

Physical and Mechanical Properties of Handmade Brick with Natural Aggregate Containing Iron Particles

Gessler Lyndon Medrano Sánchez, Bach.¹, Royer David Llanos Marín, Bach.² and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.³ 

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00027863@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00026520@upn.pe

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

Abstract. *The objective of this research is to determine the physical and mechanical properties of artisanal brick with natural aggregate containing iron particles, 2022. The methodology used according to its purpose is considered applied, with a quantitative approach and experimental design, descriptive in scope and insofar as the study period is cross-sectional, selecting a sample of 300 bricks made with the addition of 10%, 25%, 50% and 75% of natural aggregate containing iron particles. To achieve the objective of the investigation, the physical properties of the Standard Sample (MP), of the natural aggregate containing iron particles (MH), of the samples with increases of 10%, 25%, 50% and 75% will be previously reduced. from (MH); After carrying out the soil mechanics tests, we proceeded with the elaboration of artisan bricks. Subsequently, the study units were subjected to laboratory tests to determine the physical and mechanical properties of the handmade brick made with the Standard Sample (MP) and with the addition of 10%, 25%, 50% and 75% of (MH). The results showed that the sample with an increase of 10% of MH, satisfies the requirements of the NTP-E.070 of Masonry, in terms of dimensional variation, warpage and absorption; Likewise, the compressive strength in units increases by 36.40% and the compressive strength in masonry piles by 4.69%, in relation to the NTP E.70 for class 1 bricks; and in relation to the standard sample, the increase was 50.80% and 53.43%.*

Keywords: *Handmade brick, iron particles, physical and mechanical properties.*

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

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

DO NOT REMOVE

Propiedades Físicas y Mecánicas de Ladrillo Artesanal con Agregado Natural que Contiene Partículas de Hierro

Gessler Lyndon Medrano Sánchez, Bach.¹, Royer David Llanos Marín, Bach.² and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.³

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00027863@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00026520@upn.pe

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

Resumen- *La presente investigación tiene como objetivo determinar las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro, 2022. La metodología empleada según su propósito es considerada aplicada, de enfoque cuantitativo y con diseño experimental, de alcance descriptivo y en cuanto al periodo de estudio es transversal, seleccionándose una muestra de 300 ladrillos elaborados con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro. Para alcanzar el objetivo de la investigación previamente se determinó las propiedades físicas de la Muestra Patrón (MP), del agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), de las muestras con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de (MH); luego de realizar los ensayos de mecánica de suelos se procedió con la elaboración de ladrillos artesanales. Posteriormente se sometieron las unidades de estudio a ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de (MH). Los resultados mostraron que la muestra con adición del 10% de MH, satisface los requerimientos de la Norma Técnica Peruana (NTP) E.070 de Albañilería, en cuanto a variación dimensional, alabeo y absorción; así mismo la resistencia a compresión en unidades incrementa en 36.40% y la resistencia a compresión en pilas de albañilería en 4.69%, en relación a la NTP E.70 para ladrillos clase I; y en relación a la muestra patrón el incremento fue de 50.80% y 53.43%.*

Palabras Clave: *Ladrillo artesanal, partículas de hierro, propiedades físicas y mecánicas.*

I. INTRODUCCIÓN

El ladrillo ha sido un elemento muy importante en la industria de la construcción a lo largo de su historia. Como es de conocimiento, el ladrillo artesanal se usa ampliamente en la construcción; sin embargo, debido a que muchos fabricantes no se rigen a las normativas vigentes de los países donde se elaboran, estas unidades presentan deficiencias en sus propiedades físicas y mecánicas.

Los ladrillos fabricados en México generalmente se realizan con métodos artesanales, por lo que, la mayoría de ellos no cumplen con las exigencias mínimas indicadas en la Norma Mexicana (NMX) NMX-C-404-ONNCCE-2005, del

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. En el Estado de Hidalgo en el año 2017, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), registró un total de 245 ladrilleras, de las muestras estudiadas se determinó que la absorción promedio fue de 36% y la resistencia a compresión de la unidad estuvo por debajo de los 6 Mpa, no cumpliendo con los requisitos mínimos indicados en la normativa técnica de este país [1].

En América del Sur también existe la problemática referente al incumplimiento de estándares de calidad en la fabricación de ladrillos. Caso Colombia, [2] indica que los fabricantes de ladrillos artesanales de arcilla no se rigen a los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 de Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos. Debido al proceso inadecuado en la elaboración de estas unidades se presenta deficiencias en las propiedades físicas y mecánicas de estos elementos. En el departamento del Valle del Cauca, se tomó muestras de tres ladrilleras, evidenciándose que solo el 20% del total de las unidades ensayadas cumplieron con la resistencia mínima a compresión de 20 Mpa indicada en la NTC 4205.

En Ecuador se presenta otra problemática en cuanto a la comercialización de ladrillos artesanales, puesto que en varias regiones de este país no se fabrica este elemento y generalmente las personas que necesitan adquirir ladrillo tienen que transportarse de diferentes localidades hasta el lugar de fabricación, sin tener conocimiento si estas unidades son aptas o no para su utilización. Debido a diversos factores, entre ellos la materia prima, los métodos de selección, moldeado, secado y cocción que utiliza cada artesano en la elaboración de estas unidades, es necesario fabricar ladrillos artesanales que cumplan los requisitos mínimos que rige el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), [3].

En Perú, Región La Libertad, se ha encontrado que los ladrillos artesanales presentan deficiencias en sus propiedades físicas y mecánicas, debido a que estas unidades son elaboradas con material extraído de canteras informales y no se realizan ensayos de mecánica de suelos del material para la determinación de sus propiedades [4]. En la Región Lambayeque, una parte importante del mercado de ladrillos también es elaborada manualmente, de acuerdo la experiencia del trabajador y sin control de calidad. Según los resultados obtenidos por [5], en el Distrito de Monsefú en la misma

región, indica que la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal de clase 1 se encuentra entre los 23,15 kg/cm² y 28,20 kg/cm², resultados inferiores a 50 kg/cm², siendo este el valor mínimo exigido en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería.

