

Influence of Andesitic Tuff Pozzolana on the Compressive Strength of a Mortar $f'c=300\text{kg/cm}^2$

Edwar Sleyter Medina Cabanillas¹; Katia Nataly Carrión Rabanal, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. N00307542@upn.pe

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

Abstract– In this study, the use of andesitic tuff pozzolan was explored as a partial alternative to Portland cement in the production of mortar with a compressive strength of $f'c=300\text{ kg/cm}^2$. The effectiveness of replacing cement with pozzolana in proportions of 5%, 10% and 15% was evaluated, analyzing its behavior under curing conditions at room temperature. 32 specimens were made and subjected to compressive strength tests after 7 and 15 days. Where it was obtained that after 7 days ($M.\text{Base}=125.31\text{ kg/cm}^2$, $M-5\%\text{Pu}z.=130.54\text{ kg/cm}^2$, $M-10\%\text{ Pu}z.=127.91\text{ kg/cm}^2$, $M-15\%\text{Pu}z.=85.44\text{ kg/cm}^2$) and for 15 days ($M.\text{Base}=235.51\text{ kg/cm}^2$, $M-5\%\text{Pu}z.=279.87\text{ kg/cm}^2$, $M-10\%\text{Pu}z.=158.56\text{ kg/cm}^2$, $M-15\%\text{ Pu}z.=127.54\text{ kg/cm}^2$). The results showed that by replacing 5% of andesitic tuff pozzolana the resistance increased by 4.01% and 18.84% at 7 and 15 days, respectively. In particular, at 15 days, the resistance reached 279.87 kg/cm^2 , demonstrating a significant increase compared to the standard sample.

The use of pozzolana not only improves the resistance of the mortar, but also generates important environmental and social benefits. By reducing the use of cement, we reduce CO_2 emissions and promote the use of local resources.

Keywords: Mortar, compressive strength, andesitic tuff pozzolana.

Influence of Andesitic Tuff Pozzolana on the Compressive Strength of a Mortar $f'c=300\text{kg/cm}^2$

Influencia de la Puzolana Toba Andesítica en la Resistencia a la Compresión de un Mortero $f'c=300\text{kg/cm}^2$

Edwar Sleyter Medina Cabanillas¹; Katia Nataly Carrión Rabanal, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN) Cajamarca, Perú. N00307542@upn.pe

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

Resumen—En este estudio, se exploró el uso de la puzolana toba andesítica como alternativa parcial al cemento Portland en la elaboración de mortero con una resistencia a la compresión de $f'c=300\text{ kg/cm}^2$. Se evaluó la efectividad de sustituir el cemento por puzolana en proporciones de 5%, 10% y 15%, analizando su comportamiento en condiciones de curado a temperatura ambiente. Se elaboraron 32 especímenes los cuales se sometieron a pruebas de resistencia a la compresión a los 7 y 15 días. En donde se obtuvo que a los 7 días (M. Base= 125.31 kg/cm^2 , M-5% Puz.= 130.54 kg/cm^2 , M-10% Puz.= 127.91 kg/cm^2 , M-15% Puz.= 85.44 kg/cm^2) y para los 15 días (M.Base= 235.51 kg/cm^2 , M-5% Puz = 279.87 kg/cm^2 , M-10% Puz = 158.56 kg/cm^2 , M-15% Puz = 127.54 kg/cm^2). Los resultados mostraron que al sustituir el 5% de puzolana toba andesítica se incrementa la resistencia en 4,01% y 18,84% a los 7 y 15 días, respectivamente. En particular, a los 15 días, la resistencia alcanzó los 279.87 kg/cm^2 , demostrando un incremento significativo comparado con la muestra estándar.

El uso de la puzolana no solo mejora la resistencia del mortero, sino que también genera importantes beneficios ambientales y sociales. Al reducir el uso de cemento disminuimos la emisión de CO_2 y se impulsa el uso de recursos locales.

Palabras clave: Mortero, resistencia a la compresión, puzolana toba andesítica.

I. INTRODUCCIÓN

El uso del cemento portland en la construcción civil genera grandes resultados causando que se posiciona como el mejor material de construcción, debido a sus características físico-mecánicas, en donde resalta la resistencia a la compresión; sin embargo, su costo es considerado elevado, pero se justifica por el beneficio que este aporta en las edificaciones.

