

Analysis of the Maximum Stress of Mortar Adding Volcanic Pozzolana

Jaime Jhampier Sánchez Zambrano, Ing.¹; Orlando Aguilar Aliaga, Dr.²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N0003414@upn.edu.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. orlando.aguilar@upn.edu.pe

Abstract– The objective of this research is to analyze and determine the maximum stress of a mortar composed of cement and sand in certain proportions, when the cement is partially replaced by a percentage of 10%, 15% and 20% of volcanic pozzolana; In order to comply with what was indicated, it was decided to select the Roca Fuerte quarry, in order to obtain the coarse aggregate to later analyze its physical properties taking into account the appropriate technical standards and in this way obtain the mortar mix design. Next, mortar specimens were made and the specimens were subjected to compression for the curing periods of 7, 14 and 28 days, determining that the greater the substitution of cement for volcanic pozzolana, the compressive strength decreases, additionally it was determined that the maximum tensions obtained are presented when 10% of volcanic pozzolana is substituted in relation to the weight of the cement, even managing to exceed the maximum tension of the standard specimen.

Keywords: Mortar, cement, volcanic pozzolana, water, test tube, maximum tension, resistance.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.299>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Análisis de la Máxima Tensión de Mortero Añadiendo Puzolana Volcánica

Jaime Jhampier Sánchez Zambrano, Ing.¹; Orlando Aguilar Aliaga, Dr.²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N0003414@upn.edu.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. orlando.aguilar@upn.edu.pe

Resumen— La presente investigación tiene como objetivo analizar y determinar la máxima tensión de un mortero compuesto por cemento y arena en proporciones determinadas, cuando se sustituye parcialmente el cemento por un porcentaje de 10%, 15% y 20% de puzolana volcánica; para poder cumplir con lo indicado se optó por seleccionar la cantera Roca Fuerte, con la finalidad de obtener el agregado grueso para posteriormente analizar sus propiedades físicas teniendo en cuenta las normas técnicas convenientes y de esta manera obtener el diseño de mezcla del mortero. Seguidamente se elaboraron probetas de mortero y se procedió a someter los especímenes a compresión para los períodos de 7, 14 y 28 días de curado, alcanzando a determinar que a mayor sustitución del cemento por puzolana volcánica disminuye la resistencia a compresión, adicionalmente se determinó que las máximas tensiones obtenidas se presentan cuando se sustituye un 10% de puzolana volcánica en relación al peso del cemento, consiguiendo inclusive superar la máxima tensión de la probeta patrón.

Palabras clave: Mortero, cemento, puzolana volcánica, agua, probeta, máxima tensión, resistencia.

I. INTRODUCCIÓN

El cemento portland es un conglomerante hidráulico cuya principal propiedad es la de formar masas pétreas resistentes y duraderas cuando se mezcla con áridos y agua. El endurecimiento de la mezcla ocurre transcurrido un cierto tiempo desde el momento en que se realiza el amasado, lo que permite dar forma a la piedra artificial resultante [1].

El cemento portland ha sido el material básico durante muchos años en el campo de la construcción, desde el punto de vista fisicoquímico, por su elevada saturación en cal, son los cementos de mayor contenido de energía en estado latente a la hora de la hidratación, con las consiguientes desventajas: liberación de gran cantidad de hidróxido carácter fuertemente exotérmico de las reacciones de hidratación (peligro de contracciones y fisuras) y posibilidad de reacción de carácter expansivo de los aluminatos cálcicos con los sulfatos del medio. [2].

Estas desventajas motivaron que, desde hace años, se estudien cementos que, bien por constitución propia (caso de los cementos altos en alúmina o de los cementos portland resistentes a los sulfatos) o bien por adiciones adecuadas al cemento portland creen estabilidad, durabilidad en la pasta endurecida, manteniendo y, a ser posible, mejorando, las buenas cualidades que, indudablemente, tiene el cemento portland [3].

En el caso de los cementos con adición de puzolana, lo que se trata es de sustituir, en la hidratación del portland, un producto no hidráulico, soluble y pernicioso por un producto hidráulico y resistente, resultante de la reacción puzolana-cal. Es decir, que la puzolana, no sólo estabiliza el fenómeno hidráulico, sino que se amplía, al fijar la cal liberada en la hidratación [2].