Por otro lado, en la Región Loreto, [6] señala que la venta de ladrillos artesanales representa un gran problema, debido a que esta actividad se realiza de manera irregular sin control de calidad de los ladrillos que se comercializa, esta misma problemática se presenta en la Región Cajamarca, por lo que es necesario determinar si las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales cumplen con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería. Así mismo, [7] sostiene que las empresas ladrilleras artesanales de la ciudad de Cajamarca no cuentan con ficha técnica que indique las características mecánicas y físicas de las unidades de albañilería, puesto que estos ladrillos artesanales suelen presentar fracturas y deformaciones considerables.

La construcción de viviendas en la región Cajamarca que emplean el sistema estructural de albañilería, en su mayoría se realiza con unidades elaboradas artesanalmente en la misma región. El uso de este elemento es masivo y la información revisada sobre las propiedades físicas y mecánicas de estas unidades, indican que no cumplen con los requerimientos mínimos de la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería. Se tiene una alta incertidumbre en cuanto a las propiedades de las unidades que se elaboran artesanalmente, ya que no se rigen a las normas técnicas para su elaboración, en consecuencia, afectan en el comportamiento de los muros de albañilería, estos deben tener una buena resistencia a la compresión axial y diagonal ante cualquier evento sísmico, ya que la Región de Cajamarca está ubicada entre la zona sísmica 2 y 3.

Toda esta problemática permite demostrar que en la provincia de Cajamarca y en el resto del país, se construyen viviendas de albañilería utilizando principalmente ladrillos artesanales. A pesar de su uso generalizado, se sabe poco de las propiedades de las unidades de albañilería en este sistema constructivo, lo que frecuentemente representa un alto grado de incertidumbre en el comportamiento de la estructura. A partir de lo anteriormente mencionado se planteó la investigación: “Propiedades Físicas y Mecánicas de Ladrillo Artesanal con Agregado Natural que Contiene Partículas de Hierro, 2022”, con el propósito de analizar en que manera la adición de agregado que contiene partículas de hierro mejora las propiedades físicas y mecánicas de esta unidad de albañilería, se formuló la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro, 2022? Teniendo como variable independiente a los ladrillos artesanales con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), y como variable dependiente a las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal.

El objetivo principal de la investigación fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro, 2022. Para alcanzar el objetivo de la investigación se realizó ensayos de mecánica de suelos para determinar las propiedades físicas de la Muestra Patrón (MP), la Muestra con Hierro (MH) y las muestras con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de (MH); luego se procedió con la elaboración de ladrillos artesanales, y se sometió las muestras a ensayos de laboratorio para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

En la referencia [8], en su artículo publicado en la revista Journal of Engineering and Applied Science en Egipto: “Improved fired clay brick compressive strength by recycling wastes of blacksmiths’ workshops”, tuvo como objetivo evaluar el efecto del uso de limaduras de acero de los desechos generados en los talleres de herrería, en la elaboración de ladrillos de arcilla para mejorar su resistencia a la compresión. La investigación fue de carácter experimental, en la cual se realizó una evaluación del efecto de la adición de limaduras de acero a la mezcla de arcilla roja en diferentes proporciones (0%, 1%, 2%, 3% y 4% en peso). Al realizar la prueba de resistencia a la compresión, se registró que el incremento del 0 % de las limaduras de acero dan una resistencia a la compresión mínima de 6,74 N/mm² y con la adición del 3% de las limaduras de este material su resistencia a la compresión máxima fue de 12.40 N/mm².

En [9] en su investigación: “Influencia de la limadura de hierro en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería de concreto fabricadas artesanalmente, Trujillo – 2020”, tuvo como objetivo determinar la influencia de las limaduras de hierro en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería. La metodología empleada fue de diseño experimental transversal, y la compilación de información se realizó por medio de la técnica de observación con el instrumento guía de observación y la estadística inferencial para el análisis de datos. La muestra fue de 308 unidades de ladrillo y se empleó un incremento de limaduras de hierro en 0%, 2.5%, 5% y 7%; de las cuales se ensayaron 77 unidades para cada porcentaje de hierro. Los resultados demuestran que al incrementar el 5% de limaduras de hierro la resistencia a compresión axial fue de $f'b = 141,60$ kg/cm² y en pilas fue de $f'm = 47,37$ kg/cm².

También la referencia [10], “Evaluación del ladrillo artesanal elaborado a base de arcilla y sedimentos de relaves mineros, Hualgayoc”, tuvo como objetivo determinar las características físicas, químicas y mecánicas del ladrillo artesanales para verificar si cumple los requisitos de la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería para ladrillos tipo I. La investigación fue de tipo experimental, la muestra de ladrillos fue elaborada a base arcilla y sedimentos de relaves mineros en porcentajes del 0%, 5%, 25%, 50% y 75% respecto al peso. Los resultados

indicaron que la muestra con la adición del 5% de sedimentos de relaves mineros presentaron la mayor resistencia a la compresión, siendo de 65,60 kg/cm². Adicionalmente, las pilas y muretes también demostraron buena resistencia, con valores de 42.06 kg/cm² y 9.10 kg/cm², demostrando el cumplimiento de la resistencia mínima de 35 kg/cm² en pilas y 5.1 kg/cm² en muretes, de acuerdo a lo indicado en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería.

II. METODOLOGÍA

El presente estudio según su propósito es considerada aplicada, con diseño experimental y en función al periodo de estudio es transversal, también, tiene un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo. Es de tipo aplicada porque utilizó la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería del Reglamento Nacional de Edificaciones, para evidenciar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro.

