



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Civil**

**AUTORES:**

Carrera Saavedra, César Eduardo (ORCID: 0000-0003-0338-0777)

Lino Solano, José Luis (ORCID: 0000-0002-3642-4396)

**ASESOR:**

Mg. Contreras Velásquez, José Antonio (ORCID: 0000-0003-4136-7189)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

La presente tesis va dedicada a Dios por haber iluminado mi camino permitiéndome llegar hasta este momento, a mis hijos Cesar y Salvador, a mi padre Mario Carrera Estela, a mis hermanos Roxana, Henry, Elmer, José y Maritza, y a Eugenia una compañera leal, quienes me dieron soporte en el momento más difícil de mi vida.

Cesar Eduardo Carrera Saavedra.

La presente tesis va dedicada en primer lugar a Dios, por siempre estar a mi lado y darme las fuerzas de seguir adelante así encuentre tropiezos en mi vida. A mis padres Saturnino y Nilda porque siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona. A ellos por siempre protegerme y decirme las cosas cuando me equivoco para poder ser mejor cada día.

José Luis Lino Solano

## **Agradecimiento**

Expresamos nuestra gratitud y reconocimiento al Ingeniero Contreras Velásquez José Antonio por habernos orientado en cada paso que dábamos para concretar el presente trabajo de investigación de tesis. De igual manera, agradecemos a todos nuestros docentes del Pre Grado y del Programa de Formación para Adultos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Cesar Vallejo, a todos ellos por habernos brindado sus conocimientos a lo largo de nuestra formación profesional en los últimos 5 años.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras.....	viii
Resumen .....	x
Abstract .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>22</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	22
3.2. Variables y operacionalización .....	24
3.3. Población, muestra y muestreo .....	25
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	26
3.5. Procedimientos.....	28
3.6. Método de análisis de datos .....	30
3.7. Aspectos éticos .....	30
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>115</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>135</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>136</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>137</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>142</b>



## Índice de tablas

Tabla 1: Dimensiones e indicadores de la ceniza volcánica .....	13
Tabla 3: Población y muestra .....	26
Tabla 4: Dosificaciones del cemento .....	29
Tabla 5: Dosificaciones de cenizas volcánicas .....	29
Tabla 6: Composición mineralógica de la ceniza volcánica Yura. ....	36
Tabla 7: Cantidad de sulfato de la ceniza volcánica Yura en ppm. ....	37
Tabla 8: Rangos de sulfato según normas en ppm.....	37
Tabla 9: Proporción de sustancias según norma en ppm. ....	38
Tabla 10: Análisis granulométrico – agregado grueso. ....	39
Tabla 11: Distribución granulométrica .....	40
Tabla 12: Peso unitario suelto .....	42
Tabla 15: Gravedad específica y porcentaje de absorción .....	44
Tabla 16: Coeficiente $b/b_0$ .....	46
Tabla 17: Serie de dosificaciones de mezclas .....	47
Tabla 18: Tabla de granulometría agregado grueso TMN 1/2” .....	48
Tabla 19: Características del agregado grueso TMN 1/2” .....	48
Tabla 20: Dosificaciones para el diseño .....	49
Tabla 21: Material por m <sup>3</sup> de concreto .....	49
Tabla 22: Material por bolsa de cemento .....	49
Tabla 23: Material por m <sup>3</sup> .....	50
Tabla 24: Material por probeta .....	50
Tabla 25: Material para 9 probeta .....	51
Tabla 26: Material por vigueta.....	51
Tabla 27: Material para 9 viguetas .....	51
Tabla 28: Material concreto en obra .....	52
Tabla 29: Material para una probeta .....	52
Tabla 30: Material para 9 probetas .....	52
Tabla 31: Material por vigueta.....	53
Tabla 32: Material para 9 viguetas .....	53
Tabla 33: Material para m <sup>3</sup> .....	53
Tabla 34: Material para 1 probetas .....	54
Tabla 35: Material para 9 probetas .....	54
Tabla 36: Material por vigueta.....	54

Tabla 37: Material para 9 viguetas .....	55
Tabla 38: Material para m <sup>3</sup> .....	55
Tabla 39: Material para 1 probeta .....	55
Tabla 40: Material para 9 probetas .....	56
Tabla 41: Material por vigueta.....	56
Tabla 42: Material para 9 viguetas .....	56
Tabla 43: Cantidad de materiales por m <sup>3</sup> de concreto de obra.....	57
Tabla 44: Cantidad de material para 1 probeta .....	57
Tabla 45: Cantidad de Material para 9 probeta .....	57
Tabla 46: Material por vigueta.....	58
Tabla 47: Material para 9 viguetas .....	58
Tabla 48: Material por probeta (permeabilidad) .....	58
Tabla 49: Material por 18 probetas (Permeabilidad).....	58
Tabla 50: Cantidad de ceniza volcánica por dosificaciones .....	59
Tabla 51: Resistencia a la compresión DM0 = 0.0% ceniza volcánica, a los 7 días .....	60
Tabla 52: Resistencia a la compresión DM0 = 0.0% ceniza volcánica a los 14 días .....	61
Tabla 53: Resistencia a la compresión DM0 = 0.0% ceniza volcánica a los 28 días .....	62
Tabla 54: Resistencia a la compresión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 7 días .....	64
Tabla 55: Resistencia a la compresión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 14 días .....	65
Tabla 56: Resistencia a la compresión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 28 días .....	66
Tabla 57: Resistencia a la compresión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 7 días .....	67
Tabla 58: Resistencia a la compresión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 14 días .....	68
Tabla 59: Resistencia a la compresión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 28 días .....	68
Tabla 60: Resistencia a la compresión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 7 días .....	69
Tabla 61: Resistencia a la compresión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 14 días .....	70
Tabla 62: Resistencia a la compresión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 28 días .....	71
Tabla 63: Resistencia a la compresión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 7 días .....	73
Tabla 64: Resistencia a la compresión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 14 días .....	74
Tabla 65: Resistencia a la compresión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 28 días .....	74
Tabla 66: Resistencia a la compresión DM5 = 12.5% ceniza volcánica a los 7 días .....	76
Tabla 67: Resistencia a la compresión DM5 = 12.5% ceniza volcánica a los 14 días .....	77
Tabla 68: Resistencia a la compresión DM5 = 12.5% ceniza volcánica a los 28 días .....	77
Tabla 69: Resumen de los valores de resistencia a compresión de los tres tiempos .....	79
Tabla 70: Resistencia a la flexión DM0 = 0.0% ceniza volcánica a los 7 días .....	84
Tabla 71: Resistencia a la flexión, DM0 = 0.0% ceniza volcánica a los 14 días.....	84

Tabla 72: Resistencia a la flexión, DM0 = 0.0% ceniza volcánica a los 28 días .....	85
Tabla 73: Resistencia a la flexión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 7 días .....	87
Tabla 74: Resistencia a la flexión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 14 días .....	88
Tabla 75: Resistencia a la flexión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 28 días .....	89
Tabla 76: Resistencia a la flexión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 7 días .....	90
Tabla 77: Resistencia a la flexión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 14 días .....	91
Tabla 78: Resistencia a la flexión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 28 días .....	92
Tabla 79: Resistencia a la flexión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 7 días .....	93
Tabla 80: Resistencia a la flexión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 14 días .....	94
Tabla 81: Resistencia a la flexión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 28 días .....	95
Tabla 82: Resistencia a la flexión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 7 días .....	97
Tabla 83: Resistencia a la flexión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 14 días .....	98
Tabla 84: Resistencia a la flexión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 28 días .....	99
Tabla 85: Resistencia a la flexión DM4 = 12.5% ceniza volcánica a los 7 días .....	100
Tabla 86: Resistencia a la flexión DM4 = 12.5% ceniza volcánica a los 14 días .....	101
Tabla 87: Resistencia a la flexión DM4 = 12.5% ceniza volcánica a los 28 días .....	102
Tabla 88: Resultados parciales y promedios de la resistencia a flexión para concreto permeable .....	104
Tabla 89: Coeficiente de permeabilidad sin ceniza volcánica .....	108
Tabla 90: Coeficiente de permeabilidad con ceniza volcánica = 2.5% .....	109
Tabla 91: Coeficiente de permeabilidad con ceniza volcánica = 5% .....	110
Tabla 92: Coeficiente de permeabilidad con ceniza volcánica =7.5% .....	111
Tabla 93: Coeficiente de permeabilidad con ceniza volcánica =10% .....	112
Tabla 94: Coeficiente de permeabilidad con ceniza volcánica =12.5% .....	113
Tabla 95: Variación del grado de permeabilidad según las dosificaciones de CV .....	114
Tabla 96: Correlación de variables y dimensiones .....	118
Tabla 97: Variación de la resistencia a la compresión según diferentes tesis de investigación. ....	125
Tabla 98: Correlación de CV vs resistencia a la compresión. ....	127
Tabla 99: Correlación CV y resistencia a la flexión. ....	130
Tabla 100: Incremento porcentual de k respecto a k patrón. ....	132
Tabla 101: Correlaciones en parejas de Pearson entre CV vs K .....	134

## Índice de figuras

Figura 1: Muestras de ceniza volcánica según su color, en estado natural .....	10
Figura 2: Composición mineralógica de la ceniza volcánica. ....	11
Figura 3: Localización de los volcanes más importantes del Perú. Fuente INGEMMET (2018) .....	12
Figura 6: Uso del concreto permeable en la ciudad de Beijín, China.....	16
Figura 7: Resistencia a la compresión.....	18
Figura 8: Resistencia a la flexión .....	19
Figura 11: Zona de extracción de la ceniza volcánica. ....	32
Figura 12: Punto exacto de extracción de la mayor cantidad de muestra, en el Distrito de Yura.....	33
Figura 13: Ceniza volcánica preparada para el análisis físico – químico.....	34
Figura 14: Curva granulométrica.....	41
Figura 15: Porcentaje de vacíos en función de la resistencia a compresión .....	45
Figura 16: Relación agua-cemento y contenido de aire en porcentaje .....	45
Figura 17: Promedio de resistencia por cada tiempo para 0.00%CV .....	63
Figura 18: Promedio de resistencia por cada tiempo para 2.5%CV.....	67
Figura 19: Promedio de resistencia por cada tiempo para 5.0%CV.....	69
Figura 20: Promedio de resistencia por cada tiempo para 7.5%CV.....	72
Figura 21: Promedio de resistencia por cada tiempo para 10%CV.....	75
Figura 22: Promedio de resistencia a la compresión por cada tiempo para 12.5%CV ....	78
Figura 23: Variación de la resistencia a la compresión a los 7 días.....	80
Figura 24: Variación de la resistencia a la compresión a los 14 días.....	81
Figura 25: Variación de la resistencia a la compresión a los 14 días.....	81
Figura 26: Consolidado de niveles de resistencia a la compresión.....	82
Figura 27: Prueba de normalidad para las muestras a la edad de 28 días.....	83
Figura 28: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 0.0%CV, para 7, 14, 28 días. ....	86
Figura 29: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 2.5%CV, para 7, 14, 28 días. ....	90
Figura 30: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 5.0%CV, para 7, 14, 28 días ....	92
Figura 31: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 7.5%CV, para 7, 14, 28 días ....	96
Figura 32: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 10.0%CV, para 7, 14, 28 días. .	99
Figura 33: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 12.5%CV, para 7, 14, 28 días. ....	103
Figura 34: Variación de la resistencia a la flexión en los tres tiempos .....	105
Figura 35: Evolución lineal de la resistencia a flexión según dosificaciones. ....	106

Figura 36: Prueba de normalidad a los 28 días para todas las dosificaciones. ....	107
Figura 37: Variación del coeficiente de permeabilidad con dosificaciones de CV. ....	114
Figura 38: Distribución paramétrica de los datos de k. ....	115
Figura 39: Variación comparativa entre la resistencia a compresión vs resistencia a la flexión. ....	116
Figura 40: Evolución de la resistencia a la compresión según Jaigua & Vásquez .....	117
Figura 41: Evolución de la resistencia a la compresión según Palacios & Orejuela .....	117
Figura 42: Relación resistencia a la compresión y coeficiente de permeabilidad .....	119
Figura 43: Relación resistencia a la flexión y coeficiente de permeabilidad .....	120
Figura 44: Cambios en la resistencia a la compresión según el grado dosificaciones con ceniza volcánica.....	121
Figura 45: Evolución de la resistencia a la compresión con ceniza volcánica según Ilham & Amir.....	123
Figura 46: Variación de la resistencia a la compresión según Hermosa .....	124
Figura 47: Comportamiento de la resistencia a la compresión según las dosificaciones de ceniza volcánica.....	126
Figura 48: Dispersión de la resistencia a la compresión vs ceniza volcánica. ....	127
Figura 49: Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la flexión del concreto permeable .....	128
Figura 50: Variación de la resistencia a la flexión según Mendoza .....	129
Figura 51: Variación del coeficiente de permeabilidad según el grado de dosificaciones .....	131
Figura 52: Variación del coeficiente de permeabilidad según Bautista .....	132
Figura 53: Variación porcentual de k .....	133
Figura 54: Grafica de dispersión de K vs %CV .....	134

## Resumen

Esta investigación tiene como objetivo principal determinar los cambios que experimenta las propiedades mecánicas del concreto permeable convencional a partir de las dosificaciones variables con ceniza volcánica en reemplazo del cemento Portland de Tipo I y de esta manera demostrar la importancia de este nuevo concreto para su aplicación en el área de la construcción en el marco de las 17 ODS de la Agenda de 2030 de las Naciones Unidas.

En ese sentido esta investigación es de tipo experimental y aplicativo; de enfoque cuantitativo y correlacional, y de gran utilidad social con grandes implicancias económicas. Para este propósito lo primero fue contar con la ceniza volcánica de las canteras de Yura, en el departamento de Arequipa, en el ámbito de influencia geológica del volcán Chachani, la misma que fue analizada en laboratorio para descartar los niveles de concentración del sulfato y a la vez conocer su composición mineralógica. El siguiente paso fue el análisis granulométrico del agregado grueso, así como el cálculo de otros parámetros como porcentaje de absorción, importantes para definir el diseño de mezcla. Para 1m<sup>3</sup> de concreto permeable se hizo el diseño de mezcla en base a las siguientes proporciones: Cemento 321.97Kg, agregado grueso de TMN ½" 1623.07 kg y agua 128.79 litros, sobre esta cantidad de cemento se establecieron las siguientes dosificaciones de cenizas volcánicas: 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5%.

Sobre la base de estas dosificaciones se obtuvieron los siguientes resultados: a 0.00% CV, la resistencia a la compresión fue 20.88Mpa, a 2.5%CV, 21.28Mpa, a 5.0%CV, 21.08 Mpa, a 7.5%CV, 20.10Mpa, a 10%CV, 18.53Mpa, a 12.5%CV, 18.44Mpa, las mismas que para cada dosificación, el coeficiente de permeabilidad, tienen la siguiente correlación correspondiente: 0.208, 0.230, 0.248, 0.258, 0.28 y 0.293cm/s.

Estos resultados demuestran que existe una cierta correlación entre la ceniza volcánica, la resistencia a la compresión y el coeficiente de permeabilidad. Por lo tanto, se concluye que la ceniza volcánica puede modificar las propiedades mecánicas del concreto permeable convencional

**Palabras clave:** Concreto permeable, ceniza volcánica, resistencia a la compresión, coeficiente de permeabilidad.

## Abstract

The main objective of this research is to determine the changes that the mechanical properties of conventional pervious concrete undergo from the variable dosages with volcanic ash in replacement of Type I Portland cement and in this way to demonstrate the importance of this new concrete for its application in the construction area within the framework of the 17 SDGs of the United Nations 2030 Agenda.

In this sense, this research is experimental and applicative; quantitative and correlational approach, and of great social utility with great economic implications.

For this purpose, the first thing was to have the volcanic ash from the Yura quarries, in the department of Arequipa, in the area of geological influence of the Chachani volcano, which was analyzed in the laboratory to rule out the levels of sulfate concentration and the once know its mineralogical composition. The next step was the granulometric analysis of the coarse aggregate, as well as the calculation of other parameters such as absorption percentage, important to define the mix design. For 1m<sup>3</sup> of permeable concrete, the mixture design was made based on the following proportions: Cement 321.97Kg, coarse aggregate of TMN ½ "1623.07 kg and water 128.79 liters, on this quantity of cement the following volcanic ash dosages were established: 2.5 %, 5%, 7.5%, 10% and 12.5%.

On the basis of these dosages the following results were obtained: at 0.00% CV, the compressive strength was 20.88Mpa, at 2.5% CV, 21.28Mpa, at 5.0% CV, 21.08 Mpa, at 7.5% CV, 20.10Mpa, at 10% CV, 18.53Mpa, at 12.5% CV, 18.44Mpa, the same as for each dosage, the permeability coefficient, have the following corresponding correlation: 0.208, 0.230, 0.248, 0.258, 0.28 and 0.293cm / s .

These results show that there is a certain correlation between volcanic ash, compressive strength and the coefficient of permeability. Therefore, it is concluded that volcanic ash can modify the mechanical properties of conventional pervious concrete.

**Keywords:** Permeable concrete, volcanic ash, compressive strength, permeability coefficient.

## I. INTRODUCCIÓN

Mejorar la resistencia del concreto permeable con ceniza volcánica, reemplazando el cemento Portland Tipo I en dosificaciones variable tiene gran valor económico y ambiental, permitiendo que los proyectos de ingeniería enfocados a la construcción de carreteras, sistemas urbanos, sean factibles y sostenibles, principalmente en zonas geográficas lluviosas.

A nivel mundial, pocos estudios vinculan dos variables: ceniza volcánica y concreto permeable. Respecto a ello, existe suficientes investigaciones acerca de la utilización del concreto permeable, que ha sido aplicado con madurez en la construcción de sistemas urbanos y vías de bajo tráfico. Por este motivo, el concreto permeable es una buena alternativa a la construcción sostenible porque tiene cualidades inherentes relacionadas con la alta permeabilidad al aire y al agua, por lo que es un material ideal para la colocación de zonas urbanas residenciales.

El concreto permeable se ha vuelto cada vez más importante en el rubro de la construcción, como sustituto de la reducción del impacto ambiental y la protección de la calidad ambiental. Es un buen regulador de la reposición de aguas subterráneas y la termodinámica ambiental en el ecosistema urbano. Los países líderes en el uso de concreto permeable son Europa, América del Norte y países industrializados como Japón y Australia. Es más ampliamente utilizado en la construcción de aceras, calles, espacios residenciales, estacionamientos, senderos para caminar y andar en bicicleta. En Australia, se utiliza en sistemas urbanos residenciales sensibles al agua para mejorar la calidad de agua en áreas urbanas. En Japón, se utiliza para estabilizar la vegetación en las riberas de los ríos y en Europa se utiliza para absorber el sonido y construir sistemas urbanos con alta eficiencia hidráulica en el drenaje.

La Agencia de Protección Medioambiental (EPA), el Instituto Americano del Concreto (ACI) y la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM), son instituciones que están validando la sustentabilidad ecológica y ambiental del concreto permeable, enfocándose en el desarrollo de estándares para caracterización de sus propiedades, producción y uso. Mientras que el concreto impermeable, es una mezcla convencional que combina los siguientes elementos: agua, cemento, agregados gruesos y mucho agregado fino, el concreto



permeable es el mismo diseño de mezcla con la diferencia que presenta menor porcentaje de agregados finos. Por eso mismo el concreto permeable presenta vacíos interconectados que permiten la infiltración del agua al terreno natural y la consiguiente recarga de las napas freáticas (Flores, 2015). Para hacer mucho más económico este concreto, la propuesta en esta investigación es reemplazar el cemento Portland Tipo I con ceniza volcánica en varias dosificaciones, hasta 12.5%, por lo que se obtiene un material idóneo para las construcciones sustentables.

En esa misma línea, otra investigación en el Perú (Ayquipa, & Valqui, 2020), diseñaron una mezcla de concreto con cenizas volcánicas para una resistencia teórica de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , luego al romper las probetas a los 28 días de curado, obtuvieron una resistencia de  $f'c = 380 \text{ kg/cm}^2$  lo que demuestra la relación positiva que hay entre la ceniza volcánica y el cemento puzolánico empleado para la mezcla. Pues las cenizas volcánicas tienen en su composición natural puzolanas, al igual que el cemento puzolánico que determina la durabilidad del concreto, para mejorar su resistencia física y la resistencia a los efectos de los sulfatos y otras sustancias corrosivas. A parte de sus propiedades físico-químicas, permisibles para la construcción, la ceniza volcánica es un recurso natural muy difundido en la corteza terrestre.

Según el Instituto de Geología, Minería y Metalurgia-INGEMMET, el Perú es un país rico en cenizas volcánicas, un material ampliamente disponible en la naturaleza. Hay más de 400 volcanes en Perú, la mayoría de los cuales están inactivos. Arequipa (Misti y Sabankaya), Moquegua (Ubinas, Vainaputina y Ticani) y Tacna (Tutupaca y Yucamani) son los departamentos con más volcanes, millones de toneladas de ceniza volcánica y altos niveles (Macedo, 2013). Asimismo, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI, el 90% del territorio peruano recibe más de 100 mm de precipitación anual.

Dado que el Perú es uno de los países más grandes de América del Sur y tiene una orientación espacial vertical, tiene una gran área geográfica para expandir su red vial, así como países regionales con problemas de lluvias e inundaciones que afectan a casi todos los sistemas urbanos. Por eso mismo, se requiere disponer de este tipo de concreto en grandes volúmenes y a bajo costo. Así el concreto permeable tendrá dos características sustentables: Viabilidad económica y viabilidad ambiental. Son concretos sustentables ecológicamente,

toda vez que reducen la magnitud de los impactos ambientales, principalmente cuando se proyectan construir sistemas urbanos sensibles al agua.

El propósito de la investigación es, obtener un concreto permeable hecho con ceniza volcánica, lo permitirá para masificar su producción a bajo costo y disponer de grandes volúmenes de concreto sustentable para mejorar la eficiencia ambiental de los sistemas urbanos y ampliar la infraestructura física del país.

Sobre la base de esta evaluación preliminar del concreto permeable con cenizas volcánicas, se formulan las siguientes preguntas de investigación: ¿En qué medida la ceniza volcánica modificará las propiedades mecánicas del concreto permeable de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021? ¿Cómo afecta la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión del concreto permeable de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021? ¿Cómo afecta la ceniza volcánica en la resistencia a la flexión del concreto permeable de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021? ¿Cómo influye la ceniza volcánica en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021?

En ese sentido, la presente investigación busca explorar y desarrollar una serie de pruebas de laboratorio para la obtención de un concreto permeable que reemplace el cemento puzolánico portland hasta un 12.5%, para que este concreto es un material de construcción viable económica y ecológicamente.

Por lo tanto, los objetivos de esta investigación son: Determinar en qué medida la ceniza volcánica modificara las propiedades mecánicas del concreto permeable  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021. Conocer los efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión del concreto permeable de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021. Cuantificar los efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la flexión del concreto permeable de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021 y Analizar la influencia de la ceniza volcánica en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021.

## **Justificación de la investigación:**

La justificación teórica, en la presente investigación es explicar de manera amplia los perfiles y atributos de la ceniza volcánica, como material adecuado para mejorar el concreto permeable  $f'c$  210kg/cm<sup>2</sup>. Esto permitirá reflexionar sobre la importancia de utilizar este recurso natural muy abundante en el Perú, para mejorar cualitativa y cuantitativamente, el concreto permeable como material sostenible, para proyectos urbanos y viales que se van a desarrollar en diferentes regiones del país. En ese sentido la información teórica que se va que generar será de gran utilidad para las próximas investigaciones al respecto.

La justificación metodológica de esta investigación es crear procedimientos prácticos para el diseño de concretos permeables más resistentes, mejoradas con ceniza volcánica. En esta investigación se demuestra cuantitativa y cuantitativamente los diferentes niveles de dosificaciones de ceniza volcánica y la obtención de concreto permeable de resistencias variables, las cuales tienen importancia practica para dimensionar las obras civiles. Por esos mismo, la presente investigación busca diseñar un procedimiento metodológico basado en una secuencia algorítmica manejable, de todo lo que implica la mejora de un nuevo tipo de concreto permeable adicionando ceniza volcánica.

Por otro lado, la presente investigación tiene una justificación práctica porque busca la solución de un problema relacionado a como obtener un tipo de concreto permeable más resistente que tenga gran valor ambiental y económico. La solución practica es el diseño de un concreto permeable mejorado con ceniza volcánica para darle mayor resistencia y soporte a las actividades y construcciones.

Finalmente, la justificación social, en esta investigación está enfocado a la mejora de la calidad de vida de la población mediante el mejoramiento del pavimento en los sistemas urbanos, hechos con concreto permeable de mayor tiempo de vida toda vez que se estabiliza sobre una subrasante que mejora la infiltración del agua. Hay miles de personas que se van a ver beneficiadas mejorando de esta manera sus actividades económicas y actividades socioculturales.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes internacionales**

Jaigua & Vázquez (2015) en la presente investigación tuvo como objetivo el estudio del comportamiento de hormigones de altas prestaciones utilizando cenizas volcánicas naturales y súper plastificantes. Los autores hacen un análisis cuantitativo de la ceniza volcánica del volcán Tungurahua, así como la posibilidad de sustituir el cemento con ceniza volcánica obteniéndose hormigones de gran resistencia a la compresión de hasta 50MPa. En esta investigación se demostró que se puede mejorar la resistencia del concreto al reemplazar el cemento en una proporción determinada por una cantidad de ceniza volcánica resultando una opción viable desde el punto de vista medio ambiental. La resistencia máxima que se lograron obtener fue de 503kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días con un contenido de ceniza volcánica del 20%. La dosificación óptima es entonces 20% de ceniza volcánica.

Porras (2017) en su investigación tuvo como objetivo diseñar hormigón hidráulico permeable y su respectiva correlación de permeabilidad. En el diseño de su método, se enfoca principalmente en el estudio de métodos de diseño en otros países / regiones del mundo, que considera los procedimientos de ensayo de mezclas, cambio de la relación agua / cemento y energía de compactación, por ser factores que inciden directamente en la mecánica. propiedades del hormigón, tales como resistencia y permeabilidad relacionada. En esta investigación se encontró que la resistencia del hormigón aumenta a medida que disminuye la permeabilidad, lo cual se debe a los vacíos por donde fluye el agua, y al mismo tiempo crean más planos de falla. Es por esto por lo que es necesario agregar ceniza volcánica como posibilidad de brindar mayor resistencia al concreto permeable.

Ilham & Amir (2018) en la investigación tuvo como objetivo demostrar el uso de las cenizas volcánicas en una proporción óptima para obtener un concreto de buena resistencia, viable económica y ambientalmente. El tipo de investigación es de carácter cuantitativo, analítico y experimental. Uno de los hallazgos más importantes fue la determinación de la composición química de las cenizas volcánicas provenientes del volcán Dukono (Indoesia). Los elementos dominantes son Si, Fe y Ca. con una composición de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%. En esta investigación se ha demostrado de como la ceniza volcánica puede

disminuir el grado de absorción del concreto, porque es un material piroclástico muy fino. Con la composición de ceniza volcánica como ingredientes añadidos, genera mayor resistencia a la compresión con la adición de de 5% y 10% de cenizas volcánicas llegando a soportar 21,73 MPa y 30,40 MP. Por otro lado, la adición en 15%, 20% y 25%, de cenizas volcánicas, respectivamente, disminuyó la resistencia a la compresión de 24,27 MPa, 18,13 MPa y 16,26 MPa, respectivamente. Sobre estas pruebas se obtuvo que la mejor composición para el uso de cenizas volcánicas como un material aditivo es igual a 10% del peso del cemento.

Palacios & Orejuela (2019) desarrollo un proyecto de investigación para fabricar concreto no convencional con ceniza volcánica, reemplazando al cemento en tres dosis. El tipo de tipo de investigación que corresponde es de tipo experimental y correlacional, donde se hace correspondencia de valores de resistencia en función a las diferentes dosis de ceniza volcánica en la mezcla. Llegaron demostrar la eficacia de la ceniza volcánica en la mejora de la resistencia a compresión del concreto, siendo la dosis del 10%, la proporción limite que genera alta resistencia, aunque no supera la resistencia generada por el concreto patrón. Se puede advertir entonces que mayor cantidad de ceniza volcánica en la mezcla puede disminuir la resistencia a compresión del concreto.

## **2.2. Antecedentes nacionales**

Patiño (2013) en su investigación tuvo como objetivo principal establecer los múltiples usos y estándares del concreto permeable. Este es un concreto hecho de manera similar al concreto ordinario, excepto que utiliza menos cemento, es decir, poco o ningún agregado fino, lo que crea vacíos entre las partículas que componen el concreto. Por otro lado, establece múltiples usos del concreto permeable para estacionamientos, muros de carga y muros residenciales, y vías de bajo tránsito, debido a que tiene una fuerte capacidad para descargar agua de lluvia al subsuelo, reponiendo así el nivel freático. El diseño de investigación es un tipo exploratorio transversal no experimental. Esta es una investigación teórica y cualitativa. Los resultados de su investigación demuestran la importancia ecológica de este tipo de concreto para hacer más sostenibles determinadas edificaciones, principalmente relacionadas con los dos sistemas urbanos, y más

precisamente relacionadas con las zonas residenciales. Se ha demostrado el uso de este concreto ya en varios países del mundo en Norteamérica en la Unión Europea y en el Japón, así como en Australia.

Amoros & Bendezú (2019) en la investigación tuvieron como objetivo principal hacer un diseño de mezcla de concreto permeable para pavimentos. Busca la dosificación óptima para el concreto permeable de resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup>. La metodología que aplican en la presente investigación es de tipo cuantitativo, experimental y aplicativo. Realiza ensayos utilizando las normas del American Society For Testing Materials (ASTM) y para el diseño de mezcla ha tomado en cuenta, el ACI 522-R del American Concrete Institute (ACI). Sus hallazgos concluyeron que el concreto permeable es útil como superficie de rodadura de un pavimento para carreteras de un nivel de tráfico ligero.

Mendoza (2017) en su investigación tuvo como objetivo medir el comportamiento mecánico del concreto al dosificar porcentajes variables de puzolana volcánica en reemplazo del cemento. Esta investigación es de tipo experimental y correlacional. Se demuestra de como al inicio con dosis pequeñas de ceniza volcánica, hasta el 10%, la resistencia a la compresión del concreto tiende a aumentar hasta 261 kg/cm<sup>2</sup>. Luego partir de este porcentaje de dosificación, la mezcla al endurecerse pierde resistencia de tal manera que con 20% de dosificación se alcanza solo 187Kmf/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, se puede inferir lo siguiente: A mayor cantidad de puzolana volcánica a partir de cierta dosis de puzolana volcánica, el concreto pierde resistencia a la compresión.

Hermoza (2019) en su investigación tuvo como objetivo comparar el mortero geopolímero obtenido a partir de ceniza volcánica con el mortero obtenido a partir del cemento Portland, y considerar los aspectos físicos, mecánicos y de microestructura del concreto. El tipo de investigación que realizó fue experimental-cuantitativo-aplicativo. El método y procedimientos incluyen una revisión bibliográfica de información teórica, para su posterior procesamiento en el laboratorio, y el correspondiente análisis estadístico de los resultados. Los resultados de su investigación demostraron la posibilidad de utilizar puzolana (CV) y agregado fino local (AL) para sintetizar morteros geopolímeros, utilizando álcalis como hidróxido de sodio (NaOH) e hidróxido de sodio, y agregando silicato de sodio (NaOH) como catalizador. + Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) y el hallazgo más importante fue demostrar que la absorción del agua en morteros geo poliméricos obtenidos a

partir de la activación alcalina de la ceniza volcánica, es mayor que la de los morteros de cemento en un 11.66%.

Tupayachy (2021) El propósito de su investigación fue obtener las características de geopolímeros de materiales de construcción con nuevas propiedades mecánicas mediante el uso de cenizas volcánicas. Teniendo en cuenta que la ceniza volcánica es un material rico, cuando se combina con agua, arena y una cierta cantidad de cemento Portland, se reducen las emisiones de dióxido de carbono que se utilizan para hacer hormigón. El tipo de diseño de investigación es experimental, cuantitativo y aplicado. El descubrimiento más importante es que mediante la aplicación de cenizas volcánicas se ha obtenido un mortero de geopolímero con mayor resistencia, por lo que es un material con altas propiedades mecánicas y por tanto un sustituto del uso intensivo en la construcción porque ha obtenido mejores resultados que los establecidos en la Norma NTP 334.069: 2017, correspondiente a cemento o mortero de albañilería.

Reyna (2019) en su presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la ceniza y el cemento en los adobes de los muros de mampostería sobre la compresión y durabilidad, y obtener adobes estables como materiales de construcción. Utilizó un diseño experimental, muestreo probabilístico, en el que recopila datos de observaciones, mediciones directas y el uso de inferencia estadística. Los resultados son contundentes, obtener adobes de alta resistencia reemplazando hasta un 20% del suelo con puzolana y agregando un 9% de cemento. La resistencia obtenida es de 11 kg / cm<sup>2</sup>, valor aprobado por la norma E.080, que menciona que la resistencia a la compresión del adobe debe superar los 10 kg / cm<sup>2</sup>. Este resultado valida la hipótesis de que la ceniza volcánica puede mejorar la resistencia del concreto permeable, lo que permitirá repensar su aplicación en la construcción demandando mayores cargas a un costo mínimo, con implicancias ambientales favorables.

Salinas (2019) el objetivo general de la presente investigación es describir las propiedades del concreto permeable  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  para drenaje pluvial en pavimentos. El tipo de investigación es no experimental, no modifica ninguna variable. Su variable independiente es el concreto permeable. Los ensayos realizados en laboratorio arrojaron los siguientes resultados: una resistencia a la compresión de 213.37%, una resistencia a la tracción de 11.94 kg/cm<sup>2</sup>. y la infiltración de 0.0123 m/s. Con esta investigación se demuestra la importancia y

viabilidad del concreto permeable  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  para proyectos de drenaje pluvial en pavimentos de rodadura considerando por ejemplo una capa de rodadura de  $e=0.30 \text{ m}$ , una base granular de  $e=0.20 \text{ m}$  y un mejoramiento de subrasante de  $e=0.28 \text{ m}$ , óptimo para el tráfico de vehículos, a la vez que permite la filtración del agua a las napas freáticas.

Tupa (2018) en este estudio, el autor analizó la posibilidad de utilizar escoria volcánica y cenizas como agregados para preparar el concreto ligero. Se enfocó en el análisis de las propiedades físicas y químicas de la ceniza volcánica del área de Yura, y las propiedades físicas, mecánicas del concreto hecho de la ceniza volcánica, y buscó el método de diseño de proporción de mezcla. La investigación es experimental, descriptiva y correlacional. En los resultados de investigación, para los diseños de 210, 280, 350 y 500  $\text{kg / cm}^2$ , la resistencia a la compresión del concreto ligero que contiene puzolana es 30%, 16%, 12% y 6% mayor que la del concreto normal. Por tanto, la ceniza volcánica es apta para la fabricación de concreto estructural ligero con gran resistencia porque puede obtener una resistencia estructural normal y alta que cumpla con la resistencia mínima de compresión y tracción establecidas por el ACI 211.2-98.

Quiliche (2019), en sus tesis de investigación el autor tiene como objetivo obtener concreto de alta resistencia adicionando puzolana volcánica. Para ello obtiene la ceniza del Centro Poblado de Llagamarca en Cajamarca. Su investigación es de tipo experimental y correlacional. En sus hallazgos llega de mostrar la tendencia creciente en la resistencia del concreto al adicionar puzolana volcánica en reemplazo del cemento, en las siguientes proporciones. 4, 8, 12 y 15%, obteniendo una máxima resistencia que alcanza 253  $\text{Kgf/cm}^2$ , a los 28 días, con la dosis del 15%. Por lo tanto, se concluye que, a mayor dosis de puzolana volcánica, al menos hasta 15%, la resistencia a compresión del concreto convencional, tiende a aumentar hasta 253  $\text{Kgf/cm}^2$ .



## 2.3. Bases teóricas

### 2.3.1. Cenizas volcánicas

Las cenizas volcánicas que también se llaman puzolanas naturales son materiales usados en la construcción, en la fabricación de cementos, morteros y hormigones. Es un tipo de material piroclástico, expulsado por los volcanes, en zonas sísmicas. Se compone de partículas microscópicas, de un tamaño menor a 2mm (Figura 1).



Figura 1: Muestras de ceniza volcánica según su color, en estado natural.

Fuente. <https://spanish.alibaba.com/g/volcanic-ash.html>

### Composición mineralógica

La composición mineralógica de cenizas volcánicas se puede clasificar en dos categorías: livianas (gravedad específica [Gs] < 2.8-3.0) y pesadas (Gs > 2.8-3.0). Las livianas representan hasta el 95% de la composición. En la figura 2, se observa la composición mineralógica de la ceniza volcánica: En general la ceniza volcánica, tiene SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O y CaO donde se verifica la predominancia del

contenido de sílice (INGENMMET, 2018).

La ceniza volcánica contiene plagioclasa feldespáticas como la albita ( $\text{NaSi}_3\text{AlO}_8$ ), y anorthitas ( $\text{CaSi}_2\text{Al}_2\text{O}_8$ ), en alto porcentaje. De las plagioclasas, la andesita y labradorita son las más comunes (Yamada et al., 1975; Dethier et al., 1981). De acuerdo con los estudios de Taylor (2010), la composición básica de la ceniza volcánica consiste en aproximadamente 65%  $\text{SiO}_2$ , 18%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 2%  $\text{MgO}$ , 4%  $\text{CaO}$ , 4%  $\text{Na}_2\text{O}$  y 0.1% S.

Por eso debido a su composición química y microestructural, las cenizas volcánicas son materiales de donde se puede hacer geopolímeros resistentes a altas temperaturas (Universidad Cracovia, 2015), las mismas que ha sido demostradas en el Perú, por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico al obtener probetas de ceniza volcánica de 30, 60 y 64 Mpa de resistencia a la compresión, para las edades de 7, 14 y 28 días, respectivamente. Son materiales idóneos para la fabricación del hormigón y asfalto.

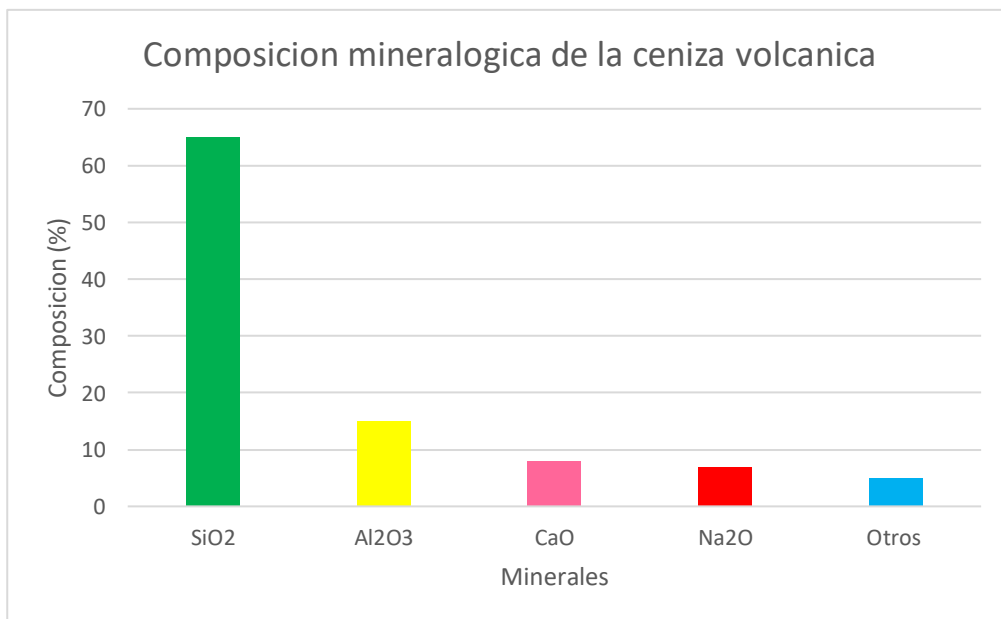


Figura 2: Composición mineralógica de la ceniza volcánica. Elaboración propia. Fuente INGEMMET (2018).

## Origen y distribución

Las cenizas volcánicas son el resultado de procesos geodinámicos internos de tipo extrusivo. En este caso el volcán expulsa gases, lavas y piroclastos desde la cámara magmática, fluyendo por la chimenea, y saliendo por el cráter hacia el medio ambiente. La producción de cenizas volcánicas es de una cantidad colosal. Solamente el volcán Sabancaya en su baja intensidad de actividad y durante un año expulso 270,000 m<sup>3</sup> de ceniza volcánica, por lo que este recurso se torna abundante.

Este material está muy difundido sobre la corteza terrestre. Hay miles de kilómetros cuadrados y gruesas capas de cenizas volcánicas en los departamentos del Sur del Perú: Arequipa, Moquegua y Tacna, donde se localizan los volcanes más importantes del país, que en su conjunto constituyen una fuente casi inagotable de puzolanas naturales (Figura 3).