Cuando se adiciona puzolana al cemento Portland o a la cal hidratada, pueden generarse ventajas o desventajas en las resistencias mecánicas (compresión y tensión) y en la durabilidad, características que dependen de la naturaleza de la puzolana y de la proporción utilizada, por ello es siempre necesaria una caracterización detallada que permita conocer y predecir el comportamiento de estos materiales [4].

Entre las principales propiedades de los cementos con adición de puzolana son de destacar: el calor de hidratación, la resistencia química a ambientes agresivos y el aumento de resistencia mecánica [5].

La utilización de las puzolanas en el cemento Portland, presenta un efecto en la disminución del calor de hidratación debido a que tiene un menor porcentaje de los compuestos responsables de la elevación de la temperatura durante el fraguado del cemento, lo que implica una menor formación de capilares y por ende una mayor densidad y compacidad, a su vez necesita una menor utilización de agua para el curado de los elementos realizados con este tipo de mezclas [6].

Otra propiedad es la de ser resistente a los sulfatos, la cual es una consecuencia de la reacción de la puzolana con los aluminatos del clinker, al posibilitar la solubilidad de éstos últimos. Adicionalmente, estos productos contribuyen a una mayor impermeabilidad del hormigón [7].

Asimismo, la puzolana actúa como un inerte no nocivo, con un endurecimiento más lento que el portland base y más adelante, aparece como un componente activo, cuyos óxidos ácidos (sílice, alúmina e, incluso, óxido de hierro) combinan gradualmente con la cal liberada en la hidratación de los silicatos del portland, para formar nuevos compuestos hidráulicos estables; las discrepancias mecánicas con el portland disminuyen hasta desaparecer y, finalmente, la resistencia es superior a la del cemento portland sin adiciones, a igualdad de condiciones [8].

Por lo antes expuesto, el presente estudio busca una alternativa que utiliza puzolana volcánica, para morteros, reduciendo el volumen del cemento portland, proporcionando durabilidad y resistencia, cumpliendo con los parámetros físicos y mecánicos que indican las normas vigentes.

El mortero puede definirse como la mezcla de una materia aglutinante (cemento portland y otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos. Es ampliamente utilizado para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros o para recubrirlo [9].

La principal función del mortero es proporcionar apoyo y adherencia a las unidades de albañilería, lo cual se logra si dentro del ensamblaje actúa como elemento integral, con unas características de comportamiento deseados. Además, de influir en las propiedades estructurales de albañilería. La resistencia a la compresión es de gran consideración en el concreto y en el mortero, es sólo uno de los factores importantes, por esto se adiciona agua al mortero después de mezclado hasta obtener el grado adecuado de trabajabilidad, que permita una eficiente colocación y por tanto una buena adherencia [10].

Los morteros pueden tener una función estructural, y pueden usarse entonces en la construcción de elementos estructurales, o en la mampostería estructural en donde puede ser de pega o de relleno en las celdas de los muros [9].

- Mortero de junta: debe tener cualidades especiales, diferentes a los morteros usados para otros fines porque está sometido a las condiciones especiales del sistema constructivo, y una resistencia adecuada ya que debe absorber esfuerzos de tensión y compresión [9].
- Morteros de relleno: Se utilizan para llenar las celdas de los elementos en la mampostería estructural, y al igual que el mortero de pega debe tener una adecuada resistencia [9].
- Morteros de recubrimiento: Ya que su función no es estructural sino de embellecimiento, o la de proporcionar una superficie uniforme para aplicar la pintura, no requieren una resistencia determinada; la plasticidad juega en ellos un papel muy importante [9].

Parte fundamental del mortero son los agregados. Los agregados son cualquier sustancia sólida o partículas añadidas intencionalmente al concreto que ocupan un espacio rodeado por pasta de cemento, de tal forma, que en combinación con esta proporcionan resistencia mecánica, al mortero o concreto en estado endurecido y controlan los cambios volumétricos que normalmente tienen lugar durante el fraguado del cemento, así como los que se producen por las variaciones en el contenido de humedad de las estructuras [9].

La calidad de los agregados está determinada por el origen, por su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie. Se han clasificado en agregado grueso y agregado fino, fijando un valor en tamaño de 4,76 mm (N° 04) a 0.075

mm (N° 200) para el fino o arena y de 4,76 mm en adelante para el grueso [9].

