



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

# Valoración de mezclas de concreto con contenidos del 30% de ceniza volante tamizada

---

Mariela Rendón Belmonte  
Donato Sánchez Topete  
Abraham López Miguel

Publicación Técnica No. 672  
**Sanfandila, Qro.**  
**2022**

ISSN 0188-7297



Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por los investigadores. Mariela Rendón Belmonte, Donato Sánchez Topete y Abraham López Miguel.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna EI 02-21: Caracterización de ceniza volante tamizada proveniente de la termoeléctrica de Petacalco

Se agradece a la comisión federal de electricidad la provisión de ceniza volante para desarrollar esta investigación y a la empresa Eucomex S.A. de C.V por la facilidad proporcionada para el uso de sus instalaciones y apoyo de su personal.



# Contenido

---

	Página
Índice de figuras y gráficas.....	.v
Índice de tablas.....	vi
Sinopsis.....	viii
Abstract.....	x
Resumen Ejecutivo.....	xii
Introducción.....	.1
1 Antecedentes.....	.3
2 Metodología experimental.....	.5
3 Resultados.....	11
Conclusiones.....	23
Bibliografía.....	25

---



## Índice de figuras y gráficas

---

Figura 2.1 Condición como se mantuvieron las muestras.....8 de concreto	8
Figura 2.2 Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico (VPU) .....	8
Figura 2.3 Ensayo de resistividad eléctrica.....9	9
Figura 2.4 Ensayo de permeabilidad rápida al ion cloruro.....9	9
Figura 2.5 Ensayo de resistencia a la compresión.....10	10
Figura 3.1 Cribadora y tamices utilizados .....	11
Figura 3.2 Distribución de partícula de la ceniza volante en estado de recepción (CVN) y tamizada (CVT).....12	12
Figura 3.3 Apariencia de muestras de concreto fabricadas en el lote 1.....13	13
Gráfica 3.1 Resultados de resistencia a la compresión a 7 días de mezclas del lote 1.....13	13
Gráfica 3.2 Resultados de resistencia a la compresión a 28 días de mezclas del lote 1.....14	14
Gráfica 3.3 Resultados de permeabilidad rápida al ion cloruro a 28 días de mezclas de lote 1.....15	15
Gráfica 3.4 Resultados de velocidad de pulso ultrasónico de muestras del lote 2.....16	16
Gráfica 3.5 Resultados de resistividad eléctrica del lote 2..... 17	17

Gráfica 3.6 Resultados de permeabilidad rápida al ion cloruro del lote 2.....	18
Gráfica 3.7 Resultados de resistencia a la compresión.....	19
Gráfica 3.8 Correlación de resultados de VPU vs resistencia a la compresión.....	20
Gráfica 3.9 Correlación de resultados de resistividad eléctrica vs permeabilidad al ión cloruro.....	21

## Índice de tablas

---

Tabla 2.1 Características de los materiales [1].....	5
Tabla 2.2 Diseño de mezclas de primer lote [1] .....	6
Tabla 2.3 Diseño de mezclas de lote 2 .....	6
Tabla 2.4 Mezclas de concreto fabricadas en lote 1 .....	7
Tabla 2.5 Mezclas de concreto fabricadas en lote 2 .....	7



## Sinopsis

---

Esta investigación presenta el comportamiento de durabilidad de mezclas de concreto con diseños: 250, 350 y 450 Kg/cm<sup>2</sup> fabricadas sin contenido de ceniza volante (MB) como referencia y con contenido del 30% de ceniza volante tamizada (MCVT) proveniente de la termoeléctrica de Petacalco. El objetivo de esta investigación fue determinar si el tamizado de la ceniza volante favorece el desarrollo de la resistencia mecánica a la compresión a edades tempranas, ya que en estudios previos se determinó que el uso de ceniza volante en su estado de recepción en porcentajes de sustitución del 30% por cemento portland proporciona propiedades de durabilidad, pero el orden de las resistencias a la compresión a edades tempranas (7 a 28 días) no es comparable con la alcanzada con concretos convencionales que emplean cemento portland, valor requerido en el sector de la construcción para ser competitivo.

Los resultados de resistencia mecánica a la compresión a edades tempranas (7 días) resultaron comparables a los alcanzados con la mezcla de concreto de referencia. Lo que da pauta, a que la ceniza volante tamizada sea considerada como una opción de material sustituto del cemento portland cuando se requieran resistencias del orden de un concreto convencional a edades tempranas.



## Abstract

---

This research presents the durability behavior of concrete mixes with designs: 250, 350 and 450 Kg/cm<sup>2</sup> manufactured without fly ash (MB) content as reference and with 30% content of sieving fly ash from the Petacalco thermoelectric plant. The objective of this research was to determine if the sieve of fly ash favors the development of mechanical resistance to compression at early ages, since in previous studies it was determined that the use of fly ash in its reception state in substitution percentages of 30% for portland cement provides durability properties, but, the order of the resistance to compression at early ages (7 to 28 days) is not comparable with that achieved with conventional or portland cement concretes, a value required to be competitive in the construction sector.

The results obtained the mechanical compressive strength at early ages (7 days) developed values comparable to those achieved with the reference concrete mix. This leads to the consideration of screened fly ash as a substitute material option for portland cement when strengths on the order of conventional concrete are required at early ages.



# Resumen ejecutivo

---

En esta investigación se valoraron las propiedades de durabilidad de dos lotes de mezclas de concreto:

- El primer lote se refiere a mezclas de concreto con diseños 250, 350 y 450 Kg/cm<sup>2</sup> sin contenido de ceniza volante y con contenido del 30% de ceniza volante tamizada por un periodo de 28 días.
- El segundo lote consistió en mezclas de concreto con diseño 450 Kg/cm<sup>2</sup> sin contenido de ceniza volante, con 30% de contenido de ceniza volante en su estado de recepción y con contenido del 30% de ceniza volante tamizada, evaluadas por un periodo de 176 días. Para estas mezclas se realizó una comparación de resultados entre sí, con la finalidad de determinar el efecto del tamizado en las propiedades de durabilidad y resistencia a la compresión.

Este trabajo se compone de cuatro capítulos, además de la introducción, que se describen brevemente a continuación:

Capítulo 1: Presenta una revisión bibliográfica de trabajos reportados sobre el uso de la ceniza volante en estructuras de concreto.

Capítulo 2: Describe de la metodología seguida para la fabricación y evaluación de probetas evaluadas.

Capítulo 3: Presenta los resultados y la discusión de los mismos, en función de los resultados obtenidos con la mezcla de concreto fabricada con 100% de cemento portland tipo CPC 40 R.

Capítulo 4: Contiene las conclusiones logradas en el estudio.



# Introducción

---

De acuerdo con referencias consultadas, el uso de la ceniza volante en el concreto data desde los 70's y existe amplia investigación sobre su uso como material sustituto del cemento en el concreto, sin embargo, el porcentaje de reemplazo ha sido limitado y fundamentado básicamente en que los valores de la resistencia mecánica a la compresión alcanzados a edades tempranas de 7 a 28 días, no son, del orden de los alcanzados con concretos de cemento portland. En México, esta es una razón para que el uso de este material hoy en día no se aproveche en su totalidad.

