

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**RELACIÓN DE LA VARIACIÓN DE FORMA E INCLUSIÓN
DE ICHU EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL
LADRILLO ARTESANAL - HUANCAYO**

PRESENTADO POR:

Bach. WILDER ELIAS ISIDRO CERRON

Línea de Investigación Institucional: Nuevas Tecnologías y Procesos

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

HUANCAYO – PERÚ

2022

ASESORES

ASESOR TEMÁTICO:

Ing. FLORES ESPINOZA CARLOS GERARDO

ASESOR METODOLÓGICO:

Mg. CASTRO CAYLLAHUA FIDEL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, mi familia,
quienes me han dado su apoyo
incondicional en esta parte de mi vida.

Wilder

AGRADECIMIENTO

Me gustaría expresar mi gratitud a mi asesor de tesis, por su orientación, sus valiosos comentarios y su valioso estímulo a lo largo de la redacción de esta tesis.

Así también agradezco a mi universidad por la formación que me ha brindado y su colaboración para el logro de este trabajo.

El autor

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

Dr. RUBEN DARIO TAPIA SILGUERA

PRESIDENTE

JURADO

JURADO

JURADO

Mg. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA

SECRETARIO DOCENTE

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE GRÁFICOS	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN	16
1. CAPÍTULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
1.1. Planteamiento del problema	18
1.2. Formulación del problema	19
1.3. Formulación del problema	19
1.3.1. Problema general	19
1.3.2. Problemas específicos	20
1.4. Justificación.....	20
1.4.1. Justificación social	20
1.4.2. Justificación teórica	20
1.4.3. Justificación metodológica.....	21

1.4.4.	Justificación práctica.....	21
1.5.	Delimitaciones.....	21
1.5.1.	Delimitación espacial.....	21
1.5.2.	Delimitación temporal	22
1.5.3.	Delimitación económica	22
1.6.	Objetivos	22
1.6.1.	Objetivo general.....	22
1.6.2.	Objetivos específicos	22
2.	CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	23
2.1.	Antecedentes	23
2.1.1.	Locales o nacionales	23
2.1.2.	Internacionales	24
2.2.	Marco conceptual	27
2.2.1.	Conceptualización del ladrillo	27
2.2.2.	Origen y evolución del ladrillo	30
2.2.3.	Propiedades físico-mecánicas del ladrillo.....	32
A.	Composición del ladrillo.....	32
B.	Resistencia a la compresión	33
2.2.4.	Proceso de producción del ladrillo.....	35
2.2.5.	Diversas mezclas de elementos en la producción del ladrillo cocido de arcilla	39
A.	Experiencias con diversos materiales	40

B.	El futuro de los compuestos en los ladrillos	43
2.2.6.	Uso de fibras orgánicas en la producción del ladrillo de arcilla	44
2.2.7.	Construcción con ladrillo	51
2.3.	Bases Normativas	53
2.3.1.	Reglamentación técnico-normativa	53
A.	Norma técnica NTP E.070 Albañilería	53
B.	Norma técnica ITINTEC NTP 331.019	55
C.	Norma técnica ITINTEC NTP 331.018	55
D.	Norma técnica NTP 331.017.....	55
E.	Norma técnica NTP 399.613.....	56
F.	Norma técnica NTP 339.604.....	58
G.	Norma técnica NTP 399.605.....	58
H.	Norma técnica NTP 399.621.....	59
2.3.2.	Conflicto de Intereses	59
2.4.	Definición de términos	59
2.5.	Hipótesis.....	62
2.5.1.	Hipótesis general.....	62
2.5.2.	Hipótesis específicas	62
2.6.	Variables.....	63
2.6.1.	Definición conceptual de la variable.....	63
A.	Ichu añadido en ladrillo	63

B.	Forma de ladrillo.....	63
C.	Resistencia a la compresión.....	64
2.6.2.	Definición operacional de la variable.....	64
A.	Ichu añadido en ladrillo.....	64
B.	Forma de ladrillo.....	64
C.	Resistencia a la compresión.....	65
3.	CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	66
3.1.	Método de Investigación.....	66
3.2.	Tipo de investigación.....	66
3.3.	Nivel de la investigación.....	66
3.4.	Diseño de la investigación.....	67
3.5.	Población y muestra.....	68
3.5.1.	Población de estudio.....	68
3.5.2.	Muestra.....	69
3.5.3.	Criterios de inclusión y exclusión.....	69
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	69
3.7.	Procesamiento de la información.....	70
3.7.1.	Procedimientos estadísticos descriptivos.....	70
3.7.2.	Procedimientos estadísticos diferenciales.....	70
3.8.	Técnicas y análisis de datos.....	70
4.	CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	71