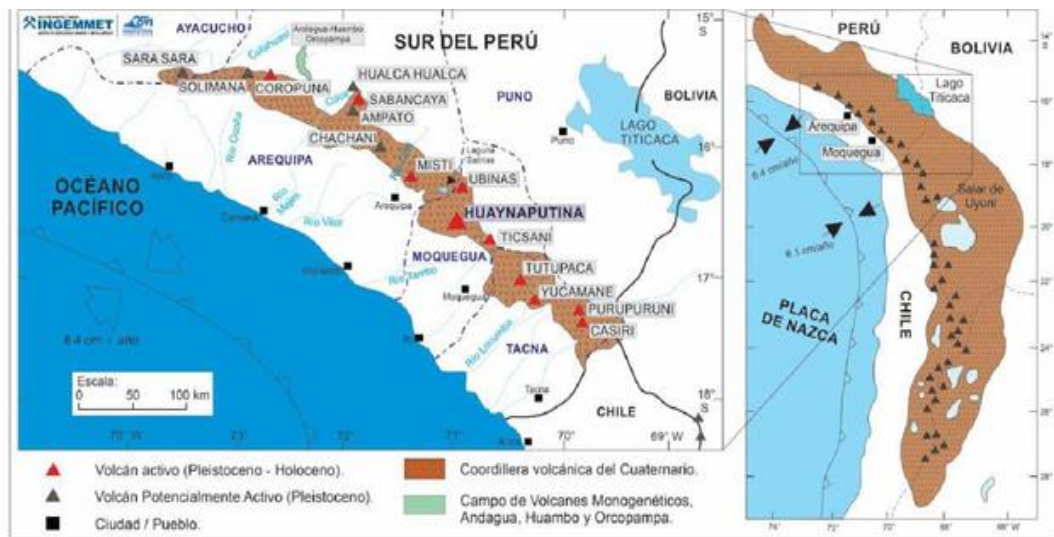


Figura 3: Localización de los volcanes más importantes del Perú. Fuente INGEMMET (2018)

### 2.3.1.1. Dimensiones e indicadores

Las dimensiones e indicadores de la ceniza volcánica como variable independiente se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1: Dimensiones e indicadores de la ceniza volcánica

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
CENIZA VOLCÁNICA	Diseño de Mezcla	Diseño Patrón 0% de Ceniza Volcánica	Método ACI
		Diseño con 2.5% de Ceniza Volcánica	
		Diseño con 5% de Ceniza Volcánica	
		Diseño con 7.5% de Ceniza Volcánica	
		Diseño con 10% de Ceniza Volcánica	
		Diseño con 12.5% de Ceniza Volcánica	

Elaboración propia.

### Dosificación

En esta investigación, es una serie de porcentajes de cenizas volcánicas en la composición del concreto permeable en reemplazo del cemento Portland Tipo I (Tabla 8). En general las dosificaciones tienen que ver con definir las proporciones apropiadas de los materiales que forman el concreto, con el propósito de obtener un concreto mejorado en términos de resistencia, durabilidad, fraguado y otros parámetros de referencia.

El diseño de mezcla con las dosificaciones correspondiente puede modificar las propiedades físicas y mecánicas tanto del concreto hidráulico como del concreto permeable, los mismos que son cuantificados, con los instrumentos y técnicas basados en las diferentes normas tales como ACI, ASTM, RNE, entre otras.

### 2.3.2. Concreto permeable

De acuerdo con la Norma American Concrete Institute, el concreto permeable es un material hidráulico de estructura porosa y con revenimiento que tiende a cero. Los componentes del concreto permeable son: cemento, agregado grueso, agua aditivos y concentraciones insignificantes de agregado fino, lo que facilita un asentamiento ínfimo y la formación de numerosos vacíos que filtran el aire y el agua desde la superficie al suelo y subsuelo. Tiene suficiente pasta cementosa para recubrir las partículas de agregados gruesos conservando la interconectividad de los vacíos. Es un material especial de alta porosidad, su contenido vacío va desde 18 a 35% con resistencias a la compresión de 28 hasta 281 kg / cm<sup>2</sup> y la tasa de infiltración oscila en el rango de 80 a 720 litros por minuto por metro cuadrado (Figura 4).

Propiedad	Rango
Revenimiento, mm	20
Peso unitario, kg/m <sup>3</sup>	1600 – 2000
Tiempo de fraguado <sup>1</sup> , hora	1
Porosidad, % (en volumen)	15–25
Permeabilidad <sup>2</sup> , lt/m <sup>2</sup> /min (cm/seg)	120–320 (0.20–0.54)
Resistencia a compresión, MPa	3.5–28
Resistencia a flexión, MPa	1 – 3.8
Contracción	200 × 10 <sup>-6</sup>

<sup>1</sup> Con aditivos químicos, se puede extender el tiempo.

<sup>2</sup> En laboratorio se han encontrado valores de velocidad de flujo tan altas como 700 lt/m<sup>2</sup>/min.

Figura 4: Propiedades del concreto permeable. Fuente. (UNAM, 2018).

Cuando la mezcla del concreto permeable se encuentra en estado fresco, mantiene la rigidez en comparación con el concreto convencional. En este estado las densidades típicas son del orden de 1600 kg / m<sup>3</sup> hasta 2000 kg / m<sup>3</sup> y los contenidos de vacíos del 20 al 25%, respectivamente.

## **Granulometría**

Se determina de acuerdo con la norma ASTM C136 e indica la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, que se obtiene haciendo el tamizado correspondiente. El tamaño de agregado grueso tiene efecto directo en la resistencia a la compresión, por eso según la norma se debe utilizar agregados gruesos de un tamaño que varía entre 3/4" y 3/8". Luego el módulo de finura de estos agregados debe ser mayor que 2.3 y menor que 3.1, y no debe variar más que 0.2 del valor típico de la fuente del agregado (ASTM C33).

## **Propiedades en estado fresco y endurecido**

En estado fresco el concreto permeable mantiene su trabajabilidad, y hace posible el mezclado, transporte, colocación, compactación y acabado. De acuerdo con ASTM International (2017), las mezclas de concreto permeable en estado fresco son mucho más rígidas a las mezclas de concreto convencional, por lo que su revenimiento oscila entre 0 a 1 cm. Esta misma rigidez reduce su tiempo de fraguado comparado con la del concreto convencional, por lo que se requiere utilizar aditivos retardantes de fraguado de acuerdo con lo especificado en la ASTM C494.

En estado endurecido el concreto permeable (Figura 5), presenta una resistencia a la compresión que oscila entre 3.8 y 28 MPa y una resistencia a la flexión que va desde 1 hasta 3.8 Mpa (UNAM, 2018). El comportamiento de ambas resistencias sea subiendo o bajando, en sus valores cuantificables, depende de una serie de factores, tales como la relación agua-cemento, así como el tamaño de la granulometría y el porcentaje de contenido de vacíos, que se establecen en el diseño de mezclas.



Figura 5: Probetas de concreto permeable en estado endurecido.

Fuente: (UNI, 2018).

### **Aplicación del concreto permeable**

El concreto permeable tiene gran utilidad (Figura 6). Se utiliza para pavimentado de áreas de estacionamiento, áreas con luz tráfico, pasarelas peatonales e invernaderos y contribuye a la construcción sostenible. Su uso también es extensivo, para aplicaciones de trabajos de explanación que permiten que el agua precipitaciones y otras fuentes por las que pasar, reduciendo así la escorrentía de un sitio y recargando niveles de agua subterránea (Obla, 2010).



Figura 6: Uso del concreto permeable en la ciudad de Beijín, China. Fuente:

Arango (2018).

### 2.3.2.1. Dimensiones e indicadores

El concreto permeable en esta investigación presenta tres dimensiones: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y coeficiente de permeabilidad, tal como se indica en la siguiente Tabla.

Tabla 2: Dimensiones e indicadores del concreto permeable  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
CONCRETO PERMEABLE $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>		Resistencia a la Compresión a los 7 días	
	Resistencia a la Compresión	Resistencia a la Compresión a los 14 días	Norma ASTM C-39
		Resistencia a la Compresión a los 28 días	
		Resistencia a la Flexión a los 7 días	
	Resistencia a la Flexión	Resistencia a la Flexión a los 14 días	Norma ASTM C-293
		Resistencia a la Flexión a los 28 días	
	Coeficiente de Permeabilidad	Tasa de Infiltración	Norma ACI 522 R-10

Fuente: Elaboración propia.



## Resistencia a la compresión

Según la norma ASTM C 39, la resistencia a la compresión del concreto permeable se determina a los 28 días, mediante la siguiente representación gráfica:

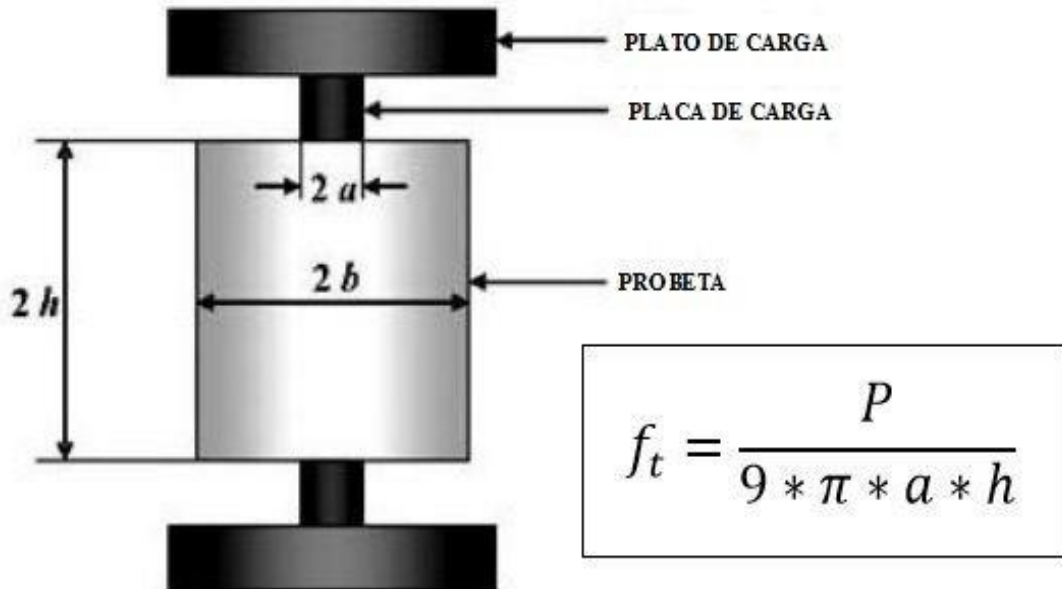


Figura 7: Resistencia a la compresión. Fuente Imcyc (2018)

La resistencia a la compresión del concreto permeable, depende principalmente de la cantidad de vacíos. A mayor porcentaje de vacíos en la muestra, disminuye la resistencia del concreto permeable a la compresión. ACI Committee 522 (2010) demostró lo siguiente: con 15% de contenido de vacíos, la resistencia a la compresión del concreto es de 210 kg/cm<sup>2</sup> con 10% de vacíos, el concreto alcanza 280 kg/cm<sup>2</sup>.

El tamaño de agregado grueso es otro factor de influencia: Cuanto más grande son los agregados gruesos, entonces el concreto permeable disminuye su resistencia a la compresión, por eso según la norma se debe utilizar a agregados gruesos de un tamaño que varía entre 3/4" y 3/8".

También la relación agua-cemento influye en las propiedades físicas del concreto permeable: Además de afectar su resistencia a la compresión, también afecta su grado de fluidez. Cuando la relación a/c es alta, el concreto es más fluido. En ese sentido el ACI recomienda que la relación agua/cemento apropiado para concretos permeables, oscila entre 0.30 y 0.40.

## La resistencia a la flexión

Se determina por los métodos de ensayo ASTM C 78 o ASTM C 293. Consiste en medir la resistencia de falla en una losa o viga sin refuerzo, según la siguiente figura:

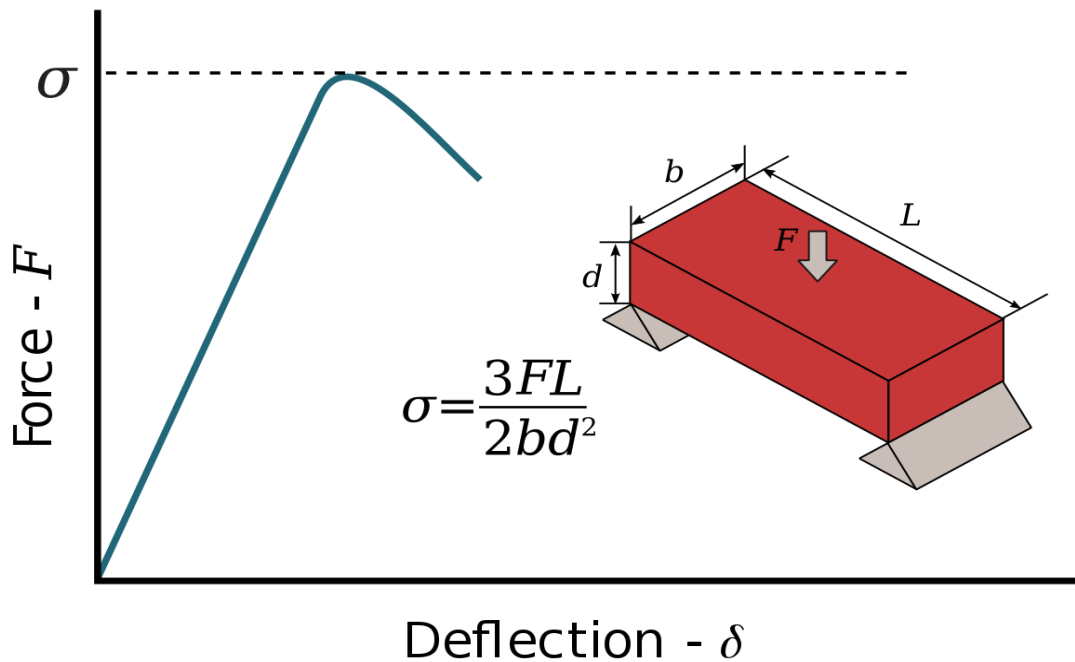


Figura 8: Resistencia a la flexión. Fuente: J. M. Hodgkinson (2000),

La resistencia a la flexión del concreto permeable está determinado por el contenido de vacíos y el porcentaje de agregado fino en la mezcla. Al igual que la resistencia a la compresión, cuando la cantidad de contenido de vacíos es mayor, entonces disminuye la resistencia del concreto permeable a la flexión. Por otro lado, cuando se adiciona hasta 5% más agregado fino a la mezcla se incrementa la resistencia a la flexión.

## Coefficiente de porosidad y permeabilidad

El concreto permeable se caracteriza precisamente por su permeabilidad y porosidad, propiedades que facilitan la infiltración y percolación del agua, siendo el 15 por ciento un valor significativo. El grado de permeabilidad depende de la cantidad de vacíos. El contenido de vacíos está en función de la granulometría del agregado, contenido de material cementante, relación

agua cemento y energía de compactación (ASTM, 2017).

Mediante una serie de ensayos, el ACI ha verificado el rango de variación del porcentaje de vacíos entre 14% a 31%, y en la práctica se ha obtenido entre 15% a 25%, y resistencias mayores a 140 kg/cm<sup>2</sup> (ACI Committee 522, 2010).

La relación agua-cemento tiene una relación inversa. Para una relación agua-cemento menor, la cantidad de vacíos aumenta y viceversa. Por otro lado, la energía de compactación también tiene un efecto directo con el contenido de vacíos. La compactación con un mayor número de golpes a la mezcla disminuye el contenido de vacíos.

El contenido de vacíos afecta el comportamiento a la resistencia del concreto permeable. Cuando el concreto contiene más vacíos, disminuye su resistencia a la compresión (Figura 9) y también su resistencia a la flexión.

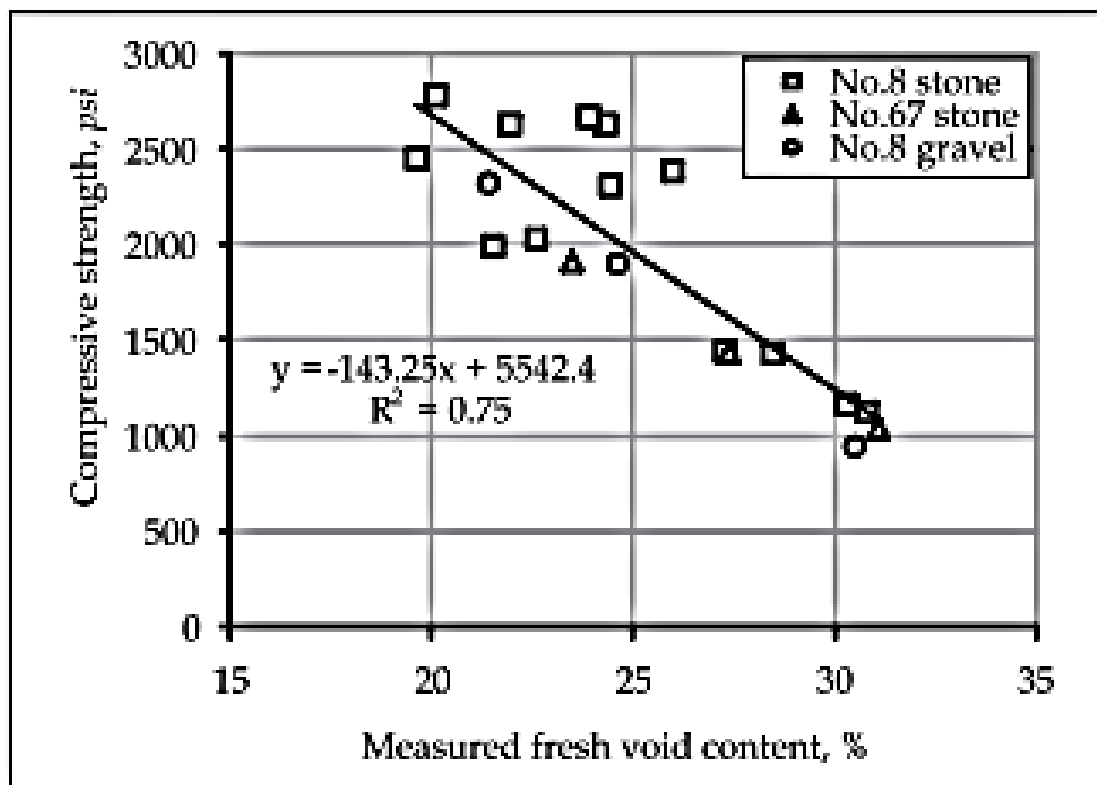


Figura 9: Resistencia a la compresión vs contenido y la densidad vacíos en estado fresco. Fuente. Tomado de Karthik H. Obla (2017).

Según las investigaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México, la permeabilidad de las mezclas se considera escasa o deficiente cuando el tiempo medido está por encima de los 200 segundos y satisfactoria cuando es menor de 100 segundos. En ese sentido, el coeficiente de

permeabilidad del concreto, según la misma universidad (2018), se puede medir por medio de un permeámetro, cuyo diseño lo establece la Norma ACI 522 R en base a la ecuación de Darcy (Figura 10). Un modelo de permeámetro, que ha permitido obtener resultados óptimos, es el de sistema de recolección de lixiviados (LCS).

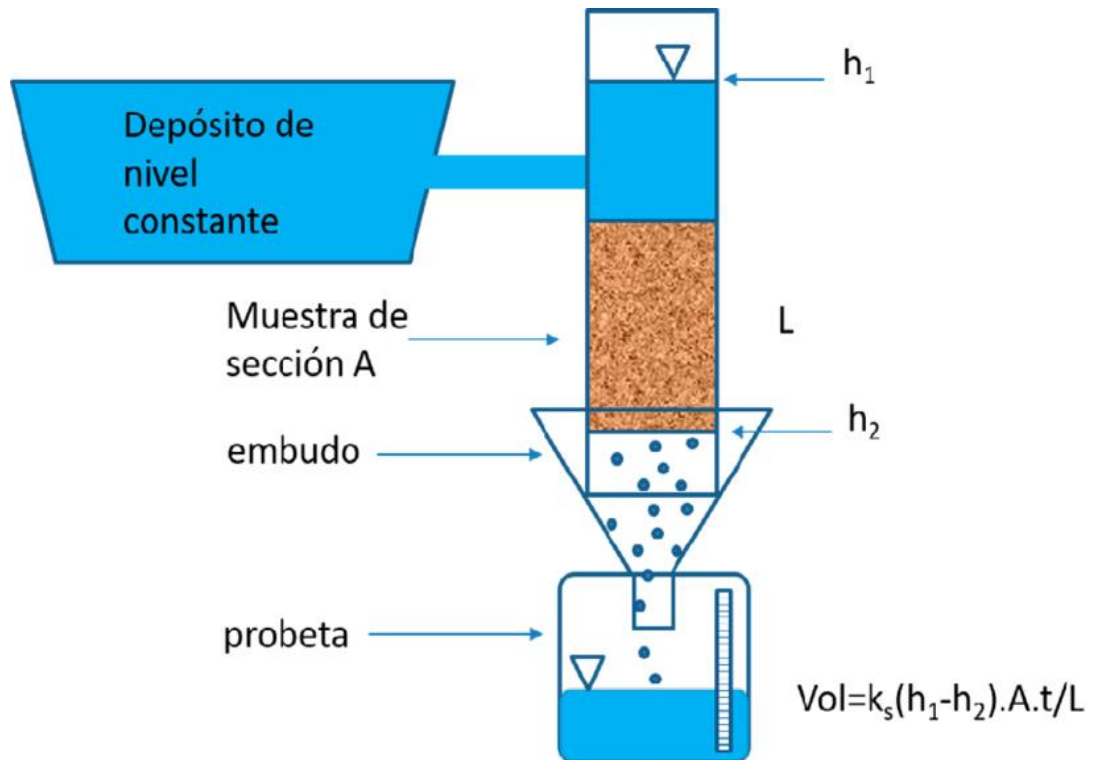


Figura 10: Componentes del permeámetro

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación**

Esta es una investigación de tipo aplicada que tiene que ver con la solución de un problema relacionado con el concreto permeable de baja resistencia a otro de mayor resistencia a partir de la dosificación de cenizas volcánicas en el diseño de mezcla. De esta manera se busca solucionar un problema de mucha utilidad para el sector la construcción por eso mismo se trata de una investigación aplicada, una investigación práctica que resuelve un problema pendiente.

Intenta resolver un problema práctico. En este caso, el problema identificado es la baja resistencia del concreto permeable para mayores cargas en diferentes aplicaciones. El objetivo aquí es obtener concreto permeable con mayor resistencia que contenga cierta cantidad de puzolana. Para ello, se considerarán métodos validados, como el método del American Concrete Institute (ACI) y los lineamientos establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

Chávez, R. (2007) mencionó que la investigación aplicada busca utilizar los conocimientos adquiridos, las acciones directas en un período corto de tiempo también se denominan investigación empírica, son básicamente lo que les importa a los investigadores, principalmente a aquellos que enfrentan los resultados obtenidos en la práctica.

##### **Diseño de investigación**

El diseño de investigación que corresponde a este trabajo es de tipo cuasi experimental. En esta investigación se va a estudiar los efectos de la ceniza volcánica, en la mejora del concreto permeable convencional. En esta investigación se va a manipular una variable. En este caso se hará un control directo de la variable independiente (cenizas volcánicas), a través de un diseño que consiste en definir los niveles de dosificaciones para ver sus efectos y el grado de correlaciones que tiene con la variable dependiente (grado de modificación del concreto permeable  $f'c$  210Kg/cm<sup>2</sup>).

Hernández, R; Fernández, C. y Baptista, P. (2014) mencionan que un diseño

experimental responde a un plan o estrategia desarrollada para lograr tener la información que se requiere en una investigación, manipulando la variable independiente, además dentro de la tipología se encuentra a los diseños preexperimentales, experimentales puros y cuasiexperimentales.

#### **Nivel de investigación:**

Para la presente investigación el nivel de investigación llega al nivel explicativo debido a que se va a llegar a un nivel de detalle al cuantificar el comportamiento paramétrico de la ceniza volcánica y sus efectos dinámicos en el concreto permeable.

#### **Alcance de investigación:**

El alcance de esta investigación es obtener una especie de concreto permeable con mayor resistencia para soportar mayor carga mediante la mejora de la puzolana, y reemplazar el cemento Portland con el mejor porcentaje en el diseño de concreto nuevo. En este sentido, esta investigación permitirá evaluar las propiedades mecánicas del nuevo concreto permeable, incluyendo su resistencia, coeficiente de permeabilidad y composición granulométrica. Si se confirma la mejora de la resistencia, esto permitirá extender su uso generalizado a nuevos proyectos de construcción.

#### **Enfoque de la investigación:**

El enfoque correspondiente para la presente investigación es de tipo cuantitativo ya que se va a cuantificar los valores paramétricos del nuevo concreto permeable, así como el grado de influencia de la ceniza volcánica en el comportamiento del concreto permeable convencional.

La presente investigación implica el uso de datos numéricos para la caracterización cuantitativa de los parámetros que definen la estructura física y química de la ceniza volcánica, así como el comportamiento del concreto permeable  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, al ser incorporado la ceniza volcánica. Por otro lado, tras el diseño de mezcla también se verificará los cambios cuantitativos en la resistencia, granulometría y coeficiente de porosidad del concreto permeable. Por lo tanto, esta investigación tiene un enfoque cuantitativo.

### 3.2. Variables y operacionalización

La presente investigación titulada Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021, se compone de dos variables, que se disgrega de la siguiente forma: Variable dependiente y variable independiente.

X = Efectos de la ceniza volcánica

Y = Resistencia a la compresión y el coeficientes de permeabilidad del concreto permeable  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

$$Y = f(X)$$

La variable dependiente para la presente investigación es: Resistencia a la compresión y en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

La modificación de la resistencia a la compresión y del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, depende del grado de dosificación de la ceniza volcánica, en las proporciones 2.5, 5, 7.5, 10 y 12.5%.

La variable independiente para la presente investigación es: Efectos de la ceniza volcánica.

En este caso, el reemplazo del cemento Portland de Tipo I por ceniza volcánica, modifica la resistencia a la compresión del concreto permeable  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, así como del coeficiente de permeabilidad. La ceniza volcánica será el sustituto del cemento Portland en los siguientes porcentajes 2.5, 5, 7.5, 10 y 12.5%. para medir el comportamiento del concreto permeables  $f'c$  210Kg/cm<sup>2</sup>, en términos de su resistencia y coeficiente de permeabilidad.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

Para Quezada, A. et. al (2010), universo o población es el conjunto constituido por todos los elementos, mediciones o individuos que tienen una cualidad en común o de suma importancia para el investigador.

Para esta investigación, la población es el número total de muestras que se ha diseñado. Se hicieron 126 muestras. Entonces la población, es finita y está definido por la serie 1, 2, 3, ..., 126. La cantidad de muestras cilíndricas que se preparo fue 54 y tuvo la siguiente distribución: 9 muestras con cemento Portland (concreto permeable de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>) y 45 muestras, con ceniza volcánica, en las siguientes proporciones: 9 (dosificación 2.5%), 9 (dosificación 5%), 9 (dosificación 7.5%), 9 (dosificación 10%) y 9 (dosificación 12.5%).

La cantidad de muestras de tipo viguetas que se preparo fue 54 y tuvo la siguiente distribución: 9 muestras con cemento Portland (concreto permeable de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>) y 45 muestras, con ceniza volcánica, en las siguientes proporciones: 9 (dosificación 2.5%), 9 (dosificación 5%), 9 (dosificación 7.5%), 9 (dosificación 10%) y 9 (dosificación 12.5%).

Luego la cantidad de muestras tipo cilíndrica de 4x8 pulgadas, que se preparo fue 18 y tuvo la siguiente distribución: 3 muestras con cemento Portland (concreto permeable de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>) y 15 muestras, con ceniza volcánica, en las siguientes proporciones: 3 (dosificación 2.5%), 3 (dosificación 5%), 3 (dosificación 7.5%), 3 (dosificación 10%) y 3 (dosificación 12.5%).

#### **Muestra**

Según HERNÁNDEZ, R; FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. (2014) indican que, para el proceso cuantitativo, la muestra es una parte en que se divide la población de utilidad, a aquello se hará una recolección de los datos y que se definirán y se delimitarán con exactitud, cabe destacar que la muestra señala un representativo de la población.

Para esta investigación, la cantidad de muestras representa el 100% de la población. Esta cantidad de muestras paso las pruebas de ensayo y el



correspondiente análisis, en función a los siguientes parámetros: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y el coeficiente de permeabilidad, tal como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3: Población y muestra

Dimensiones	Población	Tipo	Muestra
Resistencia a la compresión	54	Probeta	54
Resistencia a la flexión	54	Vigueta	54
Coeficiente de permeabilidad	18	Probeta	18
TOTAL	126		126

Elaboración propia.

### **Muestreo:**

De acuerdo con las referencias teóricas sobre el muestreo y las normas vigentes, el tipo de muestreo para esta investigación fue de tipo no probabilístico, toda vez que el tamaño de la muestra que se ha elegido fue de 126. Esto representa el 100%.

### **Unidad de análisis**

Se ha considerado como unidad de análisis a todos los sujetos que tienen las mismas características que la muestra. Para este proyecto de investigación se eligió unidad de análisis las 126 muestras.

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **Técnicas de investigación**

Para Carrasco, S (2005), las técnicas de investigación son un conjunto de pasos que encaminan a los investigadores en cada una de las fases de investigación científica las técnicas que pueden utilizarse en una investigación científica es la técnica de Laboratorios, empleadas mayormente en ciencias.

Las técnicas de investigación son procedimientos o reglas que permiten utilizar, una gran variedad de herramientas e instrumentos que sirven para recolectar

información y también para obtener más conocimiento, por lo que se trata de un conjunto de procedimientos y estrategias. En ese sentido para la presente investigación las técnicas de investigación que fueron consideradas son la recolección, la observación, y la medición. La observación fue la técnica más importante que se utilizó en todo momento para la verificación de los especímenes y para la comprobación directa de los resultados sujetos a mediciones, modelamiento y cálculos.

### **Instrumentos de investigación**

Para CARRASCO, S. (2005), el instrumento tiene un papel fundamental dentro de la investigación científica en cuanto a la recolección de los datos, ya que estos se pueden obtener a través de un conjunto de preguntas e ítems las cuales nos puedan proporcionar características de personas o elementos que son materia de estudio.

Los instrumentos de investigación son un conjunto de mecanismos que permiten extraer y recolectar información utilizando hojas de campo, dispositivos electrónicos y otros tipos de herramientas.

La técnica de recolección de datos se basó en formatos de ASTM, ACI, NTP y hojas de cálculo. En proyectos de ingeniería civil relacionados a la investigación científica aplicada, por lo general se utilizan formatos e instrumentos normalizados para los diversos procedimientos de campo y ensayos en el laboratorio. Por eso mismo en esta investigación se utilizaron formatos de ASTM y ACI, para hacer los tres ensayos al concreto permeable, con dosificaciones de ceniza volcánica: Prueba de resistencia a la compresión, prueba de resistencia a la flexión y la prueba de permeabilidad. Por eso mismos los instrumentos de investigación permiten organizar sistemáticamente la información, para su procesamiento correspondiente utilizando otros instrumentos como los formatos de Excel, Minitab y SPSS.

### **Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación:**

En el campo de la ingeniería civil la validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación tienen que ser validados, por eso mismo para esta investigación los instrumentos fueron validados no solamente con el juicio de especialistas en el campo de la Ingeniería Civil, sino también por el mismo laboratorio. De esta manera se cuenta con instrumentos que aseguren la ausencia de errores.

Se utilizaron fichas de registro (formato de pruebas) otorgados por el laboratorio, estos son documentos que ya están estandarizados y están en función a normas ASTM C39, ASTM C293 y ACI 522R-10. Debido a que son documentos normalizados y ampliamente utilizados en los laboratorios para las pruebas de ensayo y bajo la dirección de profesionales competentes, los instrumentos que se utilizan no necesitan validación, menos aún la determinación de la confiabilidad.

### **3.5. Procedimientos**

La amplitud y profundidad de la presente investigación requiere de un conjunto de procedimientos que aseguren el cumplimiento de los objetivos, en ese sentido comprende la siguiente secuencia:

- Paso 1: El recojo de muestras de ceniza volcánica en Yura-Arequipa. Una vez extraída la cantidad necesaria, la ceniza volcánica fue entregada al laboratorio GIGM-Ingenieros, para determinar sus composición química y mineralógica.
- Paso 2: Se hizo el análisis granulométrico del agregado grueso, que permitió determinar su módulo de finura, contenido de humedad, el peso unitario, el porcentaje de absorción y el peso específico.
- Paso 3: Se hizo el diseño de mezcla con las siguientes dosificaciones: 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5%. también se hizo el diseño de mezcla del concreto patrón.
- Paso 4: Se hizo el muestreo. Es decir, la colocación de muestras en moldes, el secado y curado correspondiente, tomando en cuenta las siguientes dosificaciones: 0.0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5% de ceniza volcánica en la mezcla, para las edades 7, 14 y 28 días.
- Paso 5: se hicieron las pruebas de resistencia a la compresión, las pruebas de resistencia a la flexión.
- Paso 6. Se hicieron los ensayos de permeabilidad, utilizando 18 probetas.
- Paso 7: Trabajo en gabinete procesamiento de los datos y la obtención de los resultados. Análisis y discusión de resultados y redacción de la tesis.

#### **Materiales utilizados:**

Para el diseño del tipo de concreto permeable de  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup> propuesto en esta investigación, se han requerido los siguientes materiales:

## Cemento

Para él la obtención del tipo de concreto permeable, que se establece en esta investigación, se ha utilizado el Cemento Portland de Tipo I, de 42.5Kg. con las siguientes dosificaciones (Tabla 4):

Tabla 4: Dosificaciones del cemento

Mezcla	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Dosificaciones	100%	97.50%	95%	92.50%	90%	87.50%

Fuente: Elaboración propia

## Agregado

Se ha utilizado agregado grueso de tamaño máximo nominal TMN de ½", que corresponde al N° 67 (de 4.77 a 19.0mm), el mismo que ha reemplazado en 100% al agregado fino. Se ha traído de las canteras de Huachipa, aportado por el Laboratorio.

## Agua

Se ha utilizado agua potable apropiada para su uso en el concreto permeable, de acuerdo con las disposiciones de la norma American Society for Testing Materials (ASTM) C 94 o de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) M 157. ASTM C94.

## Ceniza volcánica

Se ha utilizado pequeñas dosis de cenizas volcánicas, desde 0.25% hasta 12.5%, (Tabla 5), las mismas que ha sido analizadas para definir su grado de agresividad por el contenido de sulfatos, resultando optimo toda vez que contiene cantidades ínfimas, ubicándose dentro de los rangos tolerables según las diferentes normas ACI - 201.2R.77, DIN 4030 (alemana) y R.N.C. (peruana).

Tabla 5: Dosificaciones de cenizas volcánicas

Mezcla	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Dosificaciones	0.00%	2.50%	5.00%	7.50%	10.00%	12.50%

Elaboración propia

## **Aditivos**

Para el diseño del tipo de concreto permeable definido en esta investigación no se ha utilizado ningún tipo de aditivos.

### **3.6. Método de análisis de datos**

En la etapa descriptiva se analizó múltiples parámetros e indicadores, tales como: las propiedades de la ceniza volcánica en función a números de muestras, las propiedades del concreto permeable convencional y las propiedades del concreto con ceniza volcánica. En el mismo sentido se analizó la resistencia a la compresión la resistencia a la flexión del nuevo concreto dosificado con cenizas volcánicas, así como su coeficiente de permeabilidad. Acumulada y sistematizada esta información se hizo el análisis correspondiente en función a los objetivos e hipótesis de la investigación. Se hizo las pruebas estadísticas de normalidad, correlación y validez de la hipótesis, aplicando los principios de la estadística inferencial.

### **3.7. Aspectos éticos**

Los autores de esta investigación aseguran la autenticidad de los resultados presentados en esta investigación, cabe indicar que hay una correcta citación de los autores nombrados en el marco teórico, y también tenemos la confianza de los datos obtenidos en laboratorio donde se llevó a cabo los distintos ensayos requeridos a los especímenes de concreto permeable para su aplicación en pavimentos articulados.

La investigación científica es un acto noble de mucha responsabilidad y alto compromiso con la ciencia, el conocimiento y con la solución de problemas. La investigación debe girar en torno a la búsqueda del bienestar y progreso material de los pueblos, así como a la mejora de la calidad ambiental y también contribuyendo a las metodologías técnicas y descubrimientos científicos. Por eso mismo la presente investigación empodera el compromiso de contribuir a la solución de un problema practico que tiene que ver con los concretos permeables dada su baja resistencia. Por eso es importante, como investigador ser honesto transparente y original en cuanto a la producción académica e intelectual nos corresponde como autores de este proyecto de investigación.

En toda investigación, siempre se debe tomar en cuenta al ser humano, lo que implica el respeto, la justicia y la búsqueda del bien común, que se traduzca en máximos beneficios y procurando evitar al mínimo los errores o daños que se puede generar debido a una situación o circunstancias imprevistas. Por eso en esta investigación, tiene que ver primero con reconocer los autores que han contribuido a enriquecer este proyecto de investigación. Por otro lado, también se busca en esta investigación llevar el progreso material a través de la mejora del concreto permeables importante para la funcionalidad de sistemas urbanos con pavimentación flexibles sobre una subrasante que pueda regular la filtración.

## IV. RESULTADOS

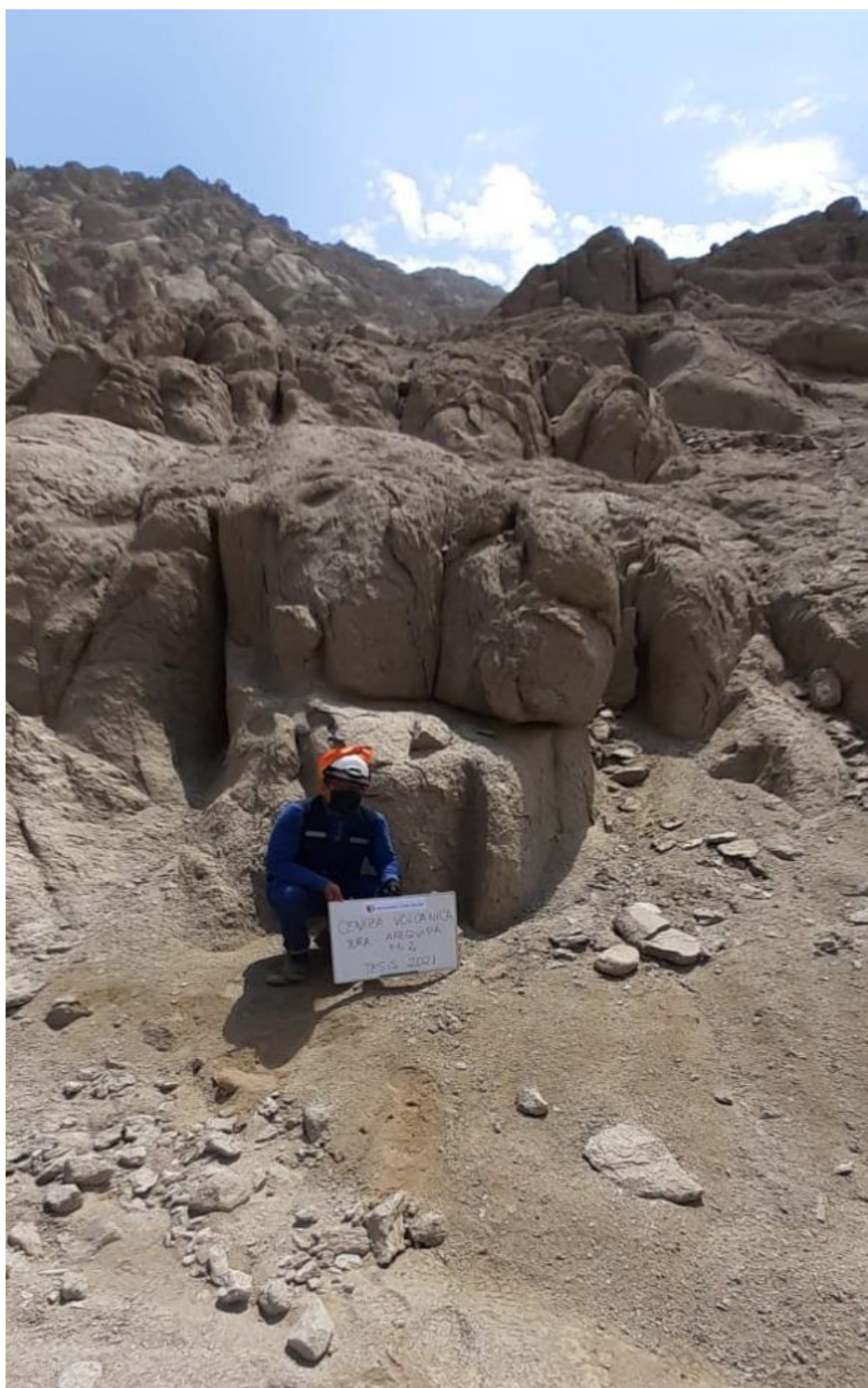
### 4.1. Acopio de materiales y pruebas de ensayo

#### Ceniza Volcánica

La ceniza volcánica utilizada en el presente estudio proviene de la zona de Yura, que corresponde a las inmediaciones del volcán Chachani (Figura 11, 12), en el departamento de Arequipa. El punto exacto donde se extrajo la mayor parte de la muestra tiene las siguientes coordenadas UTM y su ubicación altimétrica corresponde a la cota 2568 msnm. Las muestras fueron transportadas a Lima para su molienda y ensayos fisicoquímicos correspondientes en el Laboratorio GMIG Ingenieros. Para la obtención de la ceniza volcánica idónea, se hicieron muestreo en 5 puntos, dentro de los límites de un área cuya extensión estimada, fue de 1Km<sup>2</sup>.



Figura 11: Zona de extracción de la ceniza volcánica.



*Figura 12:* Punto exacto de extracción de la mayor cantidad de muestra, en el Distrito de Yura.



Se prepararon 47 kilogramos de ceniza volcánica, las mismas que fueron sometidas a molienda para conseguir uniformidad cromática y homogeneidad textural en el tamaño de partículas (Figura 13); pero no se utilizaron ninguna solución básica.



Figura 13: Ceniza volcánica preparada para el análisis físico – químico.

#### Agregado grueso

El agregado grueso proviene de las canteras de la empresa Transportes y Agregados J & R S.A.C. TRANAGRESAC, localizado en Huachipa.

## **Agua**

El agua que se utiliza para la elaboración del concreto permeable en esta investigación toma en cuenta lo que establece la norma ASTM C1602, donde especifica que el tipo de agua para la mezcla tiene que ser agua potabilizada de red pública, libre de impurezas y con peso específico iguala a 1,000 kg/m<sup>3</sup>

y, por otro lado, también precisa que la relación agua – cemento en la mezcla, tiene que ser relativamente baja.

