2)}$

Lectura corregida $R_{CORREGIDA} = R + 0.0000017 R$



12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

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

Fin del documento

4) Balanza digital – Marca: OHAUS



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° 0274-21 BAL

OTORGADO A UNIVERSIDAD JOSE CARLOS MARIATEGUI

CERTIFICA QUE El instrumento de medición con el modelo y nro de serie indicados líneas abajo, ha sido calibrado, probado y verificado utilizando patrones certificados con trazabilidad en el Instituto Nacional de Calidad INACAL.

Instrumento de medición	Balanza Digital
Capacidad	30 kg
Marca	OHAUS
Modelo	EB-30
Nro de Serie	8028313232
Fecha de Calibración	12.10.2021



MÉTODO DE CALIBRACIÓN

CALIBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN NORMA METROLÓGICA NMP 003-1996 Y PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO PARA BALANZAS DE CLASE I Y CLASE II

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

$U = 1 \text{ gr.} \pm 0.00034$

PATRONES

01 Pesa de 10 kg, 01 Pesa de 5 kg, 01 Pesa de 1 kg, 01 Pesa 500 gr, 01 Pesa de Pesas de 1 mg a 500 gr, CERTIFICADOS LM-195-2018, LM-205-2018, LM-207-2018, PM-194-2018, PE18-C-0476.

TRAZABILIDAD

Las pesas tienen trazabilidad a los Patrones Nacionales del Instituto Nacional de la Calidad-INACAL.

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

Temperatura Inicial 20.1°C Final 20.1°C
Humedad Relativa 80 %

RESULTADO DE LA MEDICIÓN

Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrológica consultada.

OBSERVACIONES

Con fines de identificación se ha colocado en la balanza una etiqueta con el nro del certificado.



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 274-21 BAL

FECHA : 12.10.2021
 RAZON SOCIAL : UNIVERSIDAD JOSE CARLOS MARIATEGUI
 MARCA : OHAUS
 MODELO : EB-30
 SERIE : 8028313232
 CLASE : II
 CAPACIDAD : 30 kg
 DIVIS DE ESCALA : 1 g
 DIVIS DE VERIFICACIÓN : 1g

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
 Ing. Luis Taboada Palacios
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 34551

Medición Nro	Carga L1 = 15000 g		
	I (g)	AL (g)	E (g)
1	15000	0	0
2	15000	0	0
3	15000	0	0
4	15000	0	0
5	15000	0	0
6	15000	0	0
7	15000	0	0
8	15000	0	0
9	15000	0	0
10	15000	0	0

Medición Nro	Carga L1 = 30000g		
	I (g)	AL (g)	E (g)
1	30000	0	0
2	30000	0	0
3	30000	0	0
4	30000	0	0
5	30000	0	0
6	30000	0	0
7	30000	0	0
8	30000	0	0
9	30000	0	0
10	30000	0	0

CARGA	DIFERENCIA MAXIMA ENCONTRADA	ERRORES MAXIMOS PERMISIBLES
15000 g	0 g	15 g
30000 g	0 g	30 g

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posic. de Carga	Determinación de error corregido Eo			
	Carga Min	I (g)	AL (g)	E (g)
1	10 gr.	10	1	-0.5
2		10	1	-0.5
3		10	1	-0.5
4		10	1	-0.5
5		10	1	-0.5

Carga L	Determinación de error corregido Eo				
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p + (g)
10000 gr.	10000	1	-0.5	0	2
	10000	1	-0.5	0	2
	10000	1	-0.5	0	2
	10000	1	-0.5	0	2
	10000	1	-0.5	0	2

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	CRECIENTES			
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)
5	5	0	0	0
10	10	0	0	0
20	20	0	0	0
50	50	0	0	0
100	100	0	0	0
200	200	0	0	0
500	500	0	0	0
1000	1000	0	0	0
5000	5000	0	0	0
10000	10000	0	0	0
15000	15000	0	0	0
30000	30000	0	0	0

I (g)	DECRECIENTES			e.m.p + (g)
	AL (g)	E (g)	Ec (g)	
5	0	0	0	2
10	0	0	0	2
20	0	0	0	2
50	0	0	0	2
100	0	0	0	2
200	0	0	0	2
500	0	0	0	2
1000	0	0	0	2
5000	0	0	0	2
10000	0	0	0	2
15000	0	0	0	2
30000	0	0	0	2