El diseño experimental se caracteriza porque las variables pueden ser manipuladas para producir algún cambio, el cual puede ser medido y analizado [11]. En el estudio se manipuló la variable independiente (ladrillos artesanales con adición del 10% ,25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro, para describir de qué modo o por qué existe algún cambio en la variable dependiente (propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal).

El estudio es transversal, porque compara rasgos o circunstancias específicas de la muestra de estudio en un momento determinado, los cuales todos comparten la misma temporalidad [11]. En cuanto al método cuantitativo, consiste en recopilar y analizar datos utilizando herramientas informáticas, estadísticas y matemáticas para la obtención de resultados [12].

La investigación descriptiva describe mediante frecuencias, porcentajes, comparaciones, entre otros, a los eventos observados. El investigador observa las variables que desea describir y luego las compara mediante técnicas de estadística descriptiva [13]. El estudio determinó la relación que existe entre ladrillos artesanales con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural con partículas de hierro (MH), y ladrillos artesanales sin adición de este material (Muestra Patrón).

La población está conformada por 300 ladrillos artesanales: 60 ladrillos elaborados con la Muestra Patrón (MP) y 240 con los diferentes porcentajes de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

La elección de la muestra es de 300 unidades de ladrillo artesanal (asumida a conveniencia del investigador) se realizó mediante el muestreo intencional no probabilístico, cuyas dimensiones de cada unidad son 22.00 cm de largo, 13.00 cm de ancho y 8.00 cm de altura.

La técnica utilizada para recopilar datos para este estudio involucró la observación directa de los ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte-Cajamarca mediante el seguimiento de las Normas Técnicas especificadas en la American Society for Testing and Materials de la ASTM (American Society for Testing and Materials) y las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

Los instrumentos que se emplearon para la recolección de datos de los ensayos realizados en laboratorio fueron protocolos proporcionados por la Universidad Privada Del Norte. Estos protocolos tuvieron como propósito recolectar datos de los ensayos indicados en la fase 1 y 2 de la investigación. Es así que, en la fase 1 se realizaron los ensayos de mecánica de suelos del material que se utilizó en la elaboración de ladrillos artesanales, que vienen a ser la Muestra Patrón (MP) compuesta por arcilla y arena extraída de “El Cerrillo”, a esta muestra se agregó diferentes porcentajes de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), extraída de la cantera “Tingo la Palla”. Posteriormente, en la fase 2 se realizaron ensayos para establecer las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales en estudio.

La MP se extrajo de la misma ladrillera, lugar donde se elaboraron los ladrillos artesanales. Esta ladrillera se encuentra ubicada en el centro poblado El Cerrillo, Distrito de los Baños del Inca – Provincia de Cajamarca – Departamento de Cajamarca.

La Muestra con Hierro (MH): Agregado natural que contiene partículas de hierro, extraído de la cantera “Tingo la Palla”, la cual se encuentra ubicada a orillas del Río Marañón en la Localidad Tingo la Palla – Distrito de José Sabogal – Provincia de San Marcos – Departamento de Cajamarca.



Fig 1. Agregado natural que contiene partículas hierro (MH). Las partículas de hierro son atraídas por magnetismo al imán [20]



Fig 2. Etapas del desarrollo de la investigación [20].

III. RESULTADOS

a) ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

TABLA I
RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS [20]

Ensayo	Indicador	MP	MH	MP +10% MH	MP +25% MH	MP +50% MH	MP +75% MH
CH	%	8.32	1.74				
AG	% N°200	52.39	45.22	45.75	43.55	43.81	45.68
	% N°04	98.84	98.2	99.15	98.63	98.96	98.95
LP	%	7.25	11.9	9.06	8.01	7.55	8.74
PE	g/cm ³	2.44	2.75	2.51	2.52	2.54	2.65
PU	Kg/m ³	2030	2052				

CH: Contenido de humedad MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127

AG: Análisis Granulométrico ASTM D421

LP: Límites de Plasticidad NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318

PE: Peso específico relativo de sólidos MTC E113 / ASTM D854 / NTP 339.131

PU: Peso unitario de los agregados MTC E 203 / ASTM C29 / NTP 400.017

De acuerdo a la tabla 1, se puede observar que los resultados del ensayo de análisis granulométrico y el ensayo de límite de plasticidad indicaron que la MP, MP+10%MH, MP+25%MH, MP+50%MH y la MP+75%MH, pertenecen al grupo de suelos granulares arcilloso (A-2-4) o limos de baja plasticidad (ML). Así mismo la muestra MH pertenece al grupo de suelos con arenas y gravas con un contenido de arcilla (A -2-6) o arcillas de baja plasticidad (CL).

Referente al ensayo peso específico relativo de sólidos, se tiene que la MP tiene un valor de 2.44 g/cm³, estando dentro del rango de 2.44 – 2.55 g/cm³ para suelos arcillosos, de acuerdo con el lineamiento establecido en el libro de Métodos Físicos y Químicos de Laboratorio [14]. Por otro lado, el peso específico de la muestra MH presentó un valor de 2.75 g/cm³, siendo un suelo con presencia de hierro, ya que está dentro del rango de 2.75 – 3.00 g/cm³, conforme lo indica el Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil [15]. En cuanto a las muestras con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de MH se obtuvieron valores de 2.44 g/cm³, 2.51 g/cm³, 2.52 g/cm³ y 2.54 g/cm³, los cuales se encuentran dentro de los rangos indicados por el autor [14].