Un material que usa el cemento portland como base es el mortero el cual es una mezcla de cemento, arena y agua en cantidades idóneas para el uso al cual se destina. En el caso de albañilería confinada se emplean en los muros portantes, donde es mayor su consideración. Por ello es

trascendental asegurar la calidad en los materiales que lo conforman como mortero y ladrillo puesto que son de relevancia en el rubo de construcción civil, en el Perú ambos materiales están sujetos a sus normas de calidad.

La principal función del mortero es proporcionar soporte y facilitar la unión de las unidades de albañilería, lo cual se logra si dentro del ensamblaje actúa como elemento integral, con las características de comportamiento diseñado. Además, de influir en las propiedades estructurales de albañilería.

La resistencia a la compresión es de gran consideración en el concreto y 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 [1]. El autor Gutiérrez De López (2003) señala que “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”.

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.[3]

La toba andesítica es una puzolana compuesta por rocas de origen volcánico, de color gris parduzco y con textura fragmental. Está compuesta por fragmentos de cristales plagiocásticos, cuarzo y minerales ferromagnesianos. Posee densidad media y leve magnetismo.[4]

En estudios anteriores como en el realizado por, Burgos, et al. (2015), en su estudio “Valoración y efectos

puzolánicos del material volcánico del Puracé”, trabajó con porcentajes entre 10% y 40% de material puzolánico los cuales eran usados como adición del cemento portland, obteniendo como resultado que a 7 días de curado los morteros adicionados con el 20% de material añadido logra resistencia similar a la muestra patrón; en cambio a los 28 días de curado las diferencias porcentuales aumentaron considerablemente para muestras que contenían un 10% de reemplazo con material volcánico.

Vargas, et al. (2004) en su estudio: “Actividad puzolánica de las tobas puniticas de la zona metropolitana de Guadalajara” concluyeron que las mezclas de cemento y puzolana dan mejores resistencias a compresión, para cualquiera de las edades de curado estudiadas y cualquiera de los niveles de molturación, a comparación de las mezclas elaboradas con cal hidratada y cemento Portland.

La necesidad de ampliar las posibilidades en la construcción ha hecho que se investigue posibles sustitutos o complementos que sean eficaces, eficientes y sobre todo rentables. Por lo mencionado en el presente trabajo, comprobaremos los beneficios ya mencionados que incorpora la puzolana toba andesítica al cemento portland, aplicados en morteros con un reemplazo porcentual de cemento por una puzolana de origen orgánico presente en nuestra región.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Como primer paso se realizó el ensayo de Análisis granulométrico para el agregado fino (arena de río), siguiendo los parámetros de la ASTM C136 y NTP 400.037 donde se obtuvo el módulo de finura de 2.41, con ello se procede a realizar el ensayo de Gravedad específica y absorción de agregados finos acorde a la NTP 400.022 obteniendo un Peso específico nominal de 2.715 gr/cm³.

Tabla 1 Análisis granulométrico de la arena

Tamiz	Abert.(mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret	%Ret. Acum.	%Que Pasa
N°4	4.750	0.37	0.07	0.07	99.93
N°8	2.360	58.67	11.73	11.81	88.19
N°16	1.180	65.47	13.09	24.9	75.1
N°30	0.600	84.57	16.91	41.82	58.18
N°50	0.300	144.77	28.95	70.77	29.23
N°100	0.150	104.67	20.93	91.7	8.3
N°200	0.075	31.67	6.33	98.04	1.96
Fondo		9.8	1.96	100	0

$$Mf = \frac{\sum \text{Pesos Ret } N^{\circ}4 - N^{\circ}100}{100}$$

$$Mf = 2.41$$

Tabla 2 Resultado de ensayo de Peso específico

Ensayo	1	2
Peso Específico Nominal (gr/cm ³)	2.72	2.71
Promedio (gr/cm³)	2.715	

Con estos datos se tomó el procedimiento de diseño de morteros señalado en el libro “Tecnología del concreto y mortero” del autor Diego Sánchez.

Primero, se tomó el valor de resistencia deseada 300kg/cm², la consistencia del mortero (130% o fluida) y el módulo de finura obtenido, con ello se obtuvo la relación agua: cemento (A/C) y el parámetro b con interpolación para precisión de datos dado que no se nos otorga un valor exacto para nuestro módulo de finura.

Tabla 3 Parámetros para diseño de mortero base

Parametros de Diseño	
Relación A/C	0.60352
k	0.27
b	0.28262
n	2.84607

Con los parámetros de diseño mostrados en la Tabla 3 se calculó las dosificaciones de agregados, cantidad de cemento, arena y agua, para ello se usó la fórmula de cantidad de cemento y la densidad de este mismo.

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{Gc} + \frac{n}{Ga} + \frac{A}{C}}$$

- Gc: Densidad de cemento
- Ga: Densidad de la arena
- n: parámetro “n”
- A/C: relación agua cemento

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{2.98} + \frac{2.84607}{2.72} + 0.60352}$$

$$C = 503.667 \text{ kg}$$

Calculado la base de cemento se calcula los agregados de arena y agua para ello se usa:

a. Cálculo de cantidad de agua

$$A = \left(\frac{A}{C}\right) \cdot C$$

- A/C: relación agua cemento
- C: cantidad de cemento (kg)

$$A = 0.60352 \cdot 503.667 \text{ kg}$$

$$A = 303.973 \text{ l/m}^3$$

a. Cálculo de cantidad de arena

$$Ar = n \cdot C$$

- n: parámetro “n”
- C: cantidad de cemento (kg)

$$Ar = 2.84607 \cdot 503.667 \text{ kg}$$

$$Ar = 1433.471 \text{ kg/m}^3$$

Una vez calculada la dosificación se calculó el material necesario para la creación de 8 muestras base con un volumen total de 0.001m3.

Tabla 4 Material dosificado para morteros

	Cantidad de Material m ³	Cubos	Uso Cubos
Cemento	503.667		0.5037
Arena	1433.471	0.001	1.4335
Agua	303.973		0.3040

Nota: La cantidad mostrada en cubos es para 8 muestras

Posteriormente se procedió a calcular las cantidades de toba andesítica correspondientes al 5%-10%-15% del material cementante proporcionales a la cantidad a emplear adicionando un 10% de desperdicio. Para la obtención de la toba andesítica se excavó en la zona de Tual, puesto que mapa geológico indica la formación de tobas andesíticas y tobas volcánicas, posteriormente a la extracción se transportó para ser triturada en un “batán” de piedra en donde se intentó hacer lo más fino posible. Con el propósito de asegurar la calidad del material se llevó al laboratorio de la Universidad Privada del Norte para ser tamizada a través del tamiz N°30 y garantizar una medida homogénea para el material.

$$P = C \cdot (1 - \%Puzolana)$$

- P: cantidad de puzolana en gr.
- C: cantidad de cemento
- %Puzolana: Porcentaje numérico de uso de puzolana

Tabla 5 Dosificación de materiales para morteros

Materiales	Mortero patrón	sustitución de puzolana en 5%	sustitución de puzolana en 10%	sustitución de puzolana en 15%	TOTAL A USAR	TOTAL A ADQUIRIR (10% AD)
cemento (Kg)	0.5037	0.4785	0.4533	0.4281	1.8636	2.0499
Arena (Kg)	1.4335	1.4335	1.4335	1.4335	5.7339	6.3073
Agua (L)	0.3040	0.3040	0.3040	0.3040	1.2159	1.3375
puzolana volcánica	0.0000	0.0252	0.0504	0.0756	0.1511	0.1662
PUT	2.2411	2.2411	2.2411	2.2411	8.9644	

Se realizó el pesaje de las dosificaciones de la Tabla 5 para después combinarlas en un balde con la ayuda de un badilejo hasta que se logró una muestra homogénea de los agregados, al momento del vaciado de mezcla se realizó acorde a lo especificado en la norma MTC E609.

Transcurrido el periodo de 24h o periodo de fraguado se sumergió en agua para su curado, se retiró 1 noche antes para dejarlos secar, se midió las longitudes de su base perpendiculares a la cara donde se aplicará la carga, finalmente se llevó al laboratorio, en donde se le aplicó carga de manera progresiva con una máquina automática de compresión, hasta que las muestras lleguen a fallar.

III. RESULTADOS

A. RESISTENCIA DE MORTEROS A LOS 7 DÍAS

Tabla 6 Resistencia a la compresión de morteros

Tipo de mortero	Esfuerzo
M. Base	125.310
M-5% Puz.	130.544
M-10% Puz.	127.912
M-15% Puz.	85.435

En la Tabla 6 se muestran los esfuerzos máximos promedio de los morteros dosificados, para una edad de 7 días. En donde se aprecia que los morteros sustituido scon 5% y 10% de puzolana presenta mayor resistencia que el mortero base.