5) Olla Washington

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
Laboratorio de calibración de instrumentos de medición

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Código del certificado
MN-152-2021

1 de 2

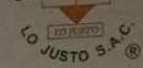
Fecha de calibración:	2021-10-20	<p>El usuario está en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.</p>
Equipo a calibrar:	Olla Washington (Medidor de Aire)	
Marca o Fabricante:	FORNEY	<p>Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.</p>
Modelo:	LA-0316	
Serie:	678	
Identificación:	No indica	<p>LO JUSTO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p>
Procedencia:	USA	
Alcance de medición:	0 - 100 %	
División de escala:	(de 0% a 6%) 0,1%; (de 6% a 8%) 0,2%; (de 8% a 15%) 0,5%; (de 15% a 30%) 1,0%; (de 30% a 50%) 5,0%; (de 50% a 100%) 10%;	<p>Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el sistema internacional de unidades (SI).</p>
Clase de exactitud:	No indica	<p>La incertidumbre estándar es determinada conforme a la NORMA ISO/IEC para la expresión de la incertidumbre, e incluye la incertidumbre de los patrones, del método de calibración, de las condiciones ambientales y la contribución propia de quien realiza la calibración</p>
Solicitante:	L Y D CONTRATISTAS PROMOTORES GENERALES S.R.L.	
Dirección solicitante:	Bl. Asoc. Nueva Esperanza Mza. M3 Lote 22 C.P. San Antonio - Moquegua	<p>El certificado de calibración no es válido sin la firma de aprobación del Gerente Técnico y Gerente General de LO JUSTO S.A.C. el documento tiene un sello de agua y holograma por seguridad.</p>
Número de páginas:	02 Pág.	
Expediente:	E2102-3209A-21	
Lugar de calibración:	Laboratorio de LO JUSTO S.A.C.	<p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de LO JUSTO S.A.C.</p>

Revisado: Arequipa, 20 de octubre de 2021

Alberto Velazco Linares
Ing. Mecánico CIP 23 716
Gerente General
LO JUSTO S.A.C.

FT02-INRE/CC

Etiqueta de Calibración N° 50744



Código del certificado
MN-152-2021

2 de 2

ISO / ICE 17025

Procedimiento utilizado: Procedimiento para calibración de material volumétrico (método gravimétrico).

Declaración de patrones:

- Balanza Mettler Toledo, con capacidad de 32000 g y d=0,1 g, Certificado N° IB-727-2017.
- Termohigrómetro de indicación digital con certificado de calibración TE-791-2018.
- Termómetro de indicación digital con certificado de calibración TE-030-2018.
- Manómetro de referencia de -1 bar a 20 bar, con certificado de calibración LFP-038-2018.

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Indicación del equipo (%)	Corrección (%)	Incertidumbre (%)
0,0	0,0	0,06
1,0	0,0	0,07
1,9	0,1	0,08
3,0	0,0	0,20
5,0	0,0	0,20
10,1	-0,1	0,23
15,1	-0,1	0,23
20,2	-0,2	0,40
25,3	-0,3	0,40
30,4	-0,4	0,40

Notas y aclaraciones:

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

Las condiciones ambientales al momento de la calibración fueron: Temperatura ambiente: 21,5 °C, Humedad 48,9 %.

Este Certificado de calibración cumple con los requisitos establecidos en la Norma ISO/IEC 17025: Requisitos Generales para la competencia de los Laboratorios de Calibración y Ensayo.

Si por el tipo de uso del instrumento de medición no resulta aconsejable realizar las correcciones de calibración, se puede utilizar una incertidumbre maximizada, que englobaría la máxima corrección encontrada en la calibración, en valor absoluto: $\pm U = \pm U_i \text{ máx} + IC \text{ máx}$.

Se colocó al equipo una etiqueta de color blanco brillante identificada con logotipo de LO JUSTO S.A.C N° 50744 en señal de su calibración.