## **Cemento**

El tipo de cemento que se utiliza para la elaboración del concreto permeable con dosis de cenizas volcánicas es el cemento Portland de Tipo I, de acuerdo con las especificaciones de ASTM C150.

### **4.2. Análisis físico – químico de la ceniza volcánica**

El análisis químico de la ceniza volcánica se basó en las siguientes normas NTP 339.152, NTP 339.177, NTP 339.178, que corresponde al análisis químico de suelos. Para el análisis químico y microestructural de la ceniza volcánica, se utilizó una cantidad de 25Kg, la misma que fue entregada al laboratorio para su análisis correspondiente. Para tal propósito la empresa GMIG Ingeniero utilizo el Microscopio Electrónico de Barrido MEB – SEM obteniéndose los siguientes resultados:

Se verifico que las cenizas volcánicas de Yura presentan concentraciones importantes de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y CaO (Tabla 6). La ceniza volcánica de Yura tiene alto contenido de óxidos, donde la relación molar SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es de 3.365. Esta composición es compatible en más del 50% de las propiedades del cemento Portland de Tipo I.

Tabla 6: Composición mineralógica de la ceniza volcánica Yura.

Mineral	Fórmula química	Grupo mineralógico	%en muestras
Yeso	CaSO <sub>4</sub>	Sulfato	4.36-6.50
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>		
Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>		
Maghemita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de hierro	5.29-6.50
Albita	Na AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>		
	(Na, Ca) Al AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>		
	(70% a 50%)de Na en		
Andesita	relación Na/Ca		
Bytownita	(Na, Ca)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (30%		
	a10%) de Na en		
	relación Na/Ca		
Anortina	Ca Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Feldespatos de plagioclasa	52.66-60.94
Ortoclasa	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Feldepasto de potasio	11.31-14.75
Mayenita	Ca <sub>12</sub> Al <sub>14</sub> O <sub>33</sub>	Oxido de calcio y aluminio	0.87-2.40
Cristobalina	SiO <sub>2</sub>	Oxido de silicio	9.24-18.63
Dolomita	CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Carbonato	0.00-3.16

Elaboración propia. Fuente GMIG INGENIEROS (2021)

En base a los siguientes métodos, se ha determinado las sales solubles totales, el cloruro y el sulfato solubles en la ceniza volcánica:

- Sales Solubles Totales: Determinación de Sales Solubles en suelos y agua subterránea - NTP 339.152 - 2002
- Cloruro Soluble: Determinación de Cloruros Solubles en suelos y agua subterránea - NTP 339.177 - 2002
- Sulfato Soluble: Determinación de Sulfatos Solubles en suelos y agua subterránea - NTP 339.178 - 2002 Ph: Método Potenciométrico

La cantidad de sulfatos en la ceniza volcánica de Yura, analizada en función a las normas correspondientes, en todos los casos tiene bajos índices de concentración, por lo que su efecto en el concreto permeable es leve (Tabla 7; Tabla 8, Tabla 9).

Tabla 7: Cantidad de sulfato de la ceniza volcánica Yura en ppm.

Sondaje/muestra	Descripción	S.S.T (ppm)	Ci (ppm)	SO4 (PPM)	pH
Ceniza volcánica M-1	SM Arena limosa	30.61	12.3	61.24	7.85

Elaboración propia. Fuente: Fuente Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Tabla 8: Rangos de sulfato según normas en ppm

ACI-201.2R.77		BRS DIGEST (SEGUNDA SERIE 90 (INGLESA))		DIN 4030 (ALEMANA)	R.N.C. (PERUANA)	
Grado de Ataque	Sulfatos en el suelo	Sulfatos en el agua	Sulfatos en el Suelo	Sulfatos en el agua	Sulfatos	
Leve	0-1,000	0-150	<2,400	<360	0-600	50
Moderado	1,000- 2,000	150-1,500	2,400-6,000	360-1,440	600-3,000	-
Severo	2,000- 20,000	1,500- 10,000	6,000-24,000	1,440- 6,000	>3,000	-
Muy Severo	>20,000	>10,000	>24,000	>6,000	-	-

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Tabla 9: Proporción de sustancias según norma en ppm.

<b>Sustancia</b>	<b>Referencias</b>	<b>MTC</b>	<b>RIVVA 5</b>	<b>Agua Potable</b>
Cloruros		300	300	250
Sulfatos		300	50	50
Sales Solubles Totales		1500	300	300
Sales en Magnesio		-	125	125
Sólidos en Suspensión		1000	10	10
pH		< de 7	> de 8	10.5
MaL Organica expres. En Oxígeno		16	0.001	0.001
*Para concretos que han de estar expuestos a ataques de sulfatos				

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

#### 4.3. Análisis granulométrico

##### Agregado grueso

Para la elaboración del concreto permeable, solo se requiere hacer el análisis granulométrico del agregado grueso. A continuación, se muestra los resultados de la granulometría luego del tamizado en seco del agregado grueso proveniente de la cantera de Huachipa (Tabla 10).

Tabla 10: Análisis granulométrico – agregado grueso.

	Tamiz		Acumulado		
	N°	Abertura (mm)	% que pasa	% retenido	% Retenido en cada tamiz
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	3"	76.2	100	0	0
	2 1/2"	63.5	100	0	0
	2"	50.8	100	0	0
	1 1/2"	38.1	100	0	0
	1"	25.4	100	0	0
	3/4"	19.1	100	0	0
	1/2"	12.7	60.2	39.8	39.8
	3/8"	9.5	30.7	69.3	29.4
	N° 4	4.8	0	100	30.7
	N° 8	2.4	0	100	0
	N° 16	1.2	0	100	0
	N° 30	0.6	0	100	0
	N° 50	0.2	0	100	0
	N° 100	0.1	0	100	0
N°200	0.1	0	100	0	

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Tamaño máximo de agregado grueso: 7.6cm (76.2mm)

TMN: 1/2"

Porcentaje (%) retenido mayor del tamiz N° 4: 30.7

El módulo de fineza, de agregado grueso, se calculó en función a la siguiente ecuación.

$$MF = \frac{\sum \% RET AC. 3/8" + \#4 + 500}{100} = 6.7$$

Por lo que el módulo de fineza resulta: 6.7.

En cuanto a la distribución granulométrica, se tiene los siguientes resultados (Tabla 11):

Tabla 11: Distribución granulométrica

Distribución Granulométrica		
% Grava	GG%	0.0
	GF%	100.0
% Arena	AG%	0.0
	AM%	0.0
	AF%	0.0
% Finos		0.0
Módulo de Fineza		: 6.7
Elaboración propia. Fuente laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)		

El 100% de la distribución estadística de la muestra, corresponde a grava fina (GF), que es la óptima para la elaboración de un concreto permeable.

A continuación, se grafica la curva granulométrica de la gradación del agregado grueso de la Cantera Huachipa con los límites del Huso N°67 dados en la norma NTP 400.037 (Figura 14)

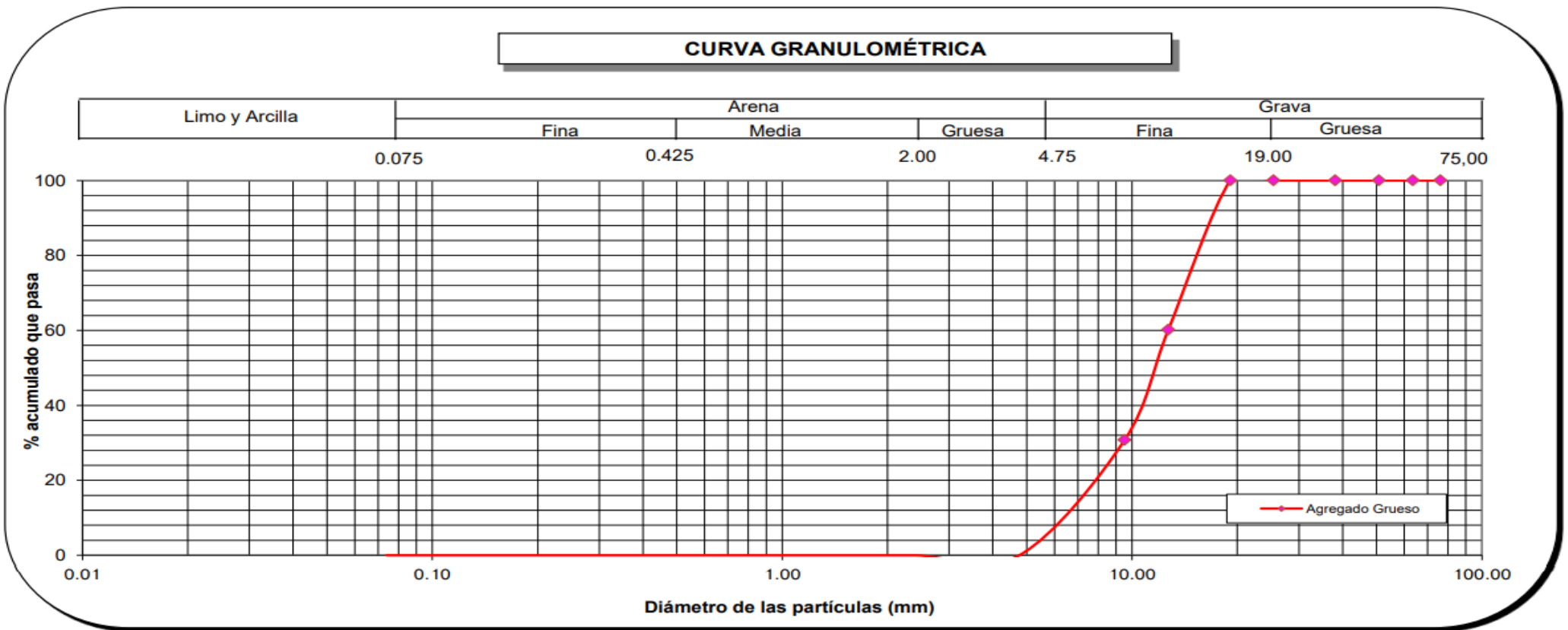


Figura 14: Curva granulométrica. Fuente Laboratorio GMIG-INGENIEROS.

Se observa que el agregado grueso proveniente de la Cantera Huachipa cumple con los límites de gradación definido por el Huso 67 de la NTP 400.012 y la Norma ASTM C-136, por lo tanto, es óptimo para la elaboración del concreto permeable.



#### 4.4. Análisis del agregado grueso

Completado el análisis granulométrico, se procedió a los ensayos correspondientes, para conocer las propiedades físico- químicas del agregado grueso, las cuales son importantes para hacer el diseño de mezcla. El ensayo se realizó con material representativo, donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 12, 13, 14, 15):

##### Peso unitario

Se determinó en base a la Norma NTP 400.012 y la Norma ASTM C-136, que establece el método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado, que puede ser compactado o suelto.

Se tiene los siguientes resultados:

Peso unitario suelto seco

Tabla 12: Peso unitario suelto

PESO UNITARIO SUELTO					
CANTERA:	Tranagresac - Huachipa	IDENTIFICACIÓN			Promedio
MATERIAL:	Agregado Grueso	I	II	III	
PROFUNDIAD:	Acopio				
Peso de recipiente + muestra	(kg)	25802.00	25972.00	25876.00	
Peso del recipiente	(kg)	5996.60	5996.00	5996.00	
Peso de la muestra	(kg)	19806.00	19976.00	19880.00	
Volumen	(m3)	13957.00	13957.00	13957.00	
Peso unitario suelto húmedo	(kg/m3)	1.419	1.431	1.424	
<b>Peso unitario suelto seco</b>	<b>(kg/m3)</b>	<b>1.414</b>	<b>1.426</b>	<b>1.419</b>	<b>1.420</b>

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Peso unitario compactado

Tabla 13: Peso unitario compactado

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>						
CANTERA:	Tranagresac - Huachipa		IDENTIFICACIÓN			Promedio
MATERIAL:	Agregado Grueso		I	II	III	
PROF.:	Acopio		I	II	III	
Peso de recipiente + muestra	(kg)		28885.00	28606.00	28771.00	
Peso del recipiente	(kg)		5996.00	5996.00	5996.00	
Peso de la muestra	(kg)		22889.00	22889.00	22775.00	
Volumen	(m3)		13957.00	13957.00	13957.00	
Peso unitario compactado húmedo	(kg/m3)		1.640	1.620	1.632	
<b>Peso unitario compactado seco</b>	(kg/m3)		1.635	1.614	1.626	<b>1.625</b>

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Contenido de humedad

El cálculo del contenido de humedad del agregado grueso se hizo en función a la Norma NTP 400.012 y la Norma ASTM C-136, obteniéndose el siguiente resultado.

Tabla 14: Contenido de humedad

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
CANTERA:	Tranagresac - Huachipa		IDENTIFICACIÓN			Promedio
MATERIAL:	Agregado Grueso		I	II	III	
PROF.:	Acopio		I	II	III	
Peso de tara	(g)		244.30	236.60	241.30	
Peso de tara + muestra húmeda	(g)		2346.20	2652.30	2452.30	
Peso de tara + muestra seca	(g)		2339.20	2643.30	2444.30	
<b>Contenido de humedad</b>	(%)		0.33	0.37	0.36	<b>0.357</b>

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Gravedad específica y porcentaje de absorción

Se determinó tomando en cuenta las siguientes normas: ASTM C-127, NTP 400.021, MTC E-206, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 15: Gravedad específica y porcentaje de absorción

AGREGADO GRUESO					
TEMPERATURA DEL ENSAYO (°c)		20°C			PROMEDI
NUMERO DE FRASCO		1	2	3	O
Peso mat. Sat. Superf. Seca (al aire)	(g)	5589.2	5716.4	5476.2	
Peso mat. Sat. Superf. Seca (en agua)	(g)	3539.3	3625.5	34.83.6	
Volumen de la masa + volumen de vacíos	(g)	2049.9	2090.9	1992.6	
Peso del material seco	(g)	5539.3	5665.8	5428.8	
Volumen de masa	(g)	2000.0	2040.3	1945.2	
<b>Peso específico de masa</b>	(g/cm3)	2.702	2.710	2.724	<b>2.71</b>
Peso específico saturado superficialmente seco	(g/cm3)	2.727	2.734	2.748	2.74
Peso específico aparente	(g/cm3)	2.770	2.777	2.791	2.78
<b>Porcentaje de absorción</b>	(%)	0.900	0.890	0.870	<b>0.89</b>

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

#### 4.5. Diseño de mezcla

Para obtener el diseño de mezcla se ha seguido el siguiente procedimiento:

Paso 1: Definición del parámetro inicial de  $f'c$  para el diseño de mezcla

Paso2: Obtención del porcentaje de vacíos según la gráfica que relaciona el esfuerzo de compresión con el porcentaje de vacíos (Figura 15):

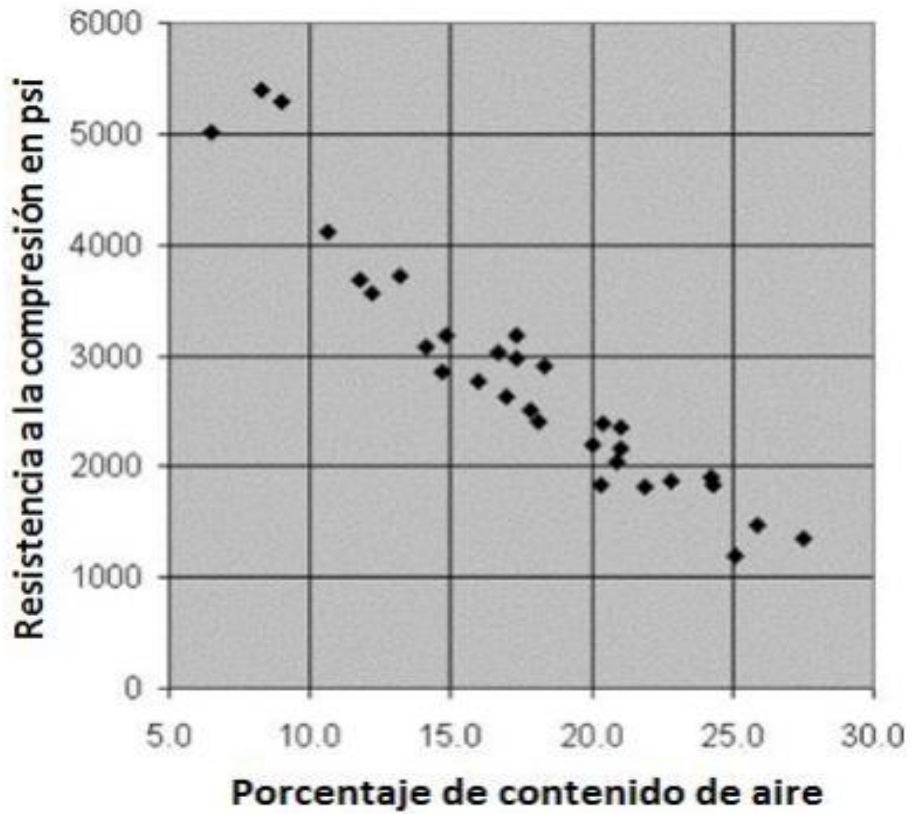


Figura 15: Porcentaje de vacíos en función de la resistencia a compresión.  
 Fuente: Reporte del concreto permeable ACI 522r-06.

Paso 3: Determinación de la relación a/c en base a la siguiente grafica (Figura 16).

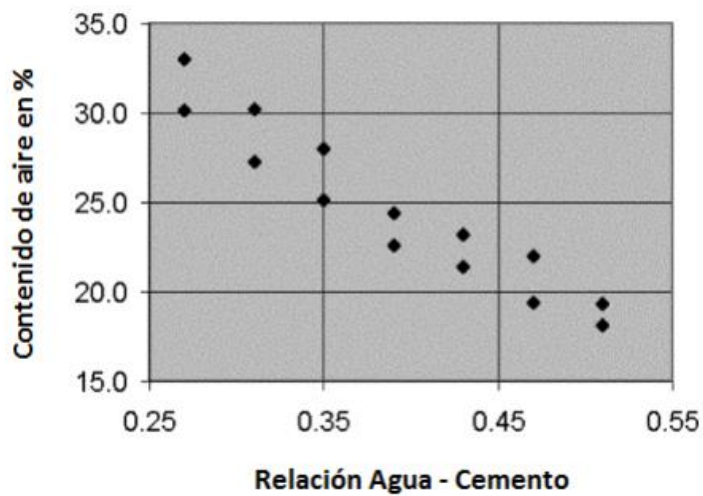


Figura 16: Relación agua-cemento y contenido de aire en porcentaje. Fuente: Reporte del concreto permeable ACI 522r-06.

Paso 4: Determinación del coeficiente b/b0 según la tabla de agregados finos y b/b0 (Tabla 16).

Tabla 16: Coeficiente b/b0

Percent fine aggregates	b/b0	
	ASTM C 33 Size No. 8	ASTM C 33 Size No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93

Elaboración propia. Fuente: Reporte del concreto permeable ACI 211.3r-02.

Paso 5: Calculo de la masa del agregado grueso, con la siguiente ecuación:

$$Magr = PUC * \left(\frac{b}{b_0}\right) * (1 + \%abs)$$

Paso 6: Determinación del volumen de pasta con la siguiente expresión:

Paso 7: Determinación de la masa de cemento y agua con las siguientes ecuaciones.

$$Vp = Vc + Va$$

$$Vp = \frac{c}{\rho c} + \frac{\left(\frac{a}{c} * c\right)}{\rho a}$$

#### 4.5.1. Diseño patrón y serie de diseños con cenizas volcánicas.

Los diseños mezclas correspondientes en la presente investigación, se han realizado de acuerdo a las normas del Comité A.C.I. – 522 R10 y A.C.I. - 211 y también considerando el contenido de humedad del agregado grueso.

En la siguiente tabla se presenta las series de diseño de mezcla, donde DM0

es el Diseño de Mezcla Cero, que corresponde a la probeta patrón y los DM1, 2, 3, 4 y DM5, corresponde a los diseños de mezcla con las dosificaciones de ceniza volcánica (Tabla 17).

Tabla 17: Serie de dosificaciones de mezclas

Cantidad de material por m3 de concreto de obra				
Diseño	Ceniza (%)	Ceniza (Kg)	Cemento (Kg)	Cemento (%)
DM0	0.0	0.0	322.0	100.00
DM1	2.5	8.1	313.9	97.50
DM2	5.0	16.1	305.9	95.00
DM3	7.5	24.2	297.8	92.50
DM4	10.0	32.2	289.8	90.00
DM5	12.5	40.3	281.7	87.50

Elaboración propia

#### Materiales

- Cemento: Se proyecto utilizar Cemento Portland Tipo I. Peso Específico: 3.15
- Agregado fino: Por ser concreto permeable no se considera incidencia de agregado fino
- Agregado grueso: Consiste en piedra chancada
- Agua: Agua potable de la red de servicio público. Peso específico 1,000 kg/m<sup>3</sup>

De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio, las propiedades granulométricas, físicas y químicas del agregado grueso, este tiene condiciones óptimas para la fabricación del concreto permeable, tal como se indica en las siguientes tablas (Tabla 18, 19).

Tabla 18: Tabla de granulometría agregado grueso TMN 1/2"

Granulometría	
Malla	% Retenido
1"	-
3/4"	-
1/2"	39.8
3/8"	29.4
N°4	30.7
N°8	0

Elaboración propia. Fuente: Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Tabla 19: Características del agregado grueso TMN 1/2"

Tamaño Máximo Nominal 1/2"	
P.E. Seco	2710.00 kg/m <sup>3</sup>
P.U. Compactado seco	1625.00 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	0.357%
Porcentaje de Absorción	0.890%

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

## Dosificación

### Consideraciones generales

Para obtener un concreto permeable de resistencia  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, el porcentaje de vacíos debe oscilar entre 15 y 20% y esto depende de la relación agua – cemento (a/c). La norma ACI 522R.06, permite identificar la relación a/c para esa resistencia requerida, la cual es 0.40, siendo este, el valor óptimo (Tabla 20).

Tabla 20: Dosificaciones para el diseño

Resistencia especificada	f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> ; f'c=3000 psi		
Porcentaje de vacíos considerado:	17%		
Relación de a/c de diseño:	0.40		
Proporciones de diseño	C	Piedra	Agua
	1	5.04	16.95

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

### Cantidad de materiales

Se especifica en las siguientes tablas (Tabla 21,22, 23...48, 49, 50)

Tabla 21: Material por m<sup>3</sup> de concreto

Cantidad de material por m <sup>3</sup> de concreto de obra		
Cemento	321.97	Kilogramo
Piedra	1623.07	Kilogramo
Agua	128.79	litros

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Tabla 22: Material por bolsa de cemento

Cantidad de material por bolsa de cemento de obra		
Cemento	42.5	Kilogramos
Piedra	214.25	Kilogramos
Agua	16.95	Litros

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)



#### 4.5.2. Diseño de mezcla con dosificaciones de cenizas volcánicas

##### Dosificación para DM1 = 2.5% de ceniza volcánica

*Cantidad de materiales por m3 de concreto de obra*

Tabla 23: Material por m3

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	313.92	kg
2	Ceniza Volcánica	8.05	kg
3	Agregado Grueso	1,623.07	kg
4	Agua	128.79	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de material para 1 probeta*

Tabla 24: Material por probeta

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	1.745	kg
2	Ceniza Volcánica	0.044	kg
3	Agregado Grueso	9.024	kg
4	Agua	0.716	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de Material para 9 probeta*

Tabla 25: Material para 9 probeta

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	15.705	kg
2	Ceniza Volcánica	0.396	kg
3	Agregado Grueso	81.216	kg
4	Agua	6.440	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de material para 1 vigueta*

Tabla 26: Material por vigueta

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	2.378	kg
2	Ceniza Volcánica	0.061	kg
3	Agregado Grueso	12.30	kg
4	Agua	0.976	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de Material para 9 viguetas*

Tabla 27: Material para 9 viguetas

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	21.402	kg
2	Ceniza Volcánica	0.549	kg
3	Agregado Grueso	110.70	kg
4	Agua	8.783	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

## Dosificación para DM2 = 5% de ceniza volcánica

*Cantidad de materiales por m3 de concreto de obra*

Tabla 28: Material concreto en obra

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	305.87	kg
2	Ceniza Volcánica	16.10	kg
3	Agregado Grueso	1,623.07	kg
4	Agua	128.79	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de material para 1 probeta*

Tabla 29: Material para una probeta

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	1.701	kg
2	Ceniza Volcánica	0.085	kg
3	Agregado Grueso	9.024	kg
4	Agua	0.716	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de Material para 9 probetas*

Tabla 30: Material para 9 probetas

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	15.309	kg
2	Ceniza Volcánica	0.765	kg
3	Agregado Grueso	81.216	kg
4	Agua	6.440	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de material para 1 vigueta*

Tabla 31: Material por vigueta

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	2.317	kg
2	Ceniza Volcánica	0.122	kg
3	Agregado Grueso	12.30	kg
4	Agua	0.976	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de Material para 9 viguetas*

Tabla 32: Material para 9 viguetas

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	20.853	kg
2	Ceniza Volcánica	1.097	kg
3	Agregado Grueso	110.70	kg
4	Agua	8.783	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

**Dosificación para DM3 = 7.5% de ceniza volcánica**

*Cantidad de materiales por m3 de concreto de obra*

Tabla 33: Material para m3

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	297.82	kg
2	Ceniza Volcánica	24.15	kg
3	Agregado Grueso	1,623.07	kg
4	Agua	128.79	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de material para 1 probeta*

Tabla 34: Material para 1 probetas

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	1.656	kg
2	Ceniza Volcánica	0.124	kg
3	Agregado Grueso	9.024	kg
4	Agua	0.716	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de Material para 9 probeta*

Tabla 35: Material para 9 probetas

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	14.904	kg
2	Ceniza Volcánica	1.116	kg
3	Agregado Grueso	81.216	kg
4	Agua	6.444	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de material para 1 vigueta*

Tabla 36: Material por vigueta

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	2.256	kg
2	Ceniza Volcánica	0.183	kg
3	Agregado Grueso	12.30	kg
4	Agua	0.976	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de Material para 9 viguetas*

Tabla 37: Material para 9 viguetas

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	20.305	kg
2	Ceniza Volcánica	1.646	kg
3	Agregado Grueso	110.70	kg
4	Agua	8.783	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

**Dosificación para DM4 = 10% de ceniza volcánica**

*Cantidad de materiales por m3 de concreto de obra*

Tabla 38: Material para m3

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	289.77	kg
2	Ceniza Volcánica	32.20	kg
3	Agregado Grueso	1,623.07	kg
4	Agua	128.79	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de material para 1 probeta*

Tabla 39: Material para 1 probeta

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	1.611	kg
2	Ceniza Volcánica	0.161	kg
3	Agregado Grueso	9.024	kg
4	Agua	0.716	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de Material para 9 probeta*

Tabla 40: Material para 9 probetas

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	14.499	kg
2	Ceniza Volcánica	1.449	kg
3	Agregado Grueso	81.216	kg
4	Agua	6.444	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Cantidad de material para 1 vigueta

Tabla 41: Material por vigueta

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	2.195	kg
2	Ceniza Volcánica	0.244	kg
3	Agregado Grueso	12.30	kg
4	Agua	0.976	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de Material para 9 viguetas*

Tabla 42: Material para 9 viguetas

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	19756	kg
2	Ceniza Volcánica	2194	kg
3	Agregado Grueso	110.70	kg
4	Agua	8.783	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

## Dosificación para DM5 = 12.5% de ceniza volcánica

Tabla 43: *Cantidad de materiales por m3 de concreto de obra*

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	281.72	kg
2	Ceniza Volcánica	40.25	kg
3	Agregado Grueso	1,623.07	kg
4	Agua	128.79	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Tabla 44: *Cantidad de material para 1 probeta*

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	1.566	kg
2	Ceniza Volcánica	0.196	kg
3	Agregado Grueso	9.024	kg
4	Agua	0.716	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Tabla 45: *Cantidad de Material para 9 probeta*

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	14.094	kg
2	Ceniza Volcánica	1.764	kg
3	Agregado Grueso	81.216	kg
4	Agua	6.444	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)



*Cantidad de material para 1 vigueta*

Tabla 46: Material por vigueta

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	2.134	kg
2	Ceniza Volcánica	0.305	kg
3	Agregado Grueso	12.30	kg
4	Agua	0.976	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

*Cantidad de Material para 9 viguetas*

Tabla 47: Material para 9 viguetas

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	19.208	kg
2	Ceniza Volcánica	2.743	kg
3	Agregado Grueso	110.70	kg
4	Agua	8.783	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Para las 5 dosificaciones con ceniza volcánica se ha requerido 15.24 Kg de este material, tal como se especifica en la siguiente tabla (Cuadro 49):

Tabla 48: Material por probeta (permeabilidad)

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	0.775	kg
2	Ceniza Volcánica	0.020	kg
3	Agregado Grueso	4.011	kg
4	Agua	0.318	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Tabla 49: Material por 18 probetas (Permeabilidad)

ID	Material	Cantidad	Unidades
1	Cemento	11.034	kg
2	Ceniza Volcánica	0.389	kg
3	Agregado Grueso	60.160	kg
4	Agua	4.774	lt

Elaboración propia. Fuente. Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Tabla 50: Cantidad de ceniza volcánica por dosificaciones

DM	R. a la compresión		R. a la flexión		Coeficiente de permeabilidad	
	N° Probetas	Cantidad CV (Kg)	N° viguetas	Cantidad CV (Kg)	N° Probetas	Cantidad CV (Kg)
0.00%C V	9	0.000	9	0.000	3	0.000
2.50%C V	9	0.396	9	0.549	3	0.060
5.0%CV	9	0.765	9	1.097	3	0.119
7.5%CV	9	1.116	9	1.646	3	0.179
10.0%C V	9	1.449	9	2.194	3	0.239
12.5%C V	9	1.764	9	2.743	3	0.298
TOTAL		5.49		8.229		0.985

Elaboración total. Fuente Laboratorio GIMG Ingenieros (2021).

#### 4.6. Prueba de resistencia a compresión (Norma ASTM C39)

Para hacer el ensayo de la resistencia a la compresión de las distintas mezclas, lo que incluye las dosificadas, se utilizaron probetas de 15.24cm x 30.48cm, diámetro y altura, respectivamente. Luego, los ensayos de prueba de resistencia se hicieron en los días 7, 14 y 28. Se rompieron tres probetas por cada tiempo y para cada dosificación, lo que suma una cantidad de 54 muestras, de los cuales 45 corresponde al diseño de mezcla con ceniza volcánica (CV).

Para hacer esta prueba, se diseñaron 6 tipos de diseño de mezcla, que se indican a continuación:

DM0 = Diseño de Mezcla Cero, es el concreto patrón con 0.0%CV.

DM1 = Diseño de Mezcla Uno, corresponde a 2.5%CV.

DM2 = Diseño de Mezcla Dos, corresponde a 5.0%CV.

DM3 = Diseño de Mezcla Tres, corresponde a 7.5%CV.

DM4 = Diseño de Mezcla Cuatro, corresponde a 10.0%CV.

DM5 = Diseño de Mezcla Cinco, corresponde a 12.5%CV.

Los resultados que se obtuvieron fueron lo siguiente:

### **Resistencia a la compresión del concreto permeable sin ceniza volcánica**

Corresponde al concreto patrón, se rompieron 9 probetas:

Tabla 51: Resistencia a la compresión DM0 = 0.0% ceniza volcánica, a los 7 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA					
CPP-M1	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	27520	181	2	152
CPP-M2	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	27069	182	2	148
CPP-M3	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	27343	182	3	150

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

De acuerdo con la Tabla 51, a los 7 días, la resistencia a compresión

promedio del concreto permeable sin ceniza volcánica, fue de 150 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 2.0 y alcanzo el 72% respecto al diseño objetivo, superando el mínimo requerido. El valor de la desviación estándar indica que las muestras tienen una buena distribución y homogeneidad.

Tabla 52: Resistencia a la compresión DM0 = 0.0% ceniza volcánica a los 14 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA					
CPP-M4	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	33290	183	2	182
CPP-M5	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	33197	182	2	182
CPP-M6	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	33314	182	2	183

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Según la Tabla 52, a los 14 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 182 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0.60 y alcanzo el 87% respecto al diseño objetivo, superando el mínimo requerido. Registra una mejor distribución de datos, cerca al promedio.

Tabla 53: Resistencia a la compresión DM0 = 0.0% ceniza volcánica a los 28 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)		DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	TIPO DE	f'c
N°	DESCRIPCION	(Kgf/cm <sup>2</sup> )	MOLDEO	ROTURA	(días)	(Kgf.)	(cm <sup>2</sup> )	FRACTURA	(Kgf/cm <sup>2</sup> )
CPP-M7	Grava de 1/2"	210	04/10/2021	01/11/2021	28	38883	181	2	214
	Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%								
CPP-M8	Grava de 1/2"	210	04/10/2021	01/11/2021	28	38814	182	3	212
	Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%								
CPP-M9	Grava de 1/2"	210	04/10/2021	01/11/2021	28	39049	183	2	213
	Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%								

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

De acuerdo con la Tabla anterior (Tabla 53), a los 28 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, sin ceniza volcánica, fue de 213 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1 y alcanzo el 101 % del diseño objetivo, superando el máximo requerido. Es un valor esperado para concretos permeables.

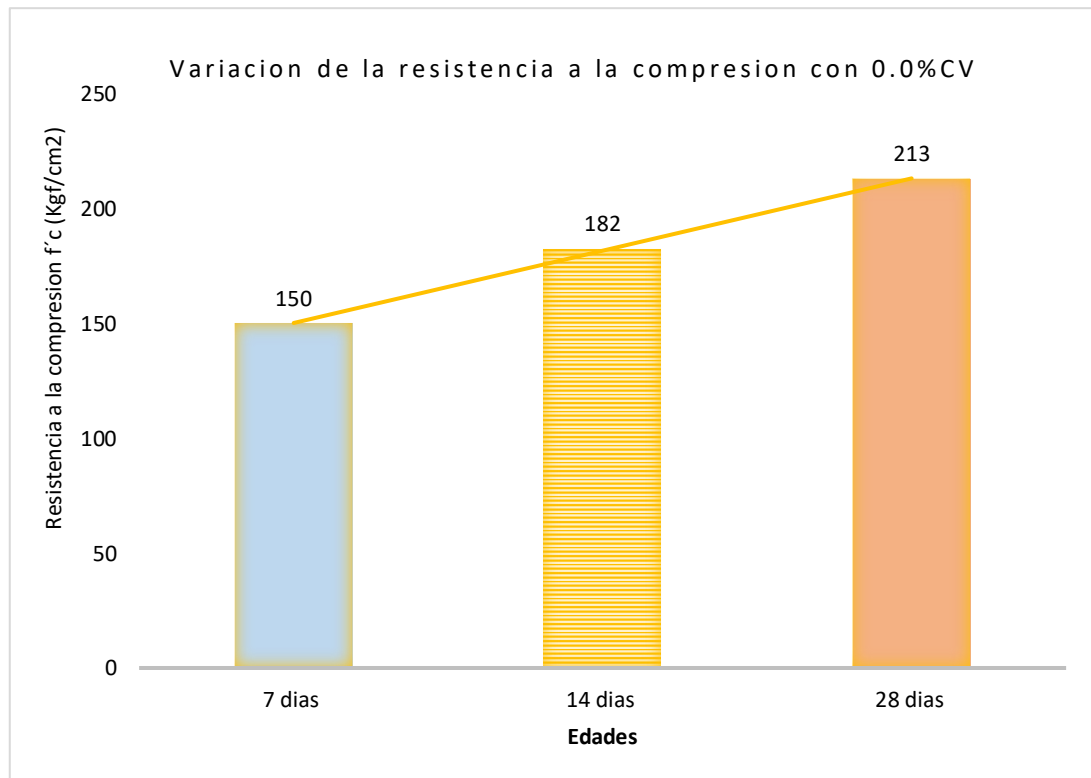


Figura 17: Promedio de resistencia por cada tiempo para 0.00%CV.  
Elaboración propia.

Esta figura indica, de como en los tres tiempos la resistencia a la compresión para el concreto patrón evoluciona dentro de los parámetros o márgenes establecidos por la Norma ACI 522R.

### **Resistencia a la compresión del concreto permeable con ceniza volcánica**

Corresponde al concreto con dosificaciones y se rompieron 54 probetas:

## Diseño de mezcla 1 (DM1) con 2.5%CV

Tabla 54: Resistencia a la compresión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 7 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)	DISEÑO	FECHA	EDAD	CARGA	ÁREA	TIPO DE	f'c		
N°	DESCRIPCION	(Kgf/cm2)	MOLDEO	ROTURA	(días)	(Kgf.)	(cm2)	FRACTURA	(Kgf/cm2)
	Grava de 1/2"								
CPCVP-M1	Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	27740	181	2	153
	Grava de 1/2"								
CPCVP-M2	Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	27875	182	2	153
	Grava de 1/2"								
CPCVP-M3	Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	27576	182	2	151

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Según la Tabla 54, a los 7 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable con 2.5% de ceniza volcánica, es de 152kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.20 y se alcanzó el 72% respecto al diseño objetivo, superando el mínimo requerido.

Tabla 55: Resistencia a la compresión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 14 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)		DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA	ÁREA	TIPO DE	f'c
N°	DESCRIPCION	(Kgf/cm2)	MOLDEO	ROTURA	(días)	(Kgf.)	(cm2)	FRACTURA	(Kgf/cm2)
CPCV-M4	Grava de 1/2"	210	04/10/2021	18/10/2021	14	33791	181	3	186
	Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%								
CPCV-M5	Grava de 1/2"	210	04/10/2021	18/10/2021	14	33636	182	2	184
	Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%								
CPCV-M6	Grava de 1/2"	210	04/10/2021	18/10/2021	14	33882	181	2	187
	Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%								

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Según la Tabla 55, a los 14 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 186 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.50 y se alcanzó el 89% respecto al diseño objetivo, superando el mínimo requerido



Tabla 56: Resistencia a la compresión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 28 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)		FECHA		EDA D (días)	CARGA A (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )	
N°	DESCRIPCION	DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	MOLDEO ROTURA						
CPCV-M7	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/20 21	01/11/2021	28	39433	181	2	217
CPCV-M8	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/20 21	01/11/2021	28	39254	181	3	216
CPCV-M9	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/20 21	01/11/2021	28	39762	182	2	218

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)  
 AASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

En esta tabla (Tabla 56), a los 28 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 217kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.00 y se alcanzó el 103% respecto al diseño objetivo, superando el máximo requerido, siendo el valor más alto alcanzado en la presente investigación, en relación a la resistencia a la compresión de un concreto permeable con una dosificación de ceniza volcánica.

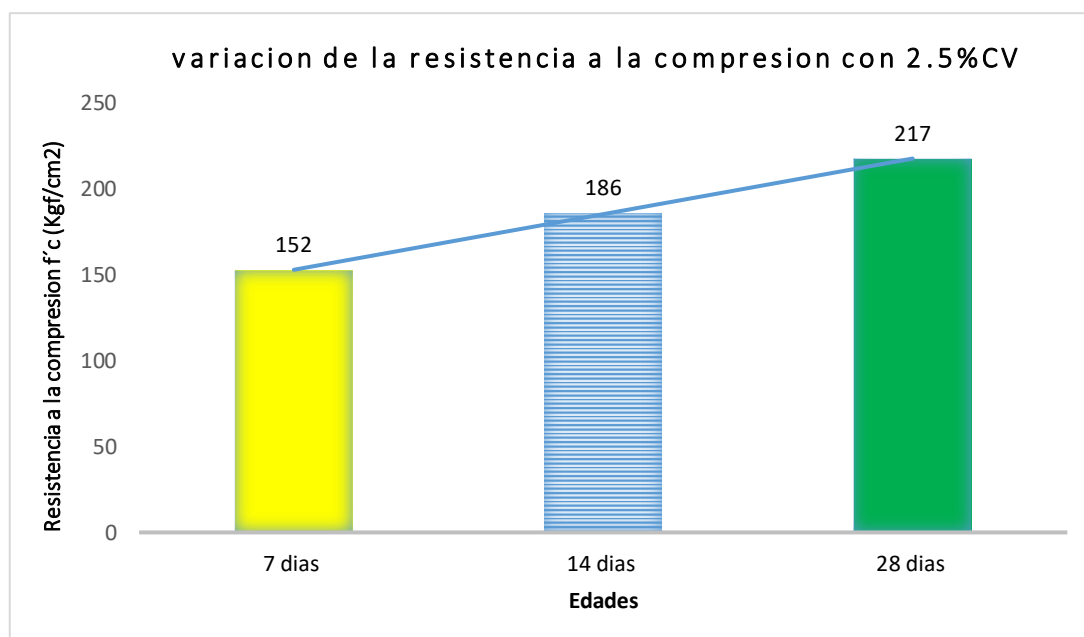


Figura 18: Promedio de resistencia por cada tiempo para 2.5%CV.

Elaboración propia.

Figura 18, indica, de como en los tres tiempos la resistencia a la compresión para el concreto con 2.5%CV, evoluciona dentro del rango establecido por la Norma ACI 522R.

### Diseño de mezcla2 (DM2) con 5%CV

Tabla 57: Resistencia a la compresión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 7 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)	DESCRIPCION	DISEÑO (Kgf/cm2)	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm2)	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm2)
CPCV-M1	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	27960	183	3	153
CPCV-M2	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	28131	182	2	154
CPCV-M3	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	28066	183	2	153

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

AASSTT C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Según la Tabla 57, a los 7 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 153kg/cm2, con una desviación estándar de 0.60 y alcanzo el 73% respecto al diseño objetivo, superando el mínimo requerido. En este caso también, las muestras presentan una buena distribución de homogeneidad.

Tabla 58: Resistencia a la compresión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 14 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)	DESCRIPCION	DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDA D (días)	CARGA A (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTUR A	f'c (Kgf/c m2)
			MOLDEO	ROTURA					
CPCV-M4	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	33417	182.42	3	184
CPCV-M5	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	23240	182.42	2	183
CPCV-M6	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	33702	182.42	2	185

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

AASSTT C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

En la Tabla 58, a los 14 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 184 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.00 y alcanzo el 88% respecto al diseño objetivo, superando el mínimo requerido.