Igual de importancia la tiene el cemento portland, que es un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión las cuales permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. [9].

El cemento tiene una composición química basada en las materias primas utilizadas en su fabricación, las cuales consisten principalmente en cal, sílice, alúmina, óxido de hierro. Estos compuestos interactúan con el horno rotatorio de producción para formar una serie de productos más complejos, hasta alcanzar un estado de equilibrio químico [10].

Durante las últimas décadas se han desarrollado gran cantidad de cementos a “base de portland”, uno de ellos es el cemento con adición de puzolana, de diversos tipos y procedencias.

Las puzolanas se definen como “materiales silíceos o silíceo-aluminosos”, que por sí mismos poseen poco o ningún valor cementante, pero que finamente divididos y en presencia de humedad e hidróxido de calcio, reaccionan químicamente a temperaturas ordinarias para formar compuestos cementantes de baja solubilidad [11].

Según su origen, las puzolanas suelen dividirse en dos grandes grupos: el de las puzolanas naturales y el de las puzolanas artificiales. Las puzolanas naturales, cuando son de origen mineral, son generalmente cenizas volcánicas procedentes de erupciones explosivas; y cuando son de origen orgánico son rocas sedimentarias lacustres o marinas, abundantes en ópalo y formadas por la acumulación de esqueletos y caparazones silíceos de animales y plantas microscópicas. Las puzolanas artificiales por su parte, se obtienen a partir de la calcinación de rocas arcillosas o esquistosas o de subproductos industriales, que involucran altas temperaturas [4].

En la investigación, comprobaremos los ya mencionados beneficios que incorpora la puzolana volcánica al cemento portland, aplicados en morteros con un añadido porcentual de cemento por una puzolana de origen orgánico.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Obtención de materiales

Para la elaboración de las probetas de mortero se necesitaron agregado fino, el cual fue obtenido de la cantera Roca Fuerte, Cemento Portland Tipo 5 de marca Andino y agua.

La puzolana volcánica fue obtenida en forma natural como roca Traquita, de los talladores de piedra ubicados en el C.P. Huambocancha Alta, provincia y departamento de Cajamarca – Perú.

B. Análisis granulométrico de agregado fino

Se realizó de acuerdo a la norma ASTM C136, para lo cual se secó una muestra significativa de material, la cual fue tamizada por las mallas de tamices correspondientes para luego realizar la comparación con los Husos granulométricos establecidos en la norma ASTM C33

C. Contenido de Humedad

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM D2216, para la cual se tomó los datos del peso de una porción de material en estado natural, la misma que fue llevada al horno a una temperatura constante de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Una vez retirada se tomó el peso del material seco y se calculó el porcentaje de humedad del agregado fino.

D. Gravedad específica y absorción de agregados finos

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM C128 para lo cual se tendrá que lavar la muestra hasta eliminar completamente el polvo, luego se seca en el horno, luego se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y determinar su peso sumergido en el agua, se cubre la muestra completamente con agua, por 24 horas; terminando se decanta la muestra evitando la pérdida de finos, luego de ello secar su superficie con una moderada corriente de aire caliente, para asegurarnos de ello se hace la prueba de cono, llenándolo y dándole 25 golpes; luego se introduce la muestra en el picnómetro 500g. del agregado fino y se añade agua hasta los 500 cm³, determinando el agua introducida, luego se saca el material del recipiente y se seca determinando su peso.

E. Molienda de Puzolana Volcánica

- Una vez obtenida la roca volcánica se procede al triturado con el uso de una comba para así facilitar el proceso de molienda. Ya triturado la roca se procede a la molienda del mismo hasta su menor partícula y se tamiza la puzolana por el tamiz N° 200 y el material que pasante de dicho tamiz es el que se usará para esta investigación.

F. Análisis granulométrico de agregado fino

La realización del diseño de mezclas se realizará de acuerdo al procedimiento de diseño del libro “Tecnología del concreto y del mortero” del Ing. Diego Sánchez de Guzmán.

G. Resistencia a compresión del mortero (ASTM C109)

Una vez teniendo el diseño de mezclas para cada porcentaje de adición de puzolana a realizar, se procedió a la elaboración de los especímenes. Para esto, se pesó las medidas exactas según el diseño de mezclas para cada dosificación (con y sin adición de puzolana) y se procedió con el amasado de la mezcla.