Considerando la importancia y participación del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en el impulso de emplear criterios de durabilidad en la infraestructura civil, se han estudiado materiales alternos a los convencionales para concretos, que mejoren sus propiedades y sean sostenibles, entre ellos, la ceniza volante. Este material, se ha valorado como material sustituto del cemento portland en concretos, considerando que la resistencia mecánica a la compresión no es el principal parámetro para valorar la durabilidad del concreto, se ha concluido que, el uso de la ceniza volante es una solución efectiva y viable para concretos que no requieren altas resistencias mecánicas a la compresión a edades tempranas.

Sin embargo, actualmente en la ingeniería civil la resistencia mecánica a la compresión a edades tempranas es una primicia para seleccionar y utilizar materiales alternos en la construcción. Es por ello que en esta investigación se explora el uso del tamizado como un método factible que ayude a mejorar la reactividad de la ceniza y favorezca el desarrollo de la resistencia a la compresión a edades tempranas (7 a 28 días) con porcentajes de sustitución del 30% del cemento portland por ceniza volante y determinar la factibilidad de alcanzar valores comparables con los que desarrolla un concreto tradicional que emplea cemento portland. Este proyecto se desarrolló partiendo de resultados previos ya reportados en la publicación técnica No. 618 [1] y en función de la disponibilidad de equipo y materiales en el Instituto Mexicano del Transporte.



# 1. Antecedentes

---

A continuación, se mencionan estudios sobre el uso de la ceniza volante (CV) en concretos, referencias que se suman a la revisión bibliográfica reportada previamente en la PT No. 618 [1].

Durán Herrera A. y Rivera Torres J. M., 2007 [2] plantearon elaborar concretos estructurales económicos con alta trabajabilidad y alta resistencia, adicionando ceniza volante (CV) del 0 a 150%. Reportan que conforme fue mayor la adición de CV incrementaba la resistencia a la compresión, excepto, cuando los contenidos fueron mayores a 120%, esto lo atribuyen a que el contenido de agua no fue suficiente para que se diera la reacción de hidratación o reacción puzolánica.

Váldez et. al., 2007 [3] elaboraron concretos con adición de ceniza volante en un porcentaje que varió entre 30 y 150 % con respecto al peso del cemento portland. Utilizaron un aditivo super plastificante. Obtuvieron concretos con alta resistencia a la compresión respecto al concreto de referencia. Los autores comentan que una sustitución de 90% de CV en combinación con el uso de aditivo superplastificante, redujo problemas en la mezcla en estado fresco y el concreto alcanzó la mayor resistencia a edades posteriores a 28 días.

Hela y Orsakova 2013 [4] investigaron la viabilidad de las cenizas volantes activadas mecánicamente por molienda en el cual se reemplazó 25% de cemento por ceniza volante. Los resultados arrojaron que la molienda tiene una influencia considerable en la reactividad de la ceniza, aunque, reportan que el tamizado es mucho más rentable para lograr cenizas volantes de partículas pequeñas.

Arenas Piedrahita J.C et. al., 2016 [5] estudiaron mezclas binarias de morteros con la adición de 10 y 20% de CV tamizada por la malla No.100. Los resultados indicaron que el uso de 10% de CV no afectó significativamente las propiedades de resistencia y durabilidad de los morteros estudiados; sin embargo, el uso de 20% redujo significativamente las propiedades.

Yañez Valdés 2019 [6] reporta que el tamizado consiste en la extracción de ciertas fracciones de material de la ceniza, al ser puestas en tamices de distinto tamaño.

Castañeda y Salcedo, 2020 [7] estudiaron la influencia del 7, 12, 17 y 22% de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland tipo I en mezclas de concreto con  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Reportan que la ceniza volante influye de manera positiva en el concreto, presentando resistencias a compresión superiores a las de un concreto sin sustitución. Concluyen que la ceniza volante es un sustituto ideal por cemento portland tipo I ya que se llega a obtener hasta un 18.1% de ahorro económico para un concreto con sustitución al 22% sin disminuir su resistencia a

la compresión. Consideran el uso de la ceniza volante como alternativa excelente, si se busca garantizar un concreto que supere un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , obtener un concreto que cumpla con la resistencia requerida para su diseño y que sea más económico y disminuya el consumo del cemento, haciéndolo ecológico.

Pacheco Hernández Alejandra Verónica, 2021 [8] evaluó los efectos del uso de la ceniza volante y la ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolanas en propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. Valoró cuatro mezclas de concreto: 100% cemento portland, 15% de sustitución de ceniza volante por cemento portland, 15% de ceniza de bagazo de caña por cemento portland y una mezcla binaria de 15% de ceniza volante más 15% de ceniza de bagazo. Reporta que el reemplazo parcial cemento por 15% de ceniza volante mexicana disminuyó la resistencia a la compresión y la velocidad de pulso ultrasónico del concreto a edades tempranas, pero mejoró la resistividad eléctrica. En cuanto al reemplazo parcial de cemento por 15% ceniza de bagazo de caña no afectó la resistencia a la compresión, pero disminuyó la velocidad de pulso ultrasónico e incrementó significativamente la resistividad eléctrica del concreto. En este mismo sentido, la combinación de 15% ceniza volante y 15% de ceniza de bagazo de caña disminuyó la resistencia a la compresión y la velocidad de pulso ultrasónico a edades tempranas, pero incrementó significativamente el valor de la resistividad eléctrica del concreto.

Huaquisto y Quenta 2021 [9] valoraron mezclas de concreto con contenidos de ceniza volante del 0, 2.5, 5, 7.5 y 10 % con respecto al peso del cemento respectivamente, concluyen que en porcentajes menores al 5% se alcanzan las resistencias de diseño. Proporciones superiores hacen menos trabajable el concreto, requiriéndose más agua en su elaboración y por lo tanto, presenta una disminución de la resistencia a compresión del concreto endurecido.

## 2. Metodología experimental

---

### 2.1 Materiales

Para la elaboración de las mezclas de concreto se utilizó cemento portland 40 R (CPC 40R) marca comercial, ceniza volante en su estado de recepción y ceniza volante tamizada procedente de la termoeléctrica de Petacalco.

Las características de los materiales utilizados se reportan en tabla 2.1.

Tabla 2.1 Características de los materiales [1]

Material	Tamaño	Clasificación	Origen	Densidad (g/ml)	Absorción (%)
Cemento	NA	CPC 40 R	NA	3.10	NA
Grava caliza ¾"	20 mm	Caliza	NA	2.66	1.10
Arena andesita	0-5 mm	Andesita	NA	2.42	3.11
Arena caliza	0-5 mm	Caliza	NA	2.69	2.57

El tamizado de la ceniza volante se realizó con apoyo de una cribadora mecánica marca DuraTap y empleando los tamices disponibles y menores a 100  $\mu\text{m}$ .

Los tamaños de ceniza volante obtenidos se colocaron en una mezcladora para fabricación de concretos (por un periodo de 4 minutos) y se mezclaron entre sí. A partir de este material, se tomó una muestra para determinar su distribución de partícula mediante difracción de rayos láser. Posteriormente el material se colocó en un contenedor junto con el resto de los materiales hasta el momento de la fabricación de las mezclas.

### 2.2 Diseños de mezcla

Se realizaron dos lotes de mezclas: lote 1 y lote 2. La tabla 2.2 presenta los diseños del **primer lote** de mezclas fabricadas considerando el método de la ACI 211 [10].