Tabla 59: Resistencia a la compresión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 28 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)	DESCRIPCION	DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA					
CPCV-M7	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	39578	183	2	216
CPCV-M8	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	39281	182	2	215
CPCV-M9	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	39033	182	3	214

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

AASSTT C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

En la Tabla 59, a los 28 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 215 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.00 y alcanzo el 102% respecto al diseño objetivo, superando al máximo requerido.

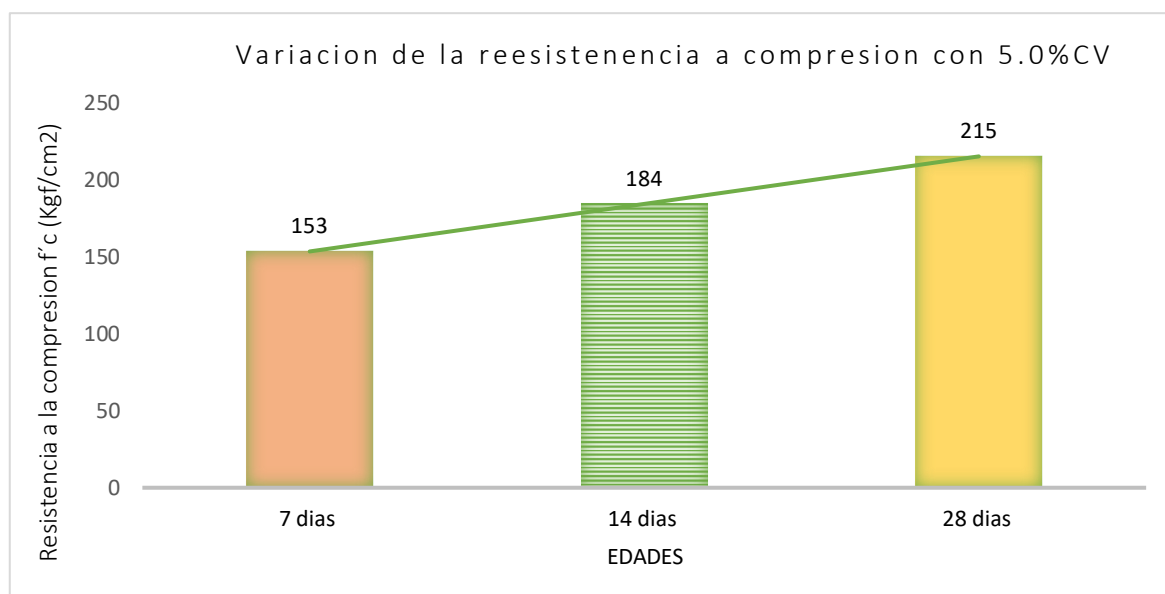


Figura 19: Promedio de resistencia por cada tiempo para 5.0%CV.

Elaboración propia.

Según la Figura 19, en los tres tiempos la resistencia a la compresión para el concreto con 5%CV, también evoluciona dentro de los márgenes de este tipo de resistencia establecidos por la Norma ACI 522R.

### Diseño de mezcla 3 (DM3) con 7.5%CV

Tabla 60: Resistencia a la compresión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 7 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)	DESCRIPCION	DISEÑO (Kg/cm2)	FECHA MOLDEO	FECHA ROTURA	EDAD (días)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm2)	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kg/cm2)
CPCV-M1	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	27084	183	2	148
CPCV-M2	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	27224	181	2	150
CPCV-M3	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	27211	182	3	149

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

AASST C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Según la tabla anterior (Tabla 60), a los 7 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 149 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.00 y alcanzo el 71% respecto al diseño objetivo, superando el mínimo requerido.

Tabla 61: Resistencia a la compresión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 14 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)	DESCRIPCION	DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA					
CPCV-M4	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	30444	181	2	167
CPCV-M5	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	30014	180	2	165
CPCV-M6	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	30435	182	2	166

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

AASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

En esta Tabla, se verifica los siguiente: A los 14 días, la resistencia a la compresión promedio del concreto permeable, fue de 166kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.0 y alcanzo el 79% respecto al diseño objetivo. En este caso, no se pasó la valla mínima requerida.

Tabla 62: Resistencia a la compresión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 28 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)	DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )
		N°	DESCRIPCION					
CPCV-M7	210	04/10/2021	01/11/2021	28	36837	180	3	204
CPCV-M8	210	04/10/2021	01/11/2021	28	37401	181	2	206
CPCV-M9	210	04/10/2021	01/11/2021	28	37643	183	2	205

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Según la Tabla 62, a los 28 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 205 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.00 y se alcanzó el 98% respecto al diseño objetivo, no se superó la resistencia a la compresión, f'c 210Kmg/cm<sup>2</sup>.

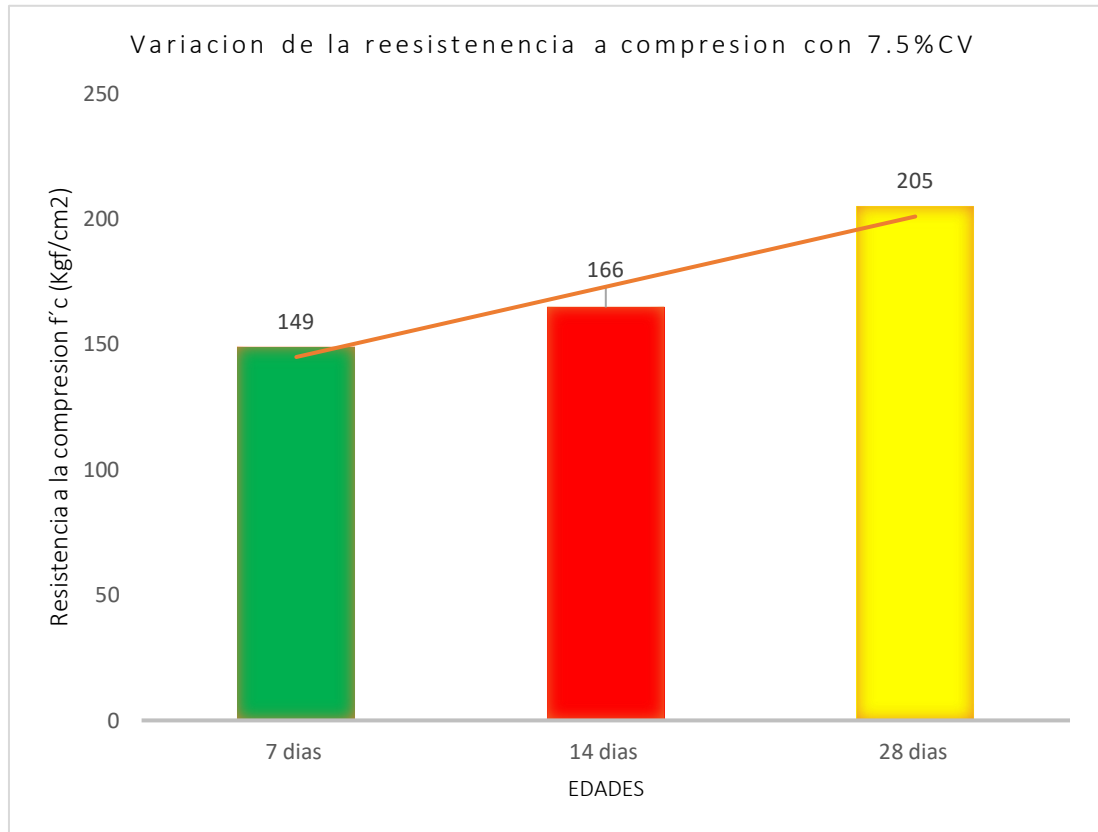


Figura 20: Promedio de resistencia por cada tiempo para 7.5%CV. Elaboración propia.

Según la Figura 20, en los tres tiempos la resistencia a la compresión para el concreto con 7.5%CV, también evoluciona dentro de los márgenes de este tipo de resistencia establecidos por la Norma ACI 522R, aunque no se logra la resistencia a la compresión,  $f'_c$  210Kmg/cm<sup>2</sup>.

## Diseño de mezcla 4 (DM4) con 10%CV

Tabla 63: Resistencia a la compresión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 7 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)	DESCRIPCION	DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA					
CPCV-M1	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	26328	181	3	145
CPCV-M2	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	26569	180	2	147
CPCV-M3	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	26788	183	2	146

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

En la Tabla 63, a los 7 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 146 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.00 y se alcanzó el 70% respecto al diseño objetivo, no se superó el mínimo requerido, lo que indica una influencia notable de la ceniza volcánica.



Tabla 64: Resistencia a la compresión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 14 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA					
CPCV-M4	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	30192	183	2	166
CPCV-M5	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	29637	181	2	164
CPCV-M6	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	29915	183	3	164

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

En esta tabla (Tabla 64), a los 14 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 165 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.15 y alcanzo el 78 % de resistencia respecto al diseño objetivo, no se superó el mínimo requerido.

Tabla 65: Resistencia a la compresión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 28 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA					
CPCV-M7	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	33911	180	2	188
CPCV-M8	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	34671	182	2	190
CPCV-M9	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	34327	181	2	189

En la Tabla 65, a los 28 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 189 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.00 y alcanzo el 90% respecto al diseño objetivo, no se superó el mínimo requerido. Hay una diferencia de 20Kg/cm<sup>2</sup>, en la resistencia a la compresión.

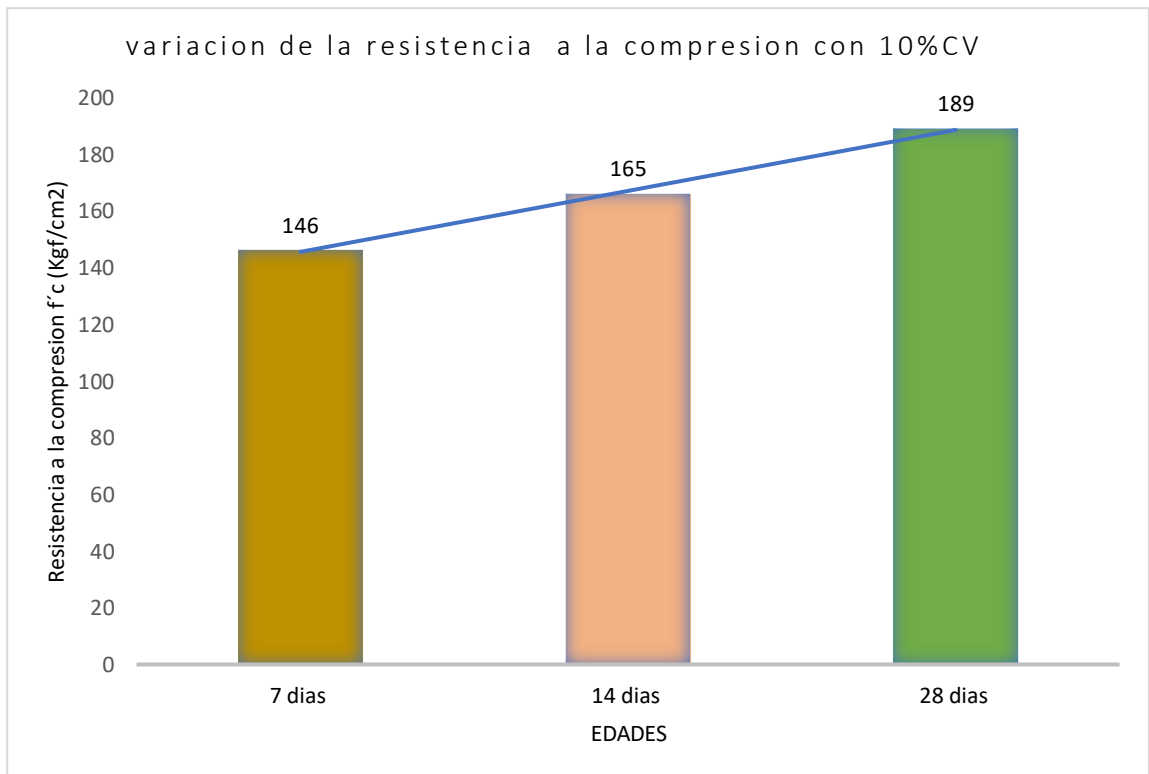


Figura 21: Promedio de resistencia por cada tiempo para 10%CV.

Elaboración propia.

Según la Figura 21, en los tres tiempos la resistencia a la compresión para el concreto con 10%CV, evoluciona dentro de los márgenes de este tipo de resistencia establecidos por la Norma ACI 522R, aunque no se logra la resistencia a la compresión, f'c 210Kg/cm<sup>2</sup>. Esto indica que el aumento en las dosificaciones con cenizas volcánicas, el concreto permeable pierde resistencia a la compresión.

## Diseño de mezcla 5 (DM5) con 12.5%CV

Tabla 66: Resistencia a la compresión DM5 = 12.5% ceniza volcánica a los 7 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA					
CPCV-M1	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	25934	181	2	143
CPCV-M2	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	25891	182	2	142
CPCV-M3	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	25764	183	2	140

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

AASSTT C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Según la Tabla anterior, a los 7 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 142 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 1.50 y alcanzo el 68% respecto al diseño objetivo, no se superó el mínimo requerido.

Tabla 67: Resistencia a la compresión DM5 = 12.5% ceniza volcánica a los 14 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA					
CPCV-M4	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	29251	180	3	162
CPCV-M5	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	29050	180	2	161
CPCV-M6	Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	29568	182	2	162

Elaboración propia. Fuente LABORATORIOS GMIG INGENIEROS (2021)

AASHTO C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

En la Tabla 67, a los 14 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 162 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0.60 y alcanzo el 77% respecto al diseño objetivo, no se superó el mínimo requerido.

Tabla 68: Resistencia a la compresión DM5 = 12.5% ceniza volcánica a los 28 días

CÓDIGO DE MUESTRA (CILINDRO N°)		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FRACTURA	f'c (Kgf/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA					
CPCV-M7	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	33731	182	2	187
CPCV-M8	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	33911	180	3	188
CPCV-M9	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	33911	181	2	188

En esta tabla (Tabla 68), a los 28 días, la resistencia a compresión promedio del concreto permeable, fue de 188 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 0.57 y alcanzo el 90% respecto al diseño objetivo, no se superó el mínimo requerido.

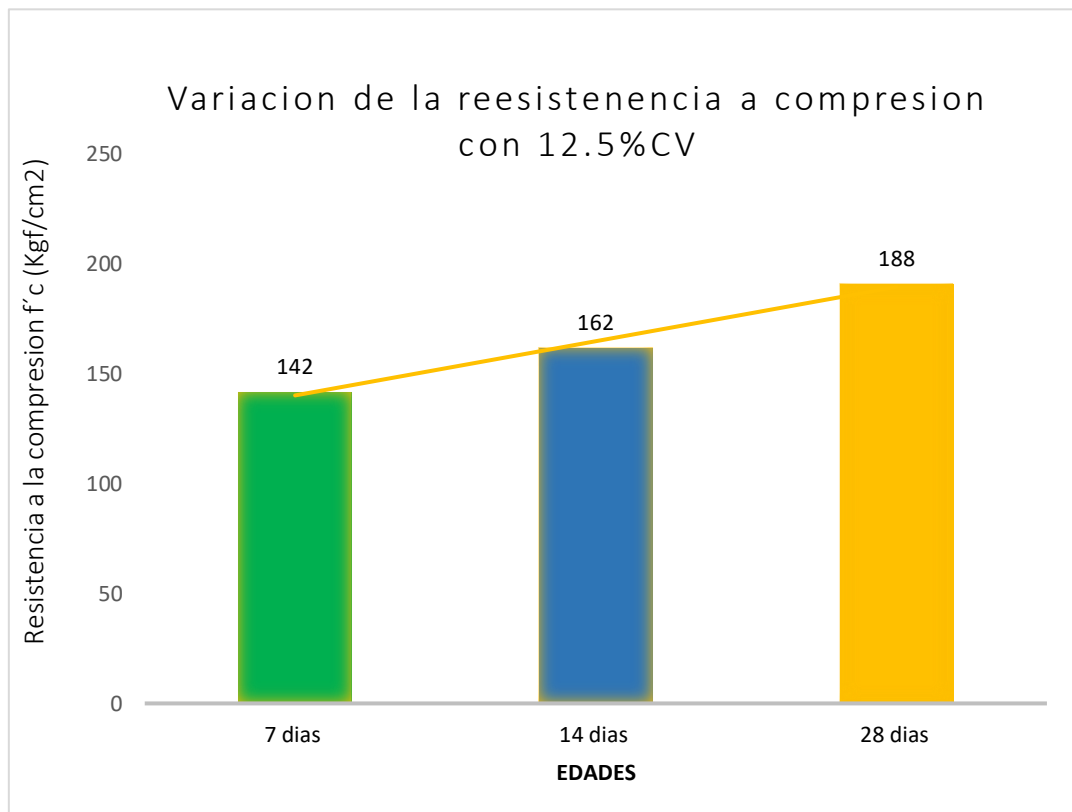


Figura 22: Promedio de resistencia a la compresión por cada tiempo para 12.5%CV. Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 22, en los tres tiempos la resistencia a la compresión para el concreto con 12.5%CV, evoluciona dentro del rango que establece la Norma ACI 522R, para concretos permeables.

Tabla 69: Resumen de los valores de resistencia a compresión de los tres tiempos

Resistencia a compresión del concreto permeable															
Diseño de mezcla (DM)	7 días			PROM	S	14 días			PROM	S	28 días			PROM	S
DM0 (0.0%CV)	152	148	150	150	2.00	183	182	182	182	0.60	214	212	213	213	1.00
DM1 (2.5%CV)	153	153	151	152	1.20	186	184	187	186	1.50	217	216	218	217	1.00
DM2 (5.0%CV)	153	154	153	153	0.60	184	183	185	184	1.00	216	215	214	215	1.00
DM3 (7.5%CV)	148	150	149	149	1.00	167	165	166	166	1.00	204	206	205	205	1.00
DM4 (10.0%CV)	145	147	146	146	1.00	166	164	164	165	1.15	188	190	189	189	1.00
DM5 (12.5%CV)	143	142	140	142	1.50	162	161	162	162	0.60	187	188	188	188	0.57

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Según la Tabla 69, en los tres tiempos la desviación estándar (S) de las muestras de la prueba de resistencia a la compresión, registran valores bajos, lo que indica que los datos o valores se encuentra agrupados próximos a su media, por lo que se trata de un valor esperado, donde se verifica una baja dispersión.

En la siguiente figura (Figura 23), se observa la disminución tendencial de la resistencia según aumenta las dosificaciones con CV, aunque el valor más alto de la resistencia a la compresión del concreto permeable, en estado fresco, es la dosificación que corresponde al DM2 = 5.0%CV.

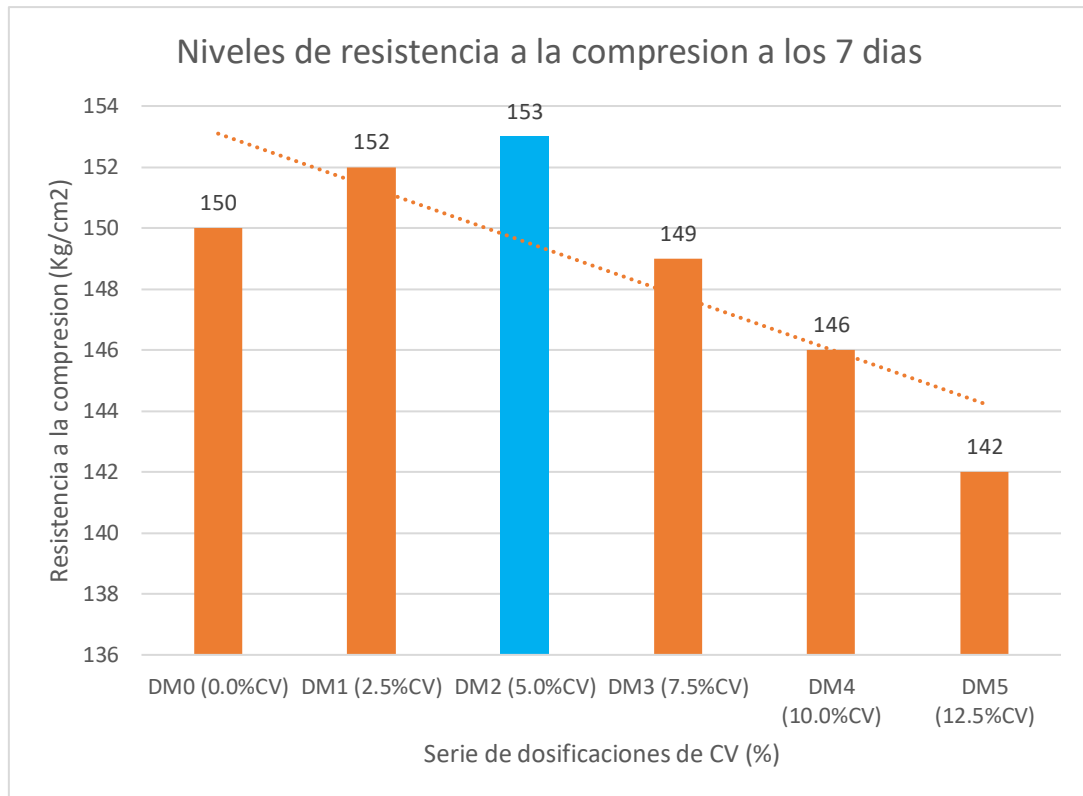


Figura 23: Variación de la resistencia a la compresión a los 7 días. Elaboración propia.

En la Figura 24, la máxima resistencia a la compresión para un concreto permeable es la que corresponde al DM1. Igual se da la tendencia a la disminución de la resistencia a la compresión cada vez que aumenta las dosificaciones con ceniza volcánica.

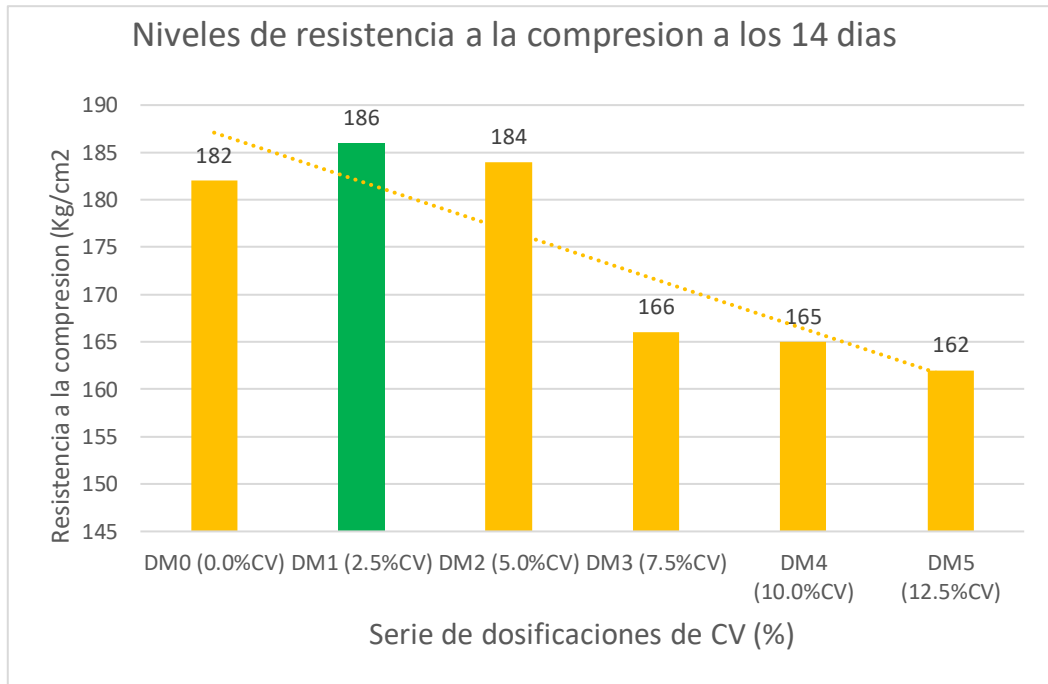


Figura 24: Variación de la resistencia a la compresión a los 14 días. Elaboración propia.

En la siguiente figura (Figura 25), se observa una disminución notable de la resistencia a la compresión a partir de la dosificación DM2, cayendo desde 215 hasta 188Kg/cm<sup>2</sup>, que corresponde a la dosificación DM5.

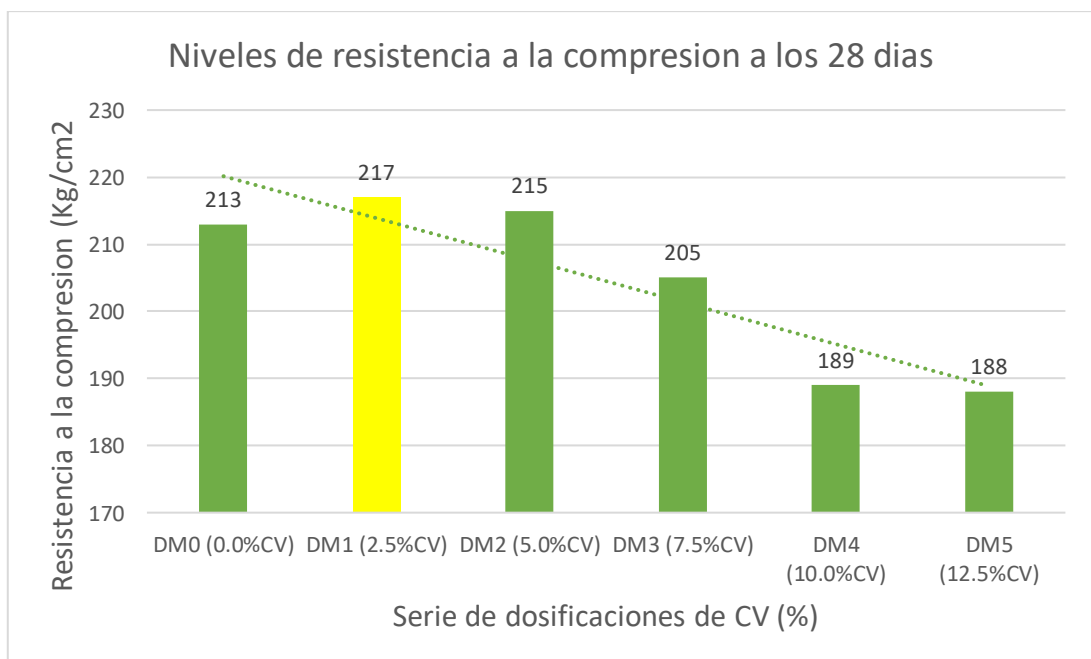


Figura 25: Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días. Elaboración propia.



En la Figura 26, Se muestra los tres tiempos de los niveles de resistencia a la compresión y para cada dosificación correspondiente. Se observa una disminución de la resistencia a la compresión, cuando la mezcla contiene una cantidad mayor de ceniza volcánica. Sin embargo, se obtiene la máxima resistencia con la dosis del DM1 =2.5%CV, siendo esta la dosis óptima para obtener un concreto permeable con ceniza volcánica.

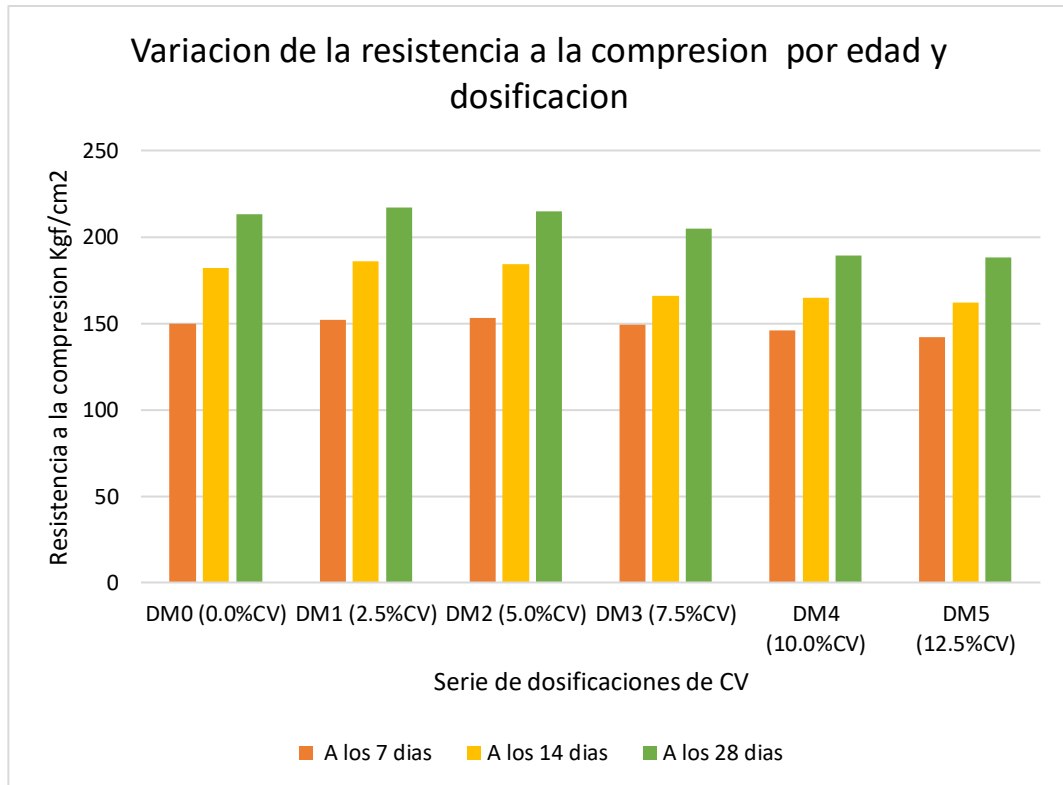


Figura 26: Consolidado de niveles de resistencia a la compresión. Elaboración propia.

### Prueba de normalidad (Anderson – Darling)

La prueba de normalidad para las tres edades y para todas las dosificaciones indican que se tratan de muestras que presentan datos de distribución regular paramétrica: A los 7 días las 6 muestras de diferentes dosificaciones tienen un p-valor de 0.631; a los 14 días el p-valor es 0.093 y a los 28 días el p-valor es 0.138 (Figura 27).

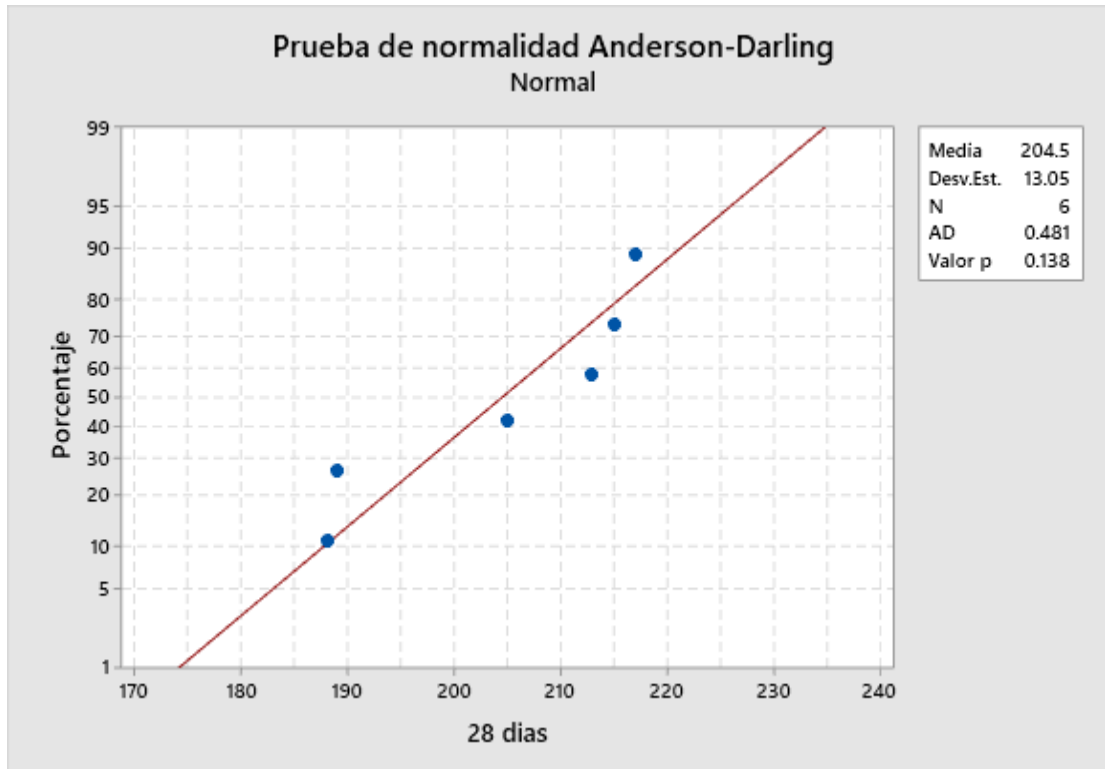


Figura 27: Prueba de normalidad para las muestras a la edad de 28 días. Elaboración propia.

#### 4.7. Prueba de resistencia a flexión

Para hacer el ensayo de la resistencia a la flexión de las distintas mezclas, lo que incluye las dosificadas, se utilizaron viguetas de 10.2cm x 15.2cm x50.1cm, que corresponde respectivamente a la altura, ancho y longitud. Luego, los ensayos de prueba de resistencia a flexión se hicieron en los días 7, 14 y 28. Se ensayaron 3 viguetas por cada tiempo y grado de dosificaciones correspondientes, obteniéndose los siguientes resultados:

##### **Resistencia a la flexión del concreto permeable sin ceniza volcánica**

Para determinar la resistencia a la flexión, se elaboraron 54 muestras de vigueta con las dimensiones indicadas arriba. De esta cantidad 45 corresponde al diseño de mezcla con ceniza volcánica. Los otros 9 es el diseño de mezcla del concreto patrón, donde la cantidad de CV es 0.00%.

Tabla 70: Resistencia a la flexión DM0 = 0.0% ceniza volcánica a los 7 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2510	155.04	15.2	10.2	20.21
CPP-M2	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2485	155.04	15.2	10.2	20.21
CPP-M3	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2523	155.04	15.2	10.2	20.23

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 70): A los 7 días el promedio de resistencia a la flexión es 20.22 Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.01. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R.

Tabla 71: Resistencia a la flexión, DM0 = 0.0% ceniza volcánica a los 14 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.2	22.10
CPP-M5	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,533	155.04	15.2	10.2	22.30
CPP-M6	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.2	22.10

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 71): A los 14 días el promedio de resistencia a la flexión, es 22.17Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.12. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R.

Tabla 72: Resistencia a la flexión, DM0 = 0.0% ceniza volcánica a los 28 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.2	23.31
CPP-M8	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,499	155.04	15.2	10.2	23.40
CPP-M9	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,521	155.04	15.2	10.2	23.45

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 72): A los 28 días el promedio de resistencia a la flexión es 23.39 Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.07. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables.

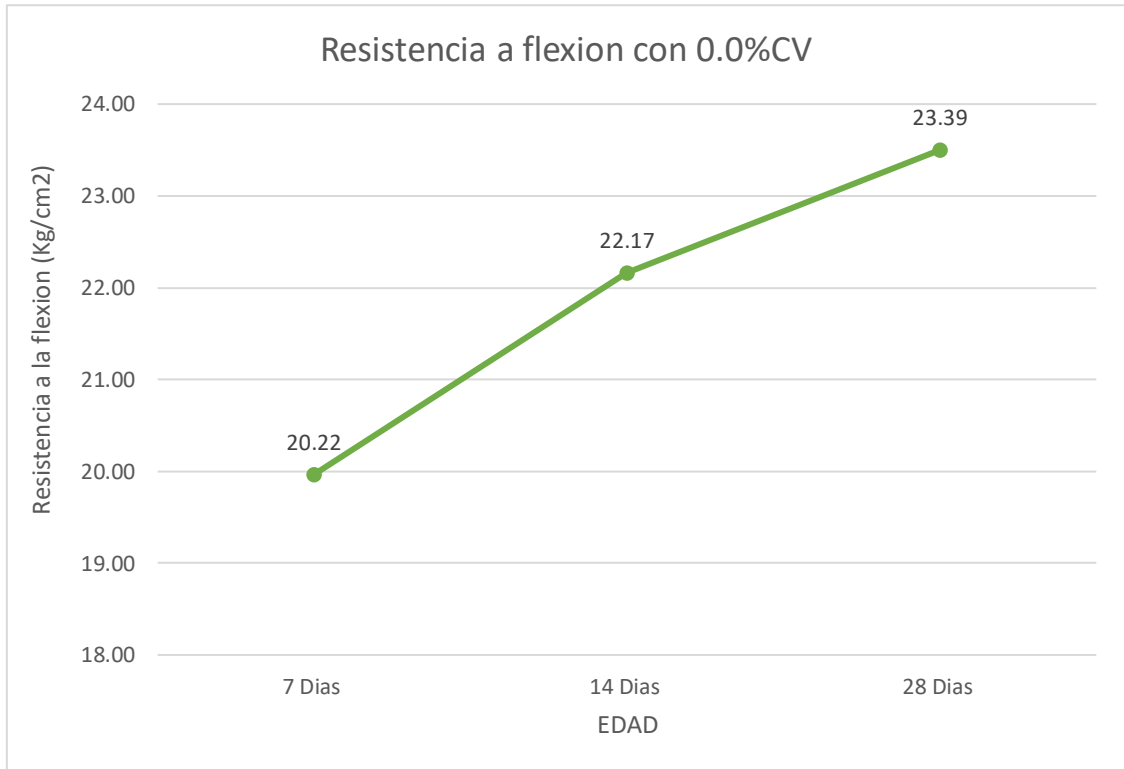


Figura 28: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 0.0%CV, para 7, 14, 28 días. Elaboración propia.

La Figura 28, indica los promedios de los tres tiempos y la tendencia que sigue la línea de la resistencia a la flexión del concreto permeable para el DM0 =0.00%CV, los cuales oscilan dentro del rango de valores que establece la Norma ACI 522-R.

## Resistencia a la flexión del concreto permeable con cenizas volcánicas

### Diseño de mezcla 1 (DM1) con 2.5%CV

Tabla 73: Resistencia a la flexión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 7 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.2	20.45
CPP-M2	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,535	155.04	15.2	10.2	20.30
CPP-M3	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.2	20.28

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 73): A los 7 días el promedio de resistencia a la flexión es 20.34 Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.09. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables.

Tabla 74: Resistencia a la flexión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 14 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.2	22.45
CPP-M5	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,488	155.04	15.2	10.2	22.35
CPP-M6	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.2	22.21

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 74): A los 14 días el promedio de resistencia a la flexión es 22.34Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.12. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables.

Tabla 75: Resistencia a la flexión DM1 = 2.5% ceniza volcánica a los 28 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.2	23.30
CPP-M8	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,532	155.04	15.2	10.2	23.50
CPP-M9	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,521	155.04	15.2	10.2	23.40

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 75): A los 28 días el promedio de resistencia a la flexión es 23.40Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.10. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables.



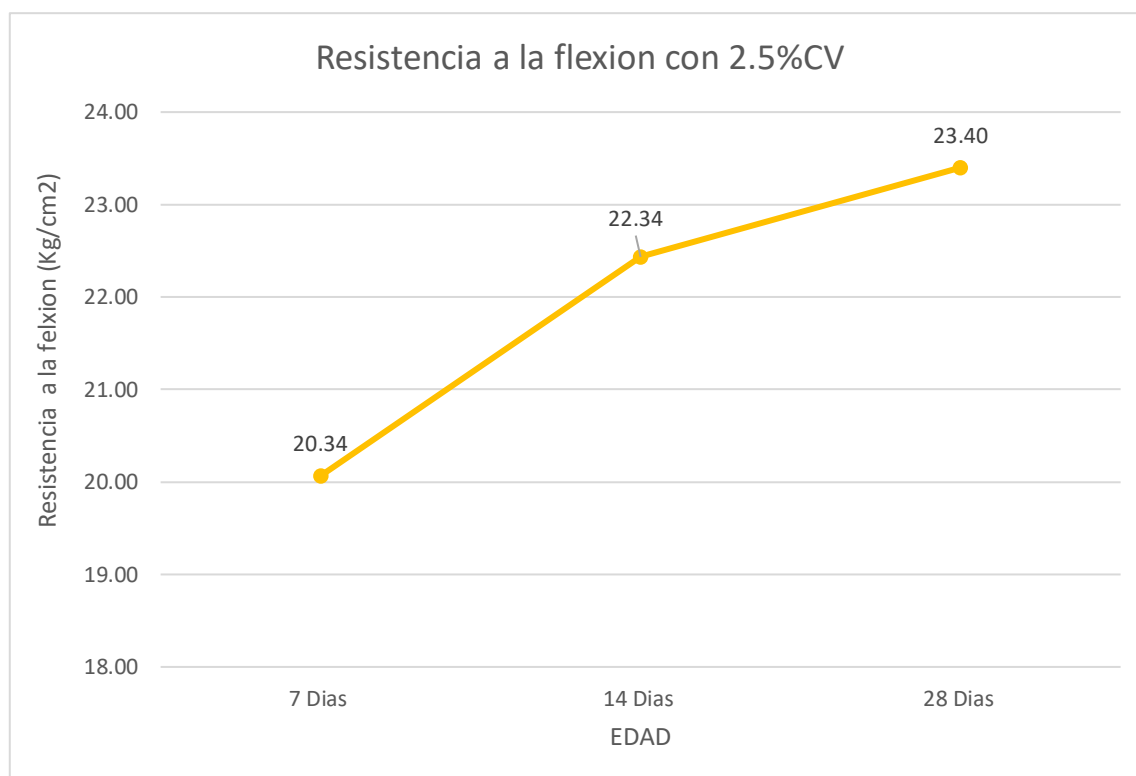


Figura 29: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 2.5%CV, para 7, 14, 28 días. Elaboración propia.

La Figura 29 indica los promedios de los tres tiempos y la tendencia que sigue la línea de la resistencia a la flexión del concreto permeable para el DM1 =2.50%CV, los cuales oscilan dentro del rango de valores que establece la Norma ACI 522R para cada tiempo.