Se vertió la mezcla en los moldes cúbicos de 5cm de lado, previamente engrasados, compactando en cada compartimento 32 veces en alrededor de 10 segundos en cuatro rondas, una vez terminados se dejó fraguar por un periodo de 24 horas.

Se removió los especímenes de los moldes y fueron sumergidos en la poza de curado hasta el día del ensayo.

Cuando los especímenes han llegado a la edad de ensayo, se deberá tomar las medidas de cada uno de ellos, el largo y ancho de la sección en contacto y la altura para posteriormente ser ensayados a compresión, registrando las cargas y las deformaciones de cada probeta.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

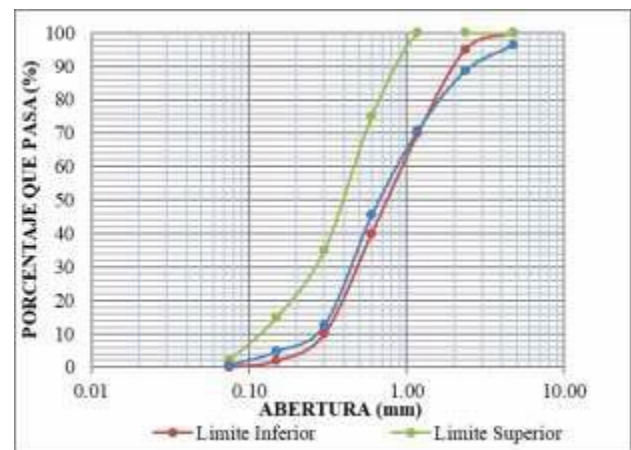
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la tesis denominada como “Resistencia a Compresión del Mortero Cemento – Arena Incorporando Puzolana Volcánica” [21].

A. ELABORACIÓN DEL MORTERO

Ensayos Agregado fino

De los ensayos realizados al agregado fino se obtuvieron los resultados tal como se muestran en la siguiente tabla

FIGURA 1
CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO



FUENTE [21]

TABLA 1
PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	UND	DATO
Peso específico del cemento (ρ_c)	gr / cm ³	3.15
Peso específico de la arena (ρ_{ar})	gr / cm ³	2.53
Resistencia del mortero ($f'c$)	kg / cm ²	175
Módulo de Finura (M.F.)	-	3.1
Contenido de Humedad Agregado (W%)	%	5.11
Absorción Agregado (Abs %)	%	2.51
Agregado Fino de Río (Forma redondeada y lisa)		

FUENTE [21]

Como se puede observar en la figura 1, la curva granulométrica de la arena gruesa para ser empleada dentro el mortero se encontró dentro de los Límites Granulométricos establecidos por la norma ASTM C33 y con un módulo de finura de 3.1 por lo cual se acepta al material para la elaboración del mortero de junta.

Diseño de mezclas

Del diseño de mezclas realizado se obtuvieron las dosificaciones de acuerdo a los siguientes datos:

TABLA 2
DOSIFICACIÓN DE PROBETAS CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ADICIÓN DE PUZOLANA VOLCÁNICA

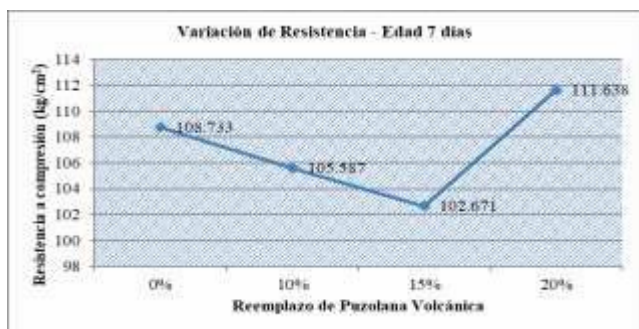
Materiales	Dosificación	Dosificación	Dosificación	Dosificación
	0%	10%	15%	20%
	Puzolana	Puzolana	puzolana	puzolana
Cemento	0.274 kg	0.247 kg	0.233 kg	0.219 kg
Agua	0.190 L	0.190 L	0.190 L	0.190 L
Arena	1.368 kg	1.368 kg	1.368 kg	1.368 kg
Puzolana	0.000 kg	0.027 kg	0.041 kg	0.055 kg

FUENTE [21]

En la tabla N° 2 se observan las medidas exactas para las dosificaciones correspondientes, tanto para probeta patrón como para dosificaciones con reemplazo de cemento por puzolana volcánica, dichos valores son correspondientes para el volumen de 6 probetas cúbicas de 5 cm de arista incluyendo desperdicios.

B. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO – EDAD DE ENSAYO 7 DÍAS

FIGURA 2
VARIACIÓN DE RESISTENCIA DE PROBETAS ENSAYADAS A LOS 7 DÍAS DE CURADO



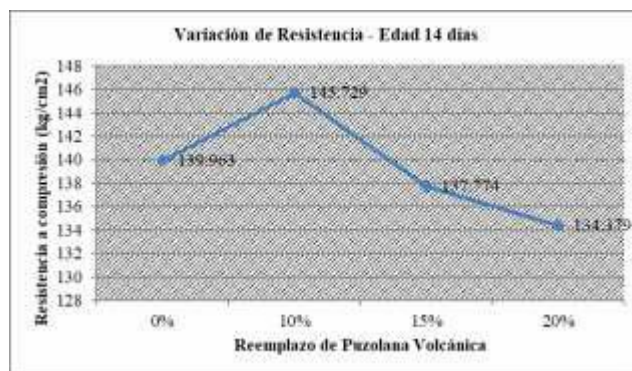
FUENTE [21]

La Grafica 2 muestra los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión de los morteros con diferentes porcentajes de reemplazo de puzolana, a una edad de ensayo de 7 días, en el cual se verifica la variación de resistencia para las diferentes dosificaciones.

Se aprecia que, para los 7 días de curado, la mayor resistencia la tiene los especímenes con un reemplazo del 20% de cemento por puzolana volcánica, evidenciando que, el mayor peso de puzolana reacciona aumentando la resistencia a una temprana edad, del mismo modo se evidencia que las probetas patrón se comportan de mejor manera en comparación a las probetas del con reemplazo del 10 y 15 por ciento.

C. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO – EDAD DE ENSAYO 14 DÍAS

FIGURA 3
VARIACIÓN DE RESISTENCIA DE PROBETAS ENSAYADAS A LOS 14 DÍAS DE CURADO



FUENTE [21]

La Grafica 3 muestra los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión de los morteros con diferentes porcentajes de reemplazo de puzolana, a una edad de ensayo de 14 días, en el cual se verifica el comportamiento de la resistencia de las diferentes dosificaciones y su variación con respecto a la resistencia obtenida al ensayo realizado a los 7 días de curado [21].

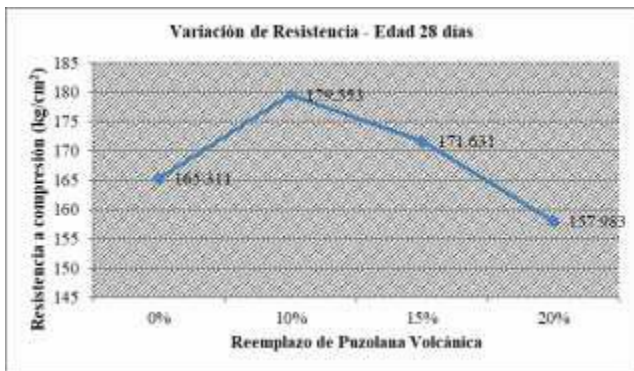
Se evidencia que, para los 14 días de curado, la mayor resistencia la tienen los especímenes con un reemplazo del 10% de cemento por puzolana volcánica, notando que, el reemplazo de dicho porcentaje reacciona de mejor manera para la edad de ensayo propuesta en comparación a la probeta patrón y a los otros porcentajes de reemplazo.

Del mismo modo se evidencia que las probetas con reemplazo del 20%, que tuvieron un mejor comportamiento a temprana edad, no mantienen el comportamiento inicial, teniendo una resistencia muy por debajo de lo esperado en comparación a la resistencia obtenida en los ensayos realizados a los 7 días de curado.

Por otro lado, la probeta patrón, sin reemplazo de puzolana, mantiene la línea de tendencia en cuanto a su resistencia del mismo modo que las probetas con el reemplazo del 15% de cemento por puzolana volcánica.

D. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO – EDAD DE ENSAYO 28 DÍAS

FIGURA 4
VARIACIÓN DE RESISTENCIA DE PROBETAS ENSAYADAS A LOS 28 DÍAS DE CURADO



FUENTE [21]

La Gráfica 4 muestra los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión de los morteros con diferentes porcentajes de reemplazo de puzolana, a una edad de ensayo de 28 días, en el cual se evidencia el incremento de la resistencia de los especímenes con un reemplazo del 10 y 15% de reemplazo de cemento por puzolana volcánica en comparación con la resistencia obtenida por la probeta patrón.

E. EFECTO DE LA PUZOLANA VOLCÁNICA COMO REEMPLAZO DE CEMENTO EN MORTEROS DE CEMENTO ARENA

Una vez ensayados todos los especímenes de mortero para las diferentes edades de curado, se identificó el comportamiento de los mismos individualmente por edad de ensayo y en comparación a la probeta patrón, sin reemplazo de puzolana volcánica.

TABLA 2

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE MORTERO POR EDAD

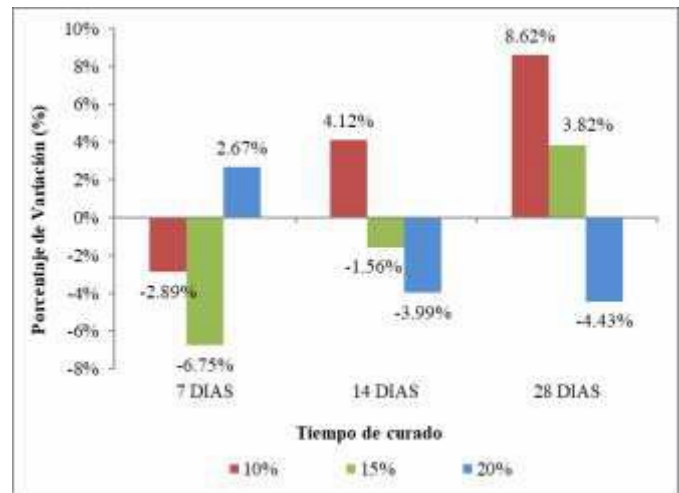
Reemplazo de Puzolana	Resistencia por edad de ensayo kg/cm²		
	7 días	14 días	28 días
0%	108.733	139.963	165.311
10%	105.587	145.729	179.553
15%	102.671	137.774	171.631
20%	111.638	134.379	157.983

FUENTE [21]

De la tabla 2, se puede observar que el mortero convencional alcanza una resistencia de 165.311 kg/cm² a una edad de ensayo de 28 días de curado, las probetas con el 10% de reemplazo, una resistencia de 179.553 kg/cm², siendo la de mejor comportamiento, las probetas de 15% de reemplazo de cemento por puzolana volcánica obtienen una resistencia de 171.631 kg/cm², aumentando también la resistencia de las mismas en comparación a la probeta patrón y los especímenes a los cuales se les reemplazó el 20% de cemento disminuyeron

su resistencia en comparación a las demás dosificaciones, siendo 157.983 kg/cm² [21].

FIGURA 5
PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN



FUENTE [21]

En la Gráfica 5 se muestran los porcentajes de variación de las resistencias alcanzadas con el reemplazo de puzolana volcánica, teniendo como resultados para un tiempo de curado de 7 días, con un reemplazo de puzolana del 10%, 15% la resistencia disminuye un 2.89% y 6.75% respectivamente, mientras que para un porcentaje de reemplazo de 20 % la resistencia aumenta en 2.67%.

Para los 14 días de curado, las resistencias aumenten un 4.12% en comparación a las probetas patrón para un porcentaje de 10% de reemplazo, mientras que para los porcentajes de reemplazo de 15% y 20% la resistencia disminuye un 1.56% y 3.99% respectivamente.

Y para una edad de curado de 28 días, para los porcentajes de reemplazo de puzolana de 10% y 15% la resistencia a compresión aumenta en un 8.62% y 3.82% respectivamente mientras que para un reemplazo del 20% de puzolana, la resistencia disminuye en un 4.43%.

IV. CONCLUSIONES

La resistencia a compresión de un mortero convencional de cemento arena es de 165.31 Kg/cm² ensayada a los 28 días de curado [21].