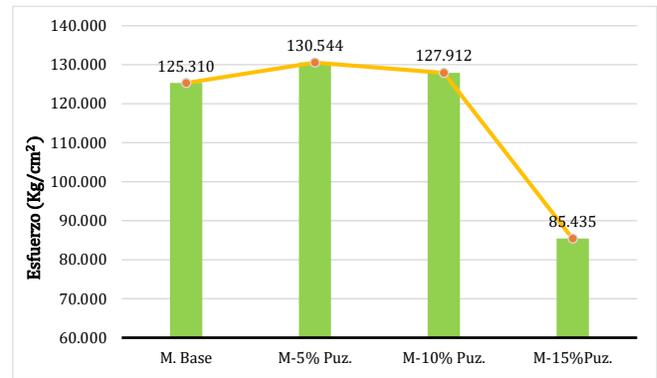


Figura 1 Resistencia a la compresión de morteros a la edad de 7 días

De la Figura 1 se puede apreciar un pico de esfuerzo en el mortero de contenido 5% de puzolana y una resistencia en caída cuando se aumenta la dosificación de puzolana.

Tabla 7 Resistencia a la compresión de mortero Base

Muestras	Mortero Base				Esfuerzo
	Largo	Ancho	Área	Carga Máxima	
M-1	5.12	5.03	25.754	4406	171.083
M-2	5.05	4.97	25.099	1253	49.923
M-3	4.83	4.98	24.053	3613	150.207
M-4	4.93	5.07	24.995	3250	130.025
Promedio					125.310

Tabla 8 Resistencia a la compresión de mortero con 5% de puzolana

Muestras	Mortero con 5% de puzolana				Esfuerzo
	Largo	Ancho	Área	Carga Máxima	
M5-1	4.961	5.3	26.293	3525	134.065
M5-2	5.353	4.96	26.551	4320	162.706
M5-3	5.21	4.981	25.951	4243	163.500
M5-4	5.07	4.961	25.152	1557	61.903
Promedio					130.544

Tabla 9 Resistencia a la compresión de mortero con 10% de puzolana

Muestras	Mortero con 10% de puzolana				Esfuerzo
	Largo	Ancho	Área	Carga Máxima	
M10-1	5.26	4.97	26.142	3248	124.244
M10-2	5.121	4.941	25.303	3350	132.396
M10-3	4.97	5.31	26.391	3372	127.772
M10-4	4.961	5.35	26.541	3377	127.235
Promedio					127.912

Tabla 10 Resistencia a la compresión de mortero con 15% de puzolana

Mortero con 15% de puzolana					
Muestras	Largo	Ancho	Área	Carga Máxima	Esfuerzo
M15-1	5.37	4.97	26.689	2186	81.907
M15-2	5.35	4.99	26.697	2271	85.067
M15-3	4.95	5.3	26.235	2123	80.922
M15-4	4.961	5.213	25.862	2427	93.845
Promedio					85.435

B. RESISTENCIA DE MORTEROS A LOS 15 DÍAS

Tabla 11 Resistencia a la compresión de morteros

Tipo de mortero	Esfuerzo
M. Base	235.511
M-5% Puz.	279.879
M-10% Puz.	158.566
M-15% Puz.	127.544

En la Tabla 11 se muestran los esfuerzos máximos promedio de los morteros dosificados, para una edad de 15 días. En donde se aprecia que los morteros sustituido scon 5% de puzolana presenta mayor resistencia que el mortero base.

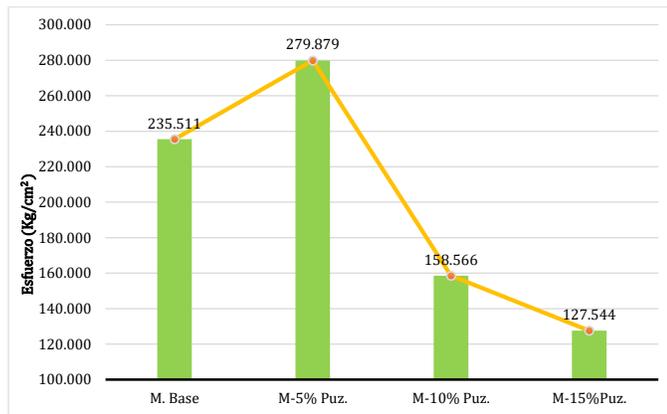


Figura 2 Resistencia a la compresión de morteros a la edad de 15 días

En la Figura 2 se visualiza una resistencia superior en dosificación de 5%, propiedad que tiende a disminuir a medida que se aumenta la dosificación de puzolana.