### Diseño de mezcla 2 (DM2) con 5%CV

Tabla 76: Resistencia a la flexión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 7 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.2	20.40

CPP-M2	Probeta N°03									
	Grava de 1/2"									
	Relación a/c	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,486	155.04	15.2	10.2	20.30
	0.4 % de									
	vacíos 17%									
CPP-M3	Ceniza vol. 5%									
	Probeta N°03									
	Grava de 1/2"									
	Relación a/c	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,473	155.04	15.2	10.2	20.30
	0.4 % de									
	vacíos 17%									
	Ceniza vol. 5%									

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 76): A los 7 días, el promedio de resistencia a la flexión es 20.33Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.06. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables, en estado fresco.

Tabla 77: Resistencia a la flexión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 14 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°03									
	Grava de 1/2"									
	Relación a/c	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.2	22.35
	0.4 % de									
	vacíos 17%									
CPP-M5	Ceniza vol. 5%									
	Probeta N°03									
	Grava de 1/2"									
	Relación a/c	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,521	155.04	15.2	10.2	22.27
	0.4 % de									
CPP-M6	vacíos 17%									
	Ceniza vol. 5%									
	Probeta N°03									
	Grava de 1/2"									
	Relación a/c	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,521	155.04	15.2	10.2	22.20
	0.4 % de									
	vacíos 17%									
	Ceniza vol. 5%									

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 77): A los 14 días, el promedio de resistencia a la flexión es 22.27Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.08. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables, de esta edad.

Tabla 78: Resistencia a la flexión DM2 = 5% ceniza volcánica a los 28 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.2	23.20
CPP-M8	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,532	155.04	15.2	10.2	23.40
CPP-M9	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.2	23.20

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 78): A los 28 días, el promedio de resistencia a la flexión es 23.27Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.12. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R.

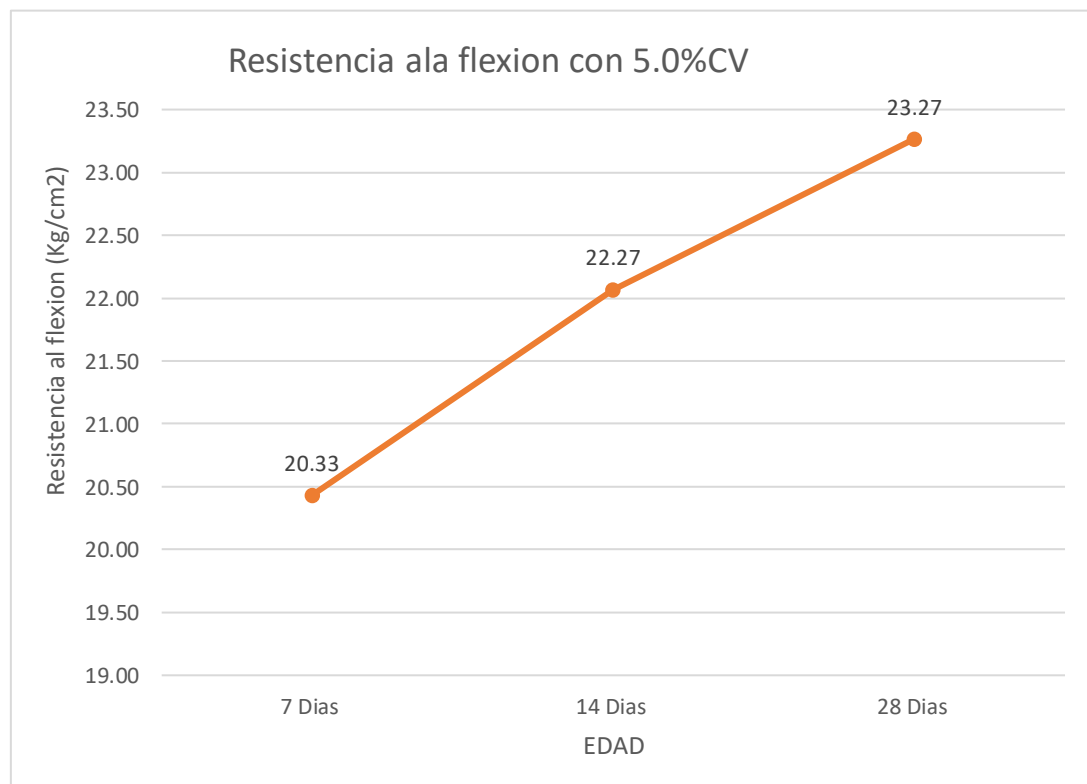


Figura 30: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 5.0%CV, para 7, 14, 28 días. Elaboración propia.

La Figura 30, indica los promedios de los tres tiempos y la tendencia que sigue la línea de la resistencia a la flexión del concreto permeable para el DM2 =5.0%CV, los cuales oscilan dentro del rango de valores que establece la Norma ACI 522R, entre un mínimo de 10.19 y un máximo de 38.7Kg/cm<sup>2</sup>.

### Diseño de mezcla 3 (DM3) con 7.5%CV

Tabla 79: Resistencia a la flexión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 7 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°04	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.2	20.35
	Grava de 1/2"									
	Relación a/c									
CPP-M2	0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,498	155.04	15.2	10.2	20.0
	Ceniza vol. 7.5%									
	Probeta N°04									
CPP-M3	Grava de 1/2"	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,547	155.04	15.2	10.2	20.40
	Relación a/c									
	0.4 % de vacíos 17%									
	Ceniza vol. 7.5%									

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 79): A los 7 días, el promedio de resistencia a la flexión es 20.25Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.22. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeable, aunque presenta una desviación estándar ligeramente alto.

Tabla 80: Resistencia a la flexión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 14 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.2	22.30
CPP-M5	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,499	155.04	15.2	10.2	22.20
CPP-M6	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.2	22.15

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 80): A los 14 días, el promedio de resistencia a la flexión es 22.22Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.08. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeable, en este caso presenta una desviación estándar bajo.

Tabla 81: Resistencia a la flexión DM3 = 7.5% ceniza volcánica a los 28 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.2	23.18
	0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%									
CPP-M8	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,532	155.04	15.2	10.2	23.27
	0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%									
CPP-M9	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,521	155.04	15.2	10.2	23.20
	0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%									

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 81): A los 28 días, el promedio de resistencia a la flexión es 23.22Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.05. También se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables. Es un valor esperado.

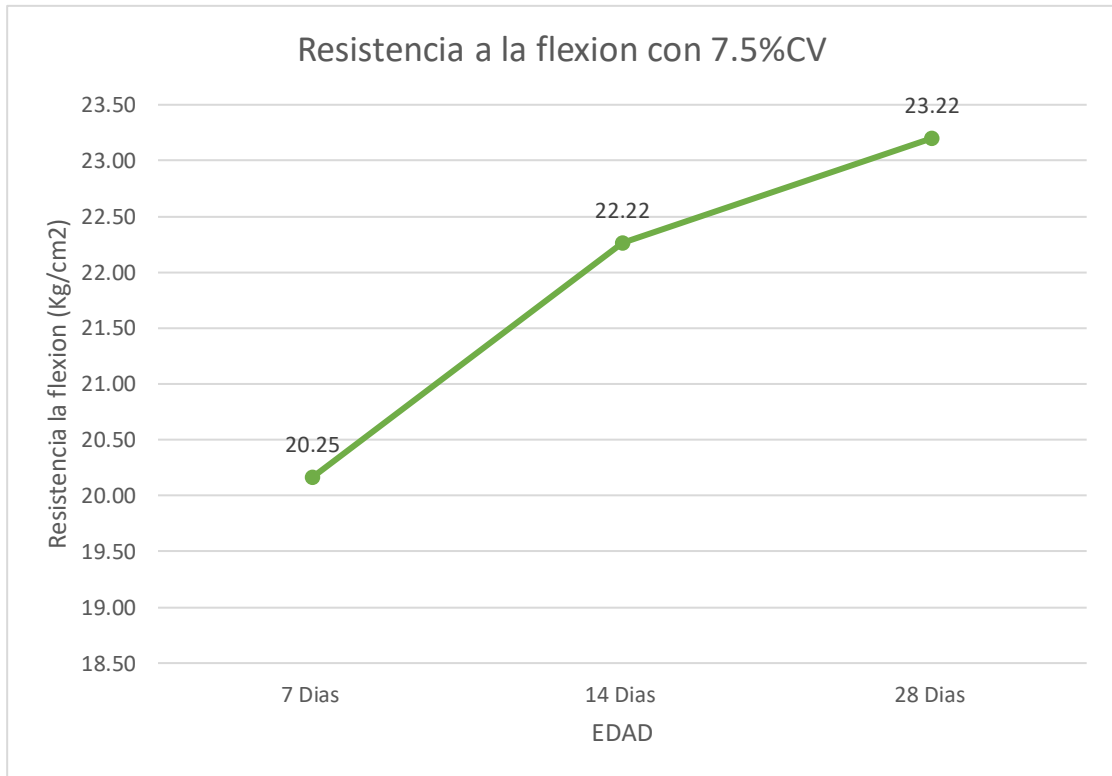


Figura 31: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 7.5%CV, para 7, 14, 28 días. Elaboración propia.

La Figura 31, indica los promedios de los tres tiempos y la tendencia que sigue la línea de la resistencia a la flexión del concreto permeable para el DM3 =7.5%CV, los cuales oscilan dentro del rango de valores que establece la Norma ACI 522R.

## Diseño de mezcla 4 (DM4) con 10%CV

Tabla 82: Resistencia a la flexión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 7 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°05	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.2	20.25
	Grava de 1/2"									
	Relación a/c									
CPP-M2	0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.2	20.05
	Ceniza vol. 10%									
	Probeta N°05									
CPP-M3	Grava de 1/2"	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,498	155.04	15.2	10.2	20.31
	Relación a/c									
	0.4 % de vacíos 17%									
	Ceniza vol. 10%									

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 82): A los 7 días, el promedio de resistencia a la flexión es 20.20Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.14. Estos resultados están dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables.



Tabla 83: Resistencia a la flexión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 14 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.2	21.90
CPP-M5	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,521	155.04	15.2	10.2	22.00
CPP-M6	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,544	155.04	15.2	10.2	22.20

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 83): A los 14 días, el promedio de resistencia a la flexión es 22.03Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.15. Estos resultados están dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables.

Tabla 84: Resistencia a la flexión DM4 = 10% ceniza volcánica a los 28 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.2	23.20
CPP-M8	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,499	155.04	15.2	10.2	23.18
CPP-M9	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,489	155.04	15.2	10.2	23.18

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 84): A los 28 días, el promedio de resistencia a la flexión es 23.21Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.02. Estos resultados están dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables.

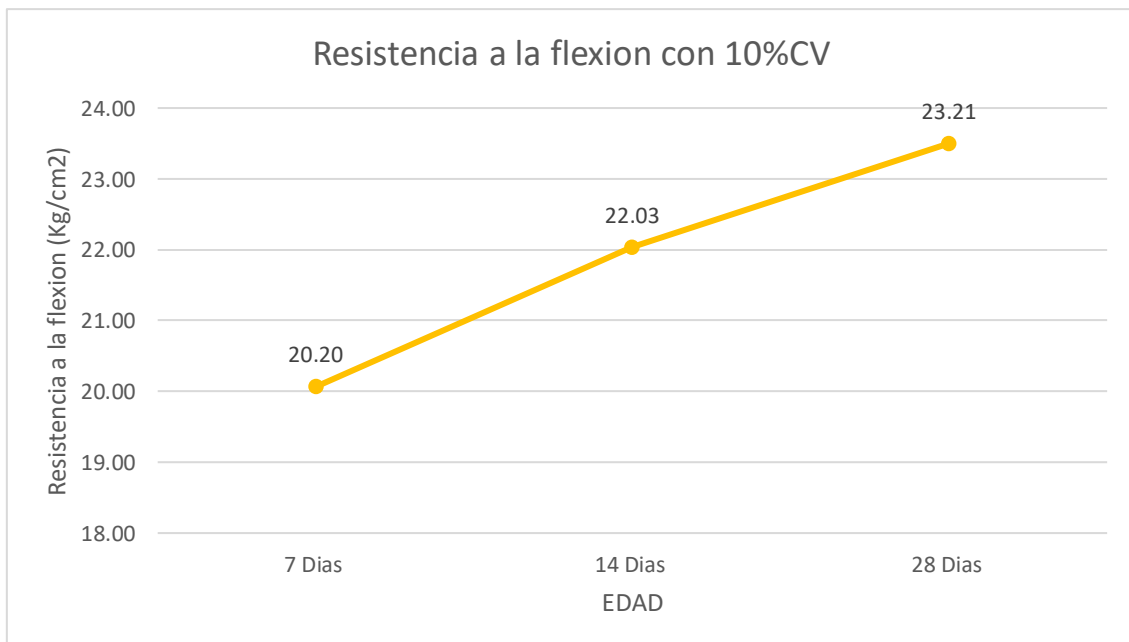


Figura 32: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 10.0%CV, para 7, 14, 28 días. Elaboración propia.

La Figura 32, indica los promedios de los tres tiempos y la tendencia que sigue la línea de la resistencia a la flexión del concreto permeable para el DM4 =10.0%CV, los cuales oscilan dentro del rango de valores que establece la Norma ACI 522R.

### Diseño de mezcla 5 (DM5) con 12.5%CV

Tabla 85: Resistencia a la flexión DM4 = 12.5% ceniza volcánica a los 7 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.2	20.19
CPP-M2	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,485	155.04	15.2	10.2	20.11
CPP-M3	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	11/10/2021	7	2,547	155.04	15.2	10.2	20.20

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 85): A los 7 días, el promedio de resistencia a la flexión es 20.17Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.05. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables, el cual oscila entre 10.19 y 38.7 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 86: Resistencia a la flexión DM4 = 12.5% ceniza volcánica a los 14 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.2	21.80
	0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%									
CPP-M5	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,522	155.04	15.2	10.2	21.90
	0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%									
CPP-M6	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c	210	04/10/2021	18/10/2021	14	2,522	155.04	15.2	10.2	21.90
	0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%									

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 86): A los 14 días, el promedio de resistencia a la flexión es 21.87Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.06. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables, el cual oscila entre 10.19 y 38.7 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 87: Resistencia a la flexión DM4 = 12.5% ceniza volcánica a los 28 días

CODIGO DE MUESTRA (VIGUETA N°)	DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.2	23.20
CPP-M8	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,499	155.04	15.2	10.2	23.18
CPP-M9	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.2	23.18

Elaboración propia. Fuente GIMG INGENIEROS (2021)

Los resultados son (Tabla 87): A los 28 días, el promedio de resistencia a la flexión es 23.19Kg/cm<sup>2</sup>, para una desviación estándar de 0.01. Se encuentra dentro del rango que establece la Norma ACI 522 R, para concretos permeables, el cual oscila entre 10.19 y 38.7 Kg/cm<sup>2</sup>.

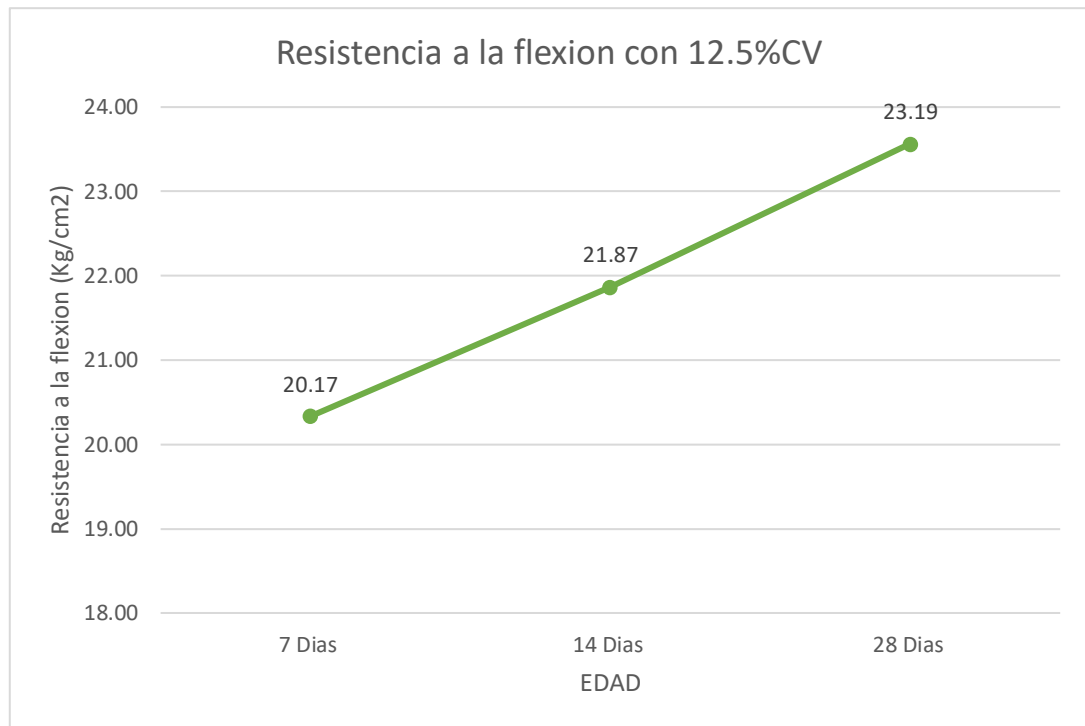


Figura 33: Promedio de resistencia a la flexión de DM= 12.5%CV, para 7, 14, 28 días. Elaboración propia

La Figura 33, indica los promedios de los tres tiempos y la tendencia que sigue la línea de la resistencia a la flexión del concreto permeable para el DM5 =12.5%CV, los cuales oscilan dentro del rango de valores que establece la Norma ACI 522R, el cual oscila entre 10.19 y 38.7 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 88: Resultados parciales y promedios de la resistencia a flexión para concreto permeable

Resistencia a la flexión del concreto permeable															
DM	A los 7 días			Promedio	S	A los 14 días			Promedio	S	A los 28 días			Promedio	S
DM0 (0.0%CV)	20.21	20.21	20.23	20.22	0.01	22.10	22.30	22.10	22.17	0.12	23.31	23.40	23.45	23.39	0.07
DM1 (2.5%CV)	20.45	20.30	20.28	20.34	0.09	22.45	22.35	22.21	22.34	0.12	23.30	23.50	23.40	23.40	0.10
DM2 (5.0%CV)	20.40	20.30	20.30	20.33	0.06	22.35	22.27	22.20	22.27	0.08	23.20	23.40	23.20	23.27	0.12
DM3 (7.5%CV)	20.35	20.00	20.40	20.25	0.22	22.30	22.20	22.15	22.22	0.08	23.18	23.27	23.20	23.22	0.05
DM4 (10.0%CV)	20.25	20.05	20.31	20.20	0.14	21.90	22.00	22.20	22.03	0.15	23.23	23.20	23.19	23.21	0.02
DM5 (12.5%CV)	20.19	20.11	20.20	20.17	0.05	21.80	21.90	21.90	21.87	0.06	23.20	23.18	23.18	23.19	0.01

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GMIG INGENIEROS (2021)

Según esta Tabla, el promedio de la resistencia a flexión en cada tiempo y para cada una de las dosificaciones presenta similitud de valores, con ligeras variaciones. Los datos son similares por lo que estas, tienen una distribución bastante regular. Así el promedio de cada media de la resistencia flexión a los 7 días para todas las dosificaciones es de es de 20.257Kg/cm<sup>2</sup> y una desviación estándar de 0.07. Luego para los 17 y 28 días, respectivamente, se tiene los siguientes valores: promedio de la resistencia a flexión 22.15 y 23.28 Kg/cm<sup>2</sup>; desviación estándar 0.17 y 0.09.

Los resultados de la resistencia a flexión en los tres tiempos, a diferencia la de la resistencia a la compresión no muestra cambios visibles. Para cada una de las dosificaciones, y en cada tiempo, los valores de resistencia a la flexión, son casi idénticos. No obstante, según la gráfica (Figura 34), se puede establecer cierta relación de la resistencia a la flexión con las dosificaciones variables de ceniza volcánica.

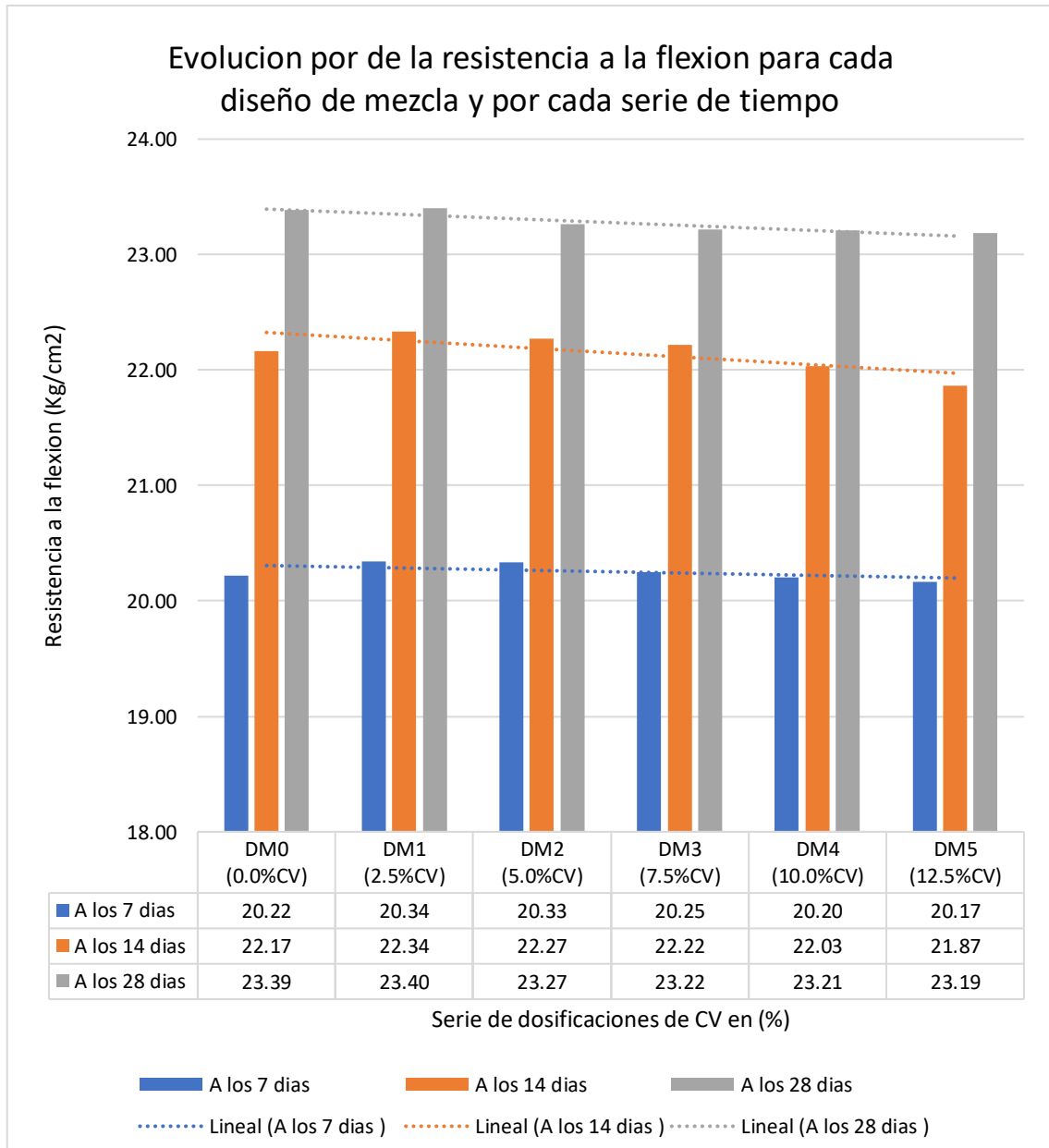
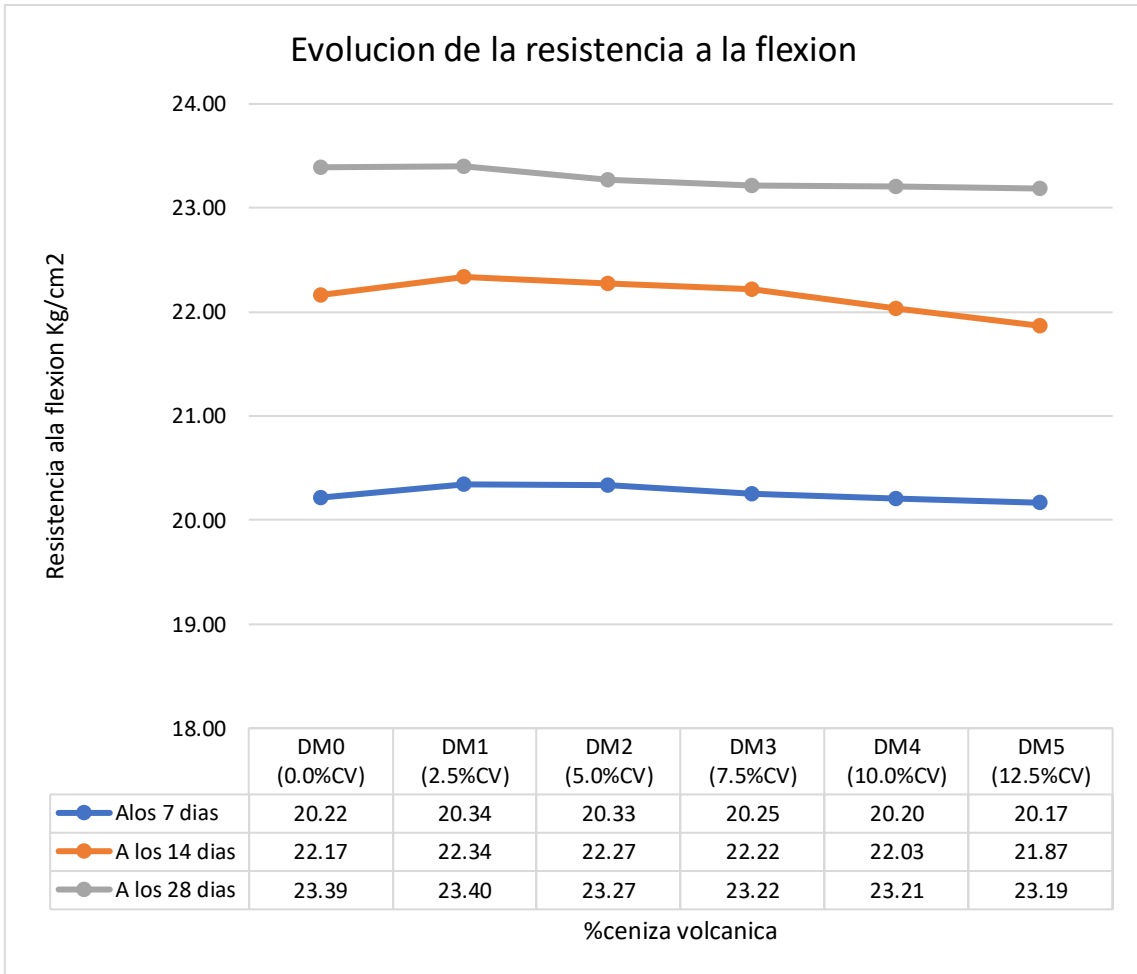


Figura 34: Variación de la resistencia a la flexión en los tres tiempos





*Figura 35:* Evolución lineal de la resistencia a flexión según dosificaciones.

En la Figura 35, se tiene la línea de las tres series de edades que se orientan según los valores de la resistencia a flexión de cada dosificación. Existe una correlación entre la ceniza volcánica y el comportamiento de la resistencia a la flexión. En este caso un aumento de la ceniza volcánica reduce la resistencia a la flexión del concreto permeable, aunque es una leve disminución, por lo que los efectos de la ceniza volcánica en esta resistencia no son significativos.

### **Prueba de normalidad (Anderson -Darling)**

La prueba de normalidad para las 6 muestras y para cada dosificación es la siguiente: a los 7 días el p-valor es de 0.431; a los 14 días p – valor es 0.599 y a los 28 días el p -valor es, 0.130, cuya grafica es figura 36, donde los datos

se ajustan a una distribución normal paramétrica.

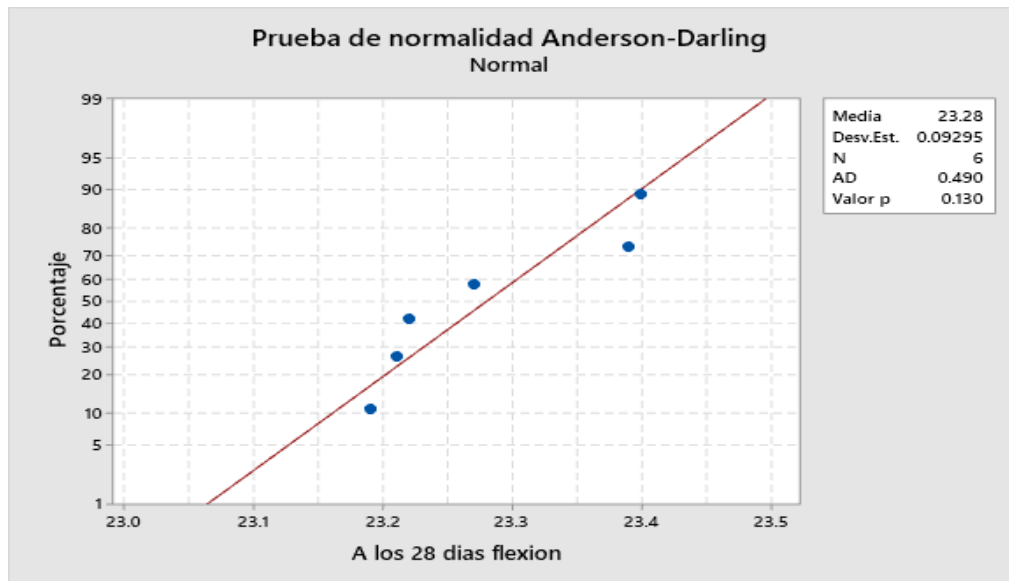


Figura 36: Prueba de normalidad a los 28 días para todas las dosificaciones. Elaboración propia.

#### 4.8. Prueba de permeabilidad

Para hacer la prueba de permeabilidad de los 6 diseños de mezcla se utilizaron probetas de diámetro igual a 10.16 cm y altura de 20.32cm.

Los ensayos de prueba se hicieron a los 28 días, utilizando un permeámetro elaborado según los lineamientos de la norma ACI 522R-10 que establece las dimensiones y consideraciones pertinentes, y cuyos parámetros de cálculo se encuentra sintetizado en la Ecuación de Darcy:

$$K = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \text{Ln} \left[ \frac{h1}{h2} \right]$$

Donde:

K: Coeficiente de Permeabilidad

L: Longitud de la Muestra A

t: Tiempo que tarda en pasar de h1 hasta h2

h1: Altura de agua medida de la parte superior de la muestra

h2: Altura de tubería de salida de agua

Elaborado el permeámetro se procedió hacer el registro de cambios de la tasa de infiltración de las 8 probetas, según la ecuación de Darcy, obteniéndose los siguientes resultados:

**Permeabilidad con diseño de mezcla (DM0) sin ceniza volcánica**

Tabla 89: Coeficiente de permeabilidad sin ceniza volcánica

PROBETA		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M1	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	10	648.59	648.59	30.0	27.0	0.214
CPP-M 2	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	10	648.59	648.59	30.0	27.0	0.214
CPP-M 3	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	11	648.59	648.59	30.0	27.0	0.195

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GGIM Ingenieros (2021)

En esta tabla que corresponde al diseño patrón, se registran una tasa de infiltración promedio de 0.222cm/s, con una desviación estándar de 0.014, estando estos valores dentro del rango que establece la ACI 522 R-10.

**Permeabilidad con diseño de mezcla 1 (DM1 = 2.5%CV)**

Tabla 90: Coeficiente de permeabilidad con ceniza volcánica = 2.5%

PROBETA		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP- M4	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	9	648.59	648.59	30.0	27.0	0.238
CPP- M5	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	10	648.59	648.59	30.0	27.0	0.214
CPP- M6	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	9	648.59	648.59	30.0	27.0	0.238

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GGIM Ingenieros

En esta tabla que corresponde al diseño con 2.5% de ceniza volcánica se registran un incremento de 4% en la tasa de infiltración respecto al del diseño de patrón, siendo el promedio de 0.230, con una desviación estándar de 0.014.

**Permeabilidad con diseño de mezcla 2 (DM2 = 5%CV)**

Tabla 91: Coeficiente de permeabilidad con ceniza volcánica = 5%

PROBETA		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M7	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	9	648.59	648.59	30.0	27.0	0.238
CPP-M8	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	9	648.59	648.59	30.0	27.0	0.238
CPP-M9	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GGIM Ingeniero

En esta tabla que corresponde al diseño con 5% de ceniza volcánica la tasa de infiltración promedio es 0.248 cm/s con una desviación estándar de 0.017.

### Permeabilidad con diseño de mezcla 3 (DM3 = 7.5%CV)

Tabla 92: Coeficiente de permeabilidad con ceniza volcánica =7.5%

PROBETA		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M10	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268
CPP-M11	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268
CPP-M12	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	9	648.59	648.59	30.0	27.0	0.238

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GGIM Ingenieros

En esta tabla que corresponde al diseño con 7.5% de ceniza volcánica la tasa de infiltración promedio alcanza 0.258 cm/s y la desviación estándar es de 0.017.

**Permeabilidad con diseño de mezcla 4 (DM4 = 10%CV)**

Tabla 93: Coeficiente de permeabilidad con ceniza volcánica =10%

PROBETA		DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M13	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	7	648.59	648.59	30.0	27.0	0.306
CPP-M14	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268
CPP-M15	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GGIM Ingenieros

En esta tabla que corresponde al diseño con 10% de ceniza volcánica la tasa de infiltración promedio llega a 0.280 cm/s y la desviación estándar es de 0.022.

**Permeabilidad con diseño de mezcla 5 (DM5 = 12.5%CV)**

Tabla 94: Coeficiente de permeabilidad con ceniza volcánica =12.5%

PROBETA		DISEÑO O (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M16	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	7	648.59	648.59	30.0	27.0	0.306
CPP-M17	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268
CPP-M18	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/2021	01/11/2021	28	20.32	7	648.59	648.59	30.0	27.0	0.306

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GGIM Ingenieros

En esta tabla que corresponde al diseño con 12.5% de ceniza volcánica se registran un aumento notable de la tasa de infiltración alcanzando un promedio de 0.293 m/s lo que significa un incremento de 32% respecto al promedio, registrado con la muestra de diseño patrón, además se verifica una variación importante de la desviación estándar en 0.02.



Tabla 95: Variación del grado de permeabilidad según las dosificaciones de CV

DM	%CV	K1	K2	K3	PROMEDIO	S
DM0	0.0%CV	0.214	0.214	0.195	0.208	0.01
DM1	2.5%CV	0.238	0.214	0.238	0.230	0.01
DM2	5.0%CV	0.238	0.238	0.268	0.248	0.02
DM3	7.5%CV	0.268	0.268	0.238	0.258	0.02
DM4	10.0%CV	0.306	0.268	0.268	0.280	0.02
DM5	12.5%CV	0.306	0.268	0.306	0.293	0.02

Elaboración propia. Fuente Laboratorio GGIM INGENIERO (2021)

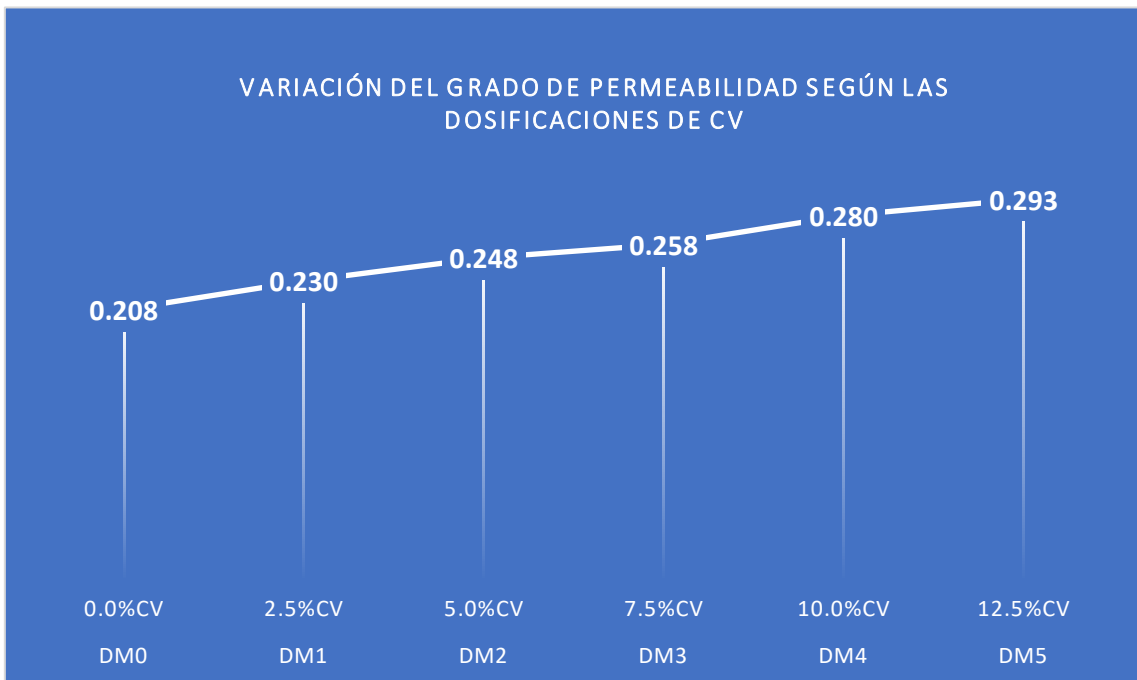


Figura 37: Variación del coeficiente de permeabilidad con dosificaciones de CV. Elaboración propia.

Según el Tabla 95 y la figura 37, el coeficiente de permeabilidad entre el diseño de mezcla patrón DM0 y el diseño de mezcla DM5=12.5%CV, aumenta en 30%. Se puede observar un aumento continuo del coeficiente de permeabilidad cada vez que se adiciona más ceniza volcánica a la mezcla. En este caso se relaciona con la disminución de la resistencia a la compresión.

## Prueba de normalidad (Anderson – Darling)

La prueba de normalidad del coeficiente de permeabilidad a los 28 días y para todas las dosificaciones es la siguiente: p-valor es igual a 0.568, tal como se indica en la figura 38, donde se observa una distribución regular paramétrica, de los datos de las muestras.

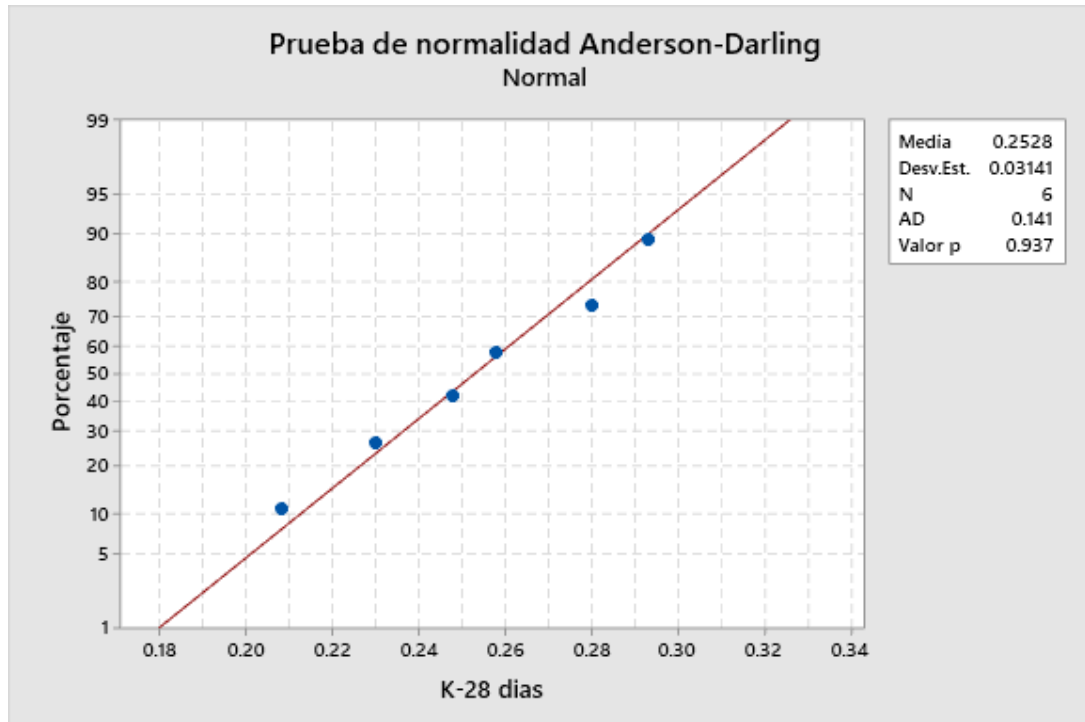


Figura 38: Distribución paramétrica de los datos de k.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. La ceniza volcánica modifica las propiedades mecánicas del concreto permeable convencional $f'c = 210\text{Kg/cm}^2$

Según el Massachusetts Institute of Technology (MIT), la ceniza volcánica tiene propiedades idénticas al cemento hasta un 90%, por la presencia de puzolanas y como tal puede modificar las propiedades mecánicas del concreto permeable en términos de su resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y su coeficiente de permeabilidad, este cambio oscila entre 1.5 a 10%, sea incrementando o disminuyendo el comportamiento de las propiedades mecánicas.

En la figura 39 se puede visualizar en naranja los valores de resistencia a la compresión y en amarillo los valores de la resistencia a la flexión. Se

verifica una mayor influencia de la ceniza volcánica en el comportamiento de la resistencia a la compresión: Inicialmente entre las dosificaciones 2.5% y 5% de ceniza volcánica, la resistencia a la compresión del concreto permeable, aumenta ligeramente, hay un incremento de 1.8% respecto al DM0, luego empieza a disminuir hasta 188 Kg/cm<sup>2</sup>, que corresponde al DM5 =12.5%CV. En cambio, en el caso de la resistencia a la flexión, la ceniza volcánica no muestra un efecto significativo. No se puede establecer una correlación significativa entre la ceniza volcánica y la resistencia a la flexión, toda vez que el incremento es apenas de 0.04%, respecto al DM0=0.00%CV.

