

Analysis of Compressive Strength by Adding Volcanic Tuff at 5%, 10% and 15% to the Mortar Cement - Sand

Ulmaro Cabrera Burga, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00226869@upn.pe

³Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Abstract. *In the present investigation, volcanic tuff extracted from the Sexi quarry was used as a new addition to Portland Cement, which allows improving the compressive strength of the mortar. Having as general objective: Determine the compressive strength of the Cement-Sand mortar with the addition of volcanic tuff at 5%, 10% and 15%. This objective was obtained through the execution of a methodology, which consisted of carrying out previous tests to determine the properties of the materials used in the preparation of the mortar, then the analysis of the data obtained was carried out to carry out the mixture design, subsequently, the mortar specimens with a side of 50 mm were made, the next day the formwork was removed, labeled, cured, and then tested after 7, 14, 28 days, finally, the specimens were subjected to compression tests. After 28 days of testing, it was obtained that the average maximum compressive strength was 183.26 kg/cm² corresponding to the specimens with 15% addition and a minimum of 163.06 kg/cm² for the standard sample. Concluding, that by adding a greater percentage of volcanic tuff, the compressive strength increases, after 7, 14, 28 days.*

Keywords: *Compressive strength, mortar, volcanic tuff.*

Análisis de la Resistencia a Compresión Añadiendo Toba Volcánica en 5%, 10% y 15% al Mortero Cemento - Arena

Ulmaro Cabrera Burga, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00226869@upn.pe

³Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Resumen- En la presente investigación, se utilizó toba volcánica extraída de la cantera de Sexi como una nueva adición al cemento Portland, la cual, permita mejorar la resistencia a compresión del mortero. Teniendo como objetivo general: Determinar la resistencia a compresión del mortero Cemento - Arena con la adición de toba volcánica al 5%, 10% y 15%; dicho objetivo se obtuvo mediante la ejecución de una metodología, la cual, consistió en realizar previos ensayos para determinar las propiedades de los materiales utilizados en la elaboración del mortero, luego se realizó el análisis de los datos obtenidos para realizar el diseño de mezcla, posteriormente, se elaboró los especímenes de mortero de 50 mm de lado, al día siguiente se realizó el desencofrado, rotulado, curado, para luego ser ensayadas a los 7, 14, 28 días, por último, los especímenes se sometieron a ensayos de compresión. A los 28 días de ensayo, se obtuvo que la resistencia a compresión máxima promedio fue de 183.26 kg/cm² correspondiente a los especímenes con el 15% de adición y un mínimo de 163.06 kg/cm² para la muestra patrón. Concluyendo, que al adicionar mayor porcentaje de toba volcánica la resistencia a compresión se incrementa, a los 7, 14, 28 días.

Palabras Clave: Resistencia a compresión, mortero, toba volcánica.

I. INTRODUCCIÓN

El mortero de cemento Portland en la actualidad y desde hace mucho tiempo atrás, es el mejor aglomerado para trabajos en la construcción civil; es utilizado en muros, bóvedas, entre otros. Esto debido a que nos ofrece una gran resistencia al esfuerzo a compresión, pega o une ladrillo con ladrillo con gran facilidad, y además de ser muy manejable; es por ello, su uso en las edificaciones de albañilería confinada de nuestro país, empleado en la construcción de muros portantes.

Una de las propiedades más significativa del mortero es la de resistencia a compresión, puesto que este material va a trabajar a compresión dentro del contexto de cualquier estructura; además, la resistencia del mortero es una propiedad la cual nos permite determinar el máximo esfuerzo que esta puede ser soportada por dicho material sin romperse, siendo un indicador que generalmente se emplea para la aceptación o rechazo del mismo.

Viendo la necesidad de mejorar la resistencia a compresión del mortero, es que se busca analizar la toba volcánica (puzolana de origen natural) extraída de la cantera de Sexi, ubicada en el Distrito Sexi, Provincia de Santa Cruz en el Departamento de Cajamarca, como un nuevo material

cementante que al ser adicionado de manera parcial en los componentes que conforman la mezcla de mortero, este influya de manera positiva aumentando la resistencia a compresión del mismo. Según la referencia [1], menciona que los materiales de origen puzolánico, que son molidos, posteriormente adicionado y mezclados con el cemento Portland, permiten elaborar concretos y morteros de buenas propiedades, la cual pueden llegar a superar a los de aquellos que no contienen puzolanas.

Por lo tanto, es necesario el conocimiento del mortero en su comportamiento a compresión y de esta manera poder evidenciar la influencia que tiene la toba volcánica; por último, que se ha creído conveniente trabajar con la adición de toba volcánica al 5%, 10%, 15% del peso del cemento.

A continuación, se muestran las evidencias de estudios previos realizados, en la cual se empleó distintos tipos de puzolanas volcánica, como un sustituto del cemento para la elaboración de morteros, esto demuestra lo anteriormente expuesto.

Además, se indica en la referencia [2], que se realizó el reemplazo de cemento portland por puzolana volcánica en un rango del 10% al 40%, donde se obtuvo como resultado que a los 7 días los morteros con adición del 20% de puzolana, esta logra adquirir una resistencia semejante a la muestra patrón (0 % de puzolana); además, para los especímenes con el 10% de sustituto de material puzolánico, las diferencias se incrementaron notablemente para edad de ensayo a los 28 días.

Por otro lado, en la referencia [3] se indica que se reemplazó el cemento por puzolana en porcentaje de 10 %, 15 %, 20 %, logrando determinar que al sustituir mayor cantidad de puzolana por cemento la resistencia a compresión disminuye, además, se determinó que al reemplazar 10 % de cemento por puzolana la resistencia supero notoriamente con respecto a la muestra patrón (0 % de toba volcánica).

Como hemos demostrado las distintas variedades de puzolanas de origen volcánico produce un efecto positivo en la resistencia a compresión axial de las mezclas de mortero; por lo anteriormente ya expuesto, la presente investigación en estudio busca explorar una nueva alternativa, en la cual, utilice toba volcánica (puzolana volcánica de origen natural) para la elaboración de morteros y de esta manera reduzca el consumo cemento portland, adicional a eso, se espera que la adición

proporcione al mortero buenas propiedades de durabilidad, resistencia, impermeabilidad, etc.