Por último, sobre el ensayo del peso unitario suelto de los agregados, la MP obtuvo un resultado de 2030 kg/m³. En comparación con [10] quien registro un valor para el peso unitario suelto de 1318.46 kg/m³, lo que indica que en un mismo volumen el peso del suelo de la muestra MP se aproxima al doble del peso del material ensayado por el investigador. En tanto el peso unitario suelto de los agregados de la muestra MH fue de 2052.22 kg/m³.

b) ENSAYOS DE LADRILLOS ARTESANALES

La muestra en estudio se sometió a ensayos en laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades elaboradas con la MP y con la adición de los diferentes porcentajes de MH.

Propiedades Físicas del ladrillo Artesanal

Variación dimensional NTP 399.613 – NTP 339.604

TABLA 2
RESUMEN DE LA VARIACIÓN DIMENSIONAL DEL LADRILLO ARTESANAL [20]

Tipo de ladrillo Artesanal	L(mm)	A(mm)	H(mm)
Ladrillo con MP	2.24%	2.56%	3.67%
Ladrillo MP+ 10 % MH	2.73%	2.67%	4.49%
Ladrillo MP+ 25 % MH	1.84%	1.21%	5.65%
Ladrillo MP+ 50 % MH	0.64%	0.54%	4.99%
Ladrillo MP+ 75 % MH	-0.24%	-0.27%	4.76%

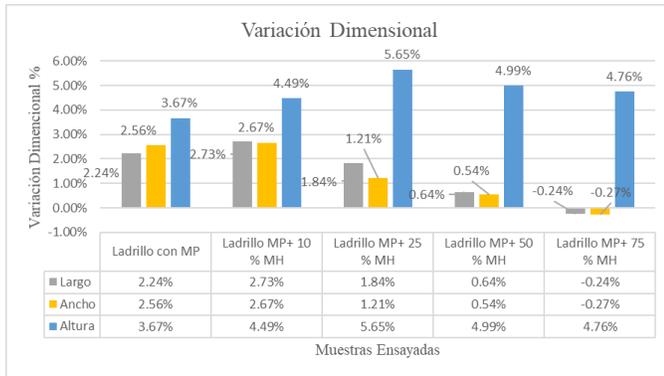


Fig. 3 Comparación del Ensayo de variación dimensional [20]

Según la Fig.3 del gráfico comparativo se puede observar que el menor porcentaje de variación dimensional presenta el ladrillo artesanal elaborado con la MP más la adición del 75% MH, siendo -0.24% en largo y -0.27% en ancho. Sin embargo, en la altura presenta una variación dimensional de 4.76%, siendo este valor mayor que el de la MP 3.67% en altura, existiendo una diferencia.

Alabeo NTP 339.613

TABLA 3
RESUMEN COMPARATIVO DEL ALABEO [20]

Tipo de ladrillo Artesanal	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
Ladrillo con MP	0.69	2.34
Ladrillo MP+ 10 % MH	0.39	2.78
Ladrillo MP+ 25 % MH	1.12	1.92
Ladrillo MP+ 50 % MH	1.35	1.86
Ladrillo MP+ 75 % MH	1.09	1.99

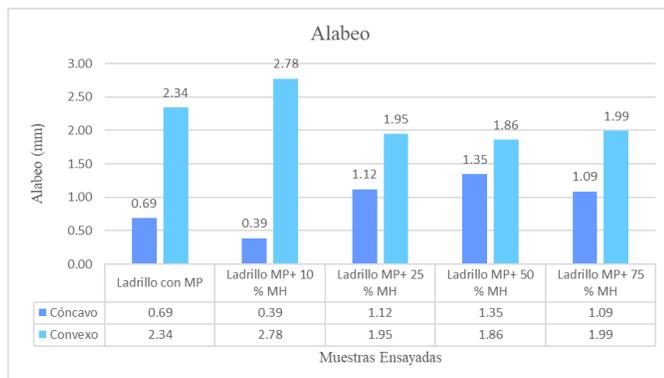


Fig. 4 Comparación del ensayo de alabeo [20]

De acuerdo a la Fig.4 del gráfico comparativo de resultados del ensayo de alabeo, se puede observar que la menor concavidad es de 0.39 mm en relación al ladrillo artesanal elaborado con la MP+ 10% MH. Por otro lado, la menor

convexidad es de 1.86mm, la cual presenta el ladrillo artesanal elaborado con la MP+ 50% MH.

Absorción NTP 399.613 – NTP 339.604

TABLA 4
RESUMEN COMPARATIVO DE ABSORCIÓN [20]

Tipo de ladrillo Artesanal	Absorción (kg/m ³)	Absorción %
Ladrillo con MP	271.95	16.87
Ladrillo MP+ 10 % MH	245.31	13.99
Ladrillo MP+ 25 % MH	256.26	14.93
Ladrillo MP+ 50 % MH	271.45	15.97
Ladrillo MP+ 75 % MH	267.77	15.78

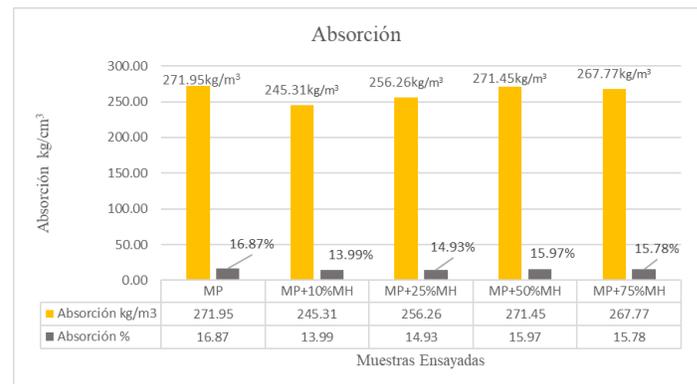


Fig. 5 Comparación del Ensayo de absorción [20]

En la Fig. 5 del gráfico comparativo se puede observar los resultados del ensayo de absorción, donde el menor porcentaje de absorción presenta la MP+ 10%MH, con un valor de 13.99%. Por otro lado, el mayor porcentaje de absorción presentan la MP con un resultado de 16.87%.