**Tabla 2.2 Diseño de mezclas de primer lote [1]**

<b>Diseño (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>250</b>		<b>350</b>		<b>450</b>	
Grava ¾" (Kg/m <sup>3</sup> )	22.43	22.43	23.05	23.05	22	22
Arena andesita (Kg/m <sup>3</sup> )	15.22	15.22	13.32	13.32	10.32	10.32
Arena caliza (Kg/m <sup>3</sup> )	9.63	9.63	8.41	8.41	9.86	9.86
Agua (Kg/m <sup>3</sup> )	5.30	5.30	5.58	5.58	5.19	5.19
Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	6.75	4.71	9.33	6.53	13.45	9.41
Ceniza volante tamizada (Kg/m <sup>3</sup> )	0	2.02	0	2.80	0	4.03

La tabla 2.3 presenta los diseños de mezclas fabricadas en el **segundo lote**, que se realizaron también considerando el método de la ACI 211.-91 [10].

**Tabla 2.3 Diseño de mezclas de lote 2**

450 kg/ cm <sup>2</sup>	<b>Mezcla MB</b>	<b>Mezcla MCVN</b>	<b>Mezcla MCVT</b>
	Referencia	30% ceniza volante en estado de recepción	30% ceniza volante tamizada
Cemento (kg)	10.6	7.42	7.42
Ceniza volante (kg)	0	3.18	0
Ceniza volante tamizada (kg)	0	0	3.18
Grava (kg)	20.18	19.67	19.67
Arena (kg)	13.13	12.7	12.7
Agua (l)	2.99	3	3
Aditivo (ml)	*el requerido	*el requerido	*el requerido

## 2.3 Fabricación de mezclas

En el **primer lote**, se fabricaron un total de 36 muestras cilíndricas de 10\*20 cm para ensayos de durabilidad y 48 cubos de 10\*10\*10 cm para resistencia a la compresión, los detalles se muestran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Mezclas de concreto fabricadas en lote 1

Mezcla	Denominación	Número de cilindros	Número de cubos
Referencia 250 Kg/cm <sup>2</sup>	MBI	6	8
30% CVT 250 Kg/cm <sup>2</sup>	MCVTI	6	8
Referencia 350 Kg/cm <sup>2</sup>	MBII	6	8
30% CVT 350 Kg/cm <sup>2</sup>	MCVTII	6	8
Referencia 450 Kg/cm <sup>2</sup>	MBIII	6	8
30% CVT 450 Kg/cm <sup>2</sup>	MCVTIII	6	8
Total de muestras:		36	48

En el **segundo lote**, se fabricaron 6 muestras cilíndricas de 10\*20 cm para ensayos de durabilidad y 8 cubos de 10\*10\*10 cm para resistencia a la compresión por mezcla, los detalles se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Mezclas de concreto fabricadas en lote 2

Mezcla	Denominación	Número de cilindros	Número de cubos
Referencia (100% CPC 40 R)	MB	6	8
30% CV en estado de recepción + 70% CPC 40 R	MCVN	6	8
30% CV tamizada +70% CPC 40 R	MCVT	6	8

El proceso de fabricación de las mezclas de ambos lotes y curado se realizó de acuerdo con el procedimiento de la norma ASTM C192 [11]. Posterior al período de curado (28 días), todas las muestras se retiraron del cuarto de curado y se mantuvieron a temperatura ambiente y en condición saturada, condición lograda con inmersión constante en agua potable en contenedores de plástico con tapa como muestra la figura 2.1.



**Figura 2.1** Condición como se mantuvieron las muestras de concreto

## 2.4 Ensayos

Los ensayos que se realizaron se refieren a: velocidad de pulso ultrasónico (VPU) [12,13], resistividad eléctrica ( $\rho$ ) [14], permeabilidad rápida al ión cloruro [15] y resistencia mecánica a la compresión [16] a diferentes edades por un período de 28 días para el lote 1 y por 176 días para el lote 2.

### 2.4.1 Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)

La prueba de Velocidad de pulso ultrasónico se realizó considerando la metodología de la norma ASTM C 597 y NMX-C-275 [12,13]. En la figura 2.2 se aprecia el equipo modelo UPV E48 utilizado y la forma de medición de las muestras cilíndricas. Los resultados se estimaron de acuerdo a la formula mencionada en la norma ASTM C 597 [12] y valoraron conforme a los criterios descritos en el manual de la Red DURAR [17].



**Figura 2.2** Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico (VPU)

## 2.4.2 Resistividad Eléctrica ( $\rho$ )

Para este ensayo se utilizó un resistómetro marca M.C MILLER modelo 400A mostrado en la figura 2.3. El procedimiento de prueba y criterios de evaluación de la norma fueron de acuerdo a la norma NMX-C-514 [14].



Figura 2.3 Ensayo de resistividad eléctrica

## 2.4.3 Permeabilidad rápida al ion cloruro

El ensayo de permeabilidad rápida al ion cloruro se realizó considerando la metodología y criterios de evaluación de la norma ASTM C-1202 [15]. La figura 2.4 muestra la evaluación de las muestras obtenida mediante el equipo PROVE it.

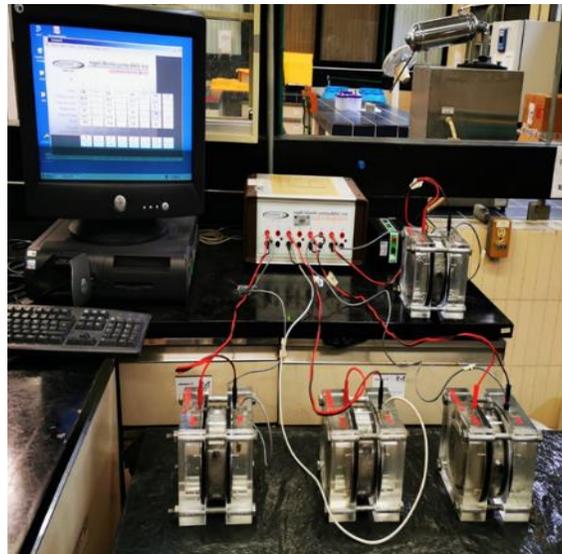


Figura 2.4 Ensayo de permeabilidad rápida al ion cloruro

## 2.4.5 Determinación de resistencia a la compresión

Los especímenes fueron ensayados en una máquina marca Instron mostrada en la figura 2.5 y de acuerdo con el procedimiento de la norma ASTM C-39 [18].