	10
4.1. Resultados generales	71
4.1.1. Estadísticos descriptivos por grupo	71
4.1.2. Resultados por factor de Forma del sólida de ladrillo	74
4.1.1. Resultados por factor de Forma hueca del ladrillo	75
4.1.2. Resultados por ambos factores.....	77
4.2. Pruebas de hipótesis	81
4.2.1. Hipótesis específica 1 – Modelo Forma del ladrillo	81
4.2.2. Hipótesis específica 2 – Modelo: Proporción de Ichu añadido.....	82
4.2.3. Prueba de hipótesis general.....	84
5. CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS	91
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS	100
A. Matriz de consistencia.....	100
B. Matriz de operacionalización de variables	102
C. Certificación de laboratorio de calibración	104
C. Certificación de laboratorio de resultados de pruebas	106
E. Registro fotográfico del proceso	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes químicos presentes en la arcilla refractaria	33
Tabla 2 Propiedades tecnológicas de los ladrillos cocidos con añadidos orgánicos.....	47
Tabla 3 Propiedades físicas de los ladrillos cocidos con añadidos orgánicos	49
Tabla 4 Clase de ladrillo para uso estructural	53
Tabla 5 Limitación de ladrillo para uso estructural	54
Tabla 6 Resistencia mínima por tipo de ladrillo	56
Tabla 7 Estadísticos descriptivos para la resistencia a la compresión por forma de ladrillo y por porcentaje de Ichu añadido	72
Tabla 8 Resultado global de prueba ANOVA – Forma del ladrillo.....	81
Tabla 9 Prueba post-hoc de Tukey – Forma de Ladrillo.....	82
Tabla 10 Resultado global de prueba ANOVA – Proporción de Ichu añadido	83
Tabla 11 Prueba post-hoc de Tukey – Proporción de Ichu añadido	83
Tabla 12 Resultado global de prueba ANOVA 2 factores – Factores combinados.....	85
Tabla 13 Resultado global de prueba ANOVA 2 factores – Factores combinados.....	85
Tabla 14 Resultado global de prueba ANOVA 2 factores – Factores combinados.....	86
Tabla 15 Prueba post-hoc de Tukey – Comparaciones de ambos factores	86

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Histograma apilado de resistencia a la compresión por proporción de Ichu añadido para ladrillos sólidos	74
Gráfico 2 Máximos y mínimos de resistencia a la compresión por proporción de Ichu añadido para ladrillos sólidos.....	75
Gráfico 3 Histograma apilado de resistencia a la compresión por proporción de Ichu añadido para ladrillos hueco	76
Gráfico 4 Máximos y mínimos de resistencia a la compresión por proporción de Ichu añadido para ladrillos huecos.....	77
Gráfico 5 Gráfico de cajas resistencia a la compresión por forma por proporción de Ichu añadido.....	77
Gráfico 6 Media de resistencia a la compresión por forma por proporción de Ichu añadido .	79
Gráfico 7 Media de resistencia a la compresión por Ichu añadido por forma	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Etapas estandarizadas del proceso de fabricación del ladrillo.....	35
Figura 2 Perfil de control de temperatura ideal en la cocción del ladrillo.	38
Figura 3 Dimensiones de ladrillo hueco y sólido.....	65
Figura 4 Esquema del diseño de investigación.	67

RESUMEN

La investigación aborda la problemática de ¿Qué relación existe entre la variación de forma e inclusión de Ichu y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021? Siendo el objetivo definir la relación que existe entre la variación de forma e inclusión de Ichu y la resistencia a compresión.

Se utilizaron las variables Variación de forma y Porcentaje de Stipa Ichu, y la Resistencia a la compresión. Para probar la hipótesis de la existencia de una relación significativa entre la variación de forma e inclusión de Ichu y la resistencia a compresión del ladrillo generado se utilizó la prueba estadística de ANOVA de dos factores.

La investigación utilizó el método científico, es de tipo básica, de nivel explicativo, con un diseño experimental; para ello se utilizó la observación de resultados del ensayo de compresión al que se sometió a las muestras de ladrillos. Las muestras incluyeron grupos con un porcentaje de Ichu añadido de 0, 2.5% y 5%, para ambos grupos, ladrillos sólidos y huecos. Los resultados midieron la resistencia a la compresión obtenida por las combinaciones de ambas variables. Se concluyó que la máxima resistencia se logra a un 5% de Ichu añadido con una media de 37.03 kg/cm² para el ladrillo sólido; mientras que para el ladrillo hueco con una mezcla del 2.5% de Ichu añadido se alcanzó una media de 51.01 kg/cm²; mostrando una mejora significativa al agregar dicha fibra orgánica.

Palabras Clave: Mampostería, Stipa Ichu, ladrillo de arcilla, resistencia a la compresión.