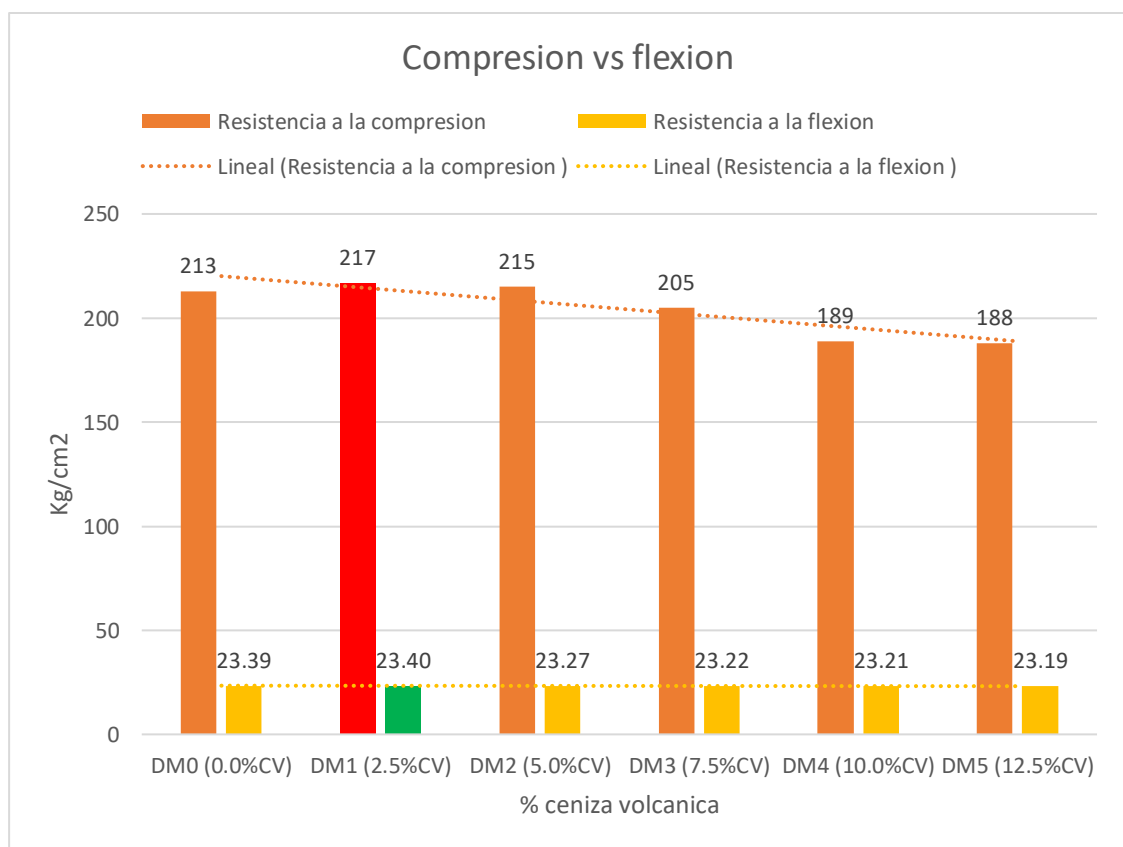


Figura 39: Variación comparativa entre la resistencia a compresión vs resistencia a la flexión.

No se han encontrado estudios relacionados a concretos permeables con ceniza volcánica, que explique la evolución de la resistencia a la compresión. No obstante Jaigua & Vásquez (2010), obtuvo el siguiente resultado, para un concreto hidráulico (Figura 40), donde se demuestra que un aumento en la dosis de ceniza volcánica puede disminuir la resistencia a la compresión.

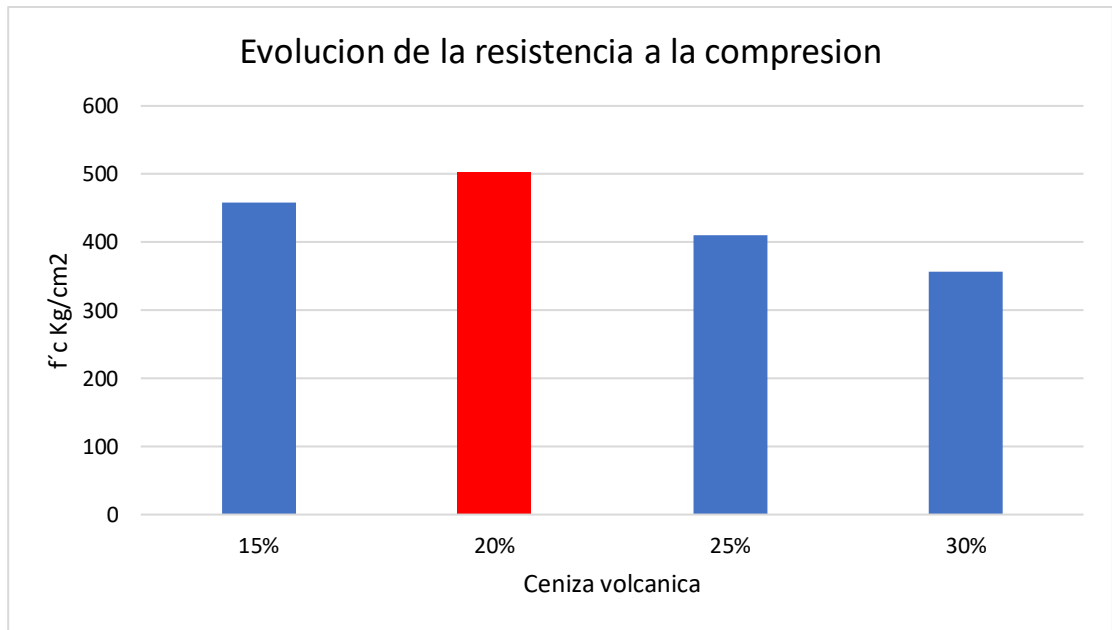


Figura 40: Evolución de la resistencia a la compresión según Jaigua & Vásquez (2010)

En otra investigación Palacios & Orejuela (2019), también en concretos hidráulicos, demostraron que, hasta una cierta dosis, la ceniza volcánica puede aumentar la resistencia del concreto, tal como se indica en la siguiente figura:

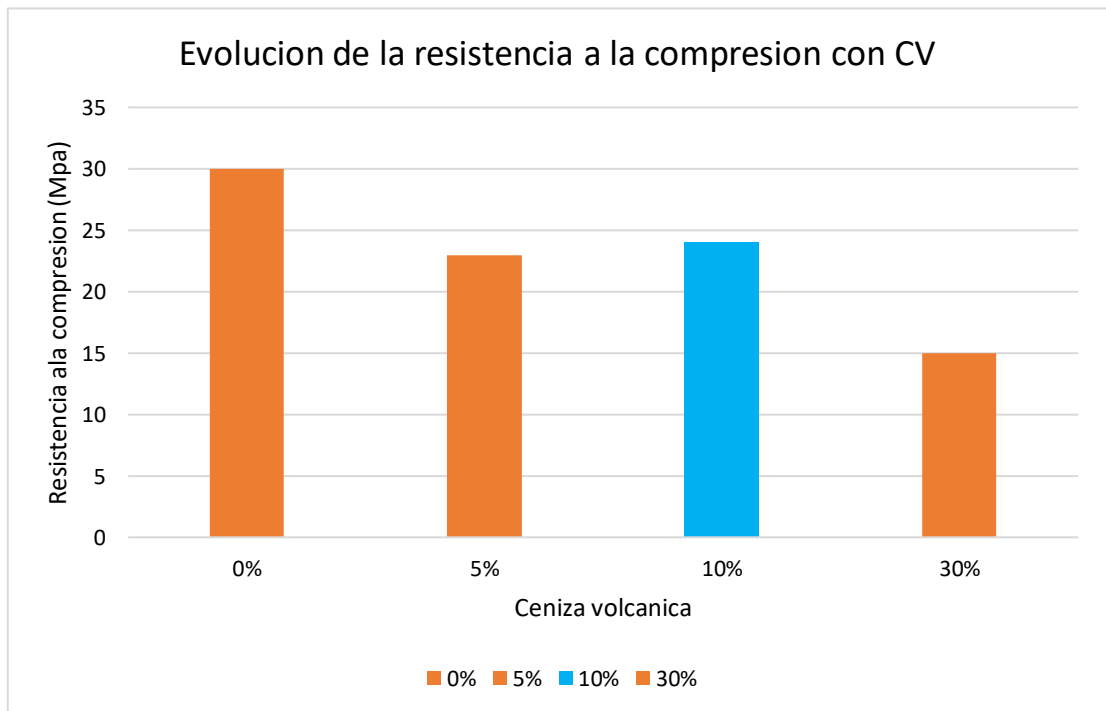


Figura 41: Evolución de la resistencia a la compresión según Palacios & Orejuela (2019).

Por otro lado, la dosis de ceniza volcánica no solamente puede modificar el comportamiento de la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del concreto; también tiene influencia importante en el grado de permeabilidad del concreto y en este último caso, los efectos de la ceniza volcánica son más significativos.

Al establecer una correlación entre estas tres dimensiones: Compresión, flexión y permeabilidad, en función a los porcentajes de dosis de la ceniza volcánica se comprueba que si hay cambios en las propiedades mecánicas del concreto permeable.

Utilizando el programa MINITAB, mediante las correlaciones en parejas de Pearson, se confirma la hipótesis del investigador toda vez que el p-valor es menor a 0.05. no obstante en el caso de la relación entre la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión no se rechaza la hipótesis nula (Tabla 96), ya que el p-valor es 0.055.

Tabla 96: Correlación de variables y dimensiones

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95% para $\rho$	Valor p
Resistencia a la compresión	%CV	-0.897	(-0.989; -0.314)	0.015
Resistencia a la flexión	%CV	-0.929	(-0.992; -0.475)	0.007
K	%CV	0.996	(0.958; 1.000)	0
Resistencia a la flexión	Resistencia a la compresión	0.802	(-0.026; 0.977)	0.055
K	Resistencia a la compresión	-0.878	(-0.987; -0.229)	0.022
K	Resistencia a la flexión	-0.918	(-0.991; -0.418)	0.01

Elaboración propia. Fuente Minitab

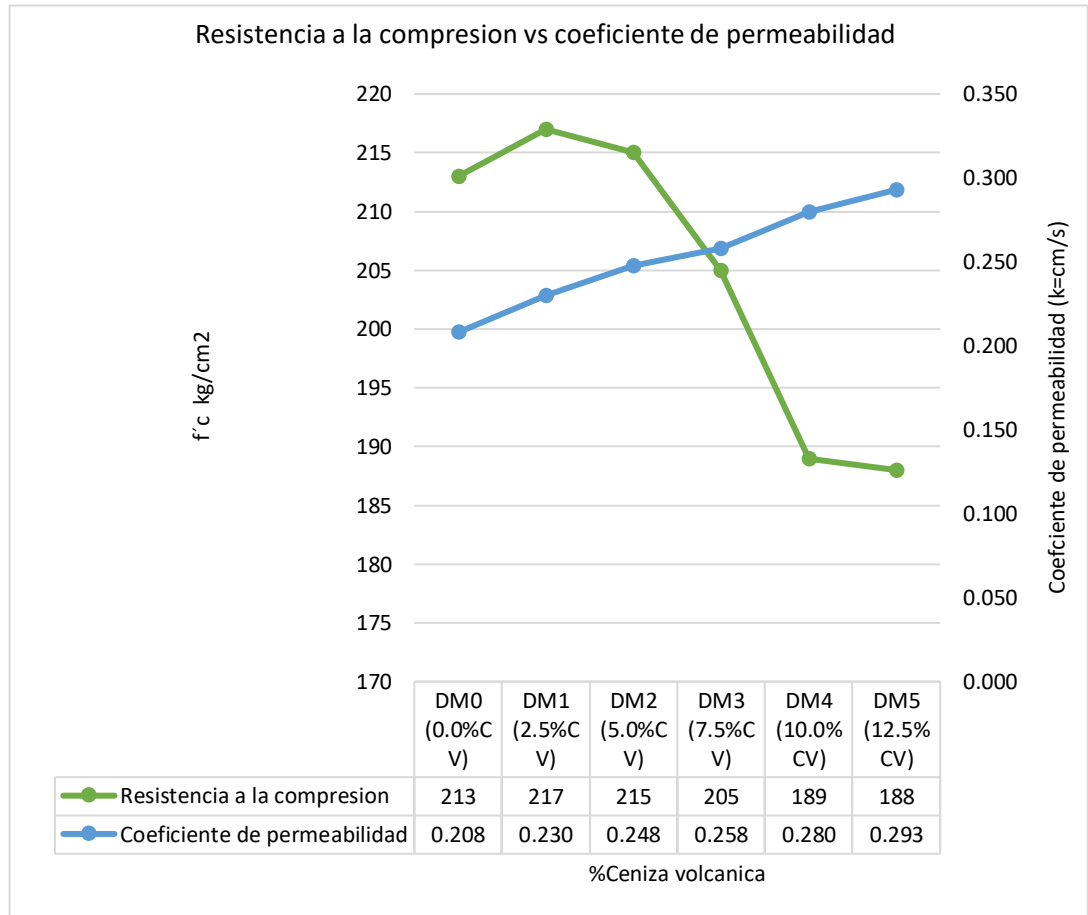


Figura 42: Relación resistencia a la compresión y coeficiente de permeabilidad.

Según la gráfica (Figura 42), a partir de la dosificación 7.5%CV se muestra una clara disminución de la resistencia a la compresión mientras que, el coeficiente de permeabilidad (k), sigue la tendencia del incremento sostenido. A partir de este punto, existe una correlación de  $-0.878$ , entre ambas dimensiones.

En la Figura 43, se puede establecer una correlación entre la variación en el valor de la resistencia a la flexión y los valores del coeficiente de permeabilidad. El descenso de la flexión a partir de la dosificación 2.5%CV indica un nivel de correlación de -0.918, con el comportamiento del coeficiente de permeabilidad (k). esto es una correlación negativa de alta significancia.

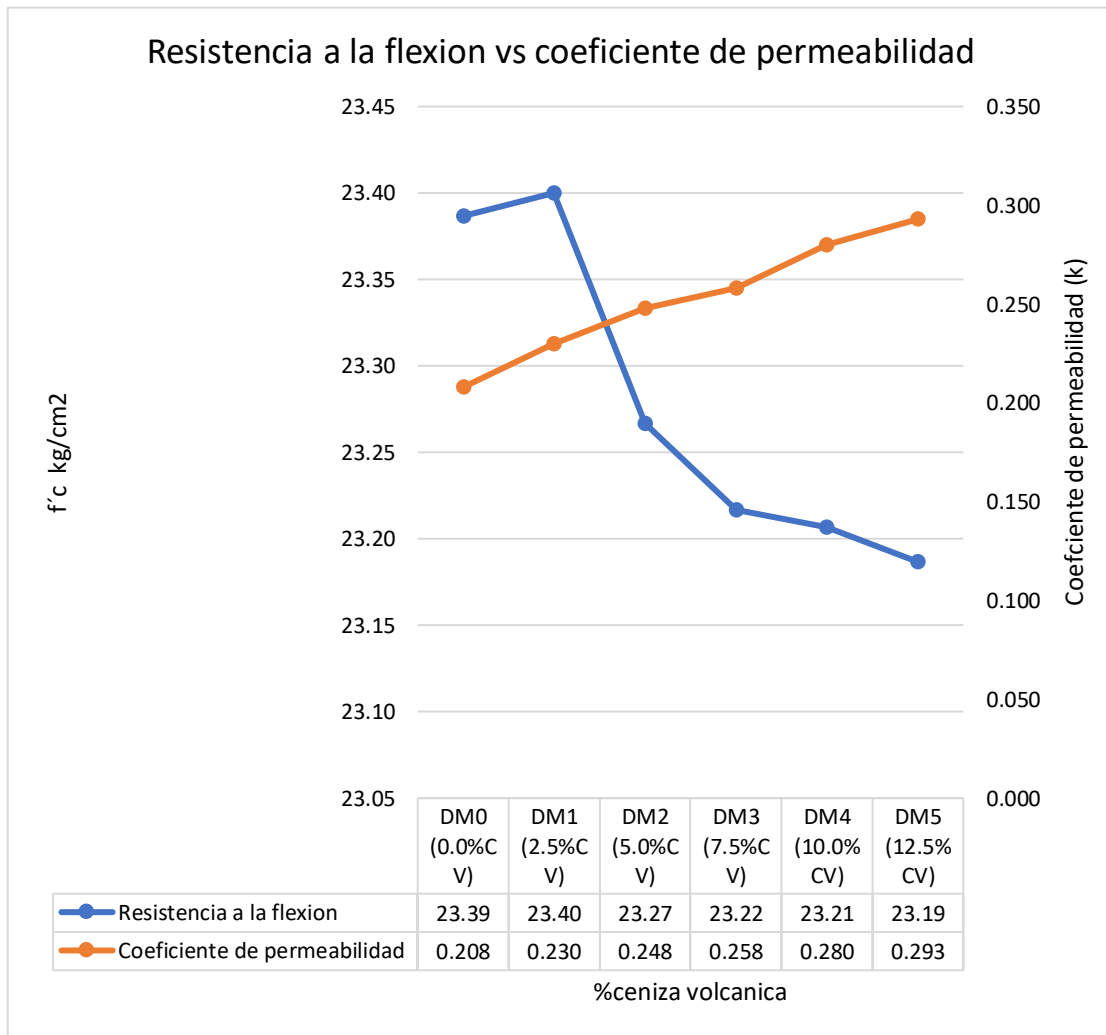


Figura 43: Relación resistencia a la flexión y coeficiente de permeabilidad.

Sobre la base de estas correlaciones y, la similitud y el paralelismo de los resultados obtenidos por diferentes autores mencionados, se valida la hipótesis general, que establece: La ceniza volcánica modifica las propiedades mecánicas del concreto permeable convencional 210Kg/cm<sup>2</sup>.

## 5.2. La ceniza volcánica afecta la resistencia a la compresión del concreto permeable convencional $f'c = 210\text{Kg/cm}^2$

La ceniza volcánica puede modificar la resistencia a la compresión del concreto permeable. En esta investigación se comprueba esos cambios: Hasta una cierta dosis la ceniza volcánica, incrementa la resistencia y después lo disminuye. Una dosis de 2.5% de ceniza volcánica aumenta la resistencia hasta  $217\text{Kg/cm}^2$ . No obstante a partir de la dosis del 5%, empieza la disminución de la resistencia a la compresión siendo la más baja cuando la dosificación es de 12.5%, donde la resistencia a la compresión llega a  $188\text{ kg/cm}^2$  (Figura 44).

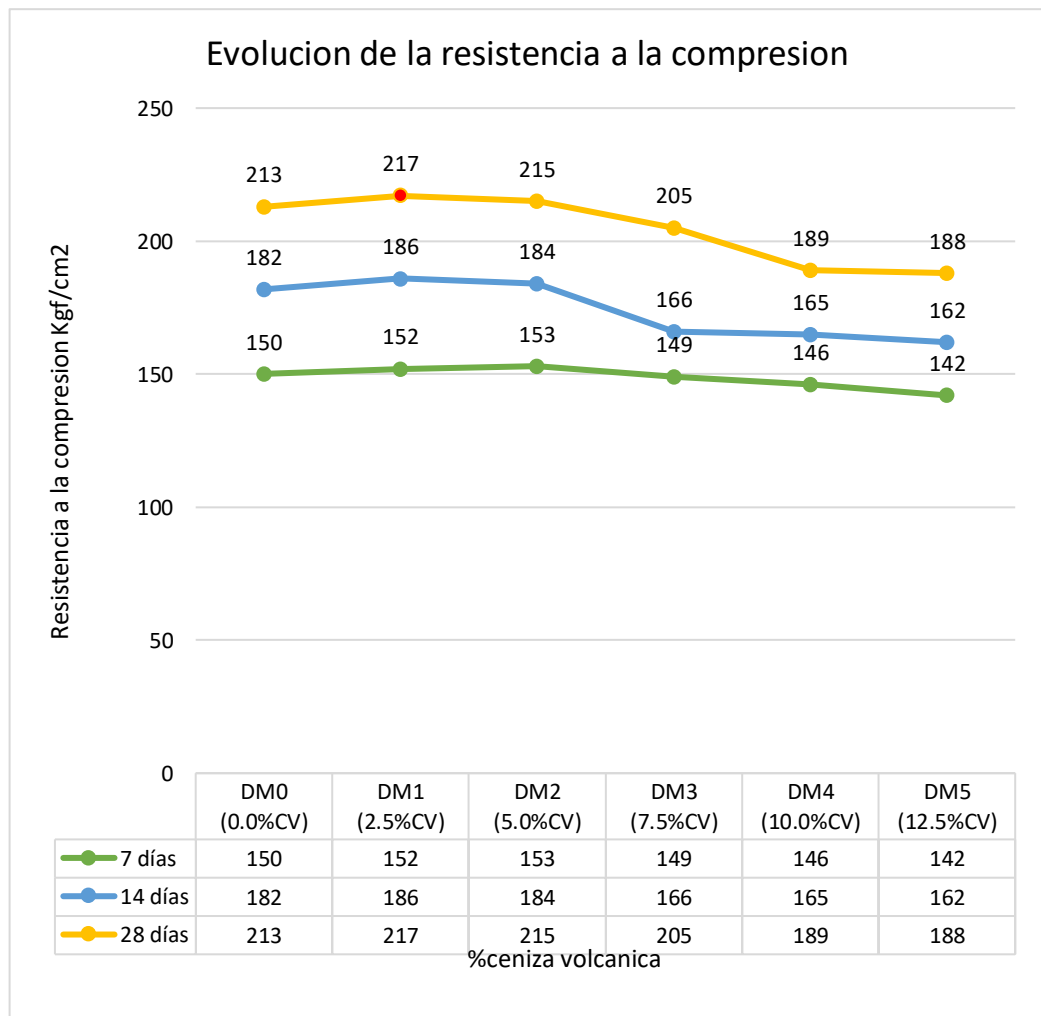


Figura 44: Cambios en la resistencia a la compresión según el grado dosificaciones con ceniza volcánica.



Al respecto Moujir & Castañeda (2014) al utilizar el agregado fino en su elaboración de concreto permeable, obtienen una resistencia a la compresión a los 28 días de 233 Kg/cm<sup>2</sup>, y sin agregado fino una resistencia a la compresión a los 28 días de 179 Kg/cm<sup>2</sup>. En el primer diseño con agregado fino se observa claramente que con este material se obtiene una resistencia a la compresión alta tal como ocurre con la mezcla del diseño patrón de la presente investigación, que alcanza 213Kg/cm<sup>2</sup>, a pesar de no tener agregado fino.

Por otro lado, Jaigua & Vázquez (2015): ha demostrado que se puede mejorar la resistencia del concreto al reemplazar el cemento en una proporción determinada por una cantidad de ceniza volcánica. La resistencia máxima que lograron obtener fue de 503kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días con un contenido de ceniza volcánica del 20%, siendo esta la dosificación óptima para un concreto convencional de tipo estructural, enriquecido con ceniza volcánica, donde no considera la permeabilidad, por lo que incorpora el agregado fino.

Ilham & Amir (2018) demostraron que la composición de ceniza volcánica como ingredientes añadidos, genera mayor resistencia a la compresión con la adición de 5% y 10% de cenizas volcánicas llegando a soportar 21,73 MPa y 30,40 MP. Por otro lado, la adición en 15%, 20% y 25%, de cenizas volcánicas, respectivamente, disminuyó la resistencia a la compresión de 24,27 MPa, 18,13 MPa y 16,26 MPa, respectivamente. Sobre estas pruebas se obtuvo que la mejor composición para el uso de cenizas volcánicas como un material aditivo, para incrementar la resistencia a la compresión, es igual a 10% del peso del cemento (Figura 45).

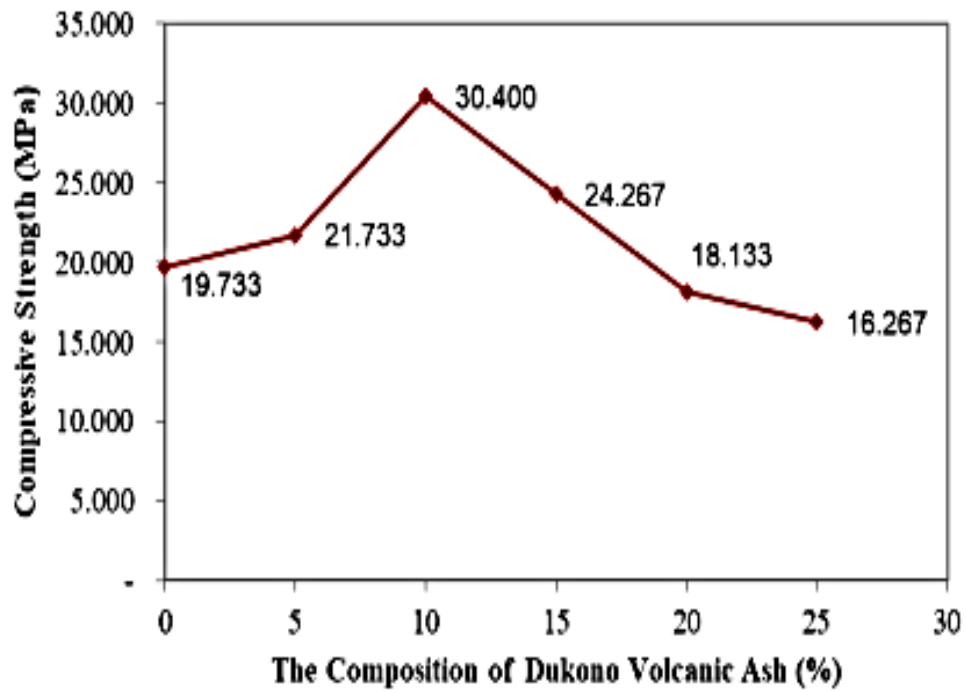


Figura 45: Evolución de la resistencia a la compresión con ceniza volcánica según Ilham & Amir (2018)

Para Hermosa (2019), inicialmente el concreto convencional con dosis de ceniza volcánica tiene un comportamiento mecánico similar a la resistencia generada por el cemento Yura, con un promedio comprobado de 24 MPa; pero luego hay una disminución repentina en la resistencia a compresión, cuando se incorpora una mayor dosis de ceniza volcánica, bajando hasta 15MPa. (Figura 46).

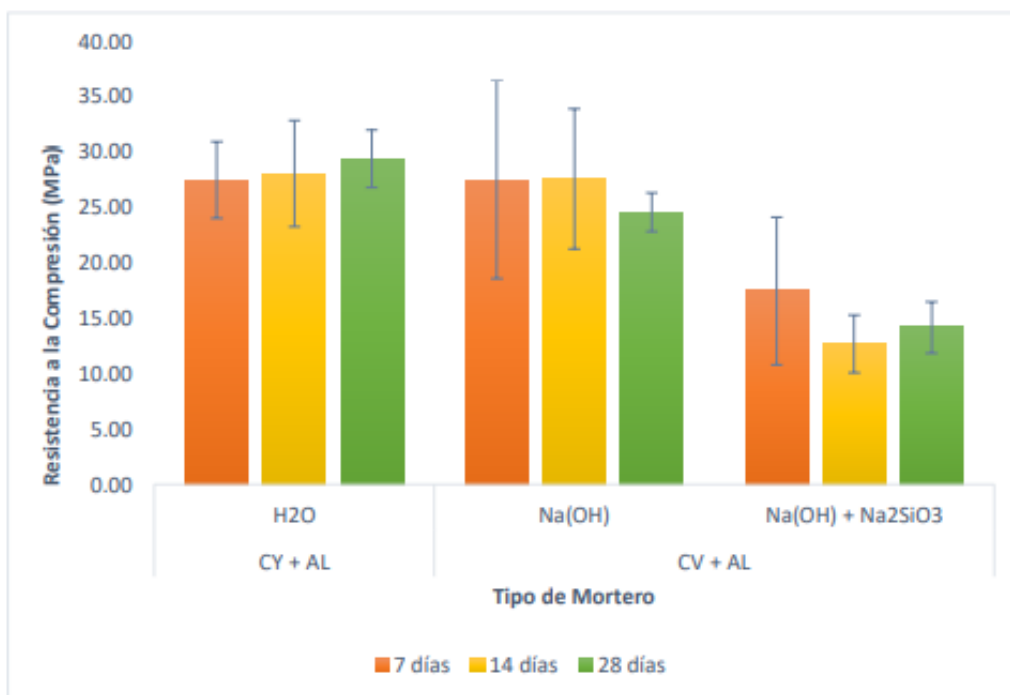


Figura 46: Variación de la resistencia a la compresión según Hermosa (2019)

En tanto, para Jaigua & Vásquez (2015), la máxima resistencia a la compresión obtenida para un concreto hidráulico, alcanzo los 503K/cm<sup>2</sup> siendo 20% de ceniza volcánica la cantidad óptima para esta resistencia. Luego se reporta una disminución de la resistencia para dosis mayores de 25 y 30%, bajando a 410 y 257Kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Igual tendencia se verifico en los cálculos de Mendoza (2017) y Palacios & Orejuela (2019), tal como se muestra en el Tabla 97 y Figura 65.

Tabla 97: Variación de la resistencia a la compresión según diferentes tesis de investigación.

Niveles de resistencia a la compresión alcanzados según diferentes autores							
%CV	Quiliche (2019)	Palacios & Orejuela (2019)	Mendoza (2017)	Carrera & Lino (2021)	Ayquipa (2021)	Jaigua & Vásquez (2015)	Ilham & Amir (2018)
0.0	214	296	231	213	384		
2.5				217			
4.0	215						
5.0		235		215			222
7.5				205			
8.0	220						
10.0		248	261	189			310
12.0	235						
12.5				188			
15.0	253		207			458	248
20.0			187			503	185
25.0						410	166
30.0		153				357	

Elaboración propia.

En la Tabla 97, se observa diferentes valores de resistencia a la compresión y su correlación con la serie de dosificaciones de ceniza volcánica. Sin embargo, en todos los casos se trata de concreto hidráulico, que incorpora agregados finos. No se reporta concreto permeable.

En la Figura 47, se observa una tendencia a la disminución en la resistencia a la compresión y por lo tanto se puede establecer un paralelismo o el mismo patrón de configuración geométrica, para los resultados en esta investigación que corresponde al diseño de un concreto permeable con ceniza volcánica.

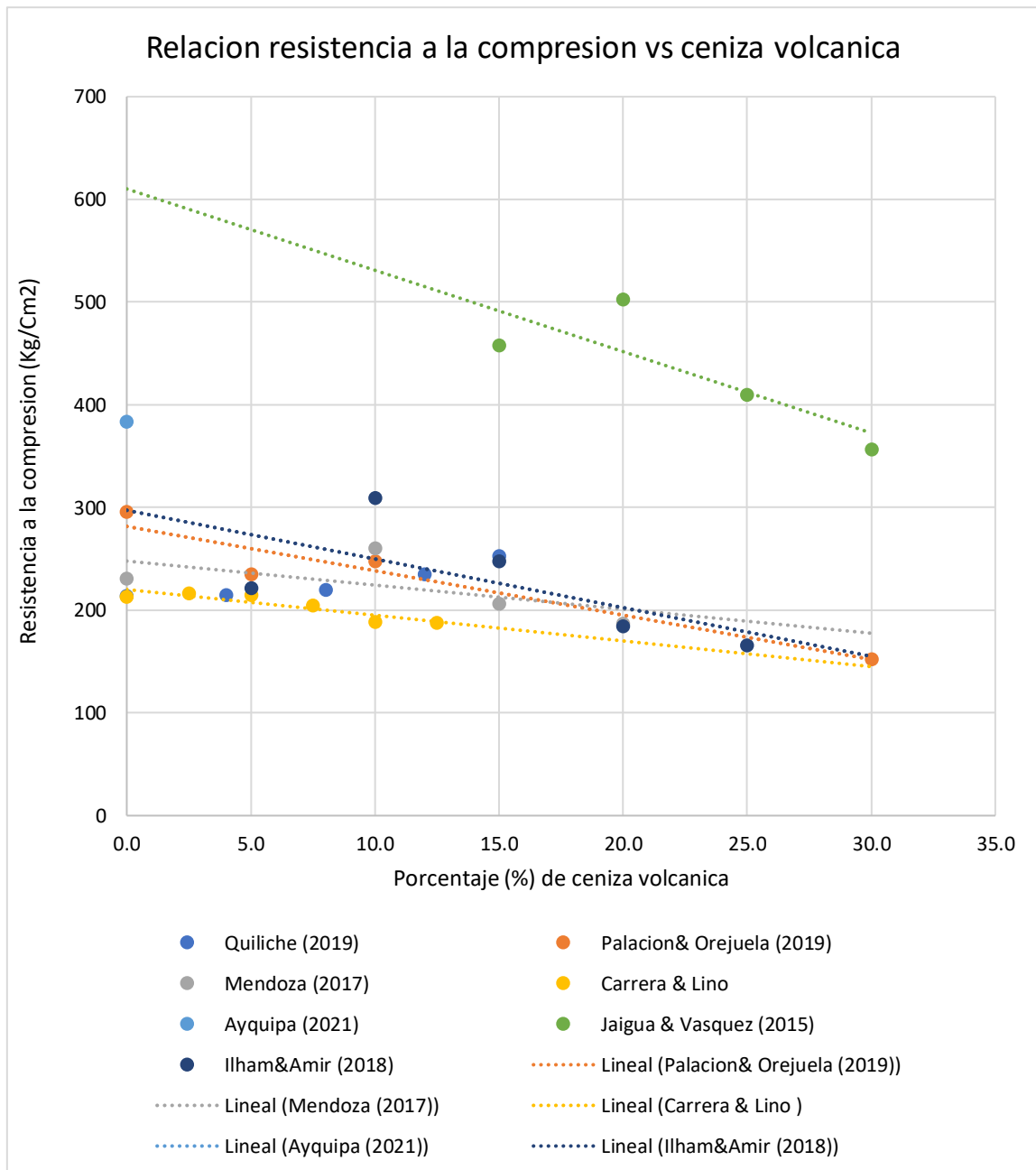


Figura 47: Comportamiento de la resistencia a la compresión según las dosificaciones de ceniza volcánica.

De acuerdo con el Minitab, la correlación en parejas de Pearson entre ceniza volcánica y resistencia a la compresión es de -0.897, esta es una correlación negativa de alta significancia. Se concluye entonces que, a mayor dosis de ceniza volcánica, empieza la disminución de la resistencia a la compresión, del concreto permeable (Tabla 98).

Tabla 98: Correlación de CV vs resistencia a la compresión.

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95% para $\rho$	Valor p
%CV	Resistencia a la compresión	-0.897	(-0.989; -0.314)	0.015

Elaboración propia

En la siguiente figura (Figura 48), se observa una distribución regular de los datos lo que demuestra que las muestras tienen gran valor estadístico y como tal permite validar las correlaciones.

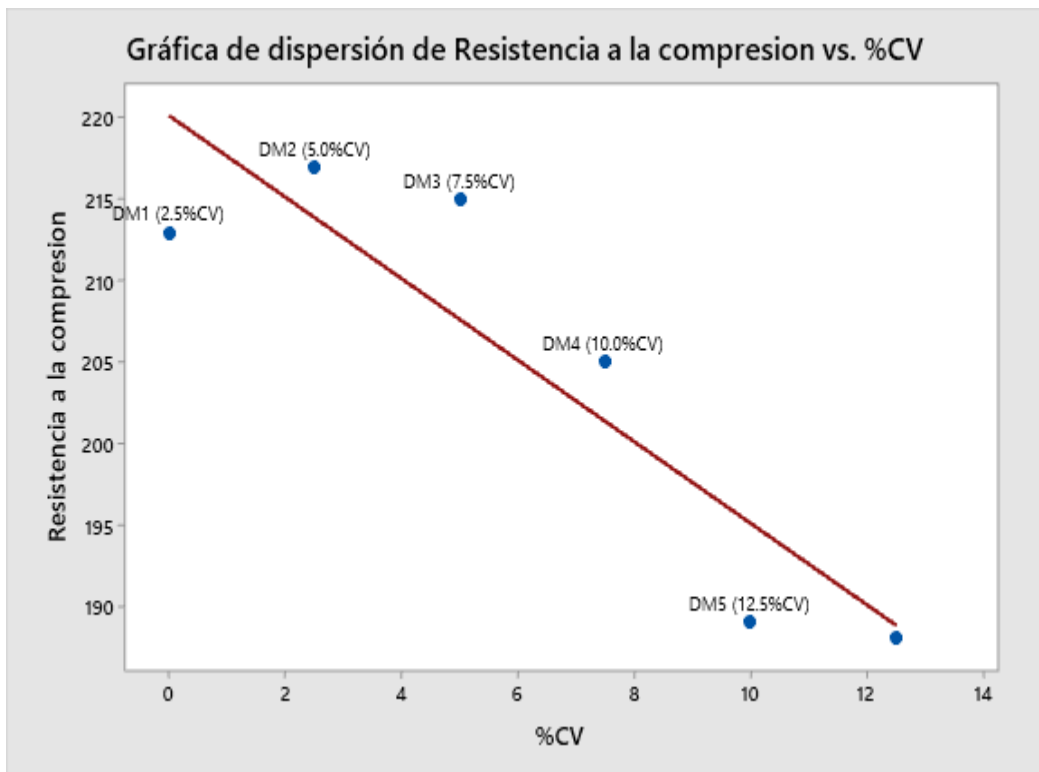


Figura 48: Dispersión de la resistencia a la compresión vs ceniza volcánica. Fuente Minitab.

Por lo tanto, se concluye que la ceniza volcánica si afecta la resistencia a la compresión del concreto permeable convencional  $f'c = 210\text{Kg/cm}^2$ , por la que queda validada la primera hipótesis específica.

### 5.3. La ceniza volcánica afecta en la resistencia a la flexión del concreto permeable convencional $f'c = 210\text{Kg/cm}^2$

En este caso, se puede comprobar que la ceniza volcánica no tiene incidencia significativa en la resistencia a flexión del concreto permeable (Figura 49). Con respecto a los valores de la mezcla patrón ( $23.39\text{kg/cm}^2$ ), la variación respecto al valor máximo obtenido ( $23.40\text{ kg/cm}^2$ ), que corresponde a la dosificación 2.5%CV, es solo  $\pm 0.04\%$ . (Figura 17).

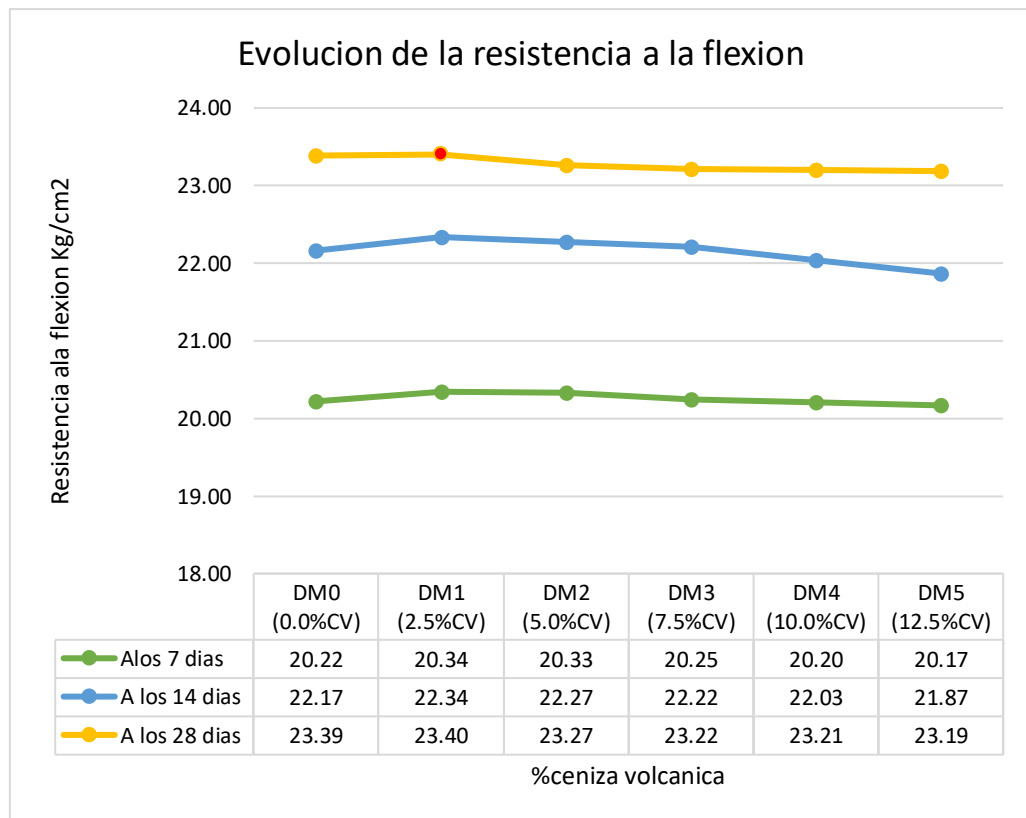


Figura 49: Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la flexión del concreto permeable. Elaboración propia.

A los 28 días la resistencia a la flexión con ceniza volcánica, en todas las dosificaciones se obtiene una resistencia media de  $23.28\text{kg/cm}^2$  y una desviación estándar de 0.06. Este valor de desviación estándar es un indicador importante que demuestra que los datos o valores de la resistencia a la compresión, en las 6 dosificaciones diferentes, no muestra una dispersión irregular, sino una distribución regular de alta homogeneidad. Se puede asegurar que no hay cambios significativos en el comportamiento mecánico del concreto permeable en su resistencia a

flexión, al variar las dosificaciones de ceniza volcánica; sin embargo, son valores que se encuentran dentro de los rangos de valores para un concreto permeable que establece la Norma ACI 522 R.

Para la norma ACI 522 R-10 lo valores de resistencia a la flexión de un concreto permeable debe estar entre 10 a 38 Kg/cm<sup>2</sup>, además menciona que el módulo de rotura debe ser un 10% o 20% de la resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos en esta investigación cumplen con los rangos establecidos por la norma ACI.