Figura 2.5 Equipo para ensayo de resistencia a la compresión

## 3. Resultados y análisis

---

### 3.1 Tamizado de la ceniza volante

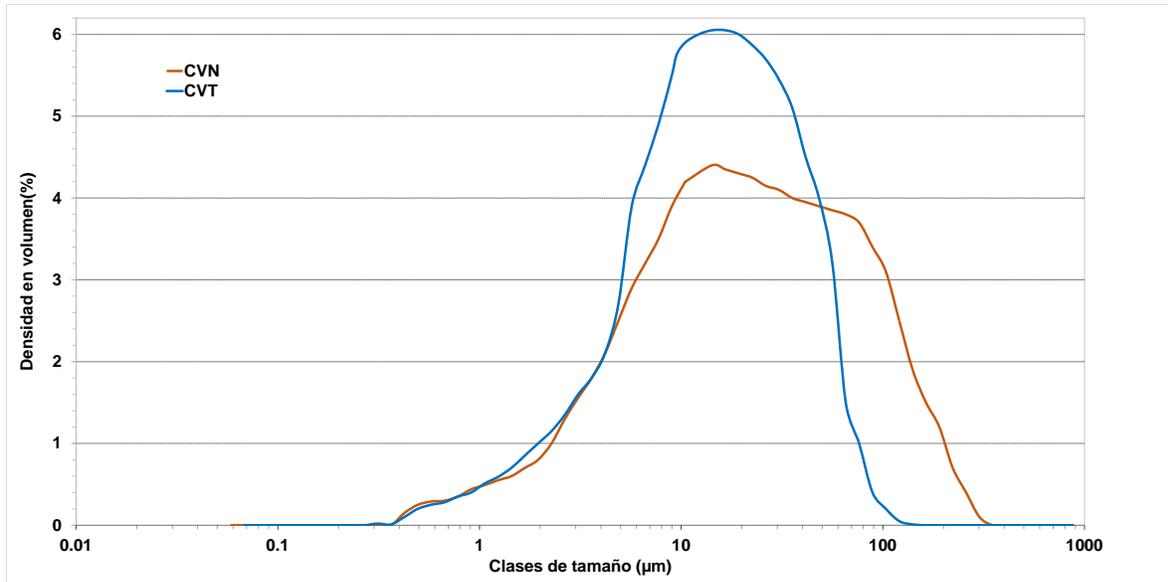
El tamizado de la ceniza volante se realizó con la cribadora marca DuraTap y tamices mostrados en la figura 3.1.



Figura 3.1 Cribadora y tamices utilizados

### 3.2 Análisis granulométrico de la ceniza volante

La distribución del tamaño de partícula de la ceniza volante se obtuvo con un equipo modelo Mastersizer de la casa MALVERN. La medición se realizó por el análisis de dispersión láser y se utilizó etanol como medio de dispersión para la suspensión de partículas. En la figura 3.2 se muestran los resultados de la distribución de partícula de la ceniza volante en estado de recepción (sin tratamiento) y tamizada.



**Figura 3.2** Distribución de partícula de la ceniza volante en estado de recepción (CVN) y tamizada (CVT)

A partir de la figura 3.2, se observa que la distribución de tamaño de partícula de la ceniza volante natural osciló entre 0.1 y 300 µm y el tamaño de partícula se centró en ~20 µm. Para el caso de la ceniza volante tamizada, la distribución de partícula osciló entre 0.1 y 100 µm y el tamaño de partícula se centró en ~14.2 µm. El resultado del tamizado de la ceniza volante fue la obtención de tamaños de partícula menores a 100 µm.

### 3.3 Apariencia de muestras de concreto del lote 1

Durante el desmolde de las muestras fabricadas en el lote 1, se notó físicamente más porosidad, lo que llevó a que se cortara en rodajas 1 cilindro por mezcla fabricada, obteniendo los detalles mostrados en la figura 3.3.

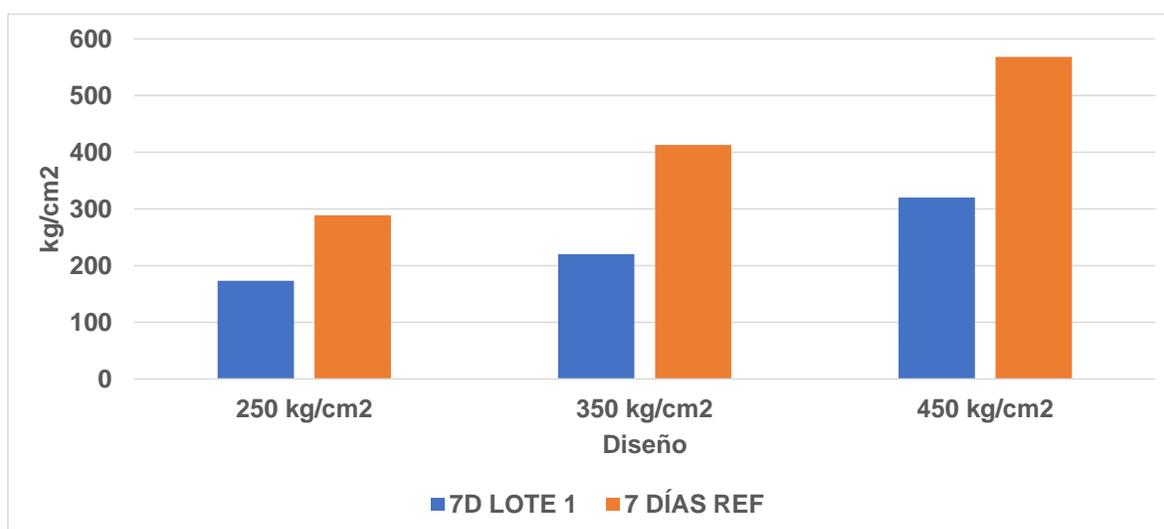


**Figura 3.3** Apariencia de muestras de concreto fabricadas en el lote 1

Este resultado no fue alentador, ya que se notó visiblemente más porosidad de lo normal, por lo que se decidió realizar ensayo de resistencia a la compresión de las mezclas de referencia a 7 y 28 días y comparar los resultados con los reportados en la PT 618 [1], dado que los diseños de referencia y materiales utilizados fueron del mismo origen y con las mismas características, lo que permitiría conocer si el desempeño del lote 1 era confiable.

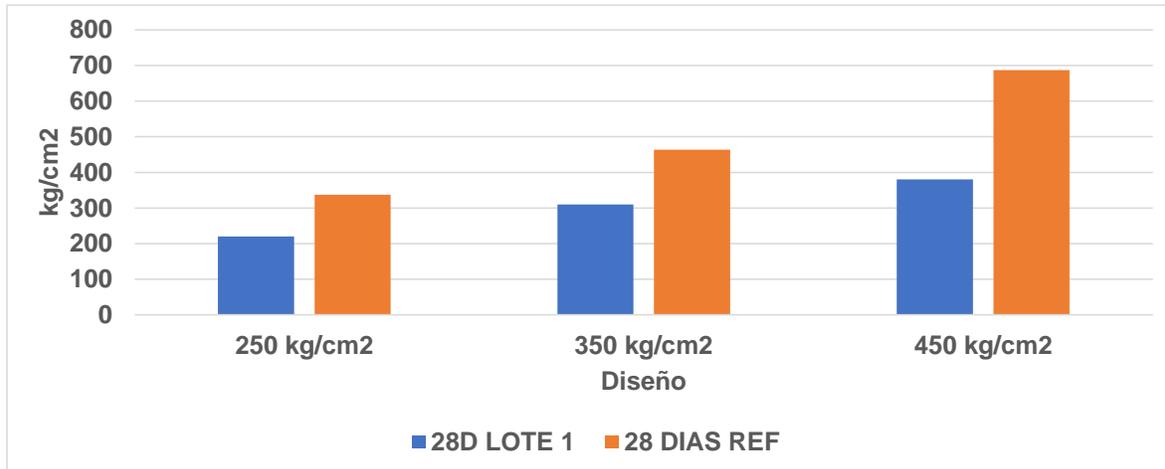
### 3.4 Ensayo de resistencia mecánica a la compresión de muestras del lote 1

La Gráfica 3.1 muestra los resultados de resistencia mecánica a la compresión de las tres mezclas de referencia del lote 1 (MBI, MBII y MBIII) a 7 días junto con los reportados en la investigación previa e identificados como 7 DIAS REF [1].



