

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

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*