Mendoza (2017), en su trabajo de tesis obtuvo los siguientes resultados de resistencia a la flexión para un concreto convencional adicionando cenizas volcánicas, a los 60 días, en las siguientes proporciones: 0% (24 Kg/cm<sup>2</sup>), 10% (28 Kg/cm<sup>2</sup>), 15% (23 Kg/cm<sup>2</sup>) y 20% (20 Kg/cm<sup>2</sup>), con estos datos se genera una línea media que no presenta mucha pendiente, la cual es idéntica a lo obtenido en esta investigación, tal como se muestra en la siguiente figura:

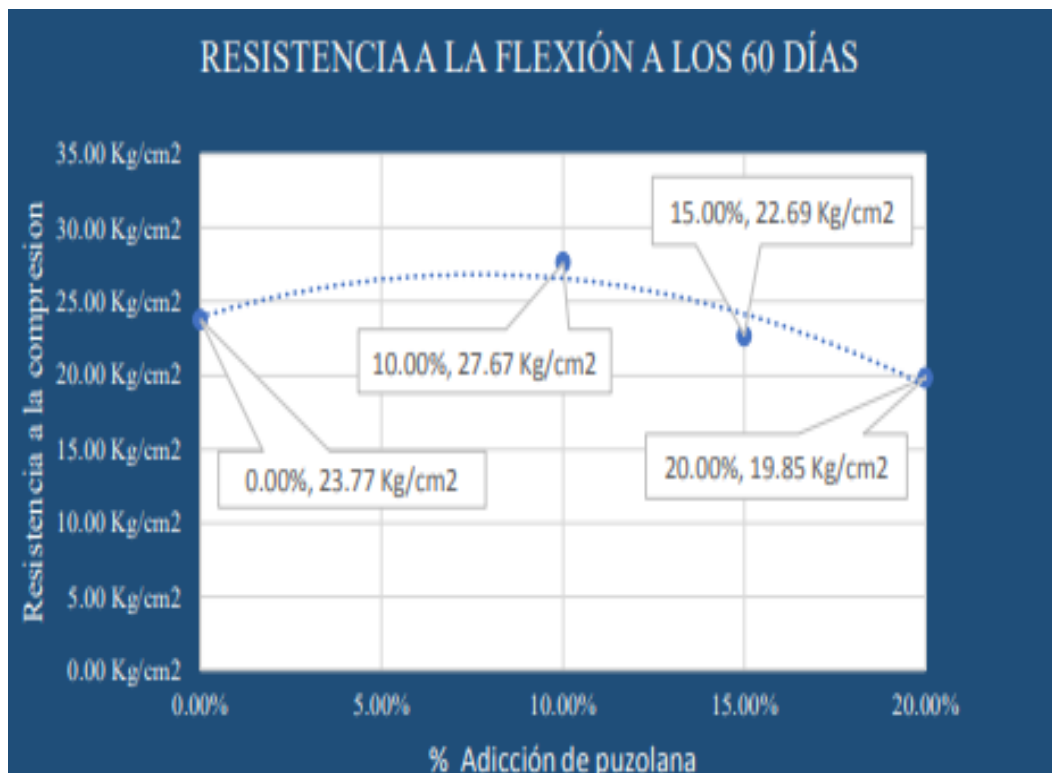


Figura 50: Variación de la resistencia a la flexión según Mendoza (2017)



En las correlaciones en parejas de Pearson, se establece una correlación de alta significancia en torno a -0.929. existe una correlación negativa alta entre la ceniza volcánica y la resistencia a la flexión (Tabla 99).

Tabla 99: Correlación CV y resistencia a la flexión.

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95% para ρ	Valor p
%CV	Resistencia a la flexión	-0.929	(-0.992; -0.475)	0.007

Elaboración propia

Se puede afirmar entonces que, al 95% de confianza, la adición de la ceniza volcánica en reemplazo del cemento Portland de Tipo I, no cambia significativamente la resistencia a la flexión del concreto permeable, no obstante, un incremento de la dosis, la afecta reduciéndola, por lo que queda demostrada la segunda hipótesis específica: La ceniza volcánica afecta en la resistencia a la flexión del concreto permeable convencional  $f'c = 210\text{Kg/cm}^2$ .

#### **5.4. La ceniza volcánica afecta el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable convencional $f'c = 210\text{Kg/cm}^2$ .**

El incremento de la ceniza volcánica en reemplazo del Cemento Portland de Tipo I aumenta el coeficiente de permeabilidad del concreto. Las dosificaciones del 2.5, 5, 7.5, 10 y 12.5% de cenizas volcánicas, en reemplazo del cemento, tiene efectos significativos en el coeficiente de permeabilidad, al aumentar más vacíos en el concreto permeable, tal como se demuestra en la presente investigación. Con 12.5% de ceniza volcánica, el coeficiente de permeabilidad es de 0.293 cm/s (Figura 51).

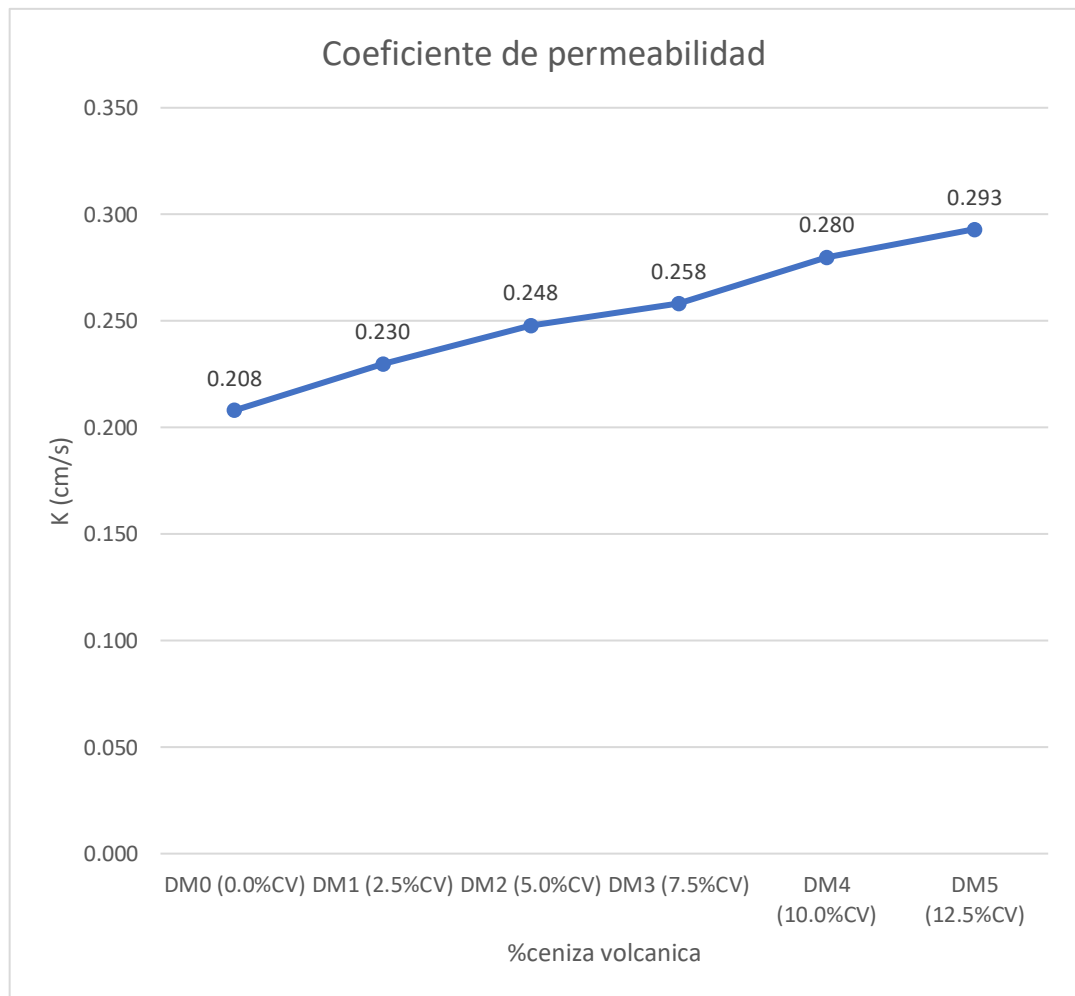


Figura 51: Variación del coeficiente de permeabilidad según el grado de dosificaciones. Elaboración propia.

Al respecto, no se ha encontrado información competente que explique la relación que hay entre la ceniza volcánica y el coeficiente de permeabilidad.

Sin embargo, Bautista (2018), al diseñar un concreto permeable con 15% de vacíos y sin agregado fino (D1), obtuvo un coeficiente de permeabilidad de 0.9cm/s, el mismo que corresponde a una mezcla de baja resistencia a la compresión (51Kg/cm<sup>2</sup>) y una resistencia a la flexión de 22.35 kg/cm<sup>2</sup>. En cambio, con agregado fino y 10% de vacíos (D5), los resultados fueron 0.2cm/s de coeficiente de permeabilidad, 178Kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión y 45.07Kg de resistencia a la flexión. Se demuestra entonces que un aumento del coeficiente de permeabilidad tiene que ver con un descenso en la resistencia a la compresión (Figura 52).

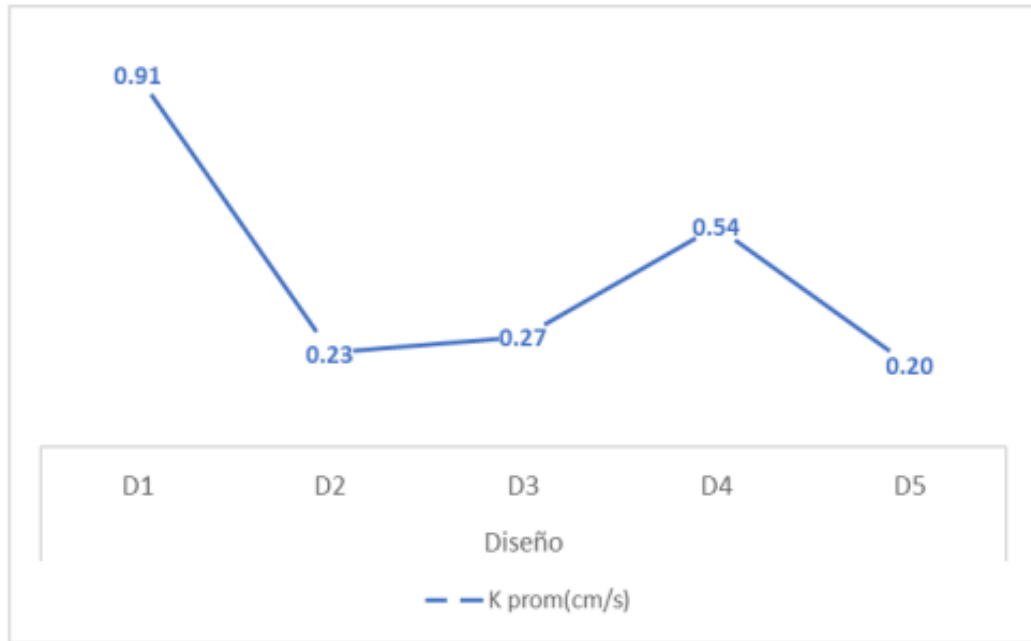


Figura 52: Variación del coeficiente de permeabilidad según Bautista (2018).

De acuerdo con la Norma de ACI 522 R-10 el coeficiente de permeabilidad de un concreto permeable se debe encontrar entre 0.110 y 1.22 cm/s. En esta investigación, los valores obtenidos en todas dosificaciones se encuentran dentro del rango establecido por ACI 522 R, por lo que se trata de un concreto permeable valido (Tabla 100).

Tabla 100: Incremento porcentual de k respecto a k patrón.

Diseño de mezcla	K de PP	k de PPCV	Diferencia k	%Variación
DM0 (0.00%CV)	0.208	0.208	0.000	0
DM1 (2.50%CV)	0.208	0.230	0.022	11
DM2 (5.0%CV)	0.208	0.248	0.040	19
DM3 (7.5%CV)	0.208	0.258	0.050	24
DM4 (10.0%CV)	0.208	0.280	0.072	35
DM5 (12.5%CV)	0.208	0.293	0.085	41

Elaboración propia.

Por lo tanto, la dosificación de la ceniza volcánica si influye en el incremento del coeficiente de permeabilidad, toda vez que se reduce la

resistencia a la compresión. Por lo que se puede llegar a la siguiente explicación: A mayor cantidad de ceniza volcánica en la mezcla, mayor es el coeficiente de permeabilidad y este tiene relación también con la reducción de la resistencia a la compresión.

Los efectos significativos de la ceniza volcánica en el coeficiente de permeabilidad, se ve en la Figura 53. El incremento de  $k$ , en este caso, entre el diseño de mezcla patrón y el diseño de mezcla del 12.5% con ceniza volcánica, es del 41%.

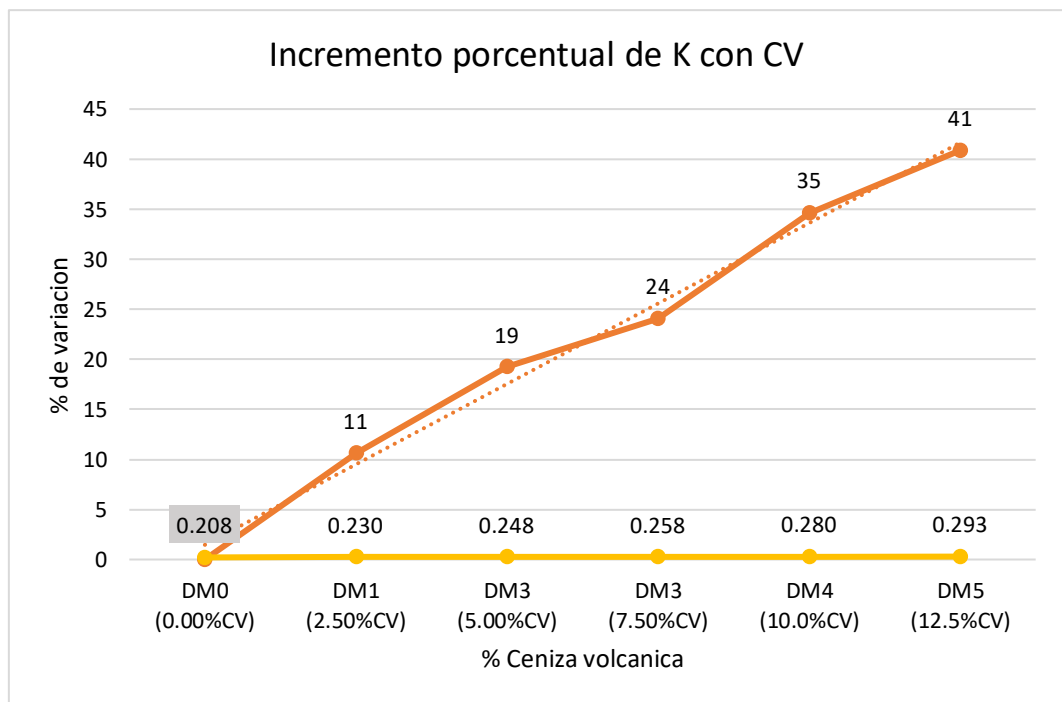


Figura 53: Variación porcentual de  $k$ . elaboración propia.

A diferencia de la resistencia a la compresión y de la resistencia a la flexión, a pesar de que la correlaciones con la ceniza volcánica son altas, los efectos de la ceniza volcánica en el coeficiente de permeabilidad es lo contrario. La correlación en este caso es alta y positiva, de gran significancia, tal como se comprueba con el programa Minitab (Tabla 102).

Tabla 101: Correlaciones en parejas de Pearson entre CV vs K

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95% para $\rho$	Valor p
%CV	K	0.996	(0.958; 1.000)	0

Elaboración propia

Además, en la gráfica de dispersión entre k y %CV, los datos de ambas dimensiones, presentan una distribución regular y homogénea, por lo que queda demostrada la alta correlación positiva entre ambas dimensiones (Figura 54) a la vez que se valida categóricamente la tercera hipótesis específica.

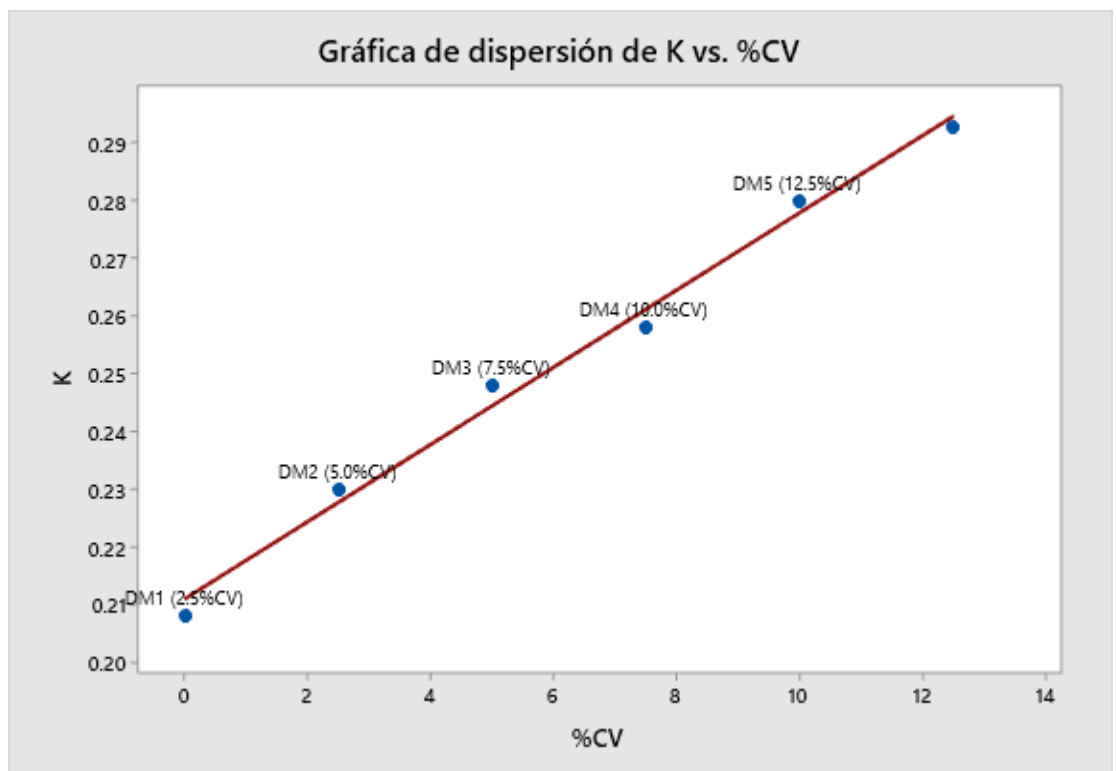


Figura 54: Grafica de dispersión de K vs %CV.

## VI. CONCLUSIONES

Existe una correlación paramétrica suficiente entre el grado de dosificación de la ceniza volcánica en la mezcla y los cambios en las propiedades mecánicas del concreto permeable.

Existe una correlación positiva y negativa entre las dosificaciones porcentuales de la ceniza volcánica y los cambios puntuales en el comportamiento de la resistencia a compresión del concreto permeable. Inicialmente las dos dimensiones; dosificación y resistencia a la compresión aumentan y luego varían inversamente. La variación oscila en torno a 1.9%, respecto al concreto patrón y el máximo valor obtenido con 2.5% de ceniza volcánica.

Existe una relación poco significativa entre la ceniza volcánica y la resistencia a la flexión, por eso si se incrementa la cantidad de ceniza volcánica, esta resistencia no aumenta ni disminuye considerablemente como si ocurre con la resistencia a compresión. En la flexión el cambio es apenas el 0.04% respecto al concreto patrón y la máxima resistencia obtenida con 2.5% de ceniza volcánica.

Existe una relación significativa entre la ceniza volcánica y el coeficiente de permeabilidad. El aumento de la ceniza volcánica en la mezcla puede incrementar de manera sostenida, el grado de permeabilidad del concreto, hasta un 41% en el caso de la dosificación del 12.5% de ceniza volcánica, con respecto al diseño de mezcla  $DM0=0.00\%CV$ .

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda demostrar con más número de muestras la correlación paramétrica entre el grado de dosificación de la ceniza volcánica en la mezcla y los cambios en las propiedades mecánicas del concreto permeable, toda vez que se advierte valores muy diferenciados en las diferentes investigaciones abordadas en esta tesis.

Se recomienda hacer un diseño de mezcla que incorpore agregado grueso de tamaño estándar, de preferencia en torno a 3/4" que modifique la correlación positiva y negativa entre las dosificaciones porcentuales de la ceniza volcánica y los cambios puntuales en el comportamiento de la resistencia a compresión del concreto permeable.

Se recomienda identificar el valor óptimo de ceniza volcánica mediante métodos analíticos y experimentales, que equilibre la resistencia a la flexión con la permeabilidad, ya que se comprueba en casi todas las investigaciones una relación poco significativa entre dimensiones.

Se recomienda hacer un diseño de permeámetro estandarizado que haga un mejor registro de la tasa de infiltración toda vez que en el Perú no existe un modelo estandarizado y sobre esto afianzar el estudio sistemático sobre los concretos permeables en el marco de los 17 ODS de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y mayor conocimiento del potencial económico de la riqueza volcánica del Perú, en el Sector de la Construcción.

## REFERENCIAS

AKBARIMEHR, Davood y AFLAKI (2020), Esmael. Volcanic ash as an admixture for concrete. Civil Engineering Journal. Abril de 2020. [Fecha de consulta: 24 de abril 2020].

Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/324314899\\_An\\_Experimental\\_Study\\_on\\_the\\_Effect\\_of\\_Tire\\_Powder\\_on\\_the\\_Geotechnical\\_Properties\\_of\\_Clay\\_Soils](https://www.researchgate.net/publication/324314899_An_Experimental_Study_on_the_Effect_of_Tire_Powder_on_the_Geotechnical_Properties_of_Clay_Soils)

Amorós Morote, Cs & Bendezú Ulloa, J (2021) *Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, julio 2021*. Universidad peruana de Ciencias Aplicadas. Perú. 2021.

Disponible en:

[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626313/BENDEZ\\_U\\_UJ.pdf?sequence=3](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/626313/BENDEZ_U_UJ.pdf?sequence=3)

Aoki, Yukari & Offenber, Matthew (2009) "Development of Pervious Concrete", Thesis of Master of Engineering, University of Technology, Sydney. Noviembre 2010. [Fecha de consulta: 10 de mayo 2021].

Disponible en:

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto>

Ayquipa Espinoza, Lorena & Vilca Benavente, Branixa (2021). Propuesta de diseño de un pavimento rígido conformado de agregados marginales con presencia de cenizas volcánicas para el proyecto: Mejoramiento de carretera Moquegua – Omate - Arequipa, Tramo II, sector 1. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2021].



Disponible en

[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652387/Ayquipa\\_EL.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652387/Ayquipa_EL.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

BAENA, Guillermina. Metodología de la investigación [en línea]. 6.ª. México: Editorial Patria, 2017. [Fecha de consulta: 14 de mayo 2020].

Disponible en:

[http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf)

Baquero Frito, L (2018). Uso de arena volcánica en la elaboración de mortero premezclado para revestimiento de paredes. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Ecuador. 2018.

<http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2262/1/T-ULVR-2059.pdf>

Bautista Pereda, A (2018). Diseño de pavimento rígido permeable para la evacuación de aguas pluviales según la norma aci 522R-10. Universidad de San Martín. Lima 2018.

Fuente: [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/bautista\\_paj.pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/bautista_paj.pdf)

Hermoza Gutiérrez, M (2021). *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*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 2019.

Fuente:

[http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8146/AMMheguma.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR16kiM2v0eRsus5QFqCHCATZrtGkiIALjnsvbB\\_WzZJSxnH7wCt3IWPEkAA](http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8146/AMMheguma.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR16kiM2v0eRsus5QFqCHCATZrtGkiIALjnsvbB_WzZJSxnH7wCt3IWPEkAA)

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación [en línea]. 6.ª ed. México: Interamericana editores, 2014. [Fecha de consulta: 13 de mayo 2021].

Disponible en:

<http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf> ISBN: 978-1-4562-2396-0

Ilham Banggu, F & Amir Sultan, M (2018). The Effects Of Volcanic Ash On The Strength And Permeability Mortar. Atlantis Highlights in Engineering. Indonesia. 2018.

Fuente: [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/ICST\\_151\\_72\\_Fitro\\_Darwis.pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/ICST_151_72_Fitro_Darwis.pdf)

INGEMMET (2018), Contexto Geodinámico: observatorio volcanes del Perú. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2021]. Disponible en:

[http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page\\_id=104](http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=104)

Jiménez Pesantes, H (2019). Evaluación del concreto permeable como una alternativa sostenible para el control de las aguas pluviales en la ciudad de Castilla, provincia Piura y departamento de Piura. Universidad Nacional de Piura. 2019.

Fuente: [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/CIV-JIM-PES-2019%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/CIV-JIM-PES-2019%20(2).pdf)

Jaigua Romero, B & Vázquez Urgilés, (2015). *Estudio de hormigones de altas prestaciones utilizando áridos y cemento local, cenizas volcánicas naturales y súper-plastificante* Universidad de Cuenca. Ecuador.

Fuente: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/727/1/ti855.pdf>

Mendoza Rojas, A (2017). Determinación de las propiedades físico - mecánicas de un concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con adición de puzolana volcánica en Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca. 2017

Fuente: [https://node2.123dok.com/dt02pdf/123dok\\_es/000/659/659528.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=aa5vJ7sqx6H8Hq4u%2F20211127%2F%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20211127T023219Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=1cfc141b4083223de33037117fa2305a9a303e2637e246b253ed0022593a3fe](https://node2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/000/659/659528.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=aa5vJ7sqx6H8Hq4u%2F20211127%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20211127T023219Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=1cfc141b4083223de33037117fa2305a9a303e2637e246b253ed0022593a3fe)

MINISTERIO de transportes y comunicaciones (Perú). Manual de carreteras:

Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Lima: 2013. 29pp.

MINISTERIO de transportes y comunicaciones (Perú). Manual de Ensayo de Materiales. 2016. 45pp

Morales Espinoza, A (2018). Resistencia a la compresión de un concreto permeable vs uno convencional, utilizando agregados de la cantera Shonguwarqui del distrito de Chingas, provincia Antonio Raymondi. Universidad de san Pedro. Áncash. Perú. 2018.

Fuente:

[http://publicaciones.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/5485/Tesis\\_56665.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://publicaciones.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/5485/Tesis_56665.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Obla Karthik, H (2010). *Pervious concrete – An overview*. ReserachGate. Article in Indian Concrete Journal · August 2010.

Fuente: [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/ICJ2010\\_08\\_PAPER\\_Obla.pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/ICJ2010_08_PAPER_Obla.pdf)

Ortiz, Alberto Mijail (2018). Concreto estructural liviano con escoria y ceniza volcánicas del distrito de Yura. Febrero 2021. Universidad Nacional de San Agustín-Arequipa. 2018.

Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5523>

Palacios Ríos, P & Orejuela Gonzales, C (2019). Evaluación del Comportamiento de un concreto no convencional adicionando cenizas volcánicas del volcán Cerro Machín. Universidad de Ibagué. Colombia. 2019.

Fuente.

<https://repositorio.unibague.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12313/739/1/Trabajo%20de%20grado.%20pdf>

Patiño Cedeno, O. (2016) El concreto permeable: uso y estándares Universidad Tecnológica del Perú. 2016.

Fuente: <https://core.ac.uk/reader/234020140>

Porras Barrero, J . et.al (2017). *Ladrillo macizo estructural de concreto hidráulico con incorporación al 12% de ceniza de lodo depurado*. Universidad Piloto de

Colombia. 2021.

Fuente: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/843/847>

Quilicho Villate, J(2019). Resistencia a la compresión axial del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> adicionando puzolana volcánica, Cajamarca 2019. Universidad Privada del Norte – UPN. Perú. 2019.

Fuente:

<file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Quiliche%20Villate%20Joseph%20Rafael.pdf>

Reyna Noriega, Y. (2019). Influencia de la ceniza y cemento en el adobe para muro de mampostería sobre la compresión y durabilidad, Trujillo 2018. Universidad Privada del Norte. 2019.

Fuente:

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21888/Reyna%20Noriega%20Yeniffer%20Madeley-Parcial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Salinas Cerna, M (2019). *Concreto permeable  $F'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup> para Drenaje Pluvial del Pavimento de la Avenida Pacífico Tramo: Av. Portuaria-Cruce PPAO, Nuevo Chimbote-Ancash-2019*. Tesis (ingeniería civil). Ancash: Universidad Cesar Vallejo, 2019.

Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/41352>

Tupayachi Quispe, D. (2021). Estudio y caracterización de geopolímeros a partir de ceniza volcánica para la obtención de materiales de construcción. Universidad Católica Santa María. Arequipa. 2021.

Disponible en: <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1917795>

Tupa Ortiz, A (2018). *Concreto estructural liviano con escoria y ceniza volcánicas del distrito de Yura. Universidad Nacional de San Agustín- Arequipa*. 2018.

Fuente: [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/ICdalac%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/ICdalac%20(2).pdf)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. Matriz de Operacionalización de Variables

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES								
Título de la investigación: Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> , Lima 2021.								
Apellidos y nombres del Investigadores: Carrera Saavedra, Cesar Eduardo / Lino Solano, José Luis								
TIPO DE VARIABLES	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA	
INDEPENDIENTE	CENIZA VOLCÁNICA	La ceniza volcánica, es una mezcla de partículas finas de silicio, óxidos de aluminio, hierro, calcio y sodio y tienen en su composición natural puzolanas, al igual que el cemento puzolánico que determina las cualidades de durabilidad del concreto, mejorando su resistencia física y la resistencia al ataque de sulfatos y otras sustancias agresivas (Fitro & Mufti (2018)).	Esta variable, operacionalmente se compone de una dimensión, seis indicadores y un instrumento de medición.	Diseño de Mezcla	Diseño Patrón 0% de Ceniza Volcánica	Método ACI	Enfoque: Cuantitativo	
					Diseño con 2.5% de Ceniza Volcánica			Tipo: Aplicada
					Diseño con 5% de Ceniza Volcánica			Nivel: Descriptivo Correlacional
					Diseño con 7.5% de Ceniza Volcánica			
					Diseño con 10% de Ceniza Volcánica			
					Diseño con 12.5% de Ceniza Volcánica			
DEPENDIENTE	CONCRETO PERMEABLE $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup>	El concreto permeable es una composición de agua, arenas, agregados, cemento y más aditivos, que presenta vacíos interconectados que permiten la infiltración del agua al terreno natural y la consiguiente recarga de las napas freáticas (Flores, 2015).	Esta variable dependiente se compone de tres dimensiones, siete indicadores y tres instrumentos con los que será medido.	Resistencia a la Compresión	Resistencia a la Compresión a los 7 días	Norma ASTM C-39	Diseño: Experimental	
					Resistencia a la Compresión a los 14 días		Unidad de análisis: Probetas y viguetas	
					Resistencia a la Compresión a los 28 días		Población: 126 unidades de muestras	
				Resistencia a la Flexión	Resistencia a la Flexión a los 7 días	Norma ASTM C-293	Muestra: 43% de la población	
					Resistencia a la Flexión a los 14 días		Muestreo: Probabilístico	
					Resistencia a la Flexión a los 28 días		Instrumentos de investigación: hojas de registro	
				Coeficiente de Permeabilidad	Tasa de Infiltración	Norma ACI 522 R-10		

## ANEXO 2. Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA							
Título de la investigación: Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021.							
Apellidos y nombres del Investigadores: Carrera Saavedra, Cesar Eduardo / Lino Solano, José Luis							
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	TIPO DE VARIABLES	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
¿En qué medida la ceniza volcánica modificará las propiedades mecánicas del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021?	Determinar en qué medida la ceniza volcánica modificara las propiedades mecánicas del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021.	La ceniza volcánica modificara las propiedades mecánicas del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021.	INDEPENDIENTE	CENIZA VOLCÁNICA	Diseño de Mezcla	Diseño Patrón 0% de Ceniza Volcánica	Método ACI
						Diseño con 2.5% de Ceniza Volcánica	
						Diseño con 5% de Ceniza Volcánica	
						Diseño con 7.5% de Ceniza Volcánica	
						Diseño con 10% de Ceniza Volcánica	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICAS				Diseño con 12.5% de Ceniza Volcánica	
¿Cómo afecta la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021?	Conocer los efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021	La ceniza volcánica afecta en la resistencia a la compresión del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021	DEPENDIENTE	CONCRETO PERMEABLE $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Resistencia a la Compresión	Resistencia a la Compresión a los 7 días	Norma ASTM C-39
						Resistencia a la Compresión a los 14 días	
						Resistencia a la Compresión a los 28 días	
¿Cómo afecta la ceniza volcánica en la resistencia a la flexión del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021?	Cuantificar los efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la flexión del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021	La ceniza volcánica afecta en la resistencia a la flexión del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021	DEPENDIENTE	CONCRETO PERMEABLE $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Resistencia a la Flexión	Resistencia a la Flexión a los 7 días	Norma ASTM C-293
						Resistencia a la Flexión a los 14 días	
						Resistencia a la Flexión a los 28 días	
¿Cómo influye la ceniza volcánica en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021?	Analizar la influencia de la ceniza volcánica en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021	La ceniza volcánica afecta el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , Lima 2021			Coeficiente de Permeabilidad	Tasa de Infiltración	Norma ACI 522 R-10

## ANEXO 3. Análisis físico – químico ceniza volcánica



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

### ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS (NTP 339.152, NTP 339.177, NTP 339.178)

**PROYECTO** : Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**SOLICITADO** : Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**UBICACIÓN** : Lima

**FECHA** : 27 de setiembre de 2021

Sondaje / Muestra	Descripción	S. S.T. (ppm)	Cl- (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (ppm)	pH
Ceniza volcánica M - 1	SM Arena limosa	30.61	12.30	61.24	7.85

#### TABLAS NORMATIVAS

#### CUADRO COMPARATIVO DE CONTENIDO DE SULFATOS Y SU GRADO DE AGRESIVIDAD AL CONCRETO SEGÚN DIFERENTES NORMAS Y REGLAMENTOS (Valores expresados en ppm)

ACI - 201.2R.77		BRS DIGEST (SEGUNDA SERIE) 90 (inglesa)		DIN 4030 (Alemana)	R.N.C. (Peruana)
Grado de Ataque	Sulfatos en el suelo	Sulfatos en el Agua	Sulfatos en el Suelo	Sulfatos en el Agua	Sulfatos
Leve	0-1,000	0-150	<2,400	<360	0 - 600
Moderado	1,000-2,000	150-1,500	2,400-6,000	360-1440	600 - 3,000
Severo	2,000-20,000	1,500-10,000	6,000-24,000	1,440-6,000	>3,000
Muy Severo	>20,000	>10,000	>24,000	>6,000	--

Los valores máximos tolerables recomendados en nuestro medio, en comparación con los del agua potable, expresados en partes por millón (ppm)

Sustancia	Referencias	MTC	RIVVA 5	Agua Potable
Cloruros		300	300	250
Sulfatos		300	50	50
Sales Solubles Totales		1 500	300	300
Sales en Magnesio		--	125	125
Sólidos en Suspensión		1 000	10	10
pH		< de 7	> de 8	10.5
Mat. Orgánica expres. en Oxígeno		16	0.001	0.001

\* Para concretos que han de estar expuestos a ataques por sulfatos

#### Métodos:

Sales Solubles Totales: Determinación de Sales Solubles en suelos y agua subterránea - NTP 339.152 - 2002

Cloruros Solubles: Determinación de Cloruros Solubles en suelos y agua subterránea - NTP 339.177 - 2002

Sulfato Soluble: Determinación de Sulfatos Solubles en suelos y agua subterránea - NTP 339.178 - 2002

Por Método Fotométrico



*Carlos Enrique Tito Silva*

CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

Asoc. Papa Juan Pablo II, Mz. E Lt. 13 - SMP - Lima - Perú  
Telefono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com



# ANEXO 4. Análisis granulométrico del agregado grueso



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM C-136, NTP 400.012)

**PROYECTO** : Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional f'c 210 kg/cm2, Lima 2021.

**SOLICITANTE** : Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**UBICACIÓN** : Lima

**Cantera** : Coronel – Parcela 2B, Fundo Carapongo, San Antonio de Huarochirí – Chosica

**Material** : Agregado Grueso

**Muestra** : M - 1

**Profundidad (m)** : Acopio

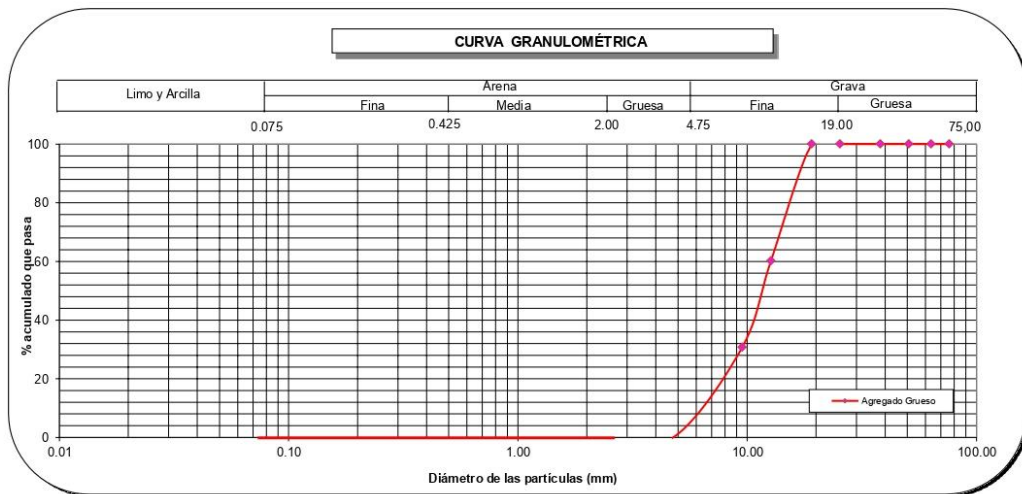
**Fecha:** 29/09/2021

PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Tamiz		Acumulado		% Retenido en cada tamiz
	Nº	Abertura (mm)	% que pasa	% retenido	
	3"	76.200	100.0	0.0	0.0
	2 1/2"	63.500	100.0	0.0	0.0
	2"	50.800	100.0	0.0	0.0
	1 1/2"	38.100	100.0	0.0	0.0
	1"	25.400	100.0	0.0	0.0
	3/4"	19.100	100.0	0.0	0.0
	1/2"	12.700	60.2	39.8	39.8
	3/8"	9.520	30.7	69.3	29.4
	Nº 4	4.760	0.0	100.0	30.7
	Nº 8	2.380	0.0	100.0	0.0
	Nº 16	1.190	0.0	100.0	0.0
	Nº 30	0.590	0.0	100.0	0.0
	Nº 50	0.207	0.0	100.0	0.0
	Nº 100	0.149	0.0	100.0	0.0
	Nº 200	0.074	0.0	100.0	0.0

CONTENIDO DE HUMEDAD ( ASTM - D2216 )	
Peso de tara (g)	877.6
Peso tara + suelo húmedo (g)	6568.3
Peso tara + suelo seco (g)	6548.1
Peso del agua (g)	20.3
Peso del suelo seco (g)	5670.5
Contenido de Humedad (%)	0.357

Distribución Granulométrica		
% Grava	GG%	0.0
	GF%	100.0
% Arena	AG%	0.0
	AM%	0.0
	AF%	0.0
% Finos		0.0

**Módulo de Fineza** : 6.7



**Observaciones:**

Las muestras han sido identificadas y entregadas por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
 Telefono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
 www.gmigingenieros.com

## ANEXO 5. Gravedad específica y absorción del agregado grueso



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

### GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-127 , NTP 400.021, MTC E-206)

**PROYECTO** : Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**SOLICITANTE** : Carrera Saavedra César Eduardo / Lino Solano José Luis

**UBICACIÓN** : Lima

**Cantera** : Coronel – Parcela 2B, Fundo Carapongo, San Antonio de Huarochiri – Chosica  
**Material** : Agregado Grueso  
**Muestra** : M - 1  
**Prof. (m)** : Acopio **Fecha:** 29/09/2021

AGREGADO GRUESO				
TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	20°C			PROMEDIO
	1	2	3	
NÚMERO DE FRASCO				
Peso mat. Sat. Superf. seca (al aire) (g)	5589.2	5716.4	5476.2	
Peso mat. Sat. Superf. seca (en agua) (g)	3539.3	3625.5	3483.6	
Volumen de la masa + volumen de vacíos (g)	2049.90	2090.90	1992.60	
Peso del material seco (g)	5539.3	5665.8	5428.8	
Volumen de masa (g)	2000.00	2040.30	1945.20	
<b>Peso específico de masa (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.702	2.710	2.724	<b>2.71</b>
Peso específico saturado superficialmente seco (g/cm <sup>3</sup> )	2.727	2.734	2.748	2.74
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2.770	2.777	2.791	2.78
<b>Porcentaje de absorción (%)</b>	0.90	0.89	0.87	<b>0.89</b>

Observaciones: Se empleó cesta matálica (canastilla con malla N°8)

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

## ANEXO 6. Peso unitario del agregado grueso



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

### PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO ( ASTM C - 29, NTP 400.017, MTC E-203 )

**PROYECTO** : Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**SOLICITANTE** : Carrera Saavedra César Eduardo / Lino Solano José Luis

**UBICACIÓN** : Lima

**MUESTRA** : Agregado Grueso

**Fecha:** 29/09/2021

CONTENIDO DE HUMEDAD						
CANTERA :	MATERIAL :	PROF. :	IDENTIFICACIÓN			Promedio
			I	II	III	
	Coronel	Agregado Grueso				
		Acopio				
Peso de tara	(g)		244.30	236.60	241.30	
Peso de tara + muestra húmeda	(g)		2346.20	2652.30	2452.30	
Peso de tara + muestra seca	(g)		2339.20	2643.30	2444.30	
<b>Contenido de humedad</b>	(%)		0.33	0.37	0.36	<b>0.357</b>

PESO UNITARIO SUELTO						
CANTERA :	MATERIAL :	PROF. :	IDENTIFICACIÓN			Promedio
			I	II	III	
	Coronel	Agregado Grueso				
		Acopio				
Peso del recipiente + muestra	(Kg)		25802.0	25972.0	25876.0	
Peso del recipiente	(Kg)		5996.0	5996.0	5996.0	
Peso de la muestra	(Kg)		19806.0	19976.0	19880.0	
Volumen	(m <sup>3</sup> )		13957.0	13957.0	13957.0	
Peso unitario suelto húmedo	(Kg/m <sup>3</sup> )		1.419	1.431	1.424	
<b>Peso unitario suelto seco</b>	(Kg/m <sup>3</sup> )		1.414	1.426	1.419	<b>1420</b>

PESO UNITARIO COMPACTADO						
CANTERA :	MATERIAL :	PROF. :	IDENTIFICACIÓN			Promedio
			I	II	III	
	Coronel	Agregado Grueso				
		Acopio				
Peso del recipiente + muestra	(Kg)		28885.0	28606.0	28771.0	
Peso del recipiente	(Kg)		5996.0	5996.0	5996.0	
Peso de la muestra	(Kg)		22889.0	22610.0	22775.0	
Volumen	(m <sup>3</sup> )		13957.0	13957.0	13957.0	
Peso unitario compactado húmedo	(Kg/m <sup>3</sup> )		1.640	1.620	1.632	
<b>Peso unitario compactado seco</b>	(Kg/m <sup>3</sup> )		1.635	1.614	1.626	<b>1625</b>

**Observaciones:** El ensayo se realizó con material representativo

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



*Carlos Enrique Tito Silva*  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

## ANEXO 7. Diseño de mezcla

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto:

**Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.**

Preparado para:

**Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis**

Preparado por:



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II  
SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
[www.gmigingenieros.com](http://www.gmigingenieros.com)



  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - 01**

<b>Proyecto :</b>	Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> , Lima 2021.
<b>Solicitantes :</b>	Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis
<b>Ubicación :</b>	Lima

Fecha: 01 de octubre de 2021

**DISEÑO DE CONCRETO -  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>**  
**Diseño Patrón****1. MATERIALES****1.1. Cemento**

Se proyecta para Cemento Portland Tipo I. Peso Específico: 3.15

**1.2. Agregados****Agregado Fino.** – Por ser concreto permeable no se considera incidencia de agregado fino.**Agregado Grueso.** - Consiste en piedra chancada.