Gráfica 3.1 Resultados de resistencia a la compresión a 7 días de mezclas del lote 1

La Gráfica 3.2 muestra los resultados de resistencia mecánica a la compresión de alcanzados a 28 días.

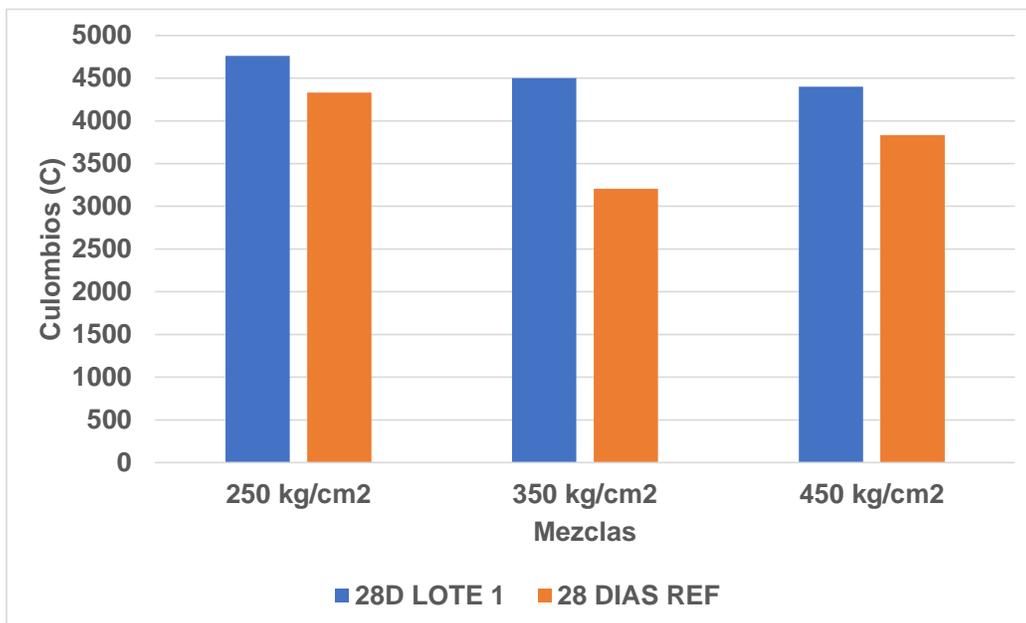


Gráfica 3.2 Resultados de resistencia a la compresión a 28 días de mezclas del lote 1

Todos los valores de resistencia a la compresión de las mezclas del lote 1, a 7 y 28 días resultaron menores a los alcanzados en las mezclas empleadas como referencia y reportadas en la PT 618 [18], además, la resistencia de diseño no la cumplieron. Esto llevó a revisar el procedimiento de fabricación, atribuyendo este detalle al exceso de tiempo de vibrado que se les dio a las muestras durante su fabricación.

### 3.5 Ensayo de permeabilidad rápida al ion cloruro de muestras del lote 1

Como complemento, se realizó ensayo de permeabilidad a 28 días de las mezclas de referencia y comparar también con los resultados reportados en la PT 618 [1]. La Gráfica 3.3 muestra los resultados obtenidos, donde se aprecia que los valores de todas las mezclas del lote 1 fueron mayores respecto a los obtenidos previamente [1]. Incluso, durante el ensayo de la muestra de la mezcla MBI se observó predicción de 8 540 C en el equipo de medición, lo que originó que se detuviera el ensayo después de 1:55 horas.

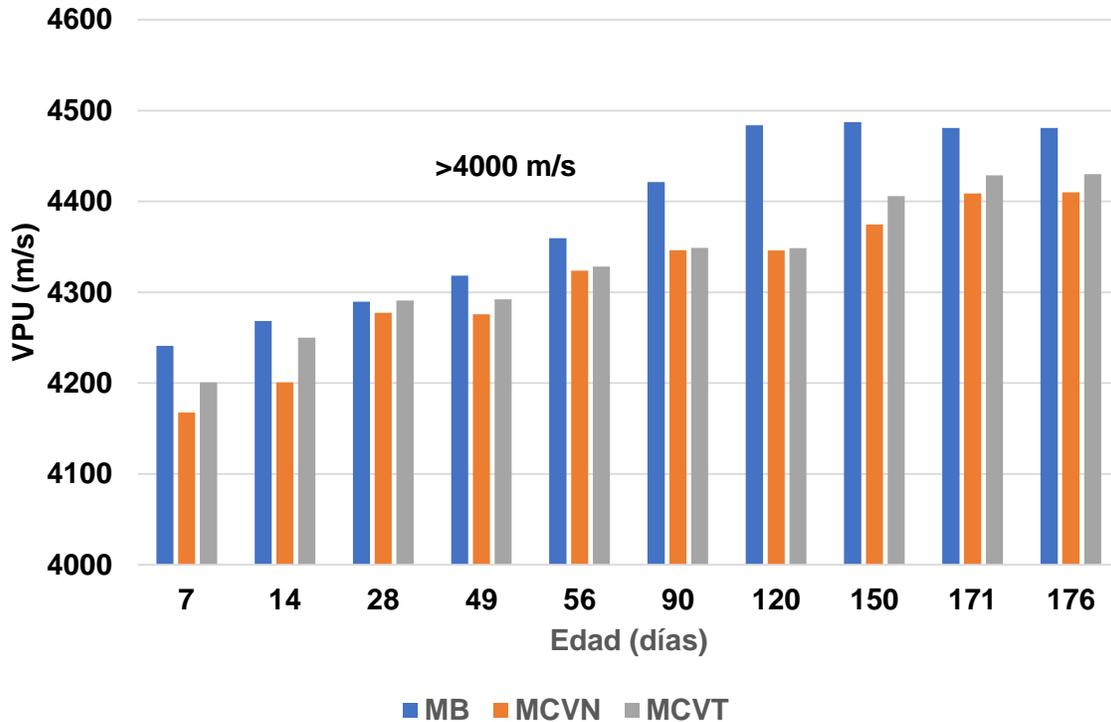


**Gráfica 3.3 Resultados de permeabilidad rápida al ion cloruro a 28 días de mezclas de lote 1**

Después de estos resultados, estas mezclas fueron excluidas del monitoreo y se programó una nueva colada de mezclas, la que fue más limitada en número de mezclas por disponibilidad de material y presupuesto. Los detalles se presentan en las tablas 2.4 y 2.6.

### **3.6 Velocidad de pulso ultrasónico (VPU) de muestras del lote 2**

La Gráfica 3.4 muestra los resultados de velocidad de pulso ultrasónico (VPU) a 176 días de las mezclas obtenidas del lote 2, se aprecia que en todas las mezclas y edades se alcanzaron valores  $>4000$  m/s, valor que de acuerdo al manual de la red Durar [17] indica calidad durable.