Según la referencia [4], el objetivo fue determinar el efecto de las puzolanas naturales en la porosidad y conectividad de poros del hormigón con el tiempo. Deducimos que, al aplicar distintos porcentajes de puzolana natural al concreto convencional al reemplazar el cemento en un 14%, 33%; para mejorar la porosidad y conectividad. Concluyendo que, la evolución de la permeabilidad de iones cloruros según el contenido de puzolanas natural, disminuye cuando se adiciona el 33% de puzolana natural.

En la referencia [5], se tuvo como objetivo evaluar la actividad puzolánica de tobas ubicadas en Barrial Blanco al sur del Ecuador. Deducimos que, la sumatoria total de la composición química del material entre la cantidad de sílice, aluminosilicatos y óxidos de hierro superan al 70% recomendado en normas técnicas. Concluyendo que, la Toba puzolánica ubicada en el Sur de Ecuador se le puede catalogar como una materia de alta capacidad cementante.

Del mismo modo en la referencia [5] indica que tuvo como objetivo, la caracterización y evaluación puzolánica del material volcánico del Puracé. Deducimos que, El material volcánico del Puracé, se encuentra principalmente compuesto por sílice (87,45 %). Concluyendo que, La valoración puzolánica de este material demostró que el MVP presenta características físicas y químicas apropiadas para ser considerado como una puzolana natural presentando índices de actividad puzolánica superiores al 75 %, especificado en la norma ASTM C-618.

Así como en la referencia [6], el objetivo fue, evaluar el efecto de la ceniza de caña de azúcar (CBCA) en la resistencia del concreto de 210 kg/cm², reemplazando parcialmente CBCA por el cemento, en proporciones de 20 y 40%. Deducimos que. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión del concreto disminuyó con el incremento de la proporción de ceniza, por debajo de la mezcla de diseño. Concluyendo que, El concreto con 20% de CBCA tuvo mejor comportamiento a compresión a los 7 y 28 días de curado.

Además, en la referencia [7] manifiesta que tuvo como objetivo, elaborar un concreto con agregados de la cantera de Añashuayco (Perú) con adición de Nanosílice que contiene nanopartículas micro finas de dióxido de sílice amorfa (SiO₂). Concluyendo que, resistencia a compresión mejoró sustancialmente, gracias a la reacción puzolánica de la nanosílice con la portlandita de manera rápida producen gel C-S-H (p.71).

Igualmente, en la referencia [8] el objetivo fue pronosticar la permeabilidad del concreto con adiciones minerales ultrafinas, utilizando redes neuronales artificiales. Concluyendo, Que es posible pronosticar mediante redes neuronales la permeabilidad del concreto con adiciones, que la puzolana reduce el nivel de permeabilidad y mezclas de concreto con puzolanas de zeolita natural y nanosílice incrementaron la resistividad eléctrica, además, los promedios

de las permeabilidades a los 28, 56 y 100 días son estadísticamente iguales.

También en la referencia [9], indica como objetivo determinar la influencia de la puzolana artificial en la resistencia a compresión de los morteros cemento - arena. Concluyendo, que al reemplazar porcentualmente la puzolana artificial al 6 %, 8 %, 10 % y 12 % del peso del cemento, la resistencia compresión se incrementa a los 28 días; obteniendo que al remplazo del 6% de puzolana la resistencia se incrementó en 30.82 % respecto a la patrón, al remplazar el 8 % de puzolana la resistencia se incrementó en 17.48 % respecto a la patrón, al remplazar el 10 % de puzolana la resistencia se incrementó en 10.43 % respecto a la patrón, al remplazo el 12 % de puzolana la resistencia se incrementó en 6.71 % respecto a la patrón.

En la referencia [10], también tuvo como objetivo: Determinar la influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida en las propiedades físico-mecánicas de los morteros de cal y arena.

De acuerdo a lo anteriormente indicado en el presente trabajo de investigación, nos formulamos el siguiente problema de investigación: ¿Cuál es la resistencia a compresión añadiendo toba volcánica al 5 %, 10 % y 15 %, al mortero cemento - arena?

Para dar respuesta al problema de investigación, debemos de cumplir con el siguiente objetivo general: Determinar resistencia a compresión añadiendo toba volcánica al 5 %, 10 % y 15 %, al mortero cemento - arena; para ello nos trazamos los siguientes objetivos específicos: a) Determinar las propiedades físicas del agregado fino de río, b) Determinar y comparar la resistencia a compresión del mortero de cemento - arena sin añadir de toba volcánica (muestra patrón), c) Determinar y comparar la resistencia a compresión del mortero cemento - arena al añadir toba volcánica al 5 %, d) Determinar y comparar la resistencia a compresión del mortero cemento - arena al añadir toba volcánica al 10 %, e) Determinar y comparar la resistencia a compresión del mortero cemento - arena al añadir toba volcánica al 15 %, f) Contrastar los resultados obtenidos de las probetas de mortero al añadir toba volcánica al 5 %, 10 % y 15 % vs las probetas de mortero patrón (0% de toba volcánica) sometidos a compresión. Según lo expresado tenemos como hipótesis: La resistencia a compresión añadiendo toba volcánica al 5 %, 10 %, 15 % al mortero cemento – arena se incrementa respecto de la muestra patrón.

II. METODOLOGÍA

Según el propósito la presente investigación es de carácter aplicativo, puesto que, determinará la resistencia del mortero (objetivo) a través de la adición parcial del cemento por toba volcánica la cual posee propiedades cementantes (estrategia); además tiene un enfoque cuantitativo, puesto que representa un conjunto de procesos secuenciales y probatorios; cada fase precede a la siguiente y no se puede omitir pasos, se indican los objetivos y preguntas de investigación, se examina la literatura la cual corresponda y se elabora un marco o una

perspectiva teórica. Se establece las preguntas, hipótesis, y se determina las variables, se elabora un plan para probarlas (diseño), se evalúa las variables en un determinado escenario; además, se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos y se extrae una serie de conclusiones según lo indica la referencia [11].