Tabla 12 Resistencia de mortero base 15 días

Mortero Base					
Muestras	Largo	Ancho	Área	Carga Máxima	Esfuerzo
M-5	4.94	5.04	24.898	5205	209.056
M-6	4.016	4.966	19.943	4669	234.112
M-7	4.92	4.9	24.108	5968	247.553
M-8	5.14	5	25.700	6459	251.323
Promedio					235.511

Tabla 13 Resistencia a la compresión de mortero con 5% de puzolana 15 días

Mortero con 5% de puzolana					
Muestras	Largo	Ancho	Área	Carga Máxima	Esfuerzo
M5-5	5.08	5.26	26.721	6544	244.903
M5-6	5.38	4.942	26.588	5298	199.263
M5-7	4.922	1.916	9.431	4209	446.315
M5-8	4.9	4.94	24.206	5544	229.034
Promedio					279.879

Tabla 14 Resistencia a la compresión de mortero con 10% de puzolana 15 días

Mortero con 10% de puzolana					
Muestras	Largo	Ancho	Área	Carga Máxima	Esfuerzo
M10-5	5.3	4.95	26.235	4485	170.955
M10-6	4.88	4.972	24.263	4027	165.970
M10-7	4.968	5.24	26.032	3863	148.392
M10-8	4.932	4.97	24.512	3651	148.947
Promedio					158.566

Tabla 15 Resistencia a la compresión de mortero con 15% de puzolana 15 días

Mortero con 15% de puzolana					
Muestras	Largo	Ancho	Área	Carga Máxima	Esfuerzo
M15-5	4.94	4.96	24.502	3064	125.049
M15-6	4.93	4.93	24.305	3129	128.739
M15-7	4.99	5.16	25.748	3443	133.717
M15-8	5.19	5.1	26.469	3247	122.672
Promedio					127.544

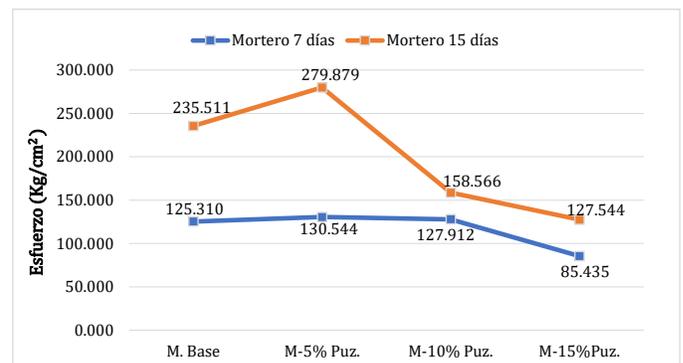


Figura 3 Valores de resistencia de morteros a las edades de 7 y 15 días

En la Figura 3 se puede ver el progreso de resistencia en los morteros en 7 y 15 días acorde a la dosificación de puzolana realizada, en donde se evidencia una mayor resistencia con 5% de puzolana en ambas edades.

Se presenta un efecto inverso a cantidades superiores al 5% de material puzolánico la resistencia a la compresión empieza a disminuir.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez realizado el procesamiento de datos se puede llegar a establecer las siguientes conclusiones.

- Acorde a la tabla N°6 se determina que la resistencia a la compresión del mortero con 5% de puzolana toba andesítica es 5.234 kg/cm² mayor a la resistencia del mortero base a la edad de 7 días.
- Acorde a la tabla N°6 para la edad de 7 días se determina que la resistencia a la compresión del mortero con 10% de puzolana toba andesítica es 2.602 kg/cm² mayor a la resistencia del mortero base.
- Acorde a la tabla N°11 para la edad de 15 días la resistencia a la compresión del mortero con 5% de puzolana toba andesítica es 44.368 kg/cm² el cual equivale a un 18.84% mayor a la resistencia del mortero base.