Gráfica 3.4 Resultados de velocidad de pulso ultrasónico de muestras del lote 2

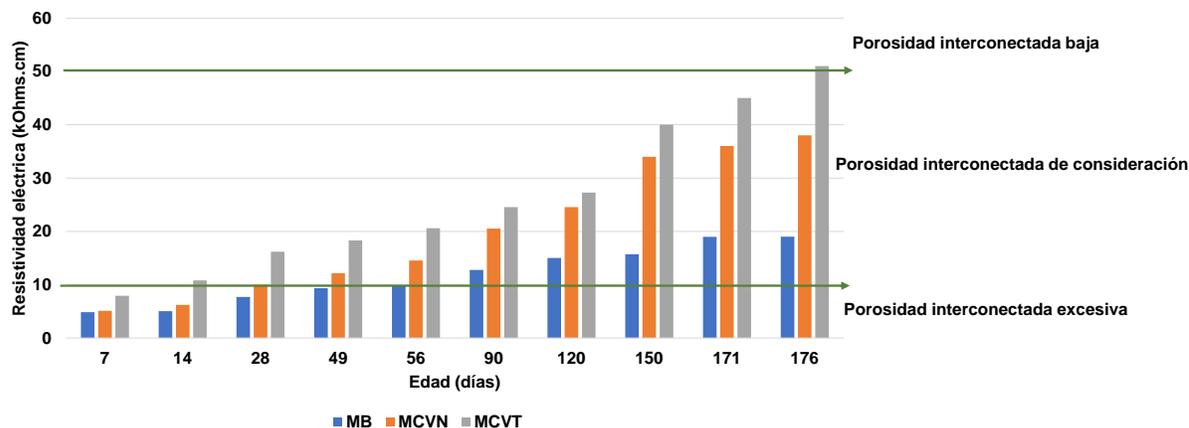
### 3.7 Resistividad eléctrica de muestras del lote 2

La Gráfica 3.5, muestra que los valores de las mezclas MB, MCVN y MCVT incrementaron respecto al paso del tiempo. Para las muestras de MB se observó incremento de 4 KΩ.cm (valor inicial) a 19 KΩ.cm después de 176 días. MCVN osciló de 5 a 38 KΩ.cm y MCVT fluctuó entre 8 y 51 KΩ.cm. Analizando el comportamiento de las tres mezclas, es notable que las mezclas MCVN y MCVT tuvieron un desarrollo de resistividad eléctrica superior respecto a MB, resultado atribuido al contenido de ceniza volante, que favorece el refinamiento de la estructura poro y origina menor permeabilidad [19].

Por otro lado, comparando MCVT vs MCVN, MCVT desarrolló valores de resistividad mayores; este resultado se asocia con el efecto del tamaño de partícula de ceniza volante utilizado, ya que a menor tamaño de partícula mayor reactividad, ocasionando que la compacidad del concreto y el relleno de los espacios en la matriz del concreto sea favorecida [20].

De acuerdo con los criterios de evaluación de la norma NMX-C-514-ONNCE [14], MB y MCVN después de 176 días se ubicaron en nivel de porosidad interconectada de consideración (10 a 50 kΩ.cm), lo que indica que en el caso que exista acero de refuerzo embebido en estos concretos, el transporte de agentes agresivos hacia el acero de refuerzo será rápido. Para el caso de MCVT, hasta el

día 171 se ubicó en este nivel, pero posterior a esta edad la resistividad alcanzó valores de nivel de porosidad interconectada baja ( $50$  a  $100 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$ ), lo que indica que en el caso que exista acero de refuerzo embebido en este concreto dificultará el transporte de agentes agresivos al acero de refuerzo.

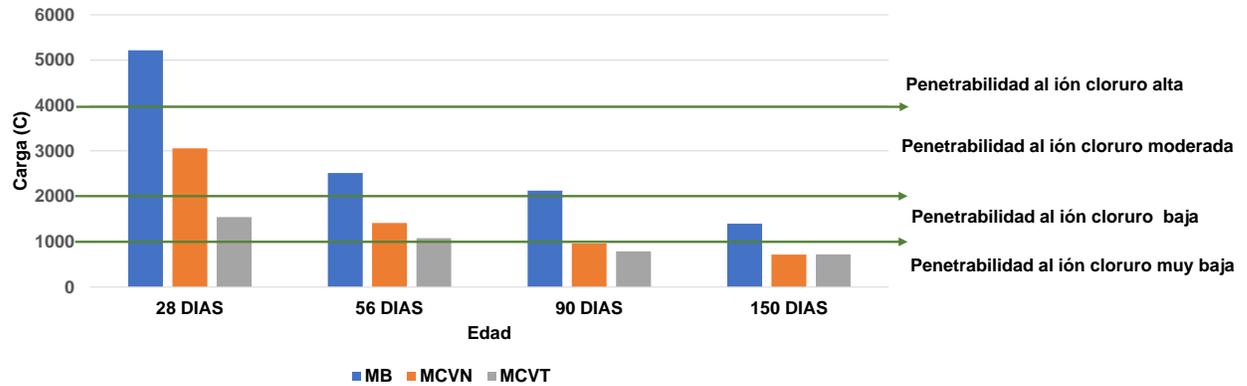


Gráfica 3.5 Resultados de resistividad eléctrica del lote 2

### 3.8 Permeabilidad rápida al ion cloruro de muestras de lote 2

La Gráfica 3.6 presenta los resultados del ensayo de permeabilidad rápida al ion cloruro. A 28 días MB alcanzó valores de  $5\ 000 \text{ C}$ , MCVN  $3\ 000 \text{ C}$  y MCVT  $1\ 500 \text{ C}$ ; ubicándose en nivel de penetrabilidad alto, moderado y bajo respectivamente. A 56 días, en los tres casos el nivel de permeabilidad disminuyó, alcanzando valores de:  $2\ 500$ ,  $1\ 400$  y  $1\ 000 \text{ C}$ , resultando nivel de permeabilidad moderado para MB y bajo para MCVN y MCVT. A edades posteriores, MB se ubicó en nivel de penetrabilidad bajo mientras las otras dos mezclas el nivel de penetrabilidad resultó muy bajo.

Si bien, el contenido de ceniza volante en las mezclas de concreto favorece la resistencia a la penetrabilidad del ion cloruro, el refinamiento de la estructura poro y relleno de los espacios se ve favorecido cuando el tamaño de la partícula es seleccionado ( $<100 \mu\text{m}$ ) como fue el caso de MCVT. Se aprecia que la finura de la ceniza volante redujo la carga que pasa a través del concreto, observación reportada por Semsí, Slanička y Chindaprasirt [20-22].