El nivel de investigación es experimental, puesto que cursa un proceso de actividades secuenciales entre sí, la cual busca determinar el efecto que tiene la variable independiente sobre la variable dependiente, según lo indica también la referencia [11]. Dentro de esto se analiza cómo se comporta la resistencia a compresión de los especímenes de mortero adicionado en sus componentes la toba volcánica en porcentajes del 5 %, 10 %, 15 % del peso del cemento; estas además deberán ser comparadas con los especímenes de mortero elaboradas sin adición (0 % de toba volcánica), la cual, en la presente investigación se le denominará como la muestra patrón o base.

Respecto al alcance de la investigación podemos indicar que es de tipo correlacional, puesto que nos permite conocer cómo se comportará una variable según la otra variable correlacionada según lo indicado en la referencia [12]. Dentro de este estudio se analizará el comportamiento de la variable directa (resistencia a compresión del mortero) al utilizar diferentes porcentajes de toba volcánica (variable indirecta).

Por otro lado, la muestra estará basada bajo la normativa (NTP 334.051 / ASTM C-109) “Método para determinar la resistencia a compresión de morteros de cemento Portland cubos de 50 mm de lado”, en este caso la muestra coincide con el tamaño de la población por conveniencia del investigador, puesto que se ensayarán la totalidad de las muestras, es decir todos los 72 especímenes de mortero de cemento - agregado en proporción de 1:4 teniendo en cuenta el análisis de diseño de mezcla, dichos especímenes serán de forma prismática cuyas dimensiones son de 50 mm de lado.

TABLA I

CANTIDAD DE ESPECÍMENES DE MORTERO A ENSAYAR

Porcentaje (%) de adición de toba volcánica.				
Edad de ensayos (días)	0% (Mezcla Patrón)	5%	10%	15%
7	6	6	6	6
14	6	6	6	6
28	6	6	6	6
Total:		72		

La razón por la cual se adicionará toba volcánica en porcentaje del peso del cemento, es debido a que dicha adición posee propiedades cementantes con un alto contenido en sílice (SiO₂) compuesto que contribuye principalmente en el desarrollo de la resistencia de concretos y morteros; además, el porcentaje de adición de toba volcánica se realizará al 5 %, 10 %, 15 % en base a los antecedentes ya encontrados, puesto que en la mayoría de estudios encontrados estos rangos son los

más apropiados para incrementar la resistencia a compresión; por último, se elegirá al cemento portland Tipo I por ser de uso normal, cuando no se requiera ninguna característica especial y por ser el cemento más utilizado en la construcción de muros portantes en el Perú.

La muestra a ensayar ha sido elegida según los siguientes criterios de selección (inclusión y exclusión), la cual se describen en la siguiente figura (1).

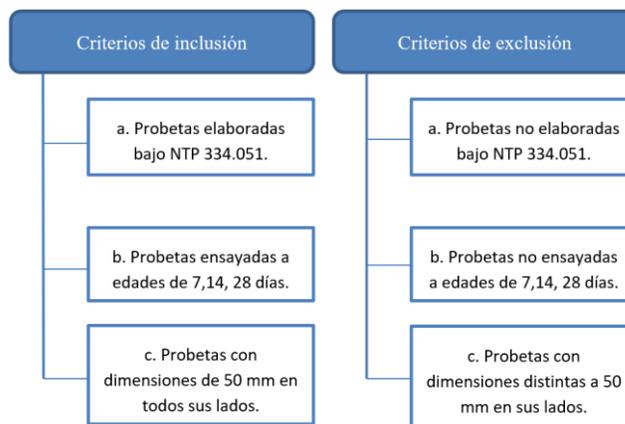


Fig. 1 Criterios de Inclusión y Exclusión de la muestra

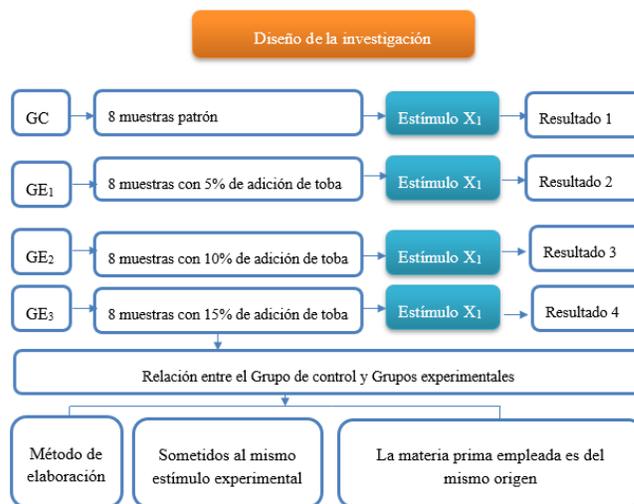


Fig. 2 Diseño de la investigación

Para ello, tendremos en cuenta los siguientes términos: GC: Es el grupo de control de la muestra patrón, la cual, está constituida por 6 especímenes de mortero al 0 % de adición de toba volcánica; GE₁: Representa al grupo experimental número 1, constituida por 6 especímenes de mortero al 5 % de adición de toba volcánica; GE₂: representa al grupo experimental número 2, constituida por 6 especímenes de mortero al 10 % de adición de toba volcánica; GE₃: representa al grupo experimental número 3, constituida por 6 especímenes de mortero al 15 % de adición de toba volcánica; a todos los especímenes se les aplicará el mismo estímulo de carga a una velocidad constante, la velocidad de carga aplicada sobre los especímenes esta un rango de 900 a 1800 N/s (200 a 400 lb/s) cumpliendo con la normativa vigente

(NTP 334.051 /ASTM C-109), además, los especímenes se ensayarán a edades de 7, 14, 28 días respectivamente.