Granulometría	
Malla	% Retenido
1"	---
3/4"	---
1/2"	39.80
3/8"	29.40
N°4	30.70
N°8	0.00

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

Tamaño máximo Nominal	1/2"
P.E. Seco	2710.00 kg/m <sup>3</sup>
P.U. Compactado seco	1625.00 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	0.357%
Porcentaje de Absorción	0.890%

### 1.3. Agua

Potable, de la red de servicio público, Peso específico 1,000 kg/m<sup>3</sup>

## 2. DOSIFICACIÓN

### 2.1. Características Generales

Denominación	$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ $f_c = 3000 \text{ psi}$
Porcentaje de vacíos considerado	17%
Relación a/c de diseño	0.40
Proporciones de diseño	C      Piedra    Agua 1:      5.04    : 16.95 lt

### 2.2. Cantidad de Material por m<sup>3</sup> de Concreto de Obra

Cemento	321.97 kg
Piedra	1623.07 kg
Agua	128.79 lt

### 2.3. Cantidad de Material por Bolsa de Cemento de Obra

Cemento	42.50 kg
Piedra	214.25 kg
Agua	16.95 lt



  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - 02**

<b>Proyecto :</b>	Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional f'c 210 kg/cm <sup>2</sup> , Lima 2021.
<b>Solicitantes :</b>	Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis
<b>Ubicación :</b>	Lima

Fecha: 01 de octubre de 2021

**DISEÑOS DE CONCRETO - f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup>**  
**con reemplazo de ceniza volcánica en cemento****3. DOSIFICACIÓN PARA 2.5% DE REEMPLAZO DE CEMENTO CON CENIZA VOLCÁNICA****3.1. Cantidad de Material por m<sup>3</sup> de Concreto de Obra**

Cemento	313.92 kg
Ceniza Volcánica	8.05 kg
Agregado Grueso	1,623.07 kg
Agua	128.79 lt

**3.2. Cantidad de Material para 1 probeta**

Cemento	1.745 kg
Ceniza Volcánica	0.044 kg
Agregado Grueso	9.024 kg
Agua	0.716 lt

**3.3. Cantidad de Material para 9 probetas**

Cemento	15.705 kg
Ceniza Volcánica	0.396 kg
Agregado Grueso	81.216 kg
Agua	6.444 lt

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173



**3.4. Cantidad de Material para 1 vigueta**

Cemento	2.378 kg
Ceniza Volcánica	0.061 kg
Agregado Grueso	12.30 kg
Agua	0.976 lt

**3.5. Cantidad de Material para 9 viguetas**

Cemento	21.402 kg
Ceniza Volcánica	0.549 kg
Agregado Grueso	110.70 kg
Agua	8.783 lt

**3.6. Cantidad de Material para 1 Probeta (4"x8")**

Cemento	0.775 kg
Ceniza Volcánica	0.020 kg
Agregado Grueso	4.011 kg
Agua	0.318 lt

**3.7. Cantidad de Material para 18 probetas(4"x8")**

Cemento	13.957 kg
Ceniza Volcánica	0.358 kg
Agregado Grueso	72.192 kg
Agua	5.728 lt



  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173



**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - 03**

<b>Proyecto :</b>	Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> , Lima 2021.
<b>Solicitantes :</b>	Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis
<b>Ubicación :</b>	Lima

Fecha: 01 de octubre de 2021

**DISEÑOS DE CONCRETO -  $f'c$  = 210 kg/cm<sup>2</sup>  
con reemplazo de ceniza volcánica en cemento****4. DOSIFICACIÓN PARA 5.0% DE REEMPLAZO DE CEMENTO CON CENIZA VOLCÁNICA****4.1. Cantidad de Material por m<sup>3</sup> de Concreto de Obra**

Cemento	305.87 kg
Ceniza Volcánica	16.10 kg
Agregado Grueso	1,623.07 kg
Agua	128.79 lt

**4.2. Cantidad de Material para 1 probeta**

Cemento	1.701 kg
Ceniza Volcánica	0.085 kg
Agregado Grueso	9.024 kg
Agua	0.716 lt

**4.3. Cantidad de Material para 9 probetas**

Cemento	15.309 kg
Ceniza Volcánica	0.765 kg
Agregado Grueso	81.216 kg
Agua	6.444 lt



  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**4.4. Cantidad de Material para 1 vigueta**

Cemento	2.317 kg
Ceniza Volcánica	0.122 kg
Agregado Grueso	12.30 kg
Agua	0.976 lt

**4.5. Cantidad de Material para 9 viguetas**

Cemento	20.853 kg
Ceniza Volcánica	1.097 kg
Agregado Grueso	110.70 kg
Agua	8.783 lt

**4.6. Cantidad de Material para 1 Probeta (4"x8")**

Cemento	0.756 kg
Ceniza Volcánica	0.040 kg
Agregado Grueso	4.011 kg
Agua	0.318 lt

**4.7. Cantidad de Material para 18 probetas (4"x8")**

Cemento	13.599 kg
Ceniza Volcánica	0.716 kg
Agregado Grueso	72.192 kg
Agua	5.728 lt



**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - 04**

<b>Proyecto :</b>	Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional f'c 210 kg/cm <sup>2</sup> , Lima 2021.
<b>Solicitantes :</b>	Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis
<b>Ubicación :</b>	Lima

Fecha: 01 de octubre de 2021

**DISEÑOS DE CONCRETO - f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup>**  
**con reemplazo de ceniza volcánica en cemento****5. DOSIFICACIÓN PARA 7.5% DE REEMPLAZO DE CEMENTO CON CENIZA VOLCÁNICA****5.1. Cantidad de Material por m<sup>3</sup> de Concreto de Obra**

Cemento	297.82 kg
Ceniza Volcánica	24.15 kg
Agregado Grueso	1,623.07 kg
Agua	128.79 lt

**5.2. Cantidad de Material para 1 probeta**

Cemento	1.656 kg
Ceniza Volcánica	0.124 kg
Agregado Grueso	9.024 kg
Agua	0.716 lt

**5.3. Cantidad de Material para 9 probetas**

Cemento	14.904 kg
Ceniza Volcánica	1.116 kg
Agregado Grueso	81.216 kg
Agua	6.444 lt

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**5.4. Cantidad de Material para 1 vigueta**

Cemento	2.256 kg
Ceniza Volcánica	0.183 kg
Agregado Grueso	12.30 kg
Agua	0.976 lt

**5.5. Cantidad de Material para 9 viguetas**

Cemento	20.305 kg
Ceniza Volcánica	1.646 kg
Agregado Grueso	110.70 kg
Agua	8.783 lt

**5.6. Cantidad de Material para 1 Probeta (4"x8")**

Cemento	0.736 kg
Ceniza Volcánica	0.060 kg
Agregado Grueso	4.011 kg
Agua	0.318 lt

**5.7. Cantidad de Material para 18 probetas (4"x8")**

Cemento	13.241 kg
Ceniza Volcánica	1.074 kg
Agregado Grueso	72.192 kg
Agua	5.728 lt



**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - 05**

<b>Proyecto :</b>	Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional f'c 210 kg/cm <sup>2</sup> , Lima 2021.
<b>Solicitantes :</b>	Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis
<b>Ubicación :</b>	Lima

Fecha: 01 de octubre de 2021

**DISEÑOS DE CONCRETO - f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup>**  
**con reemplazo de ceniza volcánica en cemento****6. DOSIFICACIÓN PARA 10.0% DE REEMPLAZO DE CEMENTO CON CENIZA VOLCÁNICA****6.1. Cantidad de Material por m<sup>3</sup> de Concreto de Obra**

Cemento	289.77 kg
Ceniza Volcánica	32.20 kg
Agregado Grueso	1,623.07 kg
Agua	128.79 lt

**6.2. Cantidad de Material para 1 probeta**

Cemento	1.611 kg
Ceniza Volcánica	0.161 kg
Agregado Grueso	9.024 kg
Agua	0.716 lt

**6.3. Cantidad de Material para 9 probetas**

Cemento	14.499 kg
Ceniza Volcánica	1.449 kg
Agregado Grueso	81.216 kg
Agua	6.444 lt

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**6.4. Cantidad de Material para 1 vigueta**

Cemento	2.195 kg
Ceniza Volcánica	0.244 kg
Agregado Grueso	12.30 kg
Agua	0.976 lt

**6.5. Cantidad de Material para 9 viguetas**

Cemento	19.756 kg
Ceniza Volcánica	2.194 kg
Agregado Grueso	110.70 kg
Agua	8.783 lt

**6.6. Cantidad de Material para 1 Probeta (4"x8")**

Cemento	0.716 kg
Ceniza Volcánica	0.080 kg
Agregado Grueso	4.011 kg
Agua	0.318 lt

**6.7. Cantidad de Material para 18 probetas (4"x8")**

Cemento	12.883 kg
Ceniza Volcánica	1.432 kg
Agregado Grueso	72.192 kg
Agua	5.728 lt



**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - 06**

<b>Proyecto :</b>	Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> , Lima 2021.
<b>Solicitantes :</b>	Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis
<b>Ubicación :</b>	Lima

Fecha: 01 de octubre de 2021

**DISEÑOS DE CONCRETO -  $f'c$  = 210 kg/cm<sup>2</sup>  
con reemplazo de ceniza volcánica en cemento****7. DOSIFICACIÓN PARA 12.5% DE REEMPLAZO DE CEMENTO CON CENIZA VOLCÁNICA****7.1. Cantidad de Material por m<sup>3</sup> de Concreto de Obra**

Cemento	281.72 kg
Ceniza Volcánica	40.25 kg
Agregado Grueso	1,623.07 kg
Agua	128.79 lt

**7.2. Cantidad de Material para 1 probeta**

Cemento	1.566 kg
Ceniza Volcánica	0.196 kg
Agregado Grueso	9.024 kg
Agua	0.716 lt

**7.3. Cantidad de Material para 9 probetas**

Cemento	14.094 kg
Ceniza Volcánica	1.764 kg
Agregado Grueso	81.216 kg
Agua	6.444 lt



CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173



**7.4. Cantidad de Material para 1 vigueta**

Cemento	2.134 kg
Ceniza Volcánica	0.305 kg
Agregado Grueso	12.30 kg
Agua	0.976 lt

**7.5. Cantidad de Material para 9 viguetas**

Cemento	19.208 kg
Ceniza Volcánica	2.743 kg
Agregado Grueso	110.70 kg
Agua	8.783 lt

**7.6. Cantidad de Material para 1 Probeta (4"x8")**

Cemento	0.696 kg
Ceniza Volcánica	0.099 kg
Agregado Grueso	4.011 kg
Agua	0.318 lt

**7.7. Cantidad de Material para 18 probetas (4"x8")**

Cemento	12.525 kg
Ceniza Volcánica	1.790 kg
Agregado Grueso	72.192 kg
Agua	5.728 lt

**OBSERVACIONES:**

- *Los diseños correspondientes al presente informe se han realizado de acuerdo a las normas del Comité A.C.I. – 522 R10 y A.C.I. - 211 y al contenido de humedad de los agregados.*
- *La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.*
- *Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.*



  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173



## ANEXO 8. Resistencia a la compresión



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

### ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO NORMA ASTM C - 39

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable (Patrón)

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

#### Resultados de los ensayos realizados

##### Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

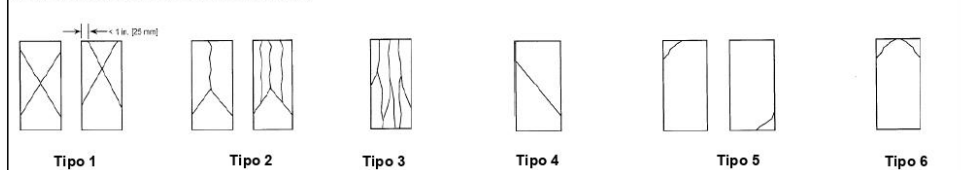
Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (Kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPP-M1	04/10/2021	11/10/2021	7	181	2	27520	152	2161.9
CPP-M2	04/10/2021	11/10/2021	7	182	2	27069	148	2105.1
CPP-M3	04/10/2021	11/10/2021	7	182	3	27343	150	2133.5

#### Observaciones:

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.

#### Esquema de los patrones de fractura típica



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable (Patrón)

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

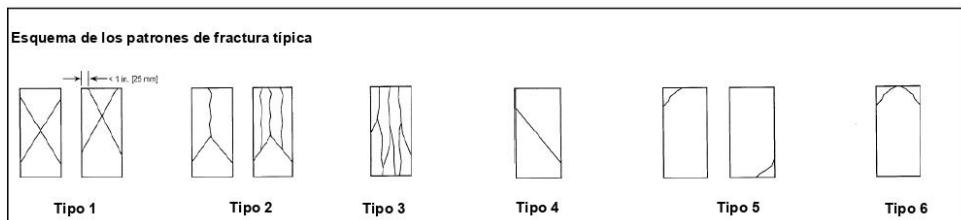
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPP-M4	04/10/2021	18/10/2021	14	183	2	33290	182	2588.6
CPP-M5	04/10/2021	18/10/2021	14	182	2	33197	182	2588.6
CPP-M6	04/10/2021	18/10/2021	14	182	2	33314	183	2602.9

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable (Patrón)

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

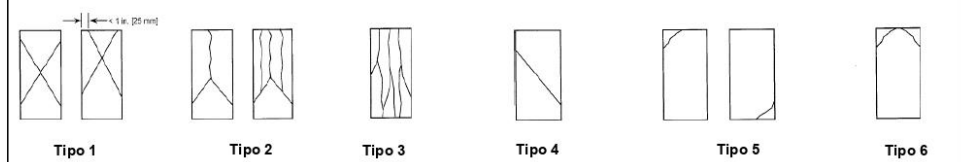
Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPP-M7	04/10/2021	01/11/2021	28	181	2	38883	214	3043.8
CPP-M8	04/10/2021	01/11/2021	28	182	3	38814	212	3015.3
CPP-M9	04/10/2021	01/11/2021	28	183	2	39049	213	3029.6

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.

**Esquema de los patrones de fractura típica**



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 2.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

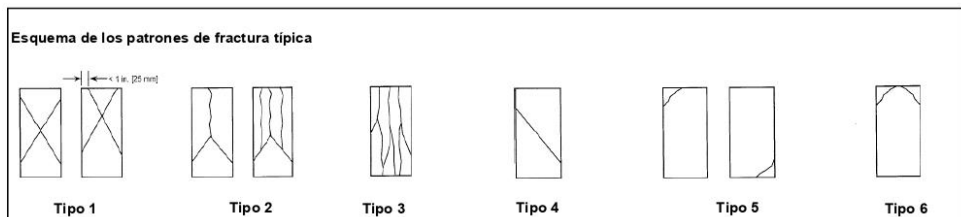
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M1	04/10/2021	11/10/2021	7	181	2	27740	153	2176.2
CPCV-M2	04/10/2021	11/10/2021	7	182	2	27875	153	2176.2
CPCV-M3	04/10/2021	11/10/2021	7	182	2	27576	151	2147.7

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 2.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

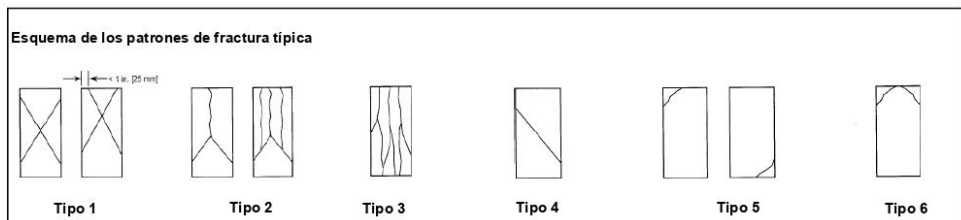
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M4	04/10/2021	18/10/2021	14	181	3	33791	186	2645.5
CPCV-M5	04/10/2021	18/10/2021	14	182	2	33636	184	2617.1
CPCV-M6	04/10/2021	18/10/2021	14	181	2	33882	187	2659.8

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 2.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

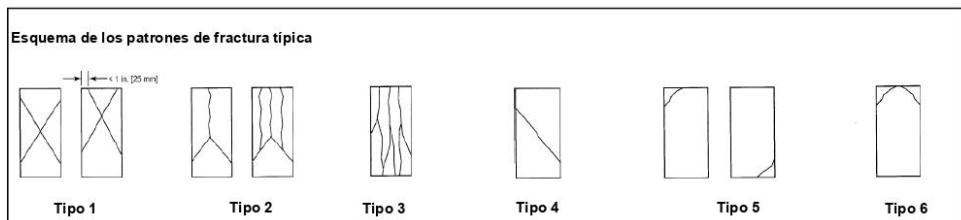
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M7	04/10/2021	01/11/2021	28	181	2	39433	217	3086.5
CPCV-M8	04/10/2021	01/11/2021	28	181	3	39254	216	3072.2
CPCV-M9	04/10/2021	01/11/2021	28	182	2	39762	218	3100.7

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
-----  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

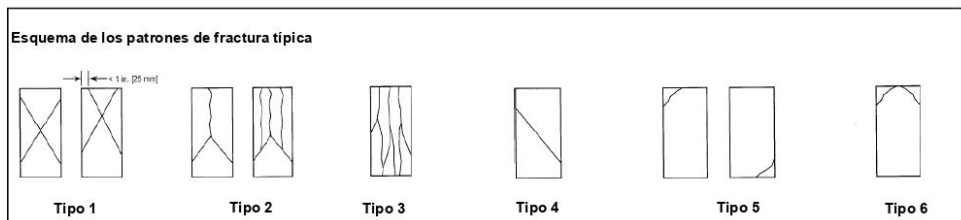
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M1	04/10/2021	11/10/2021	7	183	3	27960	153	2176.2
CPCV-M2	04/10/2021	11/10/2021	7	182	2	28131	154	2190.4
CPCV-M3	04/10/2021	11/10/2021	7	183	2	28066	153	2176.2

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

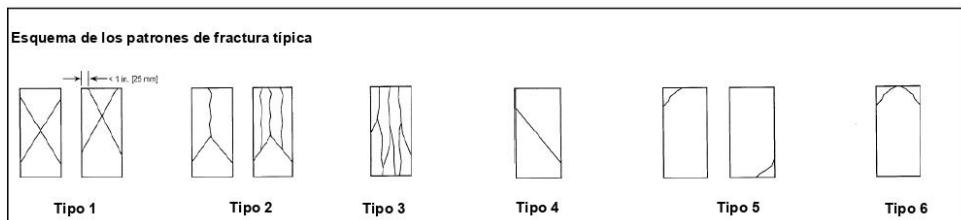
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M4	04/10/2021	18/10/2021	14	181	3	33417	184	2617.1
CPCV-M5	04/10/2021	18/10/2021	14	181	2	33240	183	2602.9
CPCV-M6	04/10/2021	18/10/2021	14	182	2	33702	185	2631.3

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

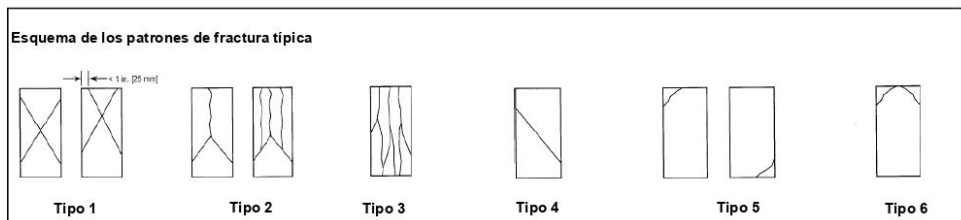
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M7	04/10/2021	01/11/2021	28	183	2	39578	216	3072.2
CPCV-M8	04/10/2021	01/11/2021	28	182	2	39281	215	3058.0
CPCV-M9	04/10/2021	01/11/2021	28	182	3	39033	214	3043.8

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 7.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

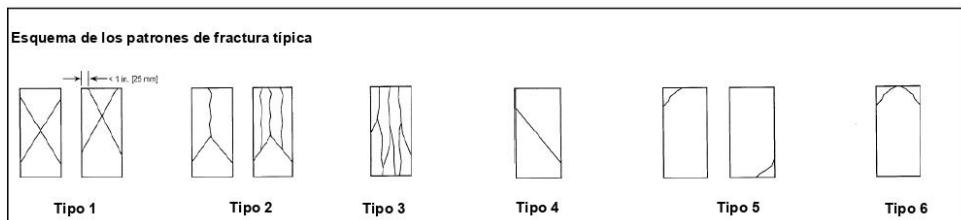
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M1	04/10/2021	11/10/2021	7	183	2	27084	148	2105.1
CPCV-M2	04/10/2021	11/10/2021	7	181	2	27224	150	2133.5
CPCV-M3	04/10/2021	11/10/2021	7	182	3	27211	149	2119.3

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 7.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

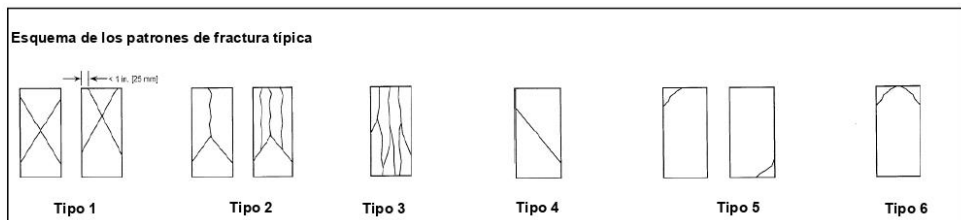
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M4	04/10/2021	18/10/2021	14	181	2	30444	167	2375.3
CPCV-M5	04/10/2021	18/10/2021	14	180	2	30014	165	2346.9
CPCV-M6	04/10/2021	18/10/2021	14	182	2	30435	166	2361.1

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 7.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

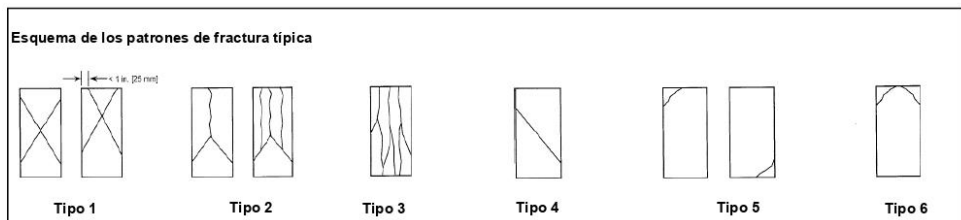
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M7	04/10/2021	01/11/2021	28	180	3	36837	204	2901.6
CPCV-M8	04/10/2021	01/11/2021	28	181	2	37401	206	2930.0
CPCV-M9	04/10/2021	01/11/2021	28	183	2	37643	205	2915.8

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 10% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

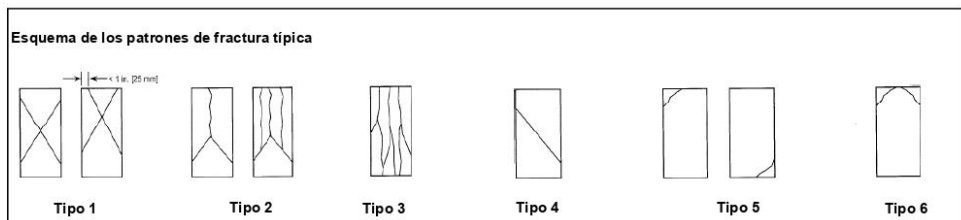
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M1	04/10/2021	11/10/2021	7	181	3	26328	145	2062.4
CPCV-M2	04/10/2021	11/10/2021	7	180	2	26569	147	2090.8
CPCV-M3	04/10/2021	11/10/2021	7	183	2	26788	146	2076.6

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 10% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

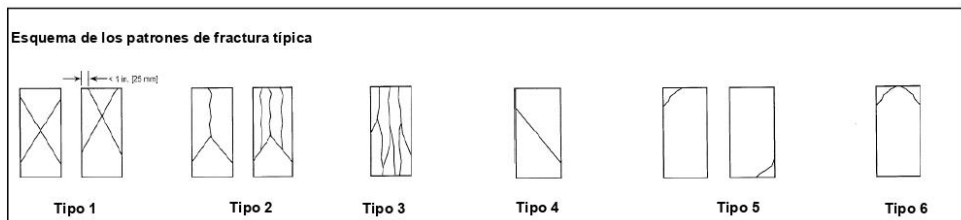
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M4	04/10/2021	18/10/2021	14	183	2	30192	166	2361.1
CPCV-M5	04/10/2021	18/10/2021	14	181	2	29637	164	2332.6
CPCV-M6	04/10/2021	18/10/2021	14	183	3	29915	164	2332.6

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 10% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

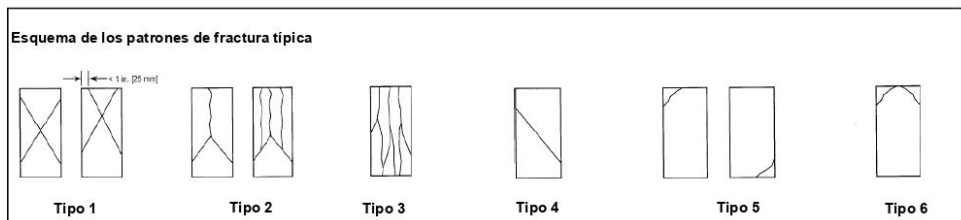
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M7	04/10/2021	01/11/2021	28	180	2	33911	188	2674.0
CPCV-M8	04/10/2021	01/11/2021	28	182	2	34671	190	2702.4
CPCV-M9	04/10/2021	01/11/2021	28	181	2	34327	189	2688.2

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

*Carlos Enrique Tito Silva*  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAIXIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 12.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (fc): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

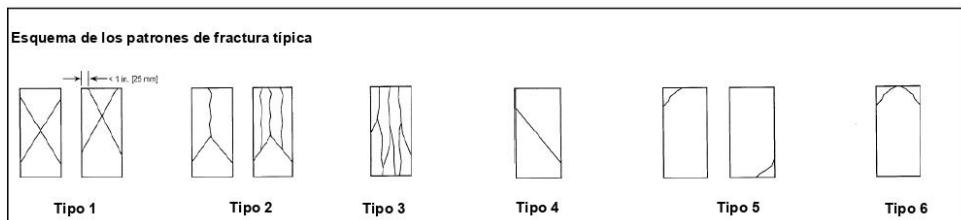
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M1	04/10/2021	11/10/2021	7	181	2	25934	143	2033.9
CPCV-M2	04/10/2021	11/10/2021	7	182	2	25891	142	2019.7
CPCV-M3	04/10/2021	11/10/2021	7	183	2	25764	140	1991.3

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
-----  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 12.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

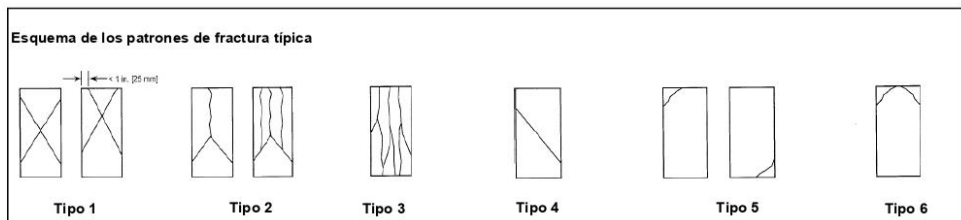
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M4	04/10/2021	18/10/2021	14	180	3	29251	162	2304.2
CPCV-M5	04/10/2021	18/10/2021	14	180	2	29050	161	2290.0
CPCV-M6	04/10/2021	18/10/2021	14	182	2	29568	162	2304.2

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C - 39**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 12.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto**

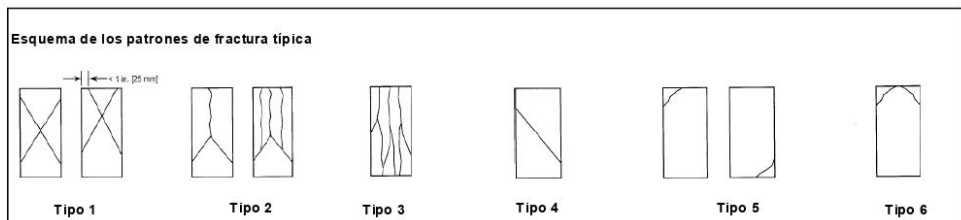
ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Código Muestra (Cilindro N°)	Fecha de obtención	Fecha de Rotura	Edad Muestra (Días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fractura	Carga Total (kgf)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (PSI)
CPCV-M7	04/10/2021	01/11/2021	28	180	2	33731	187	2659.8
CPCV-M8	04/10/2021	01/11/2021	28	182	3	33911	188	2674.0
CPCV-M9	04/10/2021	01/11/2021	28	181	2	33911	188	2674.0

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotecnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E.Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

## ANEXO 9. Resistencia a la Flexión



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

### ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO NORMA ASTM C-293

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable (Patrón)

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

#### Resultados de los ensayos realizados

##### Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto

ASTM C-293

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.20	20.21
CPP-M2	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.20	20.21
CPP-M3	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,512	155.04	15.2	10.20	20.23

#### Observaciones:

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable (Patrón)

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

ASTM C-293

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.20	22.10
CPP-M5	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,533	155.04	15.2	10.20	22.30
CPP-M6	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.20	22.10

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E L1. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable (Patrón)

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

ASTM C-293

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.20	23.31
CPP-M8	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,520	155.04	15.2	10.20	23.40
CPP-M9	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,525	155.04	15.2	10.20	23.45

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
 Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
 www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
**INGENIERO CIVIL**  
**Reg. CIP N° 76173**

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 2.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 1.7% Ceniza vol. 2.5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.20	20.45
CPP-M2	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 1.7% Ceniza vol. 2.5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,492	155.04	15.2	10.20	20.30
CPP-M3	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 1.7% Ceniza vol. 2.5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,489	155.04	15.2	10.20	20.28

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 2.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kg.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.20	22.45
CPP-M5	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,499	155.04	15.2	10.20	22.35
CPP-M6	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,483	155.04	15.2	10.20	22.21

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 2.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (f'c): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.20	23.30
CPP-M8	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,532	155.04	15.2	10.20	23.50
CPP-M9	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 2.5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,521	155.04	15.2	10.20	23.40

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Ll. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
-----  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.20	20.40
CPP-M2	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,498	155.04	15.2	10.20	20.30
CPP-M3	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,498	155.04	15.2	10.20	20.30

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.20	22.35
CPP-M5	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,501	155.04	15.2	10.20	22.27
CPP-M6	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,493	155.04	15.2	10.20	22.20

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.20	23.20
CPP-M8	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,532	155.04	15.2	10.20	23.40
CPP-M9	Probeta N°03 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.20	23.20

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 7.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.20	20.35
CPP-M2	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,467	155.04	15.2	10.20	20.00
CPP-M3	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,516	155.04	15.2	10.20	20.40

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
-----  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 7.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.20	22.30
CPP-M5	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,499	155.04	15.2	10.20	22.20
CPP-M6	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,493	155.04	15.2	10.20	22.15

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 7.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla (f'c): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.20	23.18
CPP-M8	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,520	155.04	15.2	10.20	23.27
CPP-M9	Probeta N°04 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 7.5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,512	155.04	15.2	10.20	23.20

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Ll. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 10% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.20	20.25
CPP-M2	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,485	155.04	15.2	10.20	20.05
CPP-M3	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,517	155.04	15.2	10.20	20.31

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 10% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.20	21.90
CPP-M5	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,521	155.04	15.2	10.20	22.00
CPP-M6	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,544	155.04	15.2	10.20	22.20

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 10% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.20	23.20
CPP-M8	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,508	155.04	15.2	10.20	23.18
CPP-M9	Probeta N°05 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 10%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,508	155.04	15.2	10.20	23.18

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 12.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 16/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

VIGUETA		RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
Nº	DESCRIPCION		MOLDEO	ROTURA						
CPP-M1	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,510	155.04	15.2	10.20	20.19
CPP-M2	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,500	155.04	15.2	10.20	20.11
CPP-M3	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	4/10/2021	11/10/2021	7	2,511	155.04	15.2	10.20	20.20

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E L1. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO  
NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 12.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 23/10/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

N°	VIGUETA DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M4	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,510	155.04	15.2	10.20	21.80
CPP-M5	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,522	155.04	15.2	10.20	21.90
CPP-M6	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	4/10/2021	18/10/2021	14	2,522	155.04	15.2	10.20	21.90

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E L1. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE FLEXIÓN EN TESTIGOS DE CONCRETO**  
**NORMA ASTM C-293**

**Proyecto :** Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, Lima 2021.

**Solicitante:** Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

**Ubicación:** Lima

Zona / Sector: ---

Estructura: ---

Tipo de Material: Concreto Permeable con 12.5% Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla ( $f'c$ ): 210 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

**Resistencia a la Flexión de Especímenes Tipo Vigueta de Concreto**

**ASTM C-293**

N°	VIGUETA DESCRIPCION	RESISTENCIA DE DISEÑO (Kgf/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	CARGA (Kgf.)	DISTANCIA ENTRE APOYOS L(cm <sup>2</sup> )	ANCHO DE VIGA B (b)	ALTURA DE VIGA d (cm)	MODULO DE ROTURA MR (kg/cm <sup>2</sup> )
			MOLDEO	ROTURA						
CPP-M7	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,510	155.04	15.2	10.20	23.20
CPP-M8	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,508	155.04	15.2	10.20	23.18
CPP-M9	Probeta N°06 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% Ceniza vol. 12.5%	210	4/10/2021	1/11/2021	28	2,508	155.04	15.2	10.20	23.18

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.



Dirección: Mz. E Lt. 13 As. Papa Juan Pablo II - SMP - Lima - Perú  
Teléfono Of. Lima: (01) 6206981 / 969625105  
www.gmigingenieros.com

  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

# ANEXO 10. Coeficiente de Permeabilidad



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD ACI 522 R-06

Proyecto : Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional Fc 210 kg/cm2, Lima 2021.

Solicitante : Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

Ubicación : Lima

Tipo de Material : Concreto Permeable (Patrón)

Diseño de Mezcla : 210 kg/cm2

Fecha de emisión: 06/11/2021

### Resultados de los ensayos realizados

Ensayo de Permeabilidad a Especímenes Cilíndricos de Concreto

ACI 522 R-06

PROBETA		DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M1	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	10	648.59	648.59	30.0	27.0	0.214
CPP-M2	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	10	648.59	648.59	30.0	27.0	0.214
CPP-M3	Probeta N°01 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	11	648.59	648.59	30.0	27.0	0.195

Observaciones:

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

FORMULA:

$$k = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \frac{h_1}{h_2} \times \ln \frac{h_1}{h_2}$$



*Carlos Enrique Tito Silva*  
CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD ACI 522 R-06**

Proyecto : Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional Fc 210 kg/cm2, Lima 2021.

Solicitante : Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

Ubicación : Lima

Tipo de Material : Concreto Permeable con 2.5% de Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla : 210 kg/cm2

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

Ensayo de Permeabilidad a Especímenes Cilíndricos de Concreto

ACI 522 R-06

N°	DESCRIPCION	DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
			MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M4	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	9	648.59	648.59	30.0	27.0	0.238
CPP-M5	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	10	648.59	648.59	30.0	27.0	0.214
CPP-M6	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 2.5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	9	648.59	648.59	30.0	27.0	0.238

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

FORMULA:

$$k = \frac{L}{t} \cdot \frac{a}{A} \cdot \frac{h1}{h2} \cdot \ln \frac{h1}{h2}$$



*Carlos Enrique Tito Silva*  
 CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD ACI 522 R-06**

Proyecto : Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional Fc 210 kg/cm2, Lima 2021.

Solicitante : Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

Ubicación : Lima

Tipo de Material : Concreto Permeable con 5% de Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla : 210 kg/cm2

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

Ensayo de Permeabilidad a Especímenes Cilíndricos de Concreto

ACI 522 R-06

PROBETA		DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERÍA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M7	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	9	648.59	648.59	30.0	27.0	0.238
CPP-M8	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	9	648.59	648.59	30.0	27.0	0.238
CPP-M9	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

FORMULA:

$$k = \frac{L}{t} \cdot \frac{a}{A} \cdot \frac{h1}{h2} \cdot \ln \frac{h1}{h2}$$



*Carlos Enrique Tito Silva*  
 CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE PERMEABILIDAD ACI 522 R-06**

Proyecto : Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional F'c 210 kg/cm2, Lima 2021.

Solicitante : Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

Ubicación : Lima

Tipo de Material : Concreto Permeable con 7.5% de Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla : 210 kg/cm2

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

Ensayo de Permeabilidad a Especímenes Cilíndricos de Concreto

ACI 522 R-06

N°	DESCRIPCION	DISEÑO (Kg/cm²)	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
			MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm²)	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm²)	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERÍA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M10	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268
CPP-M11	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268
CPP-12	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 7.5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	9	648.59	648.59	30.0	27.0	0.238

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

FORMULA:

$$k = \frac{L}{t} \cdot \frac{a}{A} \cdot \frac{h1}{h2} \cdot \ln \frac{h1}{h2}$$



*Carlos Enrique Tito Silva*  
 CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173



**ENSAYO DE PERMEABILIDAD ACI 522 R-06**

Proyecto : Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional F'c 210 kg/cm2, Lima 2021.

Solicitante : Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

Ubicación : Lima

Tipo de Material : Concreto Permeable con 10% de Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla : 210 kg/cm2

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

Ensayo de Permeabilidad a Especímenes Cilíndricos de Concreto

ACI 522 R-06

PROBETA		DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
N°	DESCRIPCION		MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M13	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	7	648.59	648.59	30.0	27.0	0.306
CPP-M14	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268
CPP-M15	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 10%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

FORMULA:

$$k = \frac{L}{t} \cdot \frac{a}{A} \cdot \frac{h1}{h2} \cdot \ln \frac{h1}{h2}$$



*Carlos Enrique Tito Silva*  
 CARLOS ENRIQUE TITO SILVA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD ACI 522 R-06**

Proyecto : Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el grado de permeabilidad del concreto permeable convencional Fc 210 kg/cm2, Lima 2021.

Solicitante : Carrera Saavedra, César Eduardo / Lino Solano, José Luis

Ubicación : Lima

Tipo de Material : Concreto Permeable con 12.5% de Ceniza Volcánica

Diseño de Mezcla : 210 kg/cm2

Fecha de emisión: 06/11/2021

**Resultados de los ensayos realizados**

Ensayo de Permeabilidad a Especímenes Cilíndricos de Concreto

ACI 522 R-06

N°	PROBETA DESCRIPCION	DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA		EDAD (días)	L	t	A	a	h1	h2	k
			MOLDEO	ENSAYO PERMEABILIDAD		LONG. DE LA MUESTRA (cm)	TIEMPO (seg.)	ÁREA DE MUESTRA (cm <sup>2</sup> )	ÁREA DEL CILINDRO DE CARGA (cm <sup>2</sup> )	ALT. DE LA COLUMNA DE AGUA (cm)	ALT. DE LA TUBERIA DE SALIDA (cm)	COEF. DE PERMEAB. (cm/seg)
CPP-M16	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	7	648.59	648.59	30.0	27.0	0.306
CPP-M17	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	8	648.59	648.59	30.0	27.0	0.268
CPP-M18	Probeta N°02 Grava de 1/2" Relación a/c 0.4 % de vacíos 17% ceniza vol. 12.5%	210	04/10/21	1/11/2021	28	20.32	7	648.59	648.59	30.0	27.0	0.306

**Observaciones:**

Las muestras han sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Los resultados corresponden a los ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al Laboratorio Geotécnico y de Concreto.

FORMULA:

$$k = \frac{L}{t} \cdot \frac{a}{A} \cdot xLn \frac{h1}{h2}$$



*Carlos Enrique Tito Silva*  
**CARLOS ENRIQUE TITO SILVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 76173

## ANEXO 11. Panel fotográfico