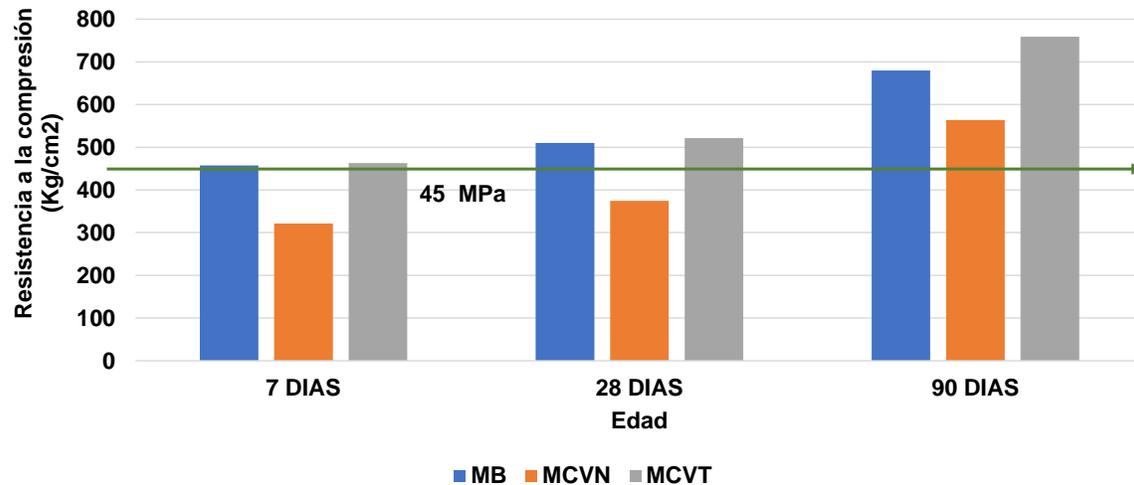


Gráfica 3.6 Resultados de permeabilidad rápida al ion cloruro del lote 2

### 3.9 Resistencia mecánica a la compresión de muestras del lote 2

La Gráfica 3.7 muestra los resultados de resistencia mecánica a la compresión de las tres mezclas del lote 2. De acuerdo con esta gráfica y criterio del Manual Red Durar [17] que considera que la resistencia mecánica a la compresión aceptable para un concreto de elevada resistencia es  $>45$  MPa ( $459$  Kg/cm<sup>2</sup>), las mezclas MB y MCVT alcanzaron este valor a partir de 7 días, mientras MCVN lo adquirió a 90 días.

Analizando el comportamiento de MCVN y MCVT, aunque en ambas mezclas se empleó el mismo porcentaje de ceniza volante, las diferencias que hubo en el desarrollo de las resistencias a la compresión fueron evidentes. Esta diferencia se asocia con el rango de tamaño de partícula utilizado para cada mezcla. Considerando las aportaciones de Prinya [21] y Al Amoudi [23], se deduce que el emplear partículas de ceniza volante más finas ( $< 100$   $\mu$ m), como fue el caso en MCVT, aumenta su capacidad de reacción con el hidróxido de calcio, impulsando su participación en la producción del gel C-S-H o silicato de calcio hidratado y por ende, se favorece el desarrollo de la resistencia. En MCVN, aunque la ceniza volante también participa en la formación del C-S-H, se considera que debido al tamaño de partícula, su contribución es menor y su reacción más lenta, repercutiendo en los valores de resistencia a edades tempranas.

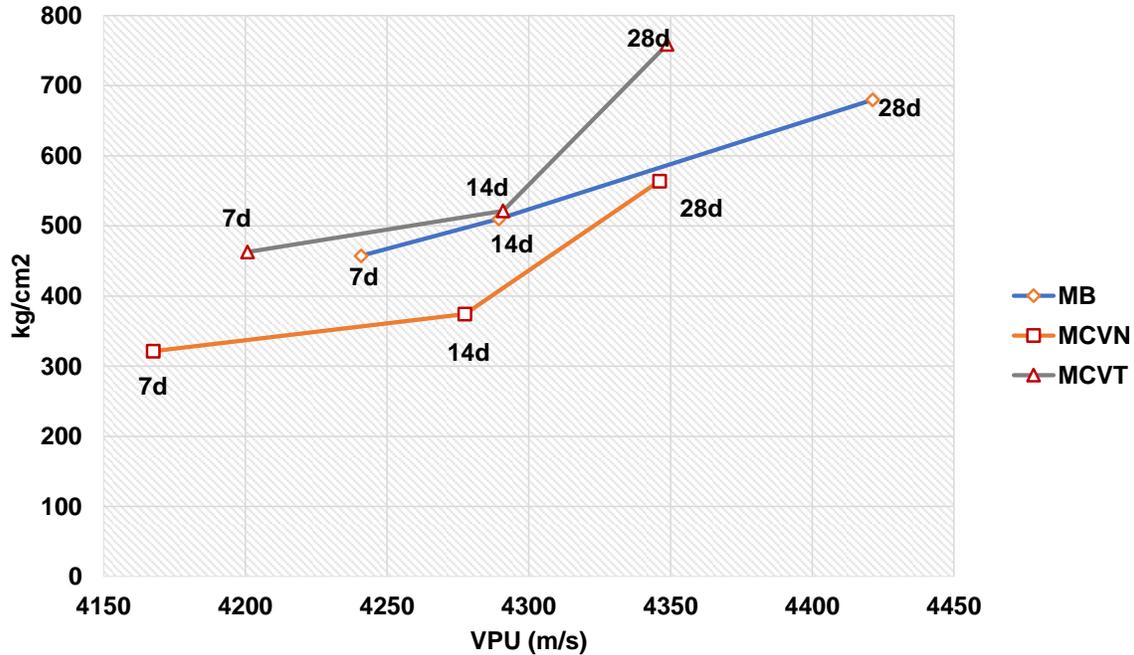


Gráfica 3.7 Resultados de resistencia a la compresión

### 3.10 Correlación VPU vs resistencia mecánica a la compresión de muestras del lote 2

La Gráfica 3.8 muestra la correlación de los resultados de VPU respecto a la resistencia mecánica a la compresión de las tres mezclas del lote 2.

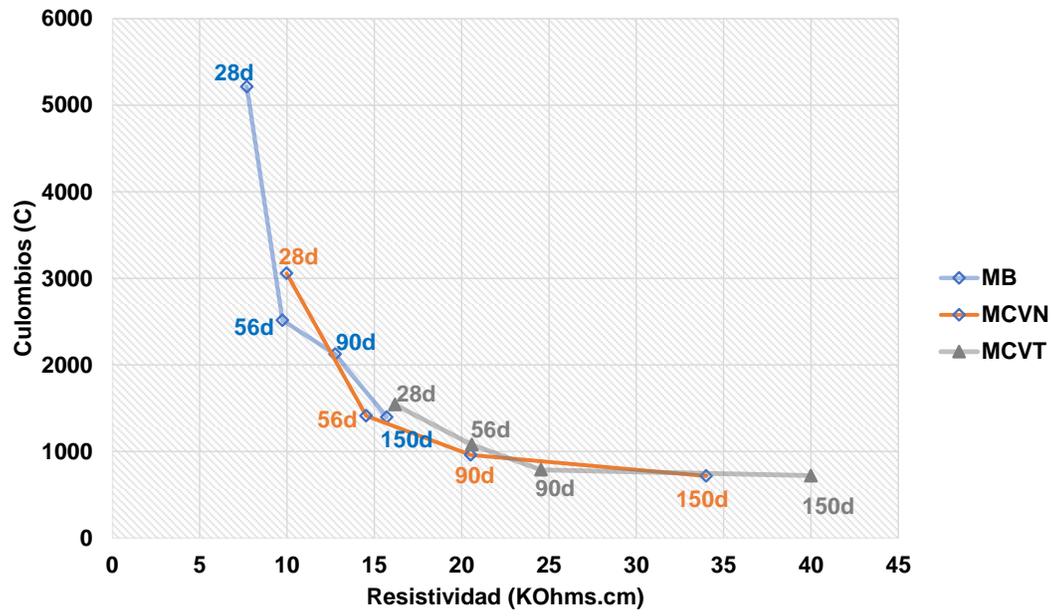
Lo que se observó en MB, MCVN y MCVT fue que a medida que la VPU incrementó, la resistencia a la compresión también, lo que indica que existe proporcionalidad directa. Si bien, esta correlación permite prever el comportamiento de cada mezcla, no se puede asumir que la mezcla con el valor de VPU mayor resultará el de mayor resistencia. En este caso, el valor de VPU más alto de las tres mezclas resultó con MB pero no fue la mezcla que obtuvo la mayor resistencia a la compresión, resultó la mezcla MCVT, por lo que ambos parámetros deben interpretarse con reserva.