Fig. 3 Cantera de Toba volcánica - Sexi

TABLA II

COORDENADAS GEOGRÁFICAS Y UTM DE LA CANTERA SEXI

Coordenadas geográficas:	Coordenadas UTM:
Norte: 9278366.10	Latitud: 6° 31' 29" S
Este: 717628.20	Longitud: 79° 01' 55" O
	Altitud: 2559 m

III. RESULTADOS

a) ENSAYOS DEL AGREGADO FINO:

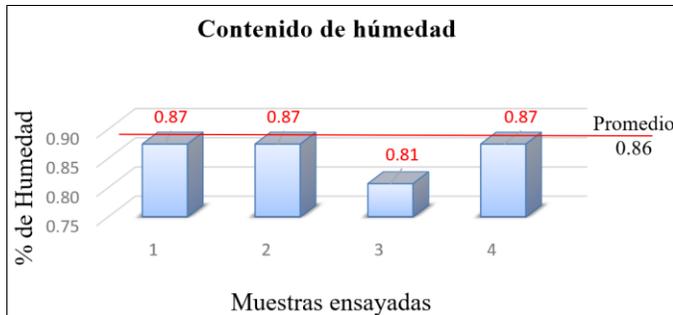


Fig. 4 Porcentaje del contenido de humedad del agregado fino

La figura 4, muestra los resultados del contenido de humedad del agregado fino de río, observamos que, para las cuatro muestras ensayadas, la humedad obtiene un valor mínimo de 0.81 % y un valor máximo de 0.87 %, obteniendo un valor promedio del 0.86 %.

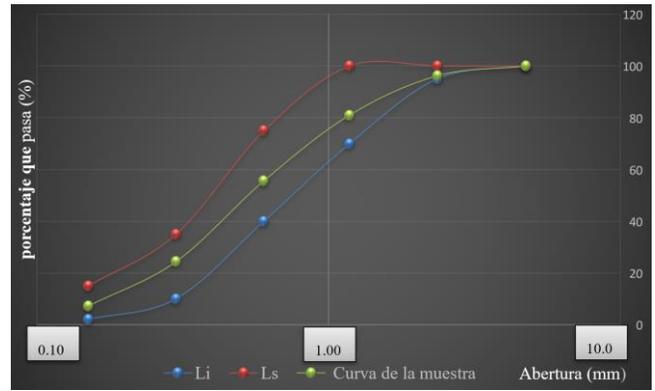


Fig. 5 Curva granulométrica del agregado fino

La figura 5, muestra la curva granulométrica del agregado fino de río, donde podemos observar que la distribución granulométrica de la muestra obtenida está dentro de los usos granulométricos superior e inferior recomendado por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE E.070 - Perú).

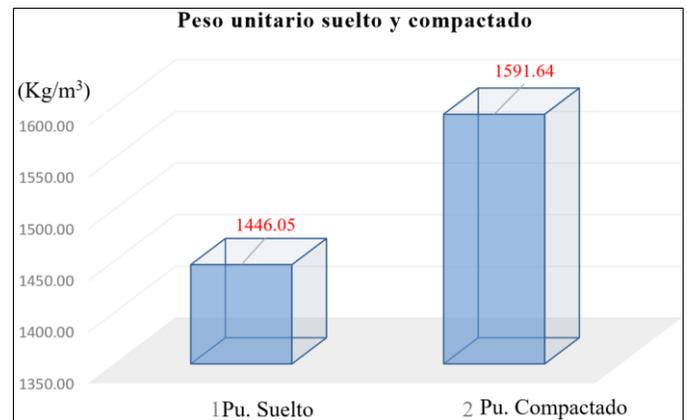


Fig. 6 Peso unitario suelto (densidad de masa) del agregado fino de río

De la figura 6, podemos deducir que el peso unitario en estado compactado es superior al peso unitario en estado suelto en 145.59 (kg/m³).

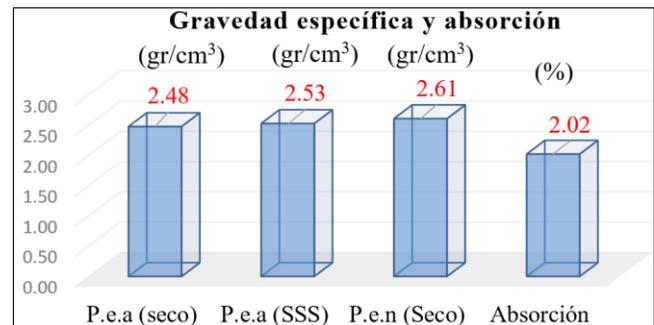


Fig. 7 Gravedad específica y absorción del agregado fino

De la figura 7, obtenemos para el agregado fino superficialmente seco (SSS) un peso específico aparente (Seco) de 2.48 (gr/cm³), peso específico aparente (SSS) de 2.53 (gr./cm³), peso específico nominal 2.61 (Seco) de (gr./cm³), el peso específico aparente (SSS) es superior que el peso específico aparente (Seco), además, la absorción es del 2.02 %.

b) ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN:

- Ensayos a los 7 días de curado:

TABLA III

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS ESPÉCIMENES DE MORTERO A LOS 7 DÍAS

Nº	% de adición de toba volcánica	Carga última (Kg)	Criterio Acepta o rechaza	Área (cm ²)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (Kg/cm ²)
1	0%	2821	Acepta	25,4	111,06	116.77
2		2883	Acepta	25,6	112,62	
3		3086	Acepta	25,65	120,31	
4		2909	Acepta	25,86	112,5	
5		3240	Acepta	25,65	126,32	
6		3094	Acepta	26,27	117,8	
1	5%	2971	Acepta	25,35	117,19	126.30
2		3341	Acepta	25,70	129,98	
3		3289	Acepta	25,15	130,78	
4		3394	Acepta	25,45	133,35	
5		3108	Acepta	25,4	122,36	
6		3141	Acepta	25,3	124,15	
1	10%	3283	Acepta	25,1	130,8	127.09
2		3014	Acepta	25	120,56	
3		3591	Acepta	25	143,64	
4		2941	Acepta	25	117,64	
5		3174	Acepta	25	126,96	
6		3079	Acepta	25,05	122,91	
1	15%	3492	Acepta	25,15	138,85	144.63
2		3508	Acepta	25,1	139,76	
3		3380	Acepta	25,2	134,13	
4		3720	Acepta	25,05	148,5	
5		3895	Acepta	25,15	154,87	
6		3830	Acepta	25,25	151,68	