ABSTRACT

The research addresses the problem of What is the relationship between the variation of shape and inclusion of Ichu and the compressive strength of the handmade brick in the Rodriguez brick factory in the District of Saño, Province of Huancayo, year 2021? The objective was to define the relationship between the variation of shape and inclusion of Ichu and the compressive strength.

The variables Variation of shape and Percentage of Stipa Ichu, and the compressive strength were used. To test the hypothesis of the existence of a significant relationship between the variation of shape and inclusion of Ichu and the compressive strength of the generated brick, the two-factor ANOVA statistical test was used.

The research used the scientific method, is of basic type, of explanatory level, with an experimental design; for this purpose, the observation of results of the compression test to which the brick samples were submitted was used. The samples included groups with a percentage of Ichu added of 0, 2.5% and 5%, for both groups, solid and hollow bricks. The results measured the compressive strength obtained by combinations of both variables. It was concluded that the maximum strength is achieved at 5% added Ichu with an average of 37.03 kg/cm²; while for the hollow brick with a mixture of 2.5% added Ichu an average of 51.01 kg/cm² was achieved; showing a significant improvement by adding this organic fiber.

Keywords: Masonry, Ichu Stipa, clay brick, compressive strength.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar cómo la adición de Stipa Ichu en la mezcla de ladrillos y la manipulación de la forma cambian la resistencia a la compresión de los ladrillos. Para ello, el estudio recopiló diversas fuentes de otros trabajos de investigación que abordan el tema de la adición de fibras orgánicas en la mezcla de ladrillos de arcilla cocida. Además, se exploran las fuentes de investigación sobre la evolución de los ladrillos y su uso, así como la importancia de descubrir nuevas formulaciones para su mezcla y mejorar no sólo su resistencia sino también su efecto sobre el medio ambiente.

El trabajo de investigación muestra diferentes grupos bajo varias dosis de Ichu y arcilla, así como una forma sólida y hueca de ladrillo analizando la combinación de ambos factores con la prueba ANOVA de dos factores. El experimento se lleva a cabo en un entorno controlado y los resultados se discuten en este informe.

Capítulo I Planteamiento del problema: Se presenta información sobre el planteamiento del problema, su delimitación, formulación, objetivos y aspectos de justificación.

Capítulo II Marco Teórico: Presenta los antecedentes de la investigación, por un lado, relacionados con el ámbito internacional y nacional, la base teórica que muestra la conceptualización de las variables y dimensiones utilizadas para la justificación del trabajo de investigación y el marco teórico apoyado en definiciones claras.

Capítulo III Hipótesis: Se presentan la hipótesis general y las hipótesis específicas, así como la operacionalización de las variables y sus indicadores.

Capítulo IV Metodología: se presenta el método de investigación, su enfoque, el tipo de investigación, la población y la muestra, los instrumentos de recogida de datos y el análisis de los mismos.

Resultados del capítulo V: Los resultados estadísticos se presentan en detalle, clasificados por variables y dimensiones. Concluye con la presentación de las pruebas de hipótesis.

Análisis de los resultados: presenta el análisis y el contraste con los antecedentes de la investigación y otras investigaciones complementarias.

Las conclusiones y recomendaciones resumen y sintetizan aspectos de los resultados, su análisis y su adaptación a los objetivos fijados.

Por último, se presentan las referencias bibliográficas y los anexos correspondientes.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La necesidad del hombre por construir un espacio que pueda albergar las actividades que desarrollan y que sirva de refugio para el mismo, generó un material resistente como el ladrillo de arcilla cocido (Campbell & Price, 2016). Este producto en todo el mundo tiene similares etapas de producción y ha sido estudiado por varios siglos (Amrhein & Porter, 2009). En un afán por mejorar y especializar su uso se han generado una diversidad de variantes en el proceso productivo ya sea artesanal o industrial y en los materiales utilizados.

Entre los cambios más significativos del ladrillo se han observado la adición de materiales complementarios a la arcilla que van desde residuos sólidos, lodos, fibras orgánicas y otros compuestos químicos que mejoran alguna propiedad del producto (Demir, 2008). El enfoque en el último medio siglo se ha dado en reducir el costo de producción del ladrillo a través de la incorporación de materiales reciclables, sin embargo, al hacerlo se ha descubierto que la reducción del peso del ladrillo y la procuración de nuevas fuentes energéticas para su cocción han sido claves para generar una mucho mayor diversidad para usos más específicos en las construcciones (Loryuenyong et al., 2009).

En particular las fibras orgánicas han sido añadidas con el objetivo de reducir el peso de ladrillo mantener una alta resistencia a la compresión y generar una mejor cocción de ladrillo al ser componentes que no requieren muy elevadas temperaturas para poderse calcinar. dejando espacios porosos pero uniformes en la estructura del ladrillo que lo vuelven más ligero sin sacrificar su capacidad estructural (Chan, 2011).