Gráfica 3.8 Correlación de resultados de VPU vs resistencia a la compresión

### 3.9 Correlación resultados de resistividad eléctrica vs permeabilidad al ion cloruro de muestras del lote 2

La Gráfica 3.9 muestra la correlación de los resultados de resistividad eléctrica respecto a la permeabilidad rápida al ion cloruro de las tres mezclas del lote 2. Lo que se observó en los tres casos fue que a medida que la resistividad eléctrica incrementó la permeabilidad rápida al ion cloruro disminuyó, existiendo proporcionalidad inversa. De las tres mezclas, MCVT desde la primera medición indicó que su nivel de permeabilidad sería el menor. Esta correlación da pauta a predecir que, a mayor valor de resistividad el nivel de permeabilidad será menor.



Gráfica 3.9 Correlación de resultados de resistividad eléctrica vs permeabilidad al ion cloruro



## Conclusiones

---

Con base en los resultados obtenidos de las mezclas diseñadas con resistencia mecánica de 450 kg/cm<sup>2</sup>, se concluye lo siguiente:

- De acuerdo con el criterio del manual de la Red Durar, que considera que un concreto es de calidad durable cuando el valor de velocidad de pulso ultrasónico es > 4 000 m/s, todas las mezclas lo cumplieron.
- Respecto al desarrollo de la resistividad eléctrica, la presencia de ceniza volante en las mezclas de concreto favorece su desarrollo, ocasionando que el nivel de porosidad disminuya. Sin embargo, cabe resaltar, que el mayor desarrollo de esta propiedad se dio en la mezcla con contenidos de ceniza volante tamizada (MCVT), consecuencia atribuida al uso de tamaño de partículas con tamaño <100 µm.
- Si bien la presencia de ceniza volante en las mezclas de concreto favorece la disminución de la penetrabilidad al ion cloruro, este comportamiento se acentuó más en la mezcla con ceniza volante tamizada, atribuido también al efecto de la selección del tamaño de partícula que beneficia su reactividad y mejora el refinamiento de la estructura; dificultando más el paso del ion cloruro en el concreto.
- En lo que respecta a la resistencia mecánica a la compresión, el uso de ceniza volante tamizada en las mezclas de concreto beneficia el desarrollo de la resistencia a la compresión a partir de los 7 días, alcanzando valores comparables con la mezcla de referencia (sin contenidos de ceniza volante).

Con base en todas las propiedades valoradas se concluye:

El porcentaje de sustitución del 30% de cemento portland por ceniza volante tamizada, es una proporción conveniente para su uso en concretos que requieren resistencias a la compresión a edades tempranas del orden de un concreto convencional con propiedades de durabilidad.



## Bibliografía

---

1. Rendón Belmonte, M., Sánchez Topete, D., Martínez Madrid, M., López Miguel A. (2021). *Caracterización fisicoquímica de concretos con contenidos del 30% de ceniza volante*. *Publicación Técnica No. 618*, Sanfandila, Qro.
2. Durán Herrera A. y Rivera Torres J. (2007). *Concreto durable para uso estructural, económico, durable y sustentable con alto contenido de ceniza volante*. *Ciencia FIC*, (39).
3. Valdez, P., Durán, A., Rivera, J. y Juárez, C. (2007). *Concretos fluidos con altos volúmenes de ceniza volante*. *Ciencia UANL*, México, vol. X, No. 1,
4. Hela, R., Orsáková, D. (2013). *Activación mecánica de la ceniza volante*. *Procedia Engineering*. V. 65, 87-93
5. Arenas Piedrahita, J.C., Montes Garcia, P., Rangel Mendoza, J., Lopez Calvo, H., Valdez Tamez, P., Martinez Reyes J. (2016). *Mechanical and durability properties of mortars prepared with untreated sugarcane bagasse ash and untreated fly ash*. *Construction and Building Materials*, 105, 69–81.
6. Yañez Valdes, L. (2019). *Memoria para optar al título de ingeniero civil, Tecnologías de mejoramiento de la ceniza volante con altos contenidos de carbón y sus beneficios al utilizar ceniza mejorada como adición al cemento portland*. Universidad de Chile.
7. Castañeda Pacheco, M., y Salcedo Luis, F. (2020). *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Influencia del porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland tipo I sobre la resistencia a compresión, trabajabilidad y costo del concreto*. Trujillo Perú.
8. Pacheco Hernández, A. (2021). Tesis que para obtener el grado de académico de: Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales. *Influencia de la CVmx y CBCst en algunas propiedades de concretos ternarios*. Instituto Politécnico Nacional Oaxaca, México.
9. Huaquisto Cáceres, S., Quenta Flores, D. (2021). *Strength of concrete including ash*. *Journal of Research and Innovation in Civil Engineering Vol. 1, (1), 18*.
10. American Concrete Institute (2018). *ACI 211.1-91 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.

11. American Society for Testing and Materials (2019). *ASTM C192 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.*
12. American Society for Testing and Materials (2016). *ASTM C 597 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.*
13. Norma Mexicana (2019). *NMX-C-275-ONNCCE Determinación de la velocidad de pulso ultrasónico a través del concreto. Método de ensayo.*
14. Norma Mexicana (2019). *NMX-C-514-ONNCCE Industria de la construcción-resistividad eléctrica del concreto hidráulico-Especificaciones y métodos de ensayo.*
15. American Society for Testing and Materials (2012). *ASTM C 1202 Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.*
16. Norma Mexicana (2002). *NMX-C-083-ONNCE Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto*
17. Trocónis, Oladis, R., Aleida, Andrade, C. (2000). *DURAR Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado.* 3ra ed. Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo .
18. American Society for Testing and Materials (2018). *ASTM C 39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. American Society for Testing and Materials.*
19. Rendón Belmonte, M., Martínez Madrid, M., Martínez Pérez R., Pérez Quiroz J. (2019). *Durability of concrete mixtures with different contents of activated fly ash.* Revista ALCONPAT, V.9, (2), 200 -214
20. Yazici, S., Sahan Arel, H.(2012). *Effects of fly ash fineness on the mechanical properties of concrete.* Sadhan Indian Academy of Sciences Vol. 37, Part 3, pp. 389–403.
21. Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Sinsiri, T. (2005). *Effect of fly ash fineness on compressive strength and pore size of blended cement paste.* *Cement and Concrete Composites*, V. 27, (4), 425-428
22. Slanička, S. (1991). *The influence of fly ash fineness on the strength of concrete.* *Cement and Concrete Research*, Volume 21, (2–3), 285-296
23. Al-Amoudi, O., Maslehuddin, M., Asi, I. (1996). *Performance and Correlation of the Properties of Fly Ash Cement Concrete.* *Cement, Concrete and Aggregates*, V 18, (2), 71-77

---

---



# COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



**Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”**  
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,  
Querétaro, México. C.P. 76703  
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610  
Fax: +52 (442) 216 9671

[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)

<http://www.imt.mx/>