

Determination of the Physical and Mechanical Properties of Standardized Sand Mortar and Mortar with Crushed Brick Replacement

Yomer Yeison Silva Copia, Bach.¹; and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, n00034491@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, tulio.guillen@upn.pe

Abstract – The objective of this investigation was to determine the physical and mechanical properties of standardized sand mortar and mortar with brick replacement in 10% and 15% with respect to fine aggregate, the research design is purely experimental, the research was based clearly on a sampling probabilistic by the investigator's judgment, for the data collection the protocols granted by the Universidad Privada del Norte were used as an instrument, for the analysis and processing of data it was carried out through statistical inference. 72 specimens were prepared for the tests at 7, 14, 21 and 28 days of curing, both for the standard sample and for the mortar made with the substitution of crushed brick in 10% and 15%, which is based on Standard E080. – Design and construction with reinforced earth of the National Building Regulations, where in item 8.1 of the aforementioned Standard indicates that the minimum number of samples for compression tests are 6 units for each witness, it was determined that the specimens made with substitution of 10% and 15% crushed brick present greater resistance after 28 days of curing with values of 264.10 kg/cm² and 227.49 kg/cm² respectively, it is concluded that the mortar made with the substitution of 10% and 15% crushed brick improves the physical and mechanical properties of the mortar made with standardized sand with an increase in compressive strength of 17.98% and 16.09%, in addition they exceed the compressive strength values of 13.72MPa (140 kg/cm²) minimum indicated by the Standard E070 – Masonry.

Keywords – Physical properties, brick substitution, standardized sand, aggregates, compressive strength.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas de Mortero de Arena Estandarizada y Mortero con Reemplazo de Ladrillo Triturado

Yomer Yeison Silva Copia, Bach.¹; and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, n00034491@upn.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca- Perú, tulio.guillen@upn.pe

Resumen – La presente investigación tiene como objetivo determinar las propiedades físicas y mecánicas de mortero de arena estandarizada y mortero con reemplazo de ladrillo en 10% y 15% respecto al agregado fino, el diseño de investigación es cuasi experimental, la investigación se basa netamente en un muestreo probabilístico por juicio del investigador, para la recolección de datos se utilizó como instrumento los protocolos otorgados por la Universidad Privada del Norte, para el análisis y procesamiento de datos se realizó mediante la inferencia estadística. Se elaboraron 72 especímenes para los ensayos a los 7, 14, 21 y 28 días de curado tanto para la muestra patrón como para el mortero elaborado con la reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15%, los cuales está basado en la Norma E 080 – Diseño y construcción con tierra reforzada del Reglamento Nacional de Edificaciones, donde en el ítem 8.1 de la mencionada Norma nos indica que el mínimo de muestras para los ensayos a compresión son 6 unidades por cada testigo, se determinó que los especímenes elaborados con reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15% presentan mayor resistencia a los 28 días de curado con valores de 264.10 kg/cm² y 227.49 kg/cm² respectivamente, se concluye que el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15% mejora las propiedades físicas y mecánicas del mortero elaborado con arena estandarizada con un incremento de la resistencia a la compresión de 17.98% y 16.09%, además superan los valores de la resistencia a la compresión de 13.72MPa (140 kg/cm²) mínimo que nos indica la Norma E 070 – Albañilería.

Palabras Clave – Propiedades físicas, reemplazo de ladrillo, arena estandarizada, agregados, resistencia a la compresión.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo las construcciones modernas busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los morteros mediante la incorporación de otros materiales que ayuden a reforzar las construcciones de albañilería, por lo cual, es importante buscar alternativas para la utilización de otros materiales rechazados en la industria de la construcción, en el caso del ladrillo, la intención es encontrar argumentos de materiales que sean fiables para satisfacer la mencionada necesidad, sin perder su calidad y características de los materiales mencionados anteriormente [1].

Según los estudios realizados en Sudamérica los morteros naturales son ampliamente estudiados, pero en la actualidad aún sigue siendo un enigma, por tal motivo, surge un horizonte de combinar el conocimiento actual y las técnicas aplicadas anteriormente, con respecto a los morteros con la adición de trituración de ladrillo como agregado fino, debido a que presentan trabajabilidad y dan estética a los enlucidos. Por otra

parte, los morteros se caracterizan por la calidad de los materiales que lo conforman y gran parte es la influencia que tiene el correcto diseño de mezcla, un eficiente mezclado y una buena colocación, estos factores tienen mucho que ver en la resistencia a compresión [2].

En el Perú, cada día la población va en aumento y surge la necesidad de tener nuevas y modernas infraestructuras que son construidas con muros de albañilería, ante esto, es importante conocer y realizar el análisis de las propiedades físicas y mecánicas del mortero que se utiliza en el asentado del ladrillo así como para los enlucidos, sin embargo, existen muchas investigaciones que estudian los morteros con reemplazo de ladrillo triturado como agregado fino para poder reforzar las construcciones de albañilería [3].

En Cajamarca (Perú), debido al crecimiento demográfico conlleva a tener una demanda significativa en la construcción de viviendas, que mayormente están construidas por muros de albañilería que es una alternativa más utilizada en la construcción civil. De este modo, para unir las unidades de albañilería es importante utilizar mortero que sirve para conocer la calidad del agregado fino dentro de la resistencia a compresión, que es un parámetro importante que influye en el comportamiento mecánico de un muro [4].

Por lo tanto, de las investigaciones anteriores podemos resumir que se busca encontrar argumentos fiables para conseguir sustituir materiales de primer uso dentro de la elaboración del mortero, en este caso el ladrillo que es desechado por la industria de la construcción y se pueda sacar provecho contribuyendo a mitigar el impacto ambiental. En ese sentido se plantea el siguiente problema ¿Al sustituir ladrillo triturado en 10% y 15% respecto al agregado fino mejora las propiedades físico mecánicas del mortero de arena estandarizada?, teniendo como variable independiente mortero de arena estandarizada y mortero con reemplazo de agregado de ladrillo triturado, y la variable dependiente propiedades físicas y mecánicas.

El objetivo principal es determinar las propiedades físicas y mecánicas de mortero de arena estandarizada y mortero con reemplazo de agregado de ladrillo tritura en 10% y 15% respecto al agregado fino; y como objetivos específicos a) determinar las propiedades físicas y mecánicas de mortero de arena estandarizada y mortero con reemplazo de ladrillo triturado en 10% respecto al agregado fino; b) determinar las propiedades físicas y mecánicas de mortero de arena

estandarizada y mortero con reemplazo de ladrillo triturado en 15% respecto al agregado fino, c) calcular la variación de la resistencia a compresión de los especímenes cúbicos cemento – arena estandarizada 1:4 mezcla patrón, y reemplazo del agregado fino por ladrillo triturado en porcentajes del 10% y 15% a las edades de 7 días, 14 días, 21 días y 28 días, d) realizar el diseño de mezclas 1:4 para la elaboración del mortero con arena estandarizada y el mortero con reemplazo de agregado de ladrillo triturado.

Según el problema de investigación, se propone la siguiente hipótesis: Conforme se sustituye ladrillo triturado en 10% y 15% respecto al agregado fino mejora más del 10% las propiedades físico mecánicas del mortero de arena estandarizada.

Con el pasar del tiempo, se han venido realizando trabajos de investigación como tesis o artículos científicos que se asemejan a la presente investigación.

Según [5], en su artículo planteó el objetivo para investigar los efectos de los residuos de ladrillos de arcilla como parte de agregado fino, sobre el rendimiento del mortero de enlucido, concluyendo que a medida que aumenta el nivel de reemplazo del ladrillo, [11] se reduce la trabajabilidad del mortero. La contracción lineal aumenta con el tiempo y disminuye con la introducción de residuos de ladrillo. Las resistencias a la compresión y a flexión disminuyen con el aumento de los residuos de ladrillo debido a su gran absorción de agua.

Por su parte [6], busca desarrollar en su artículo científico una solución para la fabricación de hormigones elaborados con material reciclado tales como escombros de construcción y demolición de obras, concluyendo que el mortero elaborado con material reciclado de ladrillo triturado solo se puede utilizar en porcentajes inferiores al 10% en la fabricación de morteros, porque al poner más del 10% generan menores resistencias a la compresión ya que es un material muy poroso y no se adhiere con facilidad a la pasta del cemento.

Según [7], evalúa la influencia de la granulometría y porcentaje de reemplazo de ladrillo reciclado sobre la resistencia a la compresión, absorción y capilaridad en la fabricación de morteros para enlucidos de albañilería, utilizó ensayos de laboratorio como granulometría, contenido de humedad, módulo de finura, [12] peso unitario suelto y compactado, peso específico y absorción, concluyendo que el diseño óptimo del mortero con ladrillo reciclado es en porcentaje del 18% y la granulometría que pase la malla N° 100, la cual se logró aumentar la resistencia a compresión de 244 kg/cm² a 310 kg/cm², pero las propiedades como absorción disminuye de 7.2% a 4.7% y a la vez se reduce el coeficiente de capilaridad.

Por su parte [8], determina la resistencia a compresión y capacidad de absorción del mortero al reemplazar agregado fino por ladrillo, cerámica y teja de arcilla reciclados, con adición del 10% y 20% con respecto al agregado fino, teniendo una

muestra acorde a la Norma E 080 – Diseño y construcción con tierra reforzada del Reglamento Nacional de Edificaciones, donde menciona que el mínimo de muestras para ensayos a compresión serán 6 unidades por cada testigo, concluyendo que el aumento de ladrillo reciclado en reemplazo de agregado fino en 10% y 20% disminuye las propiedades mecánicas en resistencia a compresión a más del 10% respecto al valor encontrado de la muestra patrón elaborado con arena estándar o convencional, pero si cumple con el valor mínimo de resistencia que indica la Norma E 070 - Albañilería.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño es *cuasi experimental* debido a que manipula las variables en condiciones altamente controladas, replicando un fenómeno concreto y observando el grado en que la o las variables implicadas y manipuladas producen un efecto determinado. Por su naturaleza de datos es *cuantitativa* porque utiliza herramientas de análisis matemático y estadísticos para describir, explicar o deducir fenómenos mediante datos numéricos. Según los propósitos de la investigación es *aplicada* ya que busca la ampliación de nuevos conocimientos científicos que son adquiridos para poder emplearlo y contrastarlo con la práctica. Es *transversal* porque recolecta datos con el propósito de describir y analizar las variables de estudio y su comportamiento en un mismo tiempo.

Para la población en el caso de este tipo de investigación cuasi experimental, se contará con 72 especímenes de forma cúbica de 5 cm por lado, tanto para el mortero elaborado con arena estandarizada como para el mortero con reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15% respecto al agregado fino.

La elección del tamaño de la muestra, ha sido determinada de acuerdo a la Norma E 080 - Diseño y construcción con tierra reforzada del Reglamento Nacional de Edificaciones, donde en el ítem 8.1 de la mencionada Norma indica que el mínimo de muestras para los ensayos a compresión será de 6 unidades por cada testigo, de los cuales los especímenes fueron elegidos de manera aleatoria acorde a sus dimensiones que presentaban al momento del desencofrado y curado del mismo.

Por lo indicado se tomará como muestra la misma cantidad de la población es decir 72 especímenes, el muestreo realizado es probabilístico no estadístico por conveniencia.

TABLA 1
DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA (ENSAYO AXIAL).

Indicador	Mezcla	7	14	21	28	Sub. Total
		días	días	días	días	
GRUPO DE CONTROL	Mezcla patrón	06	06	06	06	24
	Mezcla con sustitución del 10% de ladrillo triturado.	06	06	06	06	24
GRUPO EXPERIMENTAL	Mezcla con sustitución del 15% de ladrillo triturado.	06	06	06	06	24
	Axial	Cantidad de especímenes cúbicos				72

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL LADRILLO TRITURADO

A continuación, se describen las Técnicas e Instrumentos de Recolección y Análisis de datos utilizados:

La técnica que se usará es la experimentación, donde se manipulan intencionalmente las variables, los resultados que fueron registrados en los instrumentos de recolección de datos se elaboraron tablas y gráficos estadísticos que serán tratados mediante el software de Microsoft Excel, el tipo de muestreo que se llevó a cabo en la investigación es probabilístico aleatorio simple, ya que es un muestreo básico que es utilizado en cálculos estadísticos para cada dato de los especímenes de mortero de 5 cm por lado elaboradas con arena estandarizada y con reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15% con respecto al agregado fino.

Los instrumentos de recolección fueron protocolos establecidos en laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte Sede Cajamarca.

- ✓ Protocolo 01: Análisis granulométrico de los agregados (fino y grueso). MTC E 204 – ASTM C136 – NTP 400.012

TABLA 2
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA ESTANDARIZADA

Nº	TAMIZ (Pulg) (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)	Huso Granulométrico (Según norma ASTM C33)			
						Límite Inferior	Límite Superior		
Peso total = 1435.900 gr									
1	1 1/2"	37.5							
2	1"	25							
3	3/4"	19							
4	1/2"	12.5							
5	3/8"	9.5			100	100	100		
6	Nº4	4.75	10.300	0.717	0.717	99.283	95	100	
7	Nº8	2.36	199.900	13.922	14.639	85.361	80	100	
8	Nº16	1.18	190.300	13.253	27.892	72.108	50	85	
9	Nº30	0.6	266.900	18.588	46.480	53.520	25	60	
10	Nº50	0.3	529.000	36.841	83.321	16.679	10	30	
11	Nº100	0.15	178.600	12.438	95.759	4.241	2	10	
12	Nº200	0.075	50.500	3.517	99.276	0.724	0	3	
13	Fondo	0	10.400	0.724	100.000				
Módulo de Finura =		2.688							

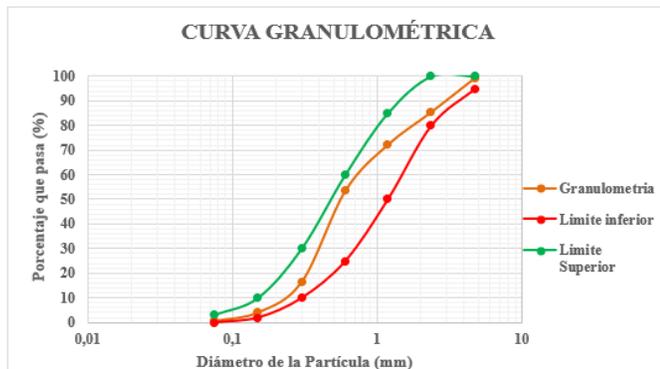


Fig. 1 Curva Granulométrica de la arena estandarizada

TABLA 2

Nº	TAMIZ (Pulg) (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)	Huso Granulométrico (Según norma ASTM C33)			
						Límite Inferior	Límite Superior		
Peso total = 1233.900 gr									
1	1 1/2"	37.5							
2	1"	25							
3	3/4"	19							
4	1/2"	12.5							
5	3/8"	9.5			100	100	100		
6	Nº4	4.75	14.500	1.175	1.175	98.825	95	100	
7	Nº8	2.36	162.100	13.137	14.312	85.688	80	100	
8	Nº16	1.18	193.300	15.666	29.978	70.022	50	85	
9	Nº30	0.6	376.300	30.497	60.475	39.525	25	60	
10	Nº50	0.3	243.400	19.726	80.201	19.799	10	30	
11	Nº100	0.15	216.000	17.505	97.706	2.294	2	10	
12	Nº200	0.075	25.600	2.075	99.781	0.219	0	3	
13	Fondo	0	2.700	0.219	100.000				
Módulo de Finura =		2.838							

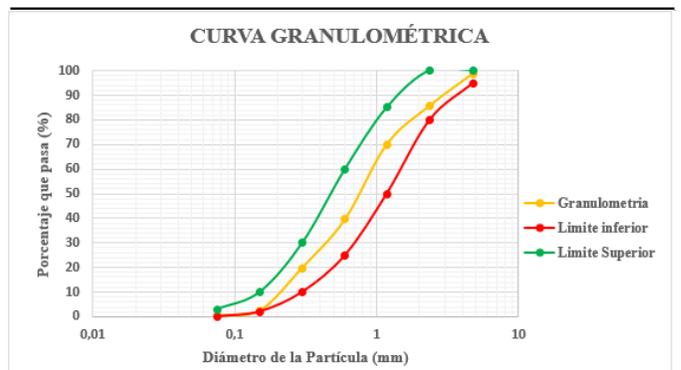


Fig. 2 Curva Granulométrica del ladrillo triturado

- ✓ Protocolo 02: Contenido de humedad del agregado (fino). MTC E108 - ASTM D2216 – NTP 339.127

TABLA 3
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO DE ARENA ESTANDARIZADA

CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara		T1	T2	T3
B	Peso del Recipiente	gr	45.400	33.200	33.100
C	Recipiente + Material Húmedo	gr	186.900	192.800	179.600
D	Recipiente + Material Seco	gr	185.300	191.200	178.100
E	Peso del Material húmedo	gr	141.500	159.600	146.500
	(Ww) C - B				
F	Peso Material Seco	gr	139.900	158.000	145.000
	(Ws) D - B				
W	% Porcentaje de humedad	%	1.144	1.013	1.034
	(E - F / F) * 100				
G	Promedio Porcentaje Humedad	%		1.064	

TABLA 4
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO DE LADRILLO TRITURADO

CONTENIDO DE HUMEDAD					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara		T1	T2	T3
B	Peso del Recipiente	gr	34.700	35.000	45.900
C	Recipiente + Material Húmedo	gr	162.900	162.000	182.900
D	Recipiente + Material Seco	gr	159.400	158.100	179.200
E	Peso del Material húmedo	gr	128.200	127.000	137.000
	(Ww) C - B				
F	Peso Material Seco	gr	124.700	123.100	133.300
	(Ws) D - B				
W					
%	Porcentaje de humedad	%	2.807	3.168	2.776
	(E - F / F) * 100				
G	Promedio Porcentaje Humedad	%		2.917	

✓ Protocolo 03: Peso unitario compactado del agregado (fino).
MTC E 203 – ASTM C29 – NTP 400.017

TABLA 5
PESO UNITARIO DEL AGREGADO DE ARENA ESTANDARIZADA

ID	AGREGADO FINO (Arena Estándar)	TAMAÑO MÁX. NOMINAL	< 1/2"	VOLUMEN MOLDE	0.00941	RESULTADO
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Peso del Molde + AF Compactado	kg	21.220	21.240	21.280	
B	Peso del Molde	kg	4.788	4.788	4.788	
C	Peso del AF Compactado, C = A - B	kg	16.432	16.452	16.492	
D	PESO UNITARIO COMPACTADO		1746.227	1748.353	1752.604	1749.061
	D = C / Vol. Molde					
E	Peso del Molde + AF Suelto	kg	20.320	20.420	20.340	
F	Peso del AF Suelto, F = E - B	kg	15.532	15.632	15.552	
G	PESO UNITARIO SUELTO		1650.584	1661.211	1652.710	1654.835
	G = F / Vol. Molde					

TABLA 6
PESO UNITARIO DEL AGREGADO DE LADRILLO TRITURADO

ID	AGREGADO FINO (Ladrillo Triturado)	TAMAÑO MÁX. NOMINAL	< 1/2"	VOLUMEN MOLDE	0.00941	RESULTADO
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Peso del Molde + AF Compactado	kg	18.340	18.400	18.380	
B	Peso del Molde	kg	4.788	4.788	4.788	
C	Peso del AF Compactado, C = A - B	kg	13.552	13.612	13.592	
D	PESO UNITARIO COMPACTADO		1440.170	1446.546	1444.421	1443.712
	D = C / Vol. Molde					
E	Peso del Molde + AF Suelto	kg	17.060	17.120	17.180	
F	Peso del AF Suelto, F = E - B	kg	12.272	12.332	12.392	
G	PESO UNITARIO SUELTO		1304.145	1310.521	1316.897	1310.521
	G = F / Vol. Molde					

✓ Protocolo 04: Gravedad específica (saturado) y absorción del agregado fino. MTC E205 – ASTM C128 – NTP 400.022.

TABLA 7
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO DE ARENA ESTANDARIZADA

ID	DESCRIPCIÓN	UND.	1	2	3	Resultado
A	Peso de la muestra de arena desecada al aire	gr	487.30	487.40	487.50	N. A
B	Peso del picnómetro aforado lleno de agua.	gr	1297.60	1297.60	1297.60	N. A
C	Peso del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua.	gr	1610.10	1610.70	1610.20	N. A
S	Peso de la muestra saturada superficialmente seca (Pass).	gr	500.00	500.00	500.00	N. A
	Peso específico aparente (Seco)					
E	$P.e.a (seco) = \frac{A}{B+S-C}$	gr/cm ³	2.60	2.61	2.60	2.60
	Peso específico aparente (SSS)					
F	$P.e.a (SSS) = \frac{S}{B+S-C}$	gr/cm ³	2.67	2.68	2.67	2.67
	Peso específico nominal (Seco)					
G	$P.e.n (Seco) = \frac{A}{B+A-C}$	gr/cm ³	2.79	2.80	2.79	2.79
	Absorción					
H	$Abs(\%) = \frac{S-A}{A} * 100\%$	(%)	2.61	2.59	2.56	2.59

TABLA 8
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO DE LADRILLO TRITURADO

ID	DESCRIPCIÓN	UND.	1	2	3	Resultado
A	Peso de la muestra de ladrillo triturado desecada al aire	gr	477.70	477.80	477.90	N. A
B	Peso del picnómetro aforado lleno de agua.	gr	1297.60	1297.60	1297.60	N. A
C	Peso del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua.	gr	1609.00	1610.10	1609.30	N. A
S	Peso de la muestra saturada superficialmente seca (Pass).	gr	500	500	500	N. A
	Peso específico aparente (Seco)					
E	$P.e.a (seco) = \frac{A}{B+S-C}$	gr/cm ³	2.53	2.55	2.54	2.54
	Peso específico aparente (SSS)					
F	$P.e.a (SSS) = \frac{S}{B+S-C}$	gr/cm ³	2.65	2.67	2.66	2.66
	Peso específico nominal (Seco)					
G	$P.e.n (Seco) = \frac{A}{B+A-C}$	gr/cm ³	2.87	2.89	2.88	2.88
	Absorción					
H	$Abs(\%) = \frac{S-A}{A} * 100\%$	(%)	4.67	4.65	4.62	4.65

- ✓ Protocolo 05: Peso específico del cemento hidráulico (Frasco de le Chatelier). MTC E610 – ASTM C188 – NTP 334.005

TABLA 9

PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO

PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (FRASCO DE LE CHATELIER)					
ID	Descripción	Und	1	2	3
A	Peso del cemento utilizado (gr)	gr	64.00	64.00	64.00
B	Volumen Inicial (cm ³)	cm ³	0.00	0.00	0.00
C	Volumen Final (cm ³)	cm ³	20.90	20.80	20.90
D	Volumen Desplazado	cm ³	20.90	20.80	20.90
	D = C-B				
Peso Específico del Cemento					
E	Hidráulico (gr/cm ³)	cm ³	3.06	3.08	3.06
	E = A / D				
F	Peso Específico del agua a 4°C	gr/cm ³	1.00	1.00	1.00
	Peso Específico Relativo del				
G	Cemento	-	3.06	3.08	3.06
	G = E / F				
H	Temperatura del Ensayo (°C)	°C	18.00	19.80	20.30
	Peso Específico Promedio del				
I	Cemento (gr/cm ³)	gr/cm ³		3.07	
	I = (E1 + E2 + ... + En) / n				

- ✓ Protocolo 06: Consistencia Normal del Cemento. MTC E605 – ASTM C187 – NTP 334.006

TABLA 10

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO
CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
T	Tiempo de mezclado	min	4.35	4.27	4.50
Va	Volumen de agua	ml	180.00	190.00	200.00
Li	Lectura inicial Li	mm	0.00	0.00	0.00
Lf	Lectura final Lf	mm	3.00	9.00	13.00
	Penetración				
P		mm	3.00	9.00	13.00
	P = Lf - Li				
Ws	Peso del cemento	gr	500.00	500.00	500.00
Ww	Peso del agua	gr	180.00	190.00	200.00
W%	Porcentaje de humedad de la pasta	%	36.00	38.00	40.00
	W% = (Ww / Ws) * 100				

- ✓ Protocolo 07: Compresión de morteros de cemento hidráulico (Cubos de 50.8 mm). MTC E609 – ASTM C109 – NTP 334.051

- ✓ Elaboración de hoja de cálculo Excel para elaborar el Diseño de Mezclas del mortero de arena estandarizada y mortero con reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15% respecto al agregado fino.

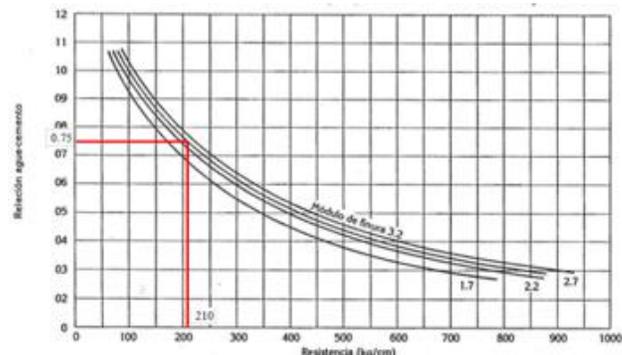


Fig. 3 Curva Granulométrica de la arena estandarizada

Extrapolación de valores:

		2.200	-----	0.729				
0.500		0.488		2.688	-----	A/C		
						A/C - 0.729		0.026
						2.700		
A/C = 0.75								

TABLA 11
SELECCIÓN DE LA CONSISTENCIA DEL MORTERO

Consistencia	Módulo de Finura	Arena de granos redondos y lisos	Arena de granos angulares y rugosos
Seca (90%)	1.7	0.3293	0.3215
	2.2	0.3110	0.3028
	2.7	0.2772	0.2930
	3.2	0.2394	0.2494
Plástica (110%)	1.7	0.3242	0.3238
	2.2	0.3033	0.2947
	2.7	0.2734	0.2879
	3.2	0.2368	0.2477
Fluida (130%)	1.7	0.3172	0.3216
	2.2	0.2927	0.3003
	2.7	0.2687	0.2949
	3.2	0.2340	0.2629

TABLA 12
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Descripción	Agua	Cemento	Arena	Und.
Peso Especifico	=	1	3.07	2.60 gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	=		1654.84	Kg/m ³
Contenido de Humedad	=		1.064	%
Absorción	=		2.59	%

Para el análisis de datos se tuvo como instrumento el software Microsoft Excel debido a su naturaleza y tipo de muestreo probabilístico que requiere cálculos estadísticos para poder cumplir con el objetivo trazado en un principio de la investigación.

A continuación, se describe el procedimiento que se ha seguido durante el desarrollo de la investigación.

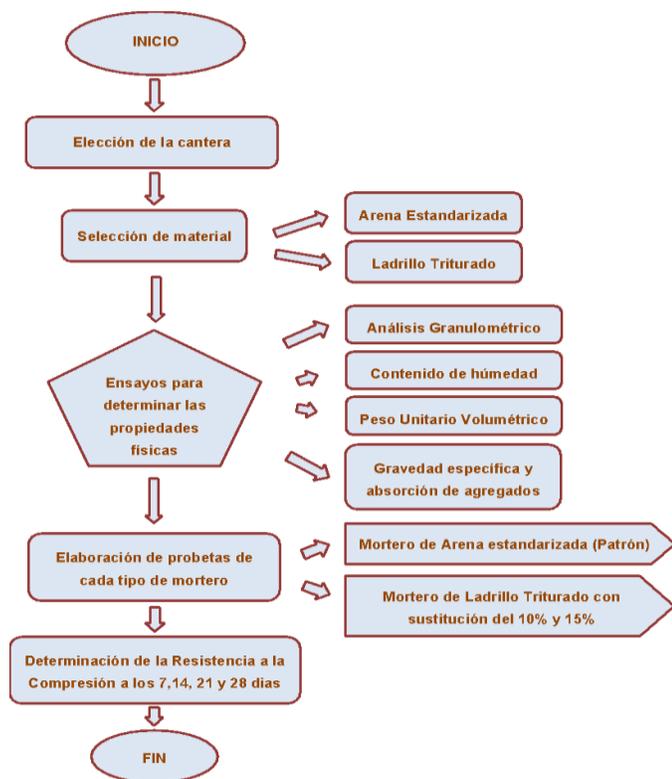


Fig. 4 Procedimiento del desarrollo de la investigación

Primero: Elección de la Cantera

Se eligió la cantera “Roca Fuerte” ubicado en el distrito de Los Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca (Perú), con coordenadas UTM: Este: 779647.00 m y Norte: 9207555.00 m, por ser la más cercana para determinar el tipo de arena que se va a utilizar en la elaboración del presente trabajo de investigación, el material extraído de la cantera es arena de río (arena de granos redondos y lisos).

Segundo: Selección del Material

Arena estandarizada.

Se extrae la arena estandarizada de la cantera “Roca Fuerte” mediante método de observación directa por el investigador.

Ladrillo triturado.

Se recolectan ladrillos desechados por la industria de la construcción para ser limpiado de impurezas y proceder con la trituración empleando como herramienta una comba de 0.5 kg por motivos de uniformizar las partículas.

Tercero: Ensayos para determinar las propiedades físicas.

Se elaboraron ensayos acordes a las Normas establecidas para poder conocer las propiedades físicas y mecánicas del mortero. Encontrar las propiedades es importante para elaborar el diseño de mezclas de los especímenes de mortero. Los ensayos que se

realizaron están descritos anteriormente tanto para la arena estandarizada como para el ladrillo triturado.

Cuarto: Realización del diseño de mezclas.

En la investigación, se elaboró el diseño de mezclas de mortero para una muestra patrón de dosificación $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, para luego sustituir ladrillo triturado en 10% y 15% respecto al agregado fino.

Quinto: Elaboración y curado de especímenes cúbicos de mortero.

Se realizaron 72 probetas de mortero de arena estandarizada y mortero con reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15% respecto al agregado fino. Posteriormente llevó las probetas a ser curadas bajo agua por 7, 14, 21 y 28 días.

Sexto: Ensayo de resistencia a la compresión

Se realizó el ensayo de la resistencia a la compresión de los especímenes cúbicos de mortero de arena estandarizada y con reemplazo de agregado de ladrillo triturado en 10% y 15% respecto al agregado fino a las edades de 7, 14, 21 y 28 días de curado de acuerdo a la Norma MTC E704 – ASTM C39 – NTP 339.034.

III. RESULTADOS

El presente acápite, está enfocado en el análisis de los principales resultados encontrados en el laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte Sede Cajamarca, los cuales se detallan a continuación.

TABLA 2
RESUMEN DE LOS ESPECÍMENES A LOS 7 DÍAS DE CURADO

Especímenes ensayados a los 7 días	Resistencia (kg/cm ²)
Muestra patrón mortero de arena estandarizada	190.45
Mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado al 10%	199.82
Mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado al 15%	189.12

En la Tabla 2 se muestra el resumen de la resistencia a la compresión del mortero C/A = 1:4 con arena estándar 0% de dosificación un valor de 190.45 kg/cm², mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% respecto al agregado fino 199.82 kg/cm² y mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 15% respecto al agregado fino 189.12 kg/cm² en los seis (06) especímenes ensayados para ambos diseños a los 7 días de curado.

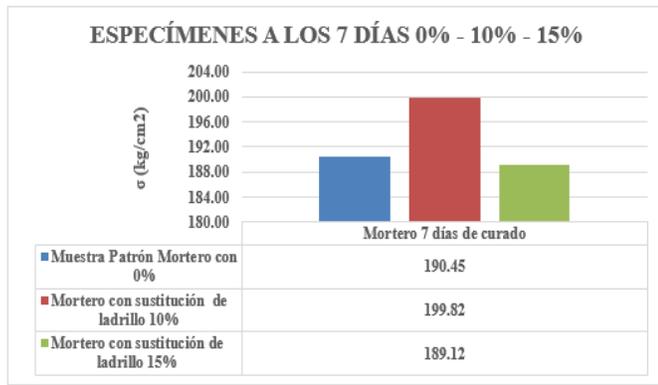


Fig. 2 Resistencia a la compresión a los 7 días de curado

En la Figura 2, podemos afirmar que el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% respecto al agregado fino es más resistente con respecto al mortero elaborado con arena estándar con dosificación del 0% y mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 15% a los 7 días de curado.

TABLA 3
RESUMEN DE LOS ESPECÍMENES A LOS 14 DÍAS DE CURADO

Especímenes ensayados a los 14 días	Resistencia (kg/cm ²)
Muestra patrón mortero de arena estandarizada	200.29
Mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado al 10%	217.43
Mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado al 15%	222.61

En la Tabla 3, se presenta el resumen de la resistencia a la compresión de la muestra patrón con dosificación de 0% con un valor de 200.29 kg/cm², además el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% obtuvo una resistencia de 217.43 kg/cm² y el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 15% respecto al agregado fino es más resistente que los anteriores teniendo como resultado 222.61 kg/cm² en los seis (06) especímenes ensayados a los 14 días de curado.

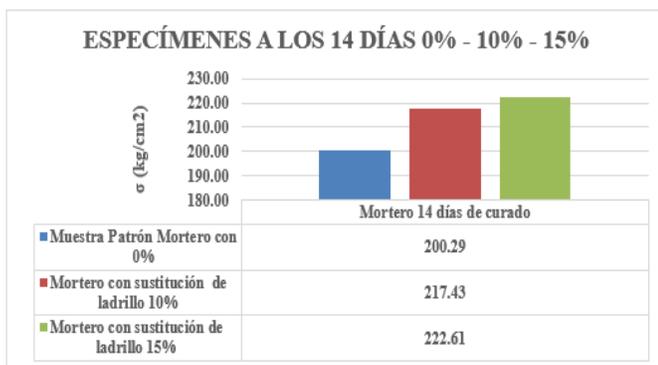


Fig. 3 Resistencia a la compresión a los 14 días de curado

En la Figura 3, se visualiza que el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 15% respecto al agregado fino es más resistente con respecto al mortero elaborado con arena estándar con dosificación del 0% y mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% a los 14 días de curado.

TABLA 4
RESUMEN DE LOS ESPECÍMENES A LOS 21 DÍAS DE CURADO

Especímenes ensayados a los 21 días	Resistencia (kg/cm ²)
Muestra patrón mortero de arena estandarizada	209.65
Mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado al 10%	237.43
Mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado al 15%	224.59

En la Tabla 4 podemos visualizar el resumen de la resistencia a la compresión a los 21 días de curado en los seis (06) especímenes ensayados, donde la muestra patrón con dosificación de 0% obtuvo una resistencia de 209.65 kg/cm², por otra parte, el mortero elaborado con 10% respecto al agregado fino tiene un valor de 237.43 kg/cm² siendo el más resistente y para el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 15% con una resistencia de 224.59 kg/cm².

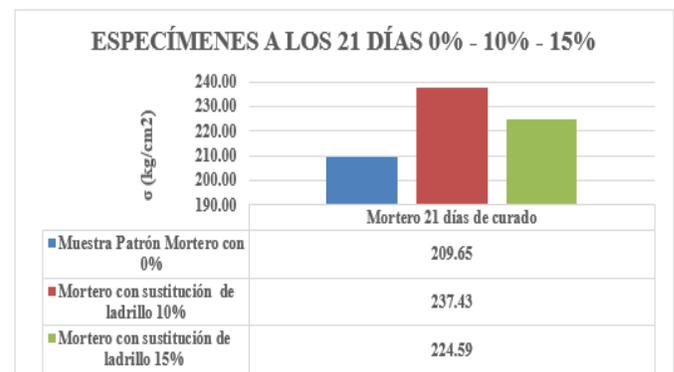


Fig. 4 Resistencia a la compresión a los 21 días de curado

En la Figura 4, visualizamos el resumen de la resistencia a la compresión obteniendo que el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% respecto al agregado fino es más resistente con respecto al mortero elaborado con arena estándar con dosificación del 0% y mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 15% a los 21 días de curado.

TABLA 5
RESUMEN DE LOS ESPECÍMENES A LOS 28 DÍAS DE CURADO

Especímenes ensayados a los 28 días	Resistencia (kg/cm ²)
Muestra patrón mortero de arena estandarizada	223.86
Mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado al 10%	264.10
Mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado al 15%	227.49

En la Tabla 5, la resistencia a la compresión de los seis (06) especímenes ensayados a los 28 días de curado, el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% tiene mayor resistencia con un valor de 264.10 kg/cm², a diferencia del mortero patrón con dosificación del 0% que obtuvo 223.86 kg/cm² y el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 15% que tiene una resistencia a la compresión de 227.49 kg/cm².

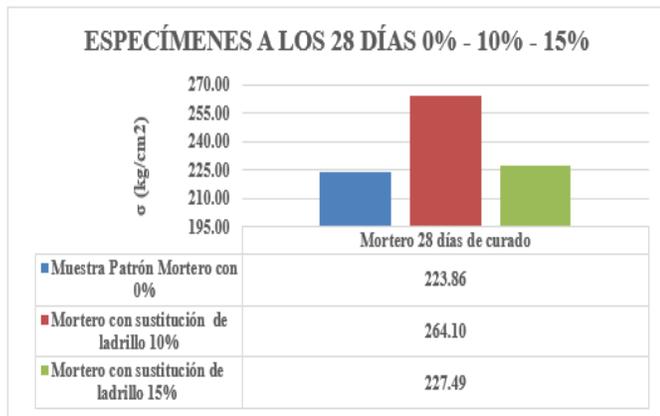


Fig. 5 Resistencia a la compresión a los 28 días de curado

En la Figura 5, la resistencia a la compresión del mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% respecto al agregado fino es más resistente con respecto al mortero elaborado con arena estándar con dosificación del 0% y mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 15% a los 28 días de curado.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Esta investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas y mecánicas de mortero de arena estandarizada y mortero con reemplazo de agregado de ladrillo triturado en un 10% y 15% respecto al agregado fino.

Tenemos que el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% respecto al agregado fino es más resistente que la muestra patrón con dosificación del 0% a los 21 días de curado, el aumento que se tuvo a la edad mencionada de curado es de 13.25%, lo cual podemos afirmar que se cumple la hipótesis planteada al principio.

A los 28 días de curado, el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% respecto al agregado fino supera la resistencia a compresión de la muestra patrón elaborado con dosificación de 0% según la Figura 5, el incremento que llegó a tener el mortero elaborado con el reemplazo de ladrillo es de 17.98%, lo cual se está cumpliendo con la hipótesis planteada al afirmar que se está mejorando las propiedades físico mecánicas al sustituir ladrillo triturado en 10% con respecto a la arena estandarizada.

Los resultados encontrados a los 28 días de curado según la Figura 5 nos indica que el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% respecto al agregado fino cuenta con mayor resistencia a la compresión respecto a la muestra patrón con dosificación de 0% con un incremento significativo de 17.98%, por otro lado el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 15% aumentó en 16.09%, indicando que satisface a la hipótesis que ha sido planteada al inicio de la investigación mejorando las propiedades físico mecánicas del mortero elaborado con arena estandarizada.