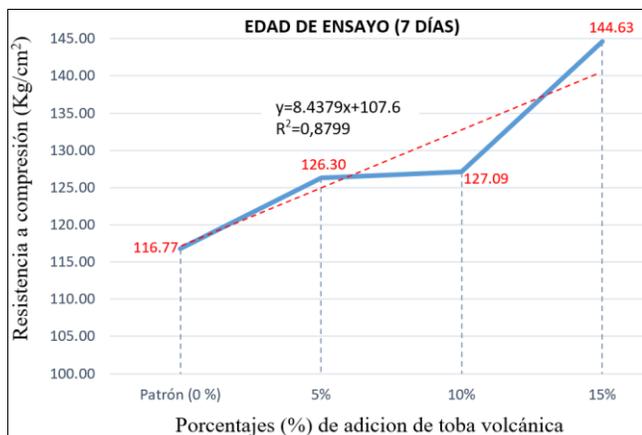


Fig. 8 Resistencia promedio a compresión en kg/cm², ensayada a los 7 días

De la tabla III y figura 8, observamos que el esfuerzo promedio en (kg/cm²) alcanzado a edad de 7 días es como se detalla a continuación: para la muestra patrón (0 % de toba volcánica) la resistencia alcanzada es 116. 77 kg/cm², la muestra al 5 % de adición de toba volcánica la resistencia alcanzada es 126. 30 kg/cm², la muestra al 10 % de adición de toba volcánica la resistencia alcanzada es 127. 09 kg/cm², la muestra al 15 % de adición de toba volcánica la resistencia alcanzada es 144. 63 kg/cm².

- Ensayos a los 14 días de curado:

TABLA IV

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS ESPÉCIMENES DE MORTERO A LOS 14 DÍAS

Nº	% de adición de toba volcánica	Carga última (Kg)	Criterio Acepta o rechaza	Área (cm ²)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (Kg/cm ²)
1	0%	3675	Acepta	25,75	142,7	139.52
2		3487	Acepta	25	139,48	
3		3673	Acepta	25,65	143,17	
4		3196	Acepta	25,35	126,07	
5		3530	Acepta	25,65	137,6	
6		3709	Acepta	25,05	148,06	
1	5%	4057	Acepta	25,2	160,99	155.55
2		4109	Acepta	25,5	161,13	
3		3725	Acepta	25,5	146,07	
4		4229	Acepta	25,91	163,23	
5		3675	Acepta	25,91	141,86	
6		4097	Acepta	25,6	160,02	
1	10%	3984	Acepta	25,65	155,32	159,53
2		4018	Acepta	25,4	158,18	
3		4031	Acepta	25,65	157,14	
4		4199	Acepta	25,15	166,96	
5		3984	Acepta	25,25	157,78	
6		4167	Acepta	25,76	161,79	
1	15%	4493	Acepta	25,4	176,88	170.38
2		4391	Acepta	26,01	168,82	
3		4228	Acepta	25,45	166,12	
4		4417	Acepta	25,91	170,49	
5		4281	Acepta	25,76	166,22	
6		4396	Acepta	25,3	173,75	

De la tabla IV y figura 9, observamos que el esfuerzo promedio en (kg/cm²) alcanzado a edad de 14 días es como se detalla a continuación: para la muestra patrón (0 % de toba volcánica) la resistencia alcanzada es 139. 52 kg/cm², la muestra al 5 % de adición de toba volcánica la resistencia

alcanzada es 155.55 kg/cm², la muestra al 10 % de adición de toba volcánica la resistencia alcanzada es 159.53 kg/cm², la muestra al 15 % de adición de toba volcánica la resistencia alcanzada es 170.38 kg/cm².

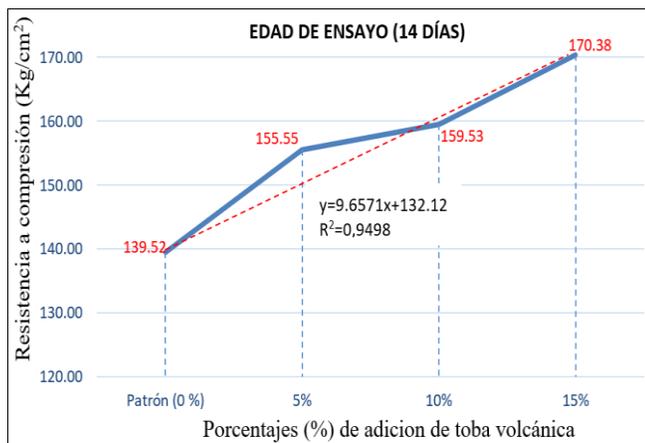


Fig. 9 Resistencia promedio a compresión en kg/cm², ensayada a los 14 días

- Ensayos a los 28 días de curado:

De la tabla V y figura 10, observamos que el esfuerzo promedio en (kg/cm²) alcanzado a edad de 28 días es como se detalla a continuación: para la muestra patrón (0 % de toba volcánica) la resistencia alcanzada es 163.06 kg/cm², la muestra al 5 % de adición de toba volcánica la resistencia alcanzada es 167.37 kg/cm², la muestra al 10 % de adición de toba volcánica la resistencia alcanzada es 172.05 kg/cm², la muestra al 15 % de adición de toba volcánica la resistencia alcanzada es 183.26 kg/cm².

c) COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN:

A continuación, se presenta la comparación de la resistencia a compresión, para muestras ensayadas a edades de 7, 14 y 28 días de curado, al ser adicionadas con toba volcánica al 5 %, 10 % y 15 %” respectivamente y los resultados obtenidos para la muestra patrón (0% de toba volcánica).