Para el 0% se debe asegurar que el equipo este 100% lleno de agua, se debe generar presión mayor a la indicación en cero de tal manera que cuando se llene de presión la olla la indicación de el valor cero. Presión generada para cero: 3%

LO JUSTO S.A.C.
2021-10-20

S 064127

6) Máquina de compresión 01



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 055-18 DPC

INFORMACION DEL EQUIPO

1.- GENERALIDADES.

A solicitud de: UNIVERSIDAD JOSE CARLOS MARIATEGUI se procedió a observar el comportamiento de un Sistema Digital de Prensa de Concreto, La calibración se realizó en Moquegua el 12/10/2021.

2.- DEL SISTEMA A CALIBRAR.

Prensa : ELE
Indicador : ADR
Transductor : ELE

3.- DEL SISTEMA DE CALIBRACIÓN.

Dispositivo : Celda de Carga
Fabricante : AEP Transducers
Tipo : C2S- 200T
Serie N° : 703164
Carga Nominal : 100,000 Kg
Modalidad : Compresión
Indicador : MP10 N° 6181-2006-06

Calibrado en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica - (INF-LE 0117-18A).

4.- PROCEDIMIENTO

El procedimiento toma como referencia a la norma ASTM E4-07 y la Norma NTP ISO/IEC 17025, Se aplicaron dos series de carga al Sistema Digital mediante la misma prensa. En cada serie se registraron las lecturas de las cargas.

5.- RESULTADOS

En la Tabla N° 1 se muestran los promedios de las series de verificación y los errores correspondiente.

En el Gráfico N°1 se muestra la curva de regresión y la ecuación de ajuste correspondientes a la presente calibración.

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Ing. Luis Taboada Palacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 58551



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° 055-21 DPC**

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD JOSE CARLOS MARIATEGUI

**TITULO : Verificación de Sistema Digital
para Prensa de Concreto**

PRENSA

Marca : ELE
Capacidad : 120 TN
Modelo : 1707A0001
Serie : 1707-10-2217

BOMBA

Marca : Power Team
Modelo : 1706D0001
Serie : 1706-112216

Indicador

: ADR
Modelo : 1886B0033
Serie : 1886-1-1946

Transductor

: ELE
Modelo : PA-11R/700bar / 80096.14

FECHA : 12 de octubre del 2021

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

.....
Luis Toboado Palacios
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 54551

7) Máquina de ensayo 02

ELE
International
Calibration Certificate

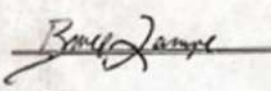
Production/Service Date: **October 30, 2021**


Each ELE brand Compression Tester is calibrated certified test equipment traceable to the National Institute of Standards and Technology.

Model # **36-3095/06** Serial # **151000025**

Calibration Data			
Indicated Load (lbs)	Actual Load (lbs)	Millivolt Signal	% Error
0	0	54.8	N/A
5000	4980	134.4	-0.4%
10000	9970	215.6	-0.3%
20000	19940	376.9	-0.3%
50000	49920	861.1	-0.2%
100000	99970	1667.6	0.0%
200000	199980	3290.1	0.0%
300000	300160	4922.5	0.1%
400000	400490	6563.1	0.1%
500000	500450	8211.3	0.1%

Test Equipment used:			
Serial #	Class A lbs	NIST Lab #	Cal Date
940830C	20,000.00 lbf	SJT.01/110329	3/30/2015

Calibration technician: 



8) Ficha técnica de malla No 325 (45 µm)

GEOLAB EQUIPOS S.A.C

FICHA TECNICA

PRODUCTO : TAMIZ PARA ENSAYOS DE LABORATORIO

FABRICANTE	GEOLAB EQUIPOS S.A.C
NORMA	ASTM E-11
DESCRIPCION DEL EQUIPO	Tamices circulares contruidos en acero inoxidable
MARCO	Acero Inoxidable. 203 mm de diámetro interior y 50 mm altura útil.
MALLA	Acero . Mesh 325 , abertura 45 micras.
PESO	0.43 Kg


Carlos E. Ramirez Menillet
GERENTE GENERAL

Jr. Enrique Nerini Nro 1175 Urb. Las Moras, San Luis, Lima, Perú – Teléfono 4731916