Según [6], indica que con reemplazo de ladrillo triturado artesanal al 10% aumenta la resistencia a la compresión en 12.38% respecto a la resistencia obtenida en la muestra patrón con dosificación de 0%, en relación a la presente investigación con proporción C/A = 1:4 mejoran las propiedades físicas y mecánicas de forma considerable reflejándose en la resistencia a compresión aumentando en 17.98% a los 28 días de curado del mortero de arena estandarizada y mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15%.

Con respecto a [7], afirma que logró mejorar las propiedades físico mecánicas aumentando la resistencia a la compresión de 244 kg/cm² a 310 kg/cm², lo cual expresa un valor de 27.04% con respecto al mortero patrón, en concordancia con la investigación se logró mejorar las propiedades físicas y mecánicas del mortero de arena estandarizada y mortero con reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15% respecto al agregado fino en 17.98% a los 28 días de curado.

Por otro lado [8], menciona que el ladrillo triturado al 20% generó un aumento de la resistencia a compresión en 18.4% respecto al mortero patrón mejorando las propiedades físicas y mecánicas, sin embargo en la presente investigación se encontró que el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% a los 7, 14, 21 y 28 días de curado es 4.92%, 8.56%, 13.25%, 17.98%, esto indica que supera la resistencia a la compresión, mientras que la muestra patrón mejora las propiedades físicas y mecánicas.

En conclusión,

Conforme se sustituye ladrillo triturado en 10% y 15% mejora significativamente las propiedades físico mecánicas en 17.98%, 16.09% respecto al mortero elaborado con arena estandarizada a los 28 días de curado lo cual indica la Figura 5, cumpliendo con la hipótesis que ha sido planteada al inicio de la investigación.

Se determinó las propiedades físicas y mecánicas del mortero de arena estandarizada y mortero con reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15% respecto al agregado fino concluyendo que el mortero elaborado con reemplazo ladrillo triturado en 10% y 15% en el presente trabajo de investigación mejora las propiedades físico mecánicas debido al incremento de la resistencia a compresión de los especímenes ensayados a los 7, 14, 21 y 28 días de curado.

Se determinó que es una investigación por su naturaleza que destaca la importancia de la mitigación del impacto ambiental con los residuos desechados por la industria de la construcción y puedan ser aprovechados en gran cantidad en este caso el ladrillo que es uno de los más desechados para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del mortero que se utiliza para el asentado del ladrillo.

Finalmente, se concluye que el mortero elaborado con reemplazo de ladrillo triturado en 10% y 15% es una opción viable para el asentado de ladrillo ya que presenta mejor

comportamiento en cuanto a la resistencia a la compresión y es un mortero más liviano que ayudaría a reducir la carga muerta de una estructura debido a que se realizó la comprobación del peso para los especímenes ensayados a las edades de 7, 14, 21 y 28 días de curado.

REFERENCIAS

- [1] Clua, N. J. (2014). Comparación analítica de las capacidades físicas y mecánicas entre: mortero de arena de sílice estandarizada y mortero con sustitución de agregado de ladrillo rojo cerámico. Barcelona: Universidad de Cataluña.
- [2] Absalón, V., & Salas, R. (2008). Influencia en el diseño de mezcla de agregados de diferente procedencia en el estado Mérida. Venezuela: Universidad de Mérida.
- [3] Salinas, E., & Llanque, M. (2017). Evaluación comparativa de la influencia de diferentes espesores de junta de mortero de tres diferentes calidades en muretes de albañilería sometidos a compresión diagonal, elaborados con ladrillo King Kong 18 huecos de la zona de San Jerónimo - Cusco. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- [4] Campos, M. E. (2017). "Determinación de las propiedades físico mecánicas de los agregados extraídos de las canteras "josecito " y "manuel olano" y su influencia en la calidad de concreto $f'c= 250 \text{ Kg/cm}^2$, en la ciudad de Jaén". 2.
- [5] Larbi, B. M., Harbi, R., & S., B. (2016). Effects of Crushed Waste Aggregate from the Manufacture of Clay Bricks on Rendering Cement Mortar Performance. Scopus, 1-6.
- [6] Muñoz, M. J., Vera, C. F., Briones, P. A., Ruiz, P. W., & Guerrero, A. M. (2019). Determinación de la resistencia a la compresión de bloques, utilizando para su construcción, una mezcla de cemento, arena y triturados de ladrillos artesanales. Scopus, 1-6.
- [7] Bocanegra, J., Espejo, Y. (2018). Influencia de la granulometría y el porcentaje de reemplazo de ladrillo reciclado sobre la resistencia a la compresión, absorción y capilaridad en la fabricación de morteros para enlucidos de albañilería. Dirección de sistemas de informática y comunicación, 225.
- [8] Ruiz, E. (2018). Resistencia a compresión y capacidad de absorción del mortero al reemplazar agregado fino por ladrillo, cerámica y teja de arcilla reciclados – Cajamarca, 2018. Repositorio UPN, 99.
- [9] Kabir, S., A. A.-S., & Khan, m. M. (2016). Recycled Construction Debris as Concrete Aggregate for Sustainable Construction Materials. Scopus, 8.
- [10] Marazi, S. S., Chandramauli, A., & Bahuguna, A. (2018). A review paper on effects of recycled concrete aggregate and crushed clay bricks on properties of concrete. scopus, 7.
- [11] Mimbela, O. F., Muñoz, P. S., & Rodríguez, L. E. (2021). Uso de ladrillos triturados en concreto: una revisión literaria. Scopus, 19.
- [12] Matta, E. (2018). Estudio comparativo del mortero convencional y el mortero polimérico en el comportamiento mecánico de muros de albañilería - en Molina 2018. Renati, 226.