Succión NTP 331.017 – NTP 399.613

TABLA 5
RESUMEN COMPARATIVO DE SUCCIÓN [20]

Tipo de ladrillo Artesanal	(gr/200cm ² /min)
Ladrillo con MP	64.17
Ladrillo MP+ 10 % MH	31.34
Ladrillo MP+ 25 % MH	42.50
Ladrillo MP+ 50 % MH	42.58
Ladrillo MP+ 75 % MH	38.37

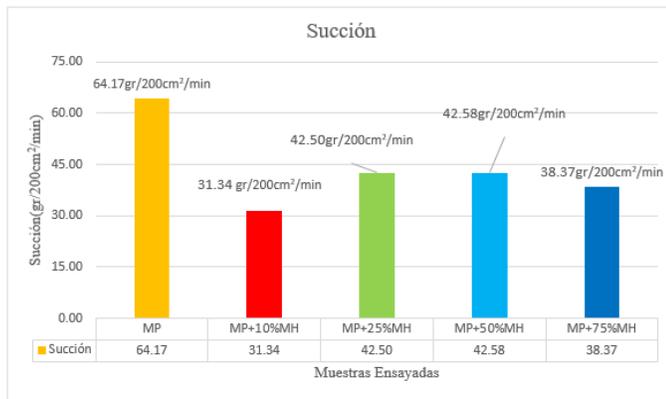


Fig. 6 Comparación del Ensayo de Succión [20]

Según la Fig.6 del gráfico comparativo de resultados del ensayo de succión, se puede observar que la MP+10MH presenta un menor valor de succión de 31.4 gr/200 cm²/min. Por otro lado, se puede visualizar que el mayor valor de succión corresponde a la MP, registrando un resultado de 67.17 gr/200cm²/min.

Propiedades Mecánicas del ladrillo Artesanal

Resistencia a Compresión de la Unidad NTP 339.613

TABLA 6
RESUMEN COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA UNIDAD [20]

Tipo de ladrillo Artesanal	Resistencia a compresión Kg/cm ²
Ladrillo con MP	45.20
Ladrillo MP+ 10 % MH	68.20
Ladrillo MP+ 25 % MH	60.82
Ladrillo MP+ 50 % MH	50.01
Ladrillo MP+ 75 % MH	44.18

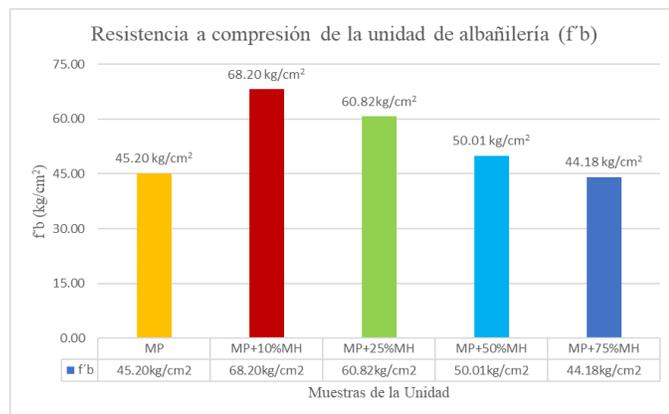


Fig. 7 Comparación del Ensayo de resistencia a compresión de la unidad [20]

Según la Fig. 5 del gráfico comparativo de resultados del ensayo de resistencia a compresión, se puede observar que el ladrillo artesanal elaborado con la MP+10MH, presenta una resistencia a compresión de 68.20 kg/cm² siendo está superior a la resistencia en comparación con las demás muestras. Por otro lado, se puede observar que la MP+75% MH presenta una resistencia a compresión de 44.18 kg/cm², siendo ésta la menor de todas las muestras ensayadas.

Resistencia a Resistencia en pilas de albañilería NTP 399.605 / NTP 399.612

TABLA 7
RESUMEN COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PILAS DE ALBAÑILERÍA [20]

Tipo de ladrillo Artesanal	Resistencia a compresión en pilas de albañilería (kg/cm ²)
Pilas con MP	23.88
Pilas MP+ 10 % MH	36.64
Pilas MP+ 25 % MH	30.95
Pilas MP+ 50 % MH	28.07
Pilas MP+ 75 % MH	25.41

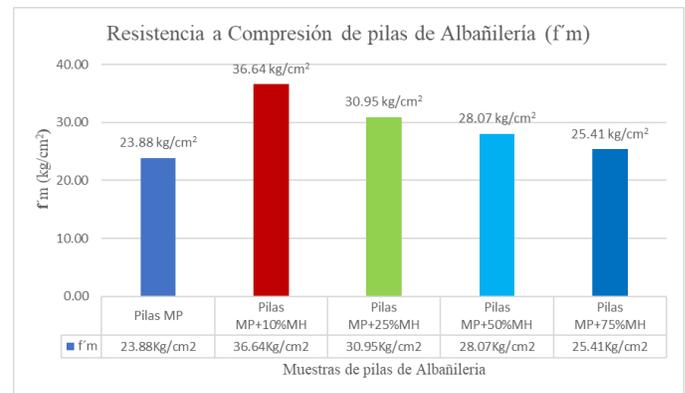


Fig. 8 Comparación del Ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería [20]

De la Fig. 8 del gráfico comparativo se puede visualizar los resultados del ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería (f'm), donde la MP+10MH% presenta una resistencia a compresión (f'm) de 36.64 kg/cm², siendo está la mayor resistencia en comparación con las demás. Por lado, la MH registra una resistencia a Compresión en pilas de albañilería de (f'm) de 23.88 kg/cm², siendo ésta la menor de todas las muestras ensayadas.

IV. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos, en cuanto al ensayo de variación dimensional se observa que la muestra patrón con la adición del 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro es la más óptima, debido al menor porcentaje de variación que

presenta en largo y ancho de -0.24% y -0.27%, sin embargo, en su altura la variación es de 4.76% y el menor porcentaje de variación en altura es de 3.67% la cual presenta los ladrillos elaborados con la muestra patrón. Las muestras ensayadas clasifican como ladrillo clase 1 en función a la NTP E.070 de albañilería, la cual indica que el porcentaje de variación máximo para este tipo de ladrillo son hasta $\pm 8\%$ para longitudes 100 mm, hasta $\pm 6\%$ para longitudes de 150 mm y $\pm 4\%$ para longitudes más de 150 mm. Al comparar estos resultados se refuta con [16] porque encontró que el menor porcentaje de variación presenta la muestra con la adición del 6% de residuos de cizalladuras de acero, registrando variaciones del 0.39% en largo, -0.48% ancho y 1.23% en altura. De manera similar [17] al adicionar escoria de acero en la elaboración de ladrillo registró porcentajes de variación en sus ladrillos relativamente bajos los cuales cumplían con lo indicado en la NTP E.070. Por el contrario, los resultados obtenidos en [18] presentan mayor porcentaje de variación en relación a los valores obtenidos en la presente investigación, al realizar adiciones del 3%, 5% y 7% se tienen porcentajes de variación de 9.05%, 9.17%, 7.14%; 8.57%, 10.83%, 8.57%; 8.09%, 8.33% y 11.43% en relación a cada porcentaje de adición.

Sobre el alabeo se infiere que las unidades elaboradas con la muestra con adición del 10% de MH, presenta un menor alabeo es su concavidad y a la vez presenta mayor alabeo en convexidad con respecto a los ladrillos elaborados la muestra patrón y con la adición de porcentajes del 25%, 50% y 75%. El alabeo de todas las muestras ensayadas se encuentra entre 0.39 mm y 2.78 mm, siendo menor el alabeo en comparación al máximo alabeo de 10 mm, indicado en la NTP E.070 para un Ladrillo Tipo I, por lo que se acepta este lote de fabricación.

Referente a la absorción se observó que los ladrillos artesanales con adición del 10% MH presentan el porcentaje de absorción más bajo, a diferencia de las otras unidades, sin embargo, todas las muestras cumplen con lo establecido por la NTP E.070, al no sobrepasar el 22% de absorción. Tal resultado se refuerza con [16] porque encuentra que en los ensayos de su elaboración de ladrillos valores inferiores al 22% con respecto a la NTP E.070, tanto para su muestra patrón como para sus adiciones. El resultado es apoyado con [17] porque se muestra que la absorción es mayor cuando se le adicionan el 20% y 30% de agregados. Sin embargo, se refuta con [18] porque evidencia que, si bien se encuentra que mayores adiciones, son mayores los niveles de absorción, los valores encontrados por tal autor no cumplen la NTP, teniendo niveles de absorción superiores al 22%.

Con respecto a la succión se observó que los ladrillos artesanales elaborados con la adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro, los resultados son menores en comparación con los ladrillos artesanales elaborados con la muestra MP. Todo este lote de ladrillos artesanales sobrepasa los $20\text{g}/200\text{cm}^2/\text{min}$

recomendado por la NTP E.070, por lo que estas unidades deberían ser regadas antes de ser asentadas. Tal resultado se refuta con [16] porque encuentra que los indicadores de succión no cumplen con el mínimo de valor recomendado por la NTP E.070. Lo mismo sucede en [18] porque sus valores de succión son menores a lo establecido en la NTP E.070. A su vez se evidencia que [19] si satisface la Norma Técnica Peruana porque obtiene en sus adiciones de 2.5%, 5% y 7.5% absorción de $7.17\text{gr}/200\text{cm}^2/\text{min}$, $6.85\text{gr}/200\text{cm}^2/\text{min}$ y $6.02\text{gr}/200\text{cm}^2/\text{min}$, aunque difiere con los resultados del estudio.

En referencia a la resistencia a la compresión de la unidad de albañilería los ladrillos artesanales elaborados con la muestra patrón, obtuvieron una resistencia a compresión de 45.20 kg/cm^2 . En tanto los ladrillos elaborados con la muestra patrón con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro lograron alcanzar la siguiente resistencia a compresión 68.20 kg/cm^2 , 60.82 kg/cm^2 , 50.01 kg/cm^2 y 44.18 kg/cm^2 . Las muestras de ladrillos elaborados con el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro es la más óptima, puesto que alcanza una resistencia a compresión de 68.20 kg/cm^2 , en relación con la NTP E.070 la cual indica que la resistencia mínima que debe alcanzar los ladrillos de clase 1 es de 50 kg/cm^2 . Lo encontrado es contrastable con [16] porque obtuvo valores de resistencia a compresión superiores a los indicados en la NTP E-070 al adicionar residuos de cizalladuras de acero en la elaboración de ladrillos. A su vez [17] encontró que las resistencias a compresión de los ladrillos elaborados con escoria de acero en porcentaje del 30% cumplen las exigencias mínimas de la norma técnica peruana e incluso son superiores al resultado del presente estudio.

Por último, sobre la resistencia a la compresión de pilas de albañilería se obtuvo que la muestra patrón alcanzó una resistencia de 23.88 kg/cm^2 . Sin embargo, las unidades que se elaboraron con el 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro llegaron a tener resistencias de 36.64 kg/cm^2 , 30.95 kg/cm^2 , 28.07 kg/cm^2 y 25.41 kg/cm^2 , estos valores son mayores a la resistencia obtenida de la muestra patrón. Los resultados obtenidos reflejan que la única muestra que cumple con lo establecido por la Norma Técnica Peruana E.070 de albañilería, son aquellas pilas de albañilería que fueron elaboradas con el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro ya que su resistencia a compresión fue de 36.64 kg/cm^2 y es mayor a la resistencia mínima de 35 kg/cm^2 que exige la NTP E.070. Tal resultado se refuta con [16] porque encontró que la resistencia a compresión en pilas de su muestra patrón fue de 137.00 kg/cm^2 e incrementó por cada adición de cizalladuras de acero en porcentajes del 1% y 3%. A su vez, [17] evidencia valores superiores de resistencia a compresión de pilas a lo exigido por la norma, siendo superiores a 140 kg/cm^2 .

V. CONCLUSIONES

- Se concluye que las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro presentan propiedades variadas. De los resultados obtenidos de la muestra sometida a los ensayos en laboratorio, se evidencia que algunas propiedades no cumplieron con lo establecido en la Norma técnica Peruana E.070 de Albañilería.
- Se determinó las propiedades físicas de la Muestra Patrón (MP): Agregado convencional, extraído de “El Cerrillo”, concluyendo que la muestra presentó un contenido de humedad de 8.32%, y un índice de plasticidad de 7.25% perteneciendo al grupo de suelos granulados arcillosos con presencia de finos y se clasifican como suelos (ML). Este tipo de material presenta una baja plasticidad, lo cual afectaría a los ladrillos artesanales convirtiéndole en bloques frágiles, disminuyendo así su resistencia a compresión de dichas unidades. A su vez, su peso específico es de 2.44 g/cm³ encontrándose dentro de los rangos 2.44-2.55 g/cm³ que establece el libro Métodos Físicos y Químicos de Laboratorio, cumpliendo con el peso específico relativo de un suelo arcilloso. El peso unitario obtenido de la muestra fue de 2030 kg/m³.
- Se determinó las propiedades físicas de la Muestra con Hierro (MH): Agregado natural que contiene partículas de hierro, extraído de la cantera “Tingo la Palla”, concluyendo que estos son de color gris con presencia de partículas brillosas de color plomo la cuales al estar en contacto con un imán son atraídas, con un contenido de humedad de 1.74%, y un Índice de Plasticidad de 11.90%, este tipo de se clasifica como arcillas de baja plasticidad (CL). Este material presentó una mejor plasticidad en relación a la muestra patrón. A su vez, su peso específico es de 2.75 g/cm³ encontrándose dentro de los rangos 2.75-3.00 g/cm³ que establece el Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, cumpliendo con el peso específico relativo de un suelo con presencia de hierro. El peso unitario obtenido de la muestra fue de 2052.22 kg/m³.
- En relación a las propiedades físicas del material de la muestra patrón (MP) con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), se concluye que estos suelos son de granulometría gruesa, puesto que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es menor al 50% y se clasifican como suelos (ML). Debido al índice de plasticidad que presentan las muestras 9.06%, 8.01%, 7.55% y 8.74% para cada porcentaje de adición, este tipo de muestreo exhibe un incremento de plasticidad en relación al porcentaje de MH que se agregó, lo que afecta directamente a una unidad elaborado con esta combinación de materiales, puesto que sus propiedades físicas y mecánicas presentan variación. Del mismo modo sucede con el peso específico relativo de sólidos, se incrementó el resultado en relación a cada porcentaje de adición de hierro, obteniendo los valores de 2.51 g/cm³, 2.52 g/cm³, 2.54 g/cm³ y 2.65 g/cm³.
- Se elaboraron ladrillos artesanales empleando la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), llegando a la conclusión que la muestra de ladrillos con adición del 10% presentó mayor dificultad en el moldeo, por el contrario, la muestra con adición del 75% presentó una mejor trabajabilidad, por consecuencia se evidenció un menor porcentaje de variación dimensional, pero la resistencia a compresión fue la menor de todas las muestras ensayadas.
- En referencia a las propiedades físicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), se concluye que la adición del 10% de MH es la más óptima en relación a las demás muestras ensayadas, presentando variación dimensional de 2.73% en largo, 2.67% en ancho y 4.49% en altura, se presentó mayor variación debido al proceso de moldeo, así mismo esta muestra presentó un menor alabeo en su concavidad de 0.39 mm, a su vez se tiene un valor de absorción de 13.99%, valores que satisfacen la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería para ladrillos de clase 1, por el contrario el valor de succión obtenido de 31.34 gr/200cm²/min no cumple las exigencias mínimas. En cuanto a las características físicas de ladrillo en su coloración presento un color rojizo que fue más oscuro en relación a cada porcentaje de adición de MH.
- En referencia a las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), se concluye que la adición del 10% de MH es la más óptima en relación a las demás muestras ensayadas, debido a que esta muestra presenta menor porcentaje de poros y un menor alabeo, logrando así obtener una resistencia a compresión de la unidad de 68.20 kg/cm² y una resistencia a compresión de pilas de albañilería de 36.64 kg/cm², estos resultados están por encima de lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería para ladrillos de clase 1, siendo 50 kg/cm² (f’b) en unidades y 30 kg/cm² (f’ m) en pilas.
- Por último, de la comparación de los resultados obtenidos de los ensayos de los ladrillos artesanales, elaborados con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), se concluye que la adición de MH mejora las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales en relación a las unidades elaboradas con el material convencional de la muestra patrón en la ciudad de Cajamarca y se determinó que la muestra elaborada con adición del 10% de MH, satisface los requerimientos de la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería, para ladrillos de clase 1 a excepción de la propiedad física de la Succión, así mismo la adición de este material incrementa en un 36.40% y la resistencia a compresión en pilas de albañilería en 4.69%, en relación a la NTP E.70 para ladrillos clase 1; y en relación a la muestra patrón el incremento fue de 50.8% y 53.43%.

- La presente investigación está relacionada a la elaboración de ladrillos empleando agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), con la finalidad de obtener unidades de mejor calidad. Además, de lograr mejoras en el ámbito de la construcción, dado que en la actualidad los ladrillos elaborados artesanalmente no cumplen con las normas de calidad establecidas.
- Con esta investigación, se propone una solución al añadir diferentes porcentajes de MH a la composición de los ladrillos, lo cual permite tener mayor consistencia ante los esfuerzos físicos de compresión en muros de albañilería en construcciones que empleen este sistema constructivo. Además, se detallan los resultados obtenidos en las comparaciones de los ladrillos en diferentes concentraciones de este material lo que permite establecer algunas opciones.

VI. REFERENCIAS

- [1] Palmas, J. (2020). *Obtención de ladrillo base arcilla de baja densidad y alta resistencia mediante el uso de aditivos*. [Tesis de Maestría]. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Idalgo, México. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/biblioteca/biblioteca/handle/231104/2663?show=full>
- [2] Puentes, D. (2021). *Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla como elemento constructivo proveniente de fábricas ubicadas en la zona norte del departamento del Valle del Cauca en Colombia*. [Trabajo de grado-Pregado]. Universidad de la Costa, Valle del Cauca, Colombia. <https://hdl.handle.net/11323/8235>
- [3] Romero, J. (2021). *Determinación de la resistencia a compresión de ladrillos macizos fabricados con diferentes tipos de arcilla del cantón pastaza y su comparación con el ladrillo común*. [Tesis de Título Profesional]. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33092>
- [4] Meza, J., & Wu, M. (2018). *Los efectos de la adición del carbonato de calcio en el mejoramiento de las características de los ladrillos artesanales del distrito de chilca año 2018*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24351>
- [5] Chicchon, J., & Rivasplata, L. (2020). *Características físicas y mecánicas del ladrillo artesanal de arcilla King Kong del Distrito de Monséfí, Provincia de Chiclayo, Región de Lambayeque*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3410>
- [6] Torres, S. (2021). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de arcilla fabricados en la ciudad de Iquitos*. [Tesis de Grado de Bachiller]. Repositorio de Universidad Científica del Perú, Iquitos, Perú. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1182>
- [7] Molocho, J. (2019). *Propiedades físico-mecánicas de unidades de unidades de albañilería de tres ladrilleras artesanales en función de la Norma E.070, Distrito de Bambamarca-Cajamarca-2018*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22323>
- [8] Shaqour, E., Abo, A., & Rsheed, A. (18 de agosto de 2021). Improved fired clay brick compressive strength by recycling wastes of blacksmiths' workshops. *Journal of Engineering and Applied Science*. <https://jeas.springeropen.com/articles/10.1186/s44147-021-00002-2#:~:text=The%20study%20aims%20to%20improve,the%20resources%20and%20achieve%20sustainability>.
- [9] German, R., & Perez, J. (2020). *Influencia de la limadura de hierro en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería de concreto fabricadas artesanalmente, Trujillo 2020*. [Tesis de Título Profesional]. Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. <https://hdl.handle.net/11537/25219>
- [10] Diaz, F. (2021). *Evaluación del ladrillo artesanal elaborado a base de arcilla y sedimentos de relaves mineros, Hualgayoc*. [Tesis de Título Profesional]. Universidad Nacional Autónoma de Chota, Cajamarca, Perú. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-continental/analisis-estructural/evaluacion-del-ladrillo-artesanal-elaborado-informe-final-de-tesis/34645680>
- [11] Castellero, O. (3 de Abril de 2017). *Los 15 tipos de investigación y características*. <https://psicologiymente.com/miscelanea/tipos-de-investigacion>
- [12] Neilly, D., & Cortez, L. (2017). *Procesos y fundamentos de la investigación científica*. Machala, Ecuador: Redes 2017. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12498/1/Procesos-y-FundamentosDeLainvestigacionCientifica.pdf>
- [13] Ferreira, A. (2003). *Sistema de Interacción Familiar asociado a la autoestima de menores en situación de abandono moral o prostitución*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/559/Ferreira_ra.pdf?sequence=1
- [14] Tames Alarcon, C. (1945). *Métodos Físicos y Químicos de Laboratorio*. Madrid, España.
- [15] Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil* (Primera edición ed.). Bogotá, Colombia: Mc Graw-Will. <https://www.udocz.com/apuntes/23747/manual-de-laboratorio-de-suelos-joseph-bowles>
- [16] Vargas, J. (2017). *Evaluar la Influencia de los residuos de las cizalladuras de acero estructural en la adición de la fabricación de las unidades de albañilería más vendidas en la ciudad del cusco, analizadas en la Ladrillera Bellota E.I.R.L, de San Jerónimo-Cusco*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Alas Peruanas, Cuzco, Perú. <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/3829>
- [17] Espinoza, I., & Pejerrey, K. (2018). *Propiedades mecánicas del ladrillo con escoria de acero para viviendas unifamiliares San Juan de Lurigancho-2018*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34754>
- [18] Gutierrez, A., & Oyarce, G. (2021). *Adición de Residuos Sólidos al Ladrillo de Arcilla Artesanal para Mejorar sus Propiedades en Función a la Norma E070- Cajamarca, 2019*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Privada del Norte, Cajamarca. <https://hdl.handle.net/11537/28124>
- [19] German, R., & Perez, J. (2020). *Influencia de la limadura de hierro en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería de concreto fabricadas artesanalmente, Trujillo 2020*. [Tesis de Título Profesional]. Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. <https://hdl.handle.net/11537/25219>
- [20] Medrano, G., & Llanos, R. (2022). *Propiedades Físicas y Mecánicas de Ladrillo Artesanal con Agregado Natural que Contiene Partículas de Hierro, 2022*. [Tesis de Título Profesional]. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.