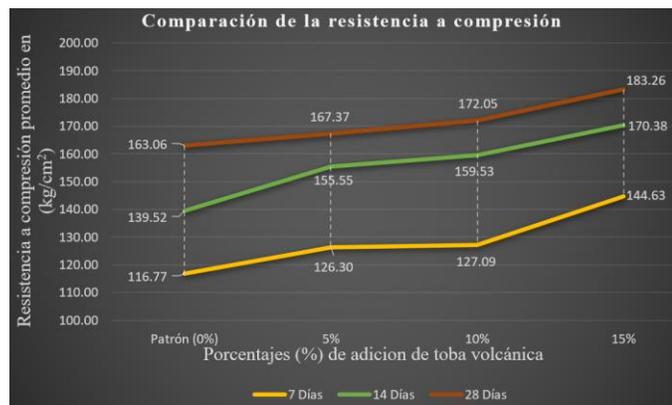


Fig. 11 Resistencia máxima a compresión en kg/cm², para muestras ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado

TABLA V

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE MORTERO A LOS 28 DÍAS

Nº	% de adición de toba volcánica	Carga última (Kg)	Criterio Acepta o rechaza	Área (cm ²)	Esfuerzo máximo (Kg/cm ²)	Esfuerzo promedio (Kg/cm ²)
1	0%	4146	Acepta	26,16	158,47	163,06
2		4567	Acepta	25,75	177,34	
3		4677	Acepta	25,75	181,61	
4		3797	Acepta	25,15	150,97	
5		4083	Acepta	25,81	158,22	
6		3908	Acepta	25,75	151,75	
1	5%	4083	Acepta	25,05	162,99	167,37
2		4318	Acepta	25,1	172,03	
3		3920	Acepta	25,2	155,55	
4		4228	Acepta	25,2	167,78	
5		4466	Acepta	25,15	177,57	
6		4232	Acepta	25,15	168,27	
1	10%	4860	Acepta	26,21	185,39	172,05
2		4575	Acepta	26,21	174,52	
3		4460	Acepta	26,01	171,47	
4		4669	Acepta	26,16	178,46	
5		4360	Acepta	26,11	166,97	
6		4083	Acepta	26,27	155,45	
1	15%	4863	Acepta	25,7	189,19	183,26
2		4566	Acepta	25,5	179,05	
3		4575	Acepta	26,01	175,89	
4		4780	Acepta	25,81	185,23	
5		4677	Acepta	26,21	178,41	
6		4968	Acepta	25,91	191,76	

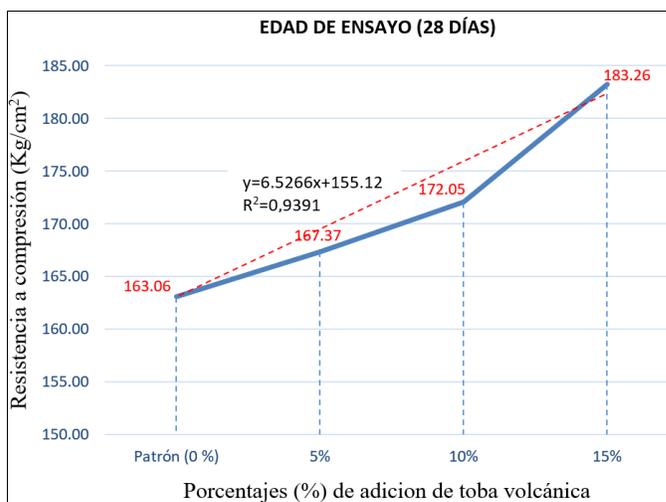


Fig. 10 Resistencia promedio a compresión en kg/cm² ensayada a los 28 días

De la figura 11, observamos que el esfuerzo promedio máximo en (kg/cm²) alcanzado a edad de 7 días corresponde a

la muestra de mortero con la adición al 15% de toba volcánica, obteniendo un valor de 144.63 (kg/cm²); además, el esfuerzo promedio máximo en (kg/cm²) alcanzado a edad de 14 días corresponde a la muestra de mortero con la adición al 15% de toba volcánica, obteniendo un valor de 170.38 (kg/cm²); por último, el esfuerzo promedio máximo en (kg/cm²) alcanzado a edad de 28 días corresponde a la muestra de mortero con la adición al 15% de toba volcánica, obteniendo un valor de 183.26 (kg/cm²).

IV. DISCUSIÓN

En la investigación de la referencia [9], consideró utilizar un porcentaje menor de puzolana en cantidades del 6 %, 8 %, 10 % y 12 % de adición obteniendo resultados favorables en relación a la muestra patrón, además, dicha investigación tuvo como objetivo: determinar la influencia de la puzolana en la resistencia a compresión de los morteros cemento – arena; la investigación consistió en reemplazar porcentualmente la puzolana artificial al 6 %, 8 %, 10 % y 12 % del peso del cemento, llegando a obtener que la resistencia a compresión se incrementa a los 28 días; obteniendo que al remplazo del 6% de puzolana la resistencia se incrementó en 30.82 % respecto a la muestra patrón, al remplazar el 8 % de puzolana la resistencia se incrementó en 17.48 % respecto a la muestra patrón, al remplazar el 10 % de puzolana la resistencia se incrementó en 10.43 % respecto a la muestra patrón, al remplazo el 12 % de puzolana la resistencia se incrementó en 6.71 % respecto a la muestra patrón. Con respecto a la presente tesis de investigación realizada, el valor máximo promedio de resistencia a compresión del mortero al 10 % de adición de toba volcánica y ensayada a los 28 días, fue de 167.37 kg/cm² representando un incremento del 2.64 % respecto de la muestra patrón; en comparación a nuestra muestra al 10 % de adición de toba volcánica y ensayada a edad de 28 días, nuestra muestra presenta una disminución 7.79 % respecto a la investigación comparada.