La resistencia a compresión de un mortero cemento arena reemplazando un 10% del peso del cemento por puzolana volcánica es de 179.553 Kg/cm² ensayada a los 28 días de curado, aumentando un 8.62% con respecto a la resistencia obtenida por las probetas patrón [21].

La resistencia a compresión de un mortero cemento arena reemplazando un 15% del peso del cemento por puzolana

volcánica es de 171.631 Kg/cm² ensayada a los 28 días de curado, mejorando las propiedades de resistencia en un 3.82% en comparación a los resultados obtenidos por las muestras sin reemplazo de puzolana [21].

La resistencia a compresión de un mortero cemento arena reemplazando un 20% del peso del cemento por puzolana volcánica es de 157.983 Kg/cm², la cual pierde un 4.43% de la resistencia en comparación a las probetas patrón [21].

El porcentaje de reemplazo del 20% de cemento por puzolana volcánica tuvo un mejor comportamiento a tempran edad [21].

El porcentaje óptimo de reemplazo de puzolana volcánica fue del 10% en relación del peso del cemento para Cemento Andino Tipo V, aumentando la resistencia en más de 8% [21].

En relación a la disponibilidad de la puzolana volcánica se lo encuentra en forma natural como roca Traquita, exclusivamente de los talladores de piedra ubicados en el Centro Poblado de Huambocancha Alta del distrito, provincia y departamento de Cajamarca – Perú.

REFERENCIAS

[1] Sanjuán Barbudo, Miguel Ángel y Chinchón Yepes, Servando (2014) Cemento portland: fabricación y expedición

[2] Massazza, F. (1976). Pozzolanic Cements. *Cement and Concrete Composites*, 15(4), 185–214.

[3] Soria F. (1983). Las puzolanas y el ahorro energético en los materiales de construcción

[4] Callejas, J. (1969). Las Puzolanas. 1a Edición, 52. Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento. España

[5] Huaquisto S. y Quispe G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento

[6] Frías Rojas, M. y Sánchez de Rojas, M. I. (1996) La actividad puzolánica de diferentes materiales, es una influencia en el calor de hidratación de morteros. *Cement and Concrete Research*.

[7] Gibbons, PAT. (1997) Puzzolans for lime mortars. *Aticles from building conservation. The conservation and repair of Ecclesiastical buildings*.

[8] F. Massazza y V. Costa (1979). "Aspectos de la actividad puzolánica y propiedades de los cementos puzolánicos". *II Cemento*, n.° 1, pp. 3-18.

[9] Sánchez, D. d. (1993). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Santafe de Bogotá, Colombia: BHANDAR EDITORES LTDA.

[10] Asocreto. (2010). *Tecnología y propiedades del Concreto*. Colombia.

[11] ASTM C593. (2019) Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime for Soil Stabilization.

[12] Burgos, Cardona, Gordillo & Delvasto (2015), Valoración y efectos puzolánicos del material volcánico del puracé, extraído de <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149240051008.pdf?fbclid=IwAR3fbZT5i2B7zYVO9-QdbnBMLGmp2PGtGkvWugDXxQ8bikUTE710APIXcV4>

[13] Vargas, Zarate y Gutiérrez (2004), Actividad puzolánica de las tobas pumfíticas de la zona metropolitana de Guadalajara, extraído de <https://www.redalyc.org/pdf/730/73000309.pdf>

[14] Tobón, Restrepo G. y Restrepo B. (2006), Efectos de la adición de metacaolín en el cemento portland, extraído de <https://www.redalyc.org/pdf/402/40270210.pdf>

[15] Valencia, Mejía, Barrera y Delvasto (2012), Estudio de durabilidad y corrosión en morteros armados adicionados con toba volcánica y ceniza

de bagazo de caña de azúcar, extraído de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49615017.pdf>

[16] Gutiérrez, L. (2003). *El Concreto y otros materiales para la Construcción*. Colombia

[17] ASTM C33, Standard Specification for Concrete Aggregates, Pensilvania, EUA (2018)

[18] ASTM C 136- 01. Método de Ensayo Normalizado para determinar el Análisis Granulométrico de los áridos Finos y Grueso

[19] ASTM C109, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, Pensilvania, EUA (2016)

[20] ASTM C618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. (2012)

[21] Sánchez Zambrano Jaime Jhampier (2019). Resistencia a Compresión del mortero cemento – arena incorporando puzolana volcánica. Universidad Privada del Norte.