- El módulo de finura de la arena se encuentra entre los valores señalados por la E0.70 y la NTP 400.037 siendo un valor de 2.41. Los cuales indican que deben estar entre 1.6 – 2.5 y 2.3-3.1 respectivamente.
- De acuerdo con los resultados obtenidos, comparado con la investigación de Burgos, et al. (2015), cumple parcialmente con lo expuesto en dicha investigación dado que en ella señala un 10% para mejor resistencia y en el nuestro un 5%.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en la Figura 3, comparado con la investigación de Valencia, Mejía, Barrera y Delvasto (2012), en dicha investigación mejoran las propiedades del mortero, siendo el porcentaje óptimo de reemplazo de puzolana el del 10%, ganado una resistencia del 42% a la edad de 28 días, en nuestro caso a los 15 días con una dosificación de 10% se obtiene una pérdida de resistencia del 32.67%.
- El aumento de resistencia se debe a los compuestos químicos de la toba andesítica la reacciona con los aluminatos del Clinker, al posibilitar la solubilidad de éstos últimos. Adicionalmente, estos productos contribuyen a una mayor impermeabilidad del hormigón.
- Se recomienda usar moldes de vidrio en su totalidad para acelerar el proceso de fraguado de 24h puesto que el usar moldes de madera modifica la dosificación de agua y ralentiza este proceso.
- Se recomienda usar balanzas más precisas, dedicadas al pesaje de gramos para mejorar la calidad de resultados al momento de realizar las dosificaciones.
- Se recomienda que el material de puzolana sea triturado hasta que logre pasar por un tamiz N°100 asegurando un menor diámetro de partículas, facilitando su adherencia interna, generando mayor resistencia.
- Se tiene limitaciones al momento de moler el material dado que fue realizado de manera artesanal, no asegurando una correcta distribución de partículas o módulo de finura.
- Al usar moldes pequeños se debe usar una especie de vibrador para asegurarse la eliminación de vacíos en la mezcla, al igual que en las construcciones concreto armado.

V. CONCLUSIONES

- Se concluye que la mejor dosificación de toba andesítica como material cementante es de 5% del total de cemento determinado.
- La arena con la cual se elaboró el mortero es de una calidad aceptable por cumplir con las normas de calidad de materiales.
- Al aumentar la dosificación de puzolana por encima del 5% se tiene un efecto inverso, el cual a medida que aumenta el contenido de puzolana la resistencia a la

compresión empieza a disminuir, apreciándose de manera visual en las Figuras 2 y 3.

- Se logró demostrar con éxito la eficiencia el uso de toba andesítica como reemplazo de material cementante.
- La puzolana toba andesítica, correctamente molida se puede considerar un material cementante con propiedades añadidas para asemejarse a las del cemento tipo IV el cual es de bajo calor de hidratación y de alta resistencia a los sulfatos.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Asocreto. (2010). Tecnología y propiedades del Concreto. Colombia.
- [2] Gutiérrez, L. (2003). El Concreto y otros materiales para la Construcción. Colombia
- [3] ASTM (1997). Fly ash and other pozzolans for use with lime. American Society for Testing and Materials. (593):1
- [4] Instituto Geológico, Minero Y Metalúrgico (2019). Informe Técnico GR65A “Cartografiado Del Cuadrángulo De Orcopampa (31r1,31r2, 31r3, 31r4). <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3189/5/Anexo2.%20Descripciones%20microsc%C3%B3pica%20de%20rocas.pdf>
- [5] Burgos, et al. (2015), Valoración y efectos puzolánicos del material volcánico del puracé. <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149240051008.pdf?fbclid=IwAR3foZT5i2B7zYVO9QdbnBMLGmp2PGtGkvWugDXxQ8bikUTE710AP1XcV4>
- [6] Vargas, et al. (2004), Actividad puzolánica de las tobas pumíticas de la zona metropolitana de Guadalajara. <https://www.redalyc.org/pdf/730/73000309.pdf>
- [7] Diego, S. (2001). Tecnología del Mortero y concreto. Bhandar Editores Ltda. https://books.google.com.co/books?id=EWq-QPJhsRAC&printsec=frontcover&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false
- [8] MTC E609. *compresión de morteros de cemento hidráulico (cubos de 50,8 mm)*. MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES
- [9] E0.70. Norma técnica de Albañilería. Reglamento Nacional de Edificaciones
- [10] NTP 400.037. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. (2014)