También, en la referencia [3] se consideró utilizar un porcentaje mayor de puzolana en cantidades del 10 %, 15 % y 20 % de adición, obteniendo resultados favorables de manera parcial en relación a la muestra patrón, además, dicha investigación tuvo como objetivo: Determinar la resistencia a la compresión del mortero cemento – arena incorporando puzolana volcánica en porcentajes del 10 %, 15 % y 20 %; la investigación consistió en reemplazar porcentualmente la puzolana volcánica al 10 %, 15 % y 20 % del peso del cemento, llegando a obtener que la resistencia a compresión disminuye a los 28 días de ensayo respecto a la muestra patrón; obteniendo que a los 28 días los resultados de resistencia a compresión fueron de 165.31 kg/cm², 179.55 kg/cm², 171.63 kg/cm², 157.8 kg/cm² para los porcentajes ya mencionados. Con respecto a la presente tesis de investigación realizada, el valor máximo promedio de resistencia a compresión del mortero alcanzado a los 28 días de ensayo fue de 183.26 kg/cm² representando un incremento del 12.38 %, correspondiente a la muestra al 15% de adición de toba volcánica; en comparación a nuestra muestra al 15 % de adición de toba volcánica y ensayada a edad de 28 días,

nuestra muestra presenta un incremento 25.46 kg/cm² respecto a la investigación comparada.

En relación a los resultados alcanzados y que posteriormente fueron analizados, nos brinda la siguiente implicancia práctica, la cual, esta se basó en incrementar la propiedad mecánicas del mortero por medio de la adición de toba volcánica de origen natural en porcentajes del 5 %, 10 % y 15 %, dicha adición se plantea como una alternativa debido a su alto contenido en porcentaje de sílice (SiO₂) y alúmina (Al₂O₃), compuestos que por sí solos posee poco o ningún valor cementante pero que finamente dividido y en medio húmedo a temperatura ordinaria reacciona químicamente con el hidróxido de calcio, formando un nuevo compuesto con propiedades cementantes, y de esta manera resolver el problema que se presentó en la sección de realidad problemática, es por esto, que la presente tesis de investigación buscó mejorar la problemática anteriormente indicada; además, como implicancia teórica se espera que la presente tesis de investigación sienta las bases para futuros proyectos de investigación y de esta manera sirva como un precedente respecto a nuevos estudios vinculados con la mejoría de las propiedades mecánica del mortero de cemento – agregado.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a la hipótesis planteada, la cual, indica que “La resistencia a compresión del mortero cemento - arena se incrementa respecto de la muestra patrón, al adicionar toba volcánica al 5 %, 10 %, 15 %”, esta, se llegó a cumplir en su totalidad, puesto que, las muestras con adición al 5 %, 10 % y 15 % de toba volcánica, alcanzaron resistencias a compresión superiores respecto a la muestra patrón (0 % de adición de toba volcánica), esto debido, a que la toba volcánica tenía un alto contenido de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, estos componentes sumados en porcentaje superan el 70.0 % , logrando cumplir así lo recomendado en la norma (ASTM C 618); por lo tanto, deducimos que la hipótesis planteada es válida en respecto a lo estipulado.

El contenido de humedad obtuvo un valor de 0.86 %, deduciendo que la humedad aportará poca agua a la mezcla de mortero; del análisis granulométrico, el porcentaje que pasa la malla N° 200 no excede el 3%, esto nos indica que el material no contiene mucha concentración de limos y arcillas, además, la curva granulométrica está dentro de los usos granulométricos superior e inferior recomendado por (RNE E.070), por otro lado, el M. f= 2.30, deducimos que la muestra de arena es de grano medio y cumple lo estipulado en el (RNE E.070), donde nos indica que el módulo de finura del agregado fino debería de estar comprendido entre un límite superior 2.5 y un límite inferior de 1.6; en relación a la absorción, se obtiene un valor del 2.02 %, deduciendo que al ser mayor que el contenido de humedad la mezcla de mortero sería necesario adicionarle más agua para que esta sea trabajable.

Las probetas de mortero, elaboradas bajo la normativa (NTP 334.051/ASTM C-109) sin adición de toba volcánica (muestra patrón), al realizar el análisis de los datos que se obtuvieron en

laboratorio, se logró determinar que a edad de ensayo de 28 días la resistencia a compresión máxima alcanzada en (kg/cm^2) fue de $163.06 \text{ kg}/\text{cm}^2$ y a edad de ensayo de 7 días la resistencia a compresión máxima alcanzada en (kg/cm^2) fue de $116.77 \text{ kg}/\text{cm}^2$; deduciendo que, la resistencia a compresión alcanzado a los 28 días adquiere un incremento de $46.29 \text{ kg}/\text{cm}^2$ respecto al ensayo realizado a los 7 días.

Las probetas de mortero, elaboradas bajo la normativa (NTP 334.051/ASTM C-109) con adición al 5 % de toba volcánica; se logró determinar que, a edad de ensayo de 28 días la resistencia a compresión máxima alcanzada en (kg/cm^2) fue de $167.37 \text{ kg}/\text{cm}^2$; deduciendo que, este resultado es mayor en $4.31 \text{ kg}/\text{cm}^2$ respecto a lo obtenido por la muestra patrón.

Las probetas de mortero, elaboradas bajo la normativa (NTP 334.051/ASTM C-109) con adición al 10 % de toba volcánica; se logró determinar que, a edad de ensayo de 28 días la resistencia a compresión máxima alcanzada en (kg/cm^2) fue de $172.05 \text{ kg}/\text{cm}^2$; deduciendo que, este resultado es mayor en $8.99 \text{ kg}/\text{cm}^2$ respecto a lo obtenido por la muestra patrón.

Las probetas de mortero, elaboradas bajo la normativa (NTP 334.051/ASTM C-109) con adición al 15 % de toba volcánica; se logró determinar que, a edad de ensayo de 28 días la resistencia a compresión máxima alcanzada en (kg/cm^2) fue de $183.26 \text{ kg}/\text{cm}^2$; deduciendo que, este resultado es mayor en $20.20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ respecto a lo obtenido por la muestra patrón.

Al contrastar los resultados obtenidos en las probetas de mortero con adición de toba volcánica al 5 %, 10 % y 15 % vs las probetas de mortero patrón (0 % de toba volcánica) sometidas a esfuerzo de compresión expresado en kg/cm^2 , deducimos que, la resistencia a compresión de las probetas de mortero es directamente proporcional al porcentaje de adición de toba volcánica; es decir, a mayor porcentaje de toba volcánica mayor resistencia a compresión.

VI. REFERENCIAS

[1] Briones, D. (2023). Influencia del reemplazo de cemento por puzolana volcánica en la resistencia a compresión del concreto compactado $f'c = 280 \text{ kg}/\text{cm}^2$ en la Ciudad de Cajamarca [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca <https://repositorio.unc.edu.pe/>

[2] Burgos, D., Cardona, L., Gordillo, M., & Delvasto, A. (2015). Valoración y efectos puzolánicos del material volcánico del Puracé. *Revista Dialnet*, 12(23), 91-92. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5429744>

[3] Sánchez, J. (2019). Resistencia a compresión del mortero cemento – arena incorporando puzolana volcánica [Tesis para optar el título profesional, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/>

[4] López, M., Castro, J. (01 de diciembre de 2010). Efecto de las puzolanas naturales en la porosidad y conectividad de poros del hormigón con el tiempo. *SciELO*. <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v25n3/art06.pdf>

[5] Guamán, G., Ubidia, C., Gualpa, W. (mayo de 2021). Caracterización y Evaluación de Tobs Puzolánicas en el Sur del Ecuador, Caso de Estudio “Yamana” Cantón Paltas, Provincia de Loja. *SciELO*. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v47n2/2477-8990-rpolit-47-02-41.pdf>

[6] Farfán, M., Pastor, H. (21 diciembre de 2018). Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto. *Redalyc*. <https://www.redalyc.org/journal/5217/521758012002/html/>

[7] Caballero, P., Damiani, C. (diciembre de 2021). Optimización del concreto mediante la adición de nanosílice, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa. *SciELO*.

[8] Torre, A., Espinoza, P., Matias, J. (octubre de 2022). Uso de las redes neuronales artificiales en el estudio del coeficiente de permeabilidad de concretos adicionados con microsílice, metacaolín y puzolana. *SciELO*. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v33n5/0718-0764-infotec-33-05-81.pdf>

[9] Ramírez, G. (2019). Influencia de la puzolana artificial en los morteros cemento - arena [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/>

[10] Huamán, S. (2023). Influencia de la adición de puzolana de arcilla cocida en las propiedades físico - mecánicas de los morteros de cal y arena-Cajamarca [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/>

[11] Fernández, C, Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). Fondo editorial McGrawHill. <https://www.esup.edu.pe/wpcontent/uploads/2020/12/2.%20Hernandez.%20Fernandez%20y%20Baptista%20Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

[12] Arias, J, Covinos, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación (1ª ed.). Fondo editorial Enfoques Consulting EIRL. https://gc.salahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf

[13] Abanto, F. (2009). Tecnología del Concreto (3ª ed.). Fondo editorial San Marco http://www.editorialsanmarcos.com/index.php?controller=search&orderby=position&orderway=desc&search_query=flavio&submit_search=

[14] ASOCEM, Tecnología del cemento. (19 de enero de 2016). http://www.asocem.org.pe/archivo/files/CC_ed17%20-%20Asocem.pdf

[15] Cruz, E. (2018). Caracterización físico química de la puzolana de la localidad de Tacna para determinar su poder cementante [Tesis para optar el título profesional, Universidad Nacional Jorge Basadre]. Repositorio institucional de la Universidad Jorge Basadre. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/home>

[16] Harmsem, T. (2017). El concreto fundamento y nuevas tecnologías (5ª ed.). Fondo editorial de PUCP. <https://www.fondoeditorial.pucp.edu.pe/ciencias-e-ingenieria-/613-diseño-de-estructuras-de-concreto-armado.html>

[17] INGENMET, Estudio de recursos de rocas y minerales industriales para la inclusión económica social y desarrollo en la región Cajamarca. (8 de setiembre de 2020). <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2800>

[18] Matallana, R. (2019). El concreto fundamento y nuevas tecnologías (2ª ed.). Constructora con Concreto-Corona. <https://conconcreto.com/wp-content/uploads/2023/02/EL-CONCRETO-Fundamentos-y-nuevas-tecnologias.pdf>

[19] Medeiros, J., Munhoz, S., Medeiros, F. (30 de abril de 2019). Correlaciones entre absorción de agua, resistividad eléctrica y resistencia a la compresión de hormigones con diferentes contenidos de puzolana. *DOAJ: Directory of Open Access Journals*. <https://doaj.org/>

[20] Norma Técnica Peruana NTP 334.127 (15 de marzo de 2022) Adiciones minerales del cemento y hormigón (concreto). INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI

[21] Norma Técnica Peruana NTP 400.010 (15 de marzo de 2022) Extracción y preparación de las muestras. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI

[22] Norma Técnica Peruana NTP 339.185 (15 de marzo de 2022) Contenido de humedad de agregados. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI

- [23] Norma Técnica Peruana NTP 400.012 (15 de marzo de 2022) Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI
- [24] Norma Técnica Peruana NTP 400.017 (15 de marzo de 2022) Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI
- [25] Norma Técnica Peruana NTP 400.022 (15 de marzo de 2022) Método de ensayo para hallar el peso específico y absorción de agregado Fino. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI
- [26] Norma Técnica Peruana NTP E.070, (10 de junio de 2006) Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú
- [27] Norma Técnica Peruana NTP 334.090 (02 de febrero de 2019) Cementos Portland adicionados. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI
- [28] Norma Técnica Peruana NTP 334.051 (15 de marzo de 2022) Método para determinar la resistencia a compresión de morteros de cemento Portland en cubos de 50 mm de lado. INDECOPI. Lima, Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI
- [29] Pasquel, E. (2019). Tópicos de tecnología del concreto (2ª ed.). Colegio de Ingenieros del Perú.
<https://mega.nz/file/AxZikShC#RnmpNAinK6wCdhjyngi22yvB7xmXNEbqX0xZploY9uU>
- [30] Rahhal, V., Talero, R. (18 de octubre de 2023). Efecto de tres puzolanas naturales en la hidratación de los cementos portland. Digital. CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). <https://www.csic.es/es>.
- [31] Ríos, R. (2014). Metodología para la investigación y redacción (1ª ed.). Fondo Editorial Servicios Académicos Intercontinentales. S.L. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2017/1662/1662.pdf>
- [32] SENCICO, Manual de preparación, colocación y cuidados del concreto. <https://www.pinterest.es/pin/927319379513519996/>