En el Perú El ladrillo es extensamente utilizado en las zonas urbanas, y los procesos artesanales de su producción son de gran auge debido a que generan un ladrillo de menor costo y que muchas veces se cuenta con los recursos naturales para poderlos producir (MYPE, 2010). Sin embargo, estos requieren una mejora continua y la experimentación con diversos materiales que puedan no solo mejorar el producto si no utilizar componentes que sean renovables. Una de las fibras con mayor presencia en las zonas andinas es el *Ichu* o pasto andino que es un tipo de gramínea que crece bajo diversas condiciones y que requiere muy pocos recursos del suelo y de agua por lo que se vuelve una especie que puede ser renovada fácilmente (Reynel, 2012).

La ladrillera Rodríguez es una ladrillera de la provincia de Huancayo, ciudad principal de la región central de Perú, cuenta con amplia experiencia en la producción de este tipo de ladrillos y lo hace con una mezcla pobre o no balanceada de arcilla con otros productos orgánicos. Siendo el *Ichu* una de las fibras más comunes en la región donde opera dicha ladrillera se consideró conducir un estudio controlado que permita la evaluación objetiva de los cambios en la resistencia a la compresión generados por su añadidura. Se espera que el trabajo de investigación colabore directamente con los métodos de producción actualmente implementados.

1.2. Formulación del problema

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

El problema general de la investigación es:

¿Qué relación existe entre la variación de forma e inclusión de *Ichu* y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021?

1.3.2. Problemas específicos

Los problemas específicos encontrados son:

- ¿Qué relación existe entre la variación de forma en la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021?
- ¿Qué relación existe entre la inclusión de Ichu en la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021?

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación social

La presente investigación permita el desarrollo de un mejor ladrillo y un proceso más organizado, al mismo tiempo, la calidad del ladrillo incrementa su resistencia a la compresión. Un mejor producto y un proceso más organizado permitirá, de forma indirecta, a los trabajadores condiciones mejoradas de trabajo y a los clientes el acceso a un mejor producto.

1.4.2. Justificación teórica

Entre los estudios desarrollados que aplican fibras vegetales, pocos han sido realizados usando elementos vegetales endémicos de los Andes. Entre los hallazgos encontrados en experimentos que usan elementos orgánicos como hierbas, pastos, hojas y similares; la disminución de la fuerza a la compresión y la obtención de una mayor ligereza del ladrillo de arcilla han sido constantes hallazgos. Sin embargo, la adición del Ichu no se ha explorado a profundidad más que en su aplicación en el adobe. La investigación pretende contribuir teóricamente en este sentido.

1.4.3. Justificación metodológica

Gran parte de las investigaciones que experimentan con la mezcla del ladrillo, lo hacen agregando elementos en la mezcla y otros, por separado modificando la forma. Existe un limitado entendimiento en los ladrillos con añadidos orgánicos que consideren más de una variable.

La presente investigación aborda la comparativa de ladrillos artesanales de arcilla con Ichu agregado y al mismo tiempo bajo modificaciones en su forma y poder determinar las causas de la variación en su resistencia a la compresión.

1.4.4. Justificación práctica

Las características de la investigación y su diseño experimental dividido en grupos de comparación que usan dos factores, permiten que futuros investigadores puedan recrear sus propios ladrillos a partir de los pasos desarrollados en esta investigación.

1.5. Delimitaciones

1.5.1. Delimitación espacial

La investigación se limita a los ladrillos producidos en la Ladrillera Rodríguez, del distrito de Saño, provincia de Huancayo. Se utilizó el mismo estrato de la mina de arcilla para todas las mezclas y descartar la incidencia del tipo de suelo sobre.

Además, al secarse y prepararse en el mismo lugar, los ladrillos fueron producidos bajo las mismas condiciones climáticas.

1.5.2. Delimitación temporal

La investigación se desarrolló entre el último trimestre del 2021 y el primer trimestre del año 2022. La fabricación y ensayos de las muestras de ladrillo se realizaron en un periodo de febrero del 2022.

1.5.3. Delimitación económica

El presupuesto destinado para el desarrollo de la totalidad de la tesis fue financiado por el investigador. Y se declara no tener

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

El objetivo general es:

Evaluar la relación que existe entre la variación de forma e inclusión de Ichu y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

1.6.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Determinar la diferencia que existe entre la variación de forma en la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.
- Establecer la diferencia que existe entre la inclusión de Ichu en la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

2. CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Locales o nacionales

Limay, E., & Vásquez, H. (2019), en su tesis de pregrado titulada “Resistencia a compresión del ladrillo de arcilla con adición de Ichu (*Stipa Ichu*)”, presentada en la Universidad Privada del Norte. Abordan el problema de identificar la resistencia a la compresión alcanzada habiéndose añadido fibras de Ichu. El estudio sigue lineamientos de acuerdo a la normativa técnica para la prueba de los ladrillos. De forma adicional, se realiza ensayos de alabeo, absorción, variación dimensional, succión y el ensayo de resistencia a la compresión. Por otro lado, se mide el contenido de agua, límite de absorción líquida y granulometría. La muestra de control obtuvo una resistencia a la compresión de 21.55 kg/cm², incorporando 5% de la fibra, a un 10% obtuvo un 33.13 kg/cm², a un 15% de fibra obtuvo un 51.73 kg/cm² y con 20% de fibra se alcanza un 35.89 kg/cm².

Silva Mondragón (2018) en su tesis de posgrado, “Development of an eco-friendly composite based on geopolymer matrix produced with fired clay brick powder and reinforced with natural fibers”, presentada en la Pontificia Universidad Católica del Perú. La investigación atiende el problema de añadir fibras naturales a la mezcla de arcilla para el ladrillo cocido como alternativa para un bajo consumo de CO₂ ante el uso de materiales tradicionales. La investigación uso residuos de construcción en polvo y fibras naturales utilizadas como refuerzo para compuestos de geopolímeros. Se comprobó que el tipo, pretratamiento, cantidad y longitud de las fibras naturales

desempeñan un papel importante en el refuerzo de las matrices de geopolímeros. Los ensayos permitieron definir las condiciones óptimas de formulación y curado de geopolímeros con altas resistencias a la compresión de hasta 37 MPa. Sin embargo, los geopolímeros de alta tuvieron una baja ductibilidad.

2.1.2. Internacionales

Limami et al. (2021), en una investigación conjunta titulada “*Mechanical and physicochemical performances of reinforced unfired clay bricks with recycled Typha-fibers waste as a construction material additive*”, desarrollada en Marruecos con el apoyo de la Universidad Moulay Ismail. El objetivo de este estudio fue evaluar el uso de fibras de Typha recicladas como material añadido para los ladrillos de arcilla. El enfoque proporciona una alternativa de uso de los residuos de Typha en los vertederos y cursos de agua. Se probaron múltiples proporciones, de 0%, 1%, 3%, 7% y 15% del peso. Se usó un agitador eléctrico durante 10 minutos y a 95 rpm, para garantizar una distribución homogénea de las partículas fibrosas dentro de la matriz de arcilla. La arcilla utilizada fue del tipo Illite con un contenido dominante de SiO₂, 59,6%. La incorporación de los residuos de aditivos de residuos de Typha produjo ladrillos más porosos; ya que el 20% reflejó la mayor porosidad registrada, de 14.95%, en comparación con las muestras de control, con un 1.14%. Esto provocó un mayor coeficiente de absorción de agua con un aumento del 55%. Además, las mediciones de la densidad aparente mostraron que las muestras de ladrillo preparadas pueden clasificarse como estructuras ligeras con 1,75 g/cm³. Las muestras producidas fueron de tierra de clase 4 (EB4), de tierra de clase 3 (EB3) y de tierra de clase 2 (EB2) dada la resistencia a la compresión alcanzada. Se concluye que la adición de fibra de Typha produjo muestras de ladrillos de buena calidad, con una estructura más porosas y

ligeras, con un mayor índice de absorción de agua y una menor resistencia a la compresión.

Arunraj et al (2019), en su investigación titulada “*Experimental Study on Compressive Strength of Brick Using Natural Fibres*”, un estudio conjunto desarrollado en la India. La investigación aborda la problemática de uso de materiales modernos o no convencionales en los ladrillos de arcilla que mejoren el tejido crudo y el proceso de fabricación aprovechando los residuos de fibras en la industria agrícola. Se revaloriza las fibras obtenidas de las hojas y los racimos de fruta desechados, que pueden ser utilizados en la fabricación de ladrillos. Se investigan las propiedades mecánicas de los ladrillos de arcilla que incluyen fibras en una mezcla de arcilla y agua, en condiciones de ladrillo cocidos y no cocidos. Las muestras de fibra se obtuvieron de hojas de piña, en el rango de 0.5 a 1.5 % de longitudes de 5mm y 10mm. Se observó que las dos fibras tienen efectos posteriores distintos y que la presencia del cemento (en un 5%) domina la resistencia a la compresión. Los ladrillos no cocidos se desintegraron al sumergirlos en agua y los cocidos mostraron cualidades dependientes del cemento en la absorción de agua y en las variaciones de densidad. El aumento del contenido de fibra no provocó una reducción significativa de la densidad tanto en los ladrillos cocidos como en los no cocidos.

Phonphuak (2017), en su investigación doctoral titulada “*Application of Dry Grass for Clay Brick Manufacturing*”, presentada en la Universidad Rajabhat Maha Sarakham. Se investigó los efectos de agregar hierba o grass seco en ladrillos de arcilla. Se utilizó los porcentajes de 0, 2.5, 5 y 7.5 % del peso. La cocción se dio a 900, 1000 y 1100 °C. La porosidad, absorción de agua y resistencia a la compresión. Los resultados revelaron que la densidad se redujo al aumentar el porcentaje de hierba seca, mientras que aumentaba según la temperatura de cocción. La resistencia del ladrillo disminuyó

al aumentar la el porcentaje de hierba seca. A 2,5% de hierba seca cocida a 1100 °C mostró la condición óptima con una resistencia a la compresión de 11.6 MPa de resistencia a la compresión y 1,78 g/cm³ de densidad aparente. Se concluye la adición de hierba seca para la producción de ladrillos de arcilla lleva a utilizar un material potencial como añadido de los ladrillos de arcilla crudos en la fabricación de ladrillos de arcilla ligeros, pero no más resistentes.

Ukwatta Pitiye, A (2017) en su investigación "*Use of biosolids in enhanced fired clay bricks*" desarrollada en la Universidad RMIT, explora diversos materiales de residuos orgánicos utilizados en ladrillos de arcilla. Presenta los resultados de estudios similares y propios de forma comparativa crítica. Se indica que los biosólidos, subproductos orgánicos residuales sólidos y tratados del proceso de tratamiento de aguas residuales y están disponibles para un uso beneficioso de acuerdo con la normativa pertinente. La investigación señala que los enfoques innovadores para producir ladrillos de arcilla cocida están en usar menos recursos no renovables, alentados desde la perspectiva del desarrollo sostenible. Se examina y valida estudios que incorporan la fabricación de ladrillos usando lodos, cenizas volantes, aserrín de madera, humo de sílice, colillas y poliestireno. Los resultados de estos estudios, concluye, mostraron efectos positivos como ladrillos ligeros con mayores propiedades de aislamiento térmico, mientras que la resistencia a la compresión, la densidad y otras propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos varían ampliamente pero que la compresión es usualmente menor pero dentro de los estándares normativos.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Conceptualización del ladrillo

El ladrillo es uno de los más importantes materiales para la industria de la construcción. El método convencional de producción de ladrillos ha traído consigo innegables deficiencias. El consumo de materiales de tierra en la producción de ladrillos suele provocar el desgaste de los recursos, la degradación del medio ambiente y un consumo de energía (Kummer, 2010).

Para la fabricación de ladrillos, en el medio natural, las materias primas pueden encontrarse en extensiones de unas pocas hectáreas. Suelen estar estratificados a poca profundidad, y su origen se remonta al periodo mesozoico y al cuaternario (Amrhein & Porter, 2009). Pueden encontrarse tanto en la superficie como bajo ella. En la superficie pueden estar cubiertos o no. Entre los depósitos no cubiertos, se pueden incluir los creados por el hombre, como los vertederos para la excavación secundaria (Kummer, 2010).

Los ladrillos de arcilla cocida se fabrican mediante la combustión de la arcilla a alta temperatura. Poseen propiedades superiores, como una gran resistencia a la compresión y durabilidad, una excelente resistencia al fuego y a la intemperie, y un buen aislamiento térmico y acústico (Amrhein & Porter, 2009); (Kummer, 2010) y (Villasante Sanchez, 2000). El ladrillo de arcilla cocida se puede sujetar cómodamente con una mano y es ligeramente más largo que el doble de su anchura. Los ladrillos están disponibles en varios tamaños y formas (Villasante Sanchez, 2000).

Para la fabricación de ladrillos completos se utilizan materiales arcillosos con posibles partes de fracciones loésicas y arenáceas. Las fracciones loésicas de la arcilla favorecen la condición física del producto, mientras que las fracciones arenosas de la

arcilla facilitan el secado (Villasante Sanchez, 2000). El proceso de secado es susceptible de provocar grietas en el producto final. La firmeza del producto arcilloso-arenoso es significativamente menor (Beal, 2004).

Existen múltiples tipos de ladrillos que se denominan por su uso, tamaño, método de fabricación, origen, calidad, textura y materiales. Según (Amrhein & Porter, 2009) y (Kummer, 2010) se clasifican según el método de fabricación:

- Extruidos: se fabrican forzándolos a través de una abertura en una matriz de acero, con un tamaño y una forma muy consistentes.
- De corte: corte a medida después de la extrusión con un alambre tensado que puede dejar marcas de arrastre.
- Moldeado: se le da forma en moldes en lugar de extruirlo.
- Moldeado a máquina: la arcilla se introduce a presión en los moldes.
- Hecho a mano: la arcilla es forzada en los moldes por una persona.
- Prensado en seco: es similar al método del barro blando, pero empieza con una mezcla de arcilla mucho más gruesa y se comprime con una presión mayor.

Según (Amrhein & Porter, 2009); (Kummer, 2010) los ladrillos también pueden clasificarse según su uso:

- Ladrillo de cara vista: Los ladrillos de cara vista se destinan a la albañilería estructural y no estructural, incluido el revestimiento, cuando la apariencia es un requisito.
- Ladrillos huecos: Los ladrillos huecos se utilizan como ladrillos de construcción o de cara vista, pero tienen una mayor superficie vacía. La mayoría de los ladrillos huecos se utilizan como ladrillos de cara vista en chapas ancladas. Los

ladrillos huecos con núcleos muy grandes se utilizan en mampostería reforzada y contienen refuerzos de acero y lechada.

- Ladrillo común o de construcción: Los ladrillos de construcción están destinados a ser utilizados en mampostería tanto estructural como no estructural donde la apariencia no es un requisito. Los ladrillos de construcción se utilizan normalmente como material de soporte.
- Ladrillo fino: Los ladrillos de chapa fina tienen las dimensiones normales de la cara, pero un grosor reducido. Se utilizan en aplicaciones de chapa adherida.
- Ladrillo de pavimentación: Los ladrillos de pavimentación están destinados a ser utilizados como superficie de rodadura en sistemas de pavimentación de arcilla. Como tales, están sujetos al tráfico peatonal y vehicular ligero o pesado.

Sin embargo, los ladrillos pueden tener un uso especializado (Amrhein & Porter, 2009); (Kummer, 2010). Por lo tanto, los ladrillos pueden ser fabricados para ser:

- Químicamente resistentes: ladrillos fabricados con resistencia a los productos químicos. Como los ladrillos resistentes a los ácidos.
- De ingeniería: un tipo de ladrillo duro y denso que se utiliza cuando se necesita fuerza, baja porosidad del agua o resistencia a los ácidos (gases de combustión). Se clasifican según su resistencia a la compresión.
- Fuego o refractario: Los ladrillos refractarios pueden soportar altas temperaturas y no se funden ya que son química y físicamente estables incluso a una temperatura muy alta (ladrillos altamente resistentes al calor). Estos ladrillos se cuecen entre 1250 y 1400°C. Estos ladrillos pueden ser ladrillos vitrificados o cerámicos vidriados con un esmalte decorativo.

2.2.2. Origen y evolución del ladrillo

Las primeras unidades de mampostería se elaboraron a base de barro seco y se utilizaron por primera vez al rededor del año 8000 a.C. en Mesopotamia, una región bordeada por los ríos Tigris y Éufrates que se extiende desde el sureste de Turquía, el norte de Siria e Irak hasta el Golfo Árabe. Históricamente, el ladrillo se fabricaba con un método antiguo que se remonta al 6000 a.C., denominado proceso de barro blando, en el que una arcilla relativamente húmeda se presiona con las manos en moldes rectangulares simples (Campbell & Price, 2016). Para evitar que la arcilla pegajosa se pegue a los moldes, éstos se sumergían en agua inmediatamente antes de ser llenados, lo que producía un ladrillo con una superficie relativamente lisa y densa, conocida como ladrillo de agua (Treviño Treviño et al., 2019).

La fabricación de ladrillos se desarrolló ligeramente desde el proceso de tamizado del barro hasta el proceso de prensado en seco se utilizaba para el barro que se encoge mientras se seca. El barro mezclado se colocaba en moldes de acero y se prensaba con una máquina. Los antiguos civiles reconocieron que el ladrillo cocido era más duradero y resistente a la intemperie (Campbell & Price, 2016). Por lo tanto, el ladrillo cocido era más favorable que el ladrillo secado al sol. El antiguo ladrillo cocido se fabricaba formando la arcilla mezclada en moldes y luego los ladrillos se cocían amontonándolos en un conjunto suelto llamado abrazadera cubriendo la abrazadera con tierra o arcilla, encendiendo un fuego de leña bajo la abrazadera y manteniendo el fuego durante varios días (Treviño Treviño et al., 2019).

Para (Kummer, 2010) (Campbell & Price, 2016) y (Treviño Treviño et al., 2019) el ladrillo producido ha atravesado un proceso tecnológico de excavación y elaboración, secado y cocción, que puede resumirse así:

- Del 8300 al 7600 a.C. los ladrillos se creaban con las manos y se secaban al sol.
- De 7300 a 6600 a.C. aparecen los primeros ladrillos de dimensiones 400x150x100 mm en Jericó.
- De 5900 a 5300 a.C. para la creación de ladrillos se utilizaban formas de madera en Egipto.
- Del 5000 al 4500 a.C. Mesopotamia fabricó ladrillos cocidos.
- De 2111 a 2003 a. C. El ladrillo se utiliza ampliamente en templos, palacios, cúpulas para dioses, reyes y nobleza. Además, su valor creció astronómicamente. El ladrillo cocido era de 2 a 5 veces más caro que el ladrillo sin cocer.
- Del 604 al 562 a.C. se construyeron grandes edificios como: Los jardines colgantes de Babilonia y muchos otros palacios. Se empezaron a utilizar ladrillos moldeados y vidriados.
- En el periodo medieval, de 1400 a 1600. establecimiento de una máquina de prensado, que tuvo el principal impacto en la calidad de los productos prensados. Los hornos medievales eran muy similares a los de la época romana. Tenían un suelo firme, sobre el que se ponía el ladrillo o la teja y bajo el que ardía el fuego en uno o varios túneles. Se utilizaba la madera como combustible.
- De 1600 a 1800, en el periodo de los siglos XVII y XVIII, la adaptación del ladrillo y las formas especiales.
- En 1686, Leopoldo I, por primera vez define las dimensiones estándar de los ladrillos. Estas dimensiones tuvieron dos ediciones y estas ocurrieron en 1715 y 1773.
- En 1808, las dimensiones se fijaron en 300x150x75 mm después de la quema.

2.2.3. Propiedades físico-mecánicas del ladrillo

A. Composición del ladrillo

La mayor parte de los ladrillos se elaboran a partir de arcilla y pizarra; se utilizan preliminarmente en la construcción de muros mediante el ensamblaje y la junta de los ladrillos en una disposición de mortero establecida. La arcilla es una materia prima una gran diversidad de usos y propiedades. Son minerales naturales de grano fino de origen secundario y compuestos por una estructura de silicato de aluminatos con un elemento adicional de hierro, álcalis y tierra alcalina. Las arcillas comunes son lo suficientemente plásticas como para permitir un moldeado fácil y, al cocerlas, se vitrifican por debajo de los 1100°C (Sheppard, 1986). El ladrillo de arcilla se ha fabricado tradicionalmente mezclando la arcilla molida con agua y luego dándole la forma y el tamaño deseados, secándola y cociéndola. Los ladrillos de arcilla pueden clasificarse en función de la resistencia a la compresión y del grado de absorción de agua (BDA, 2017).

Mientras que las materias primas utilizadas en el proceso de fabricación de unidades de mampostería de arcilla cocida, las arcillas de superficie y de fuego tienen una estructura física diferente a la de las pizarras, pero son similares en su composición química (BDA, 2017). Los dos componentes principales de todas estas arcillas son la sílice y la alúmina. Entre otros componentes se encuentran el hierro y otros óxidos metálicos, que son especialmente la causa de dar al ladrillo su color rojo-marrón. En cambio, los ladrillos blancos y de color claro se fabrican utilizando arcillas que son naturalmente deficientes en óxidos metálicos (Urrego, Pacheco & Useda, 2014). La Tabla muestra la gama de componentes químicos y fases mineralógicas presentes en la arcilla:

Tabla 1*Componentes químicos presentes en la arcilla refractaria*

Propiedad	Composición en % del peso
SiO ₂	56.8 a 68.6
Al ₂ O ₃	22.9 a 38.7
Fe ₂ O ₃	0.8 a 3.0
K ₂ O	1.0 a 3.2
TiO ₂	1.0 a 2.8
MgO	0.1 a 1.2
Na ₂ O	0.2 a 0.5
CaO	0.01 a 0.8

Fuente: (Sheppard, 1986)

B. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión suele ser considerada la característica mecánica más importante de los materiales de construcción. Independientemente del tipo de material sometido a ensayo, la medición experimental de la resistencia a la compresión depende en gran parte de las dimensiones de las muestras, debido al efecto de confinamiento producido por la fricción de las placas de acero sobre las caras con carga de las muestras durante el ensayo (Costigan & Pavía, 2010). Su objetivo es evitar que la muestra se ensanche radicalmente y tiene el efecto de retrasar la destrucción de la muestra, aumentando así de forma artificial la resistencia a la compresión aparente del material. Este confinamiento lateral en la parte superior e inferior de la muestra está

vinculado a la reducción de la deformación lateral, que está en el punto de origen de la fractura del material.

Los ladrillos sólidos y los ladrillos huecos son producidos, a menudo, arcillas de alta resistencia que se cocinan y se funden para crear un cuerpo fuerte o una unidad de mampostería (Costigan & Pavía, 2010). La resistencia de las unidades depende de las arcillas o el esquisto utilizados, la temperatura de cocción y la duración de la misma. La resistencia de las unidades de arcilla suele ser al menos $1/3$ más que la f_m especificada (Treviño Treviño et al., 2019).

Para el hormigón o el mortero, este problema se resuelve fácilmente estandarizando de acuerdo al tamaño de las muestras de ensayo. Para la medición de la resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla con un espesor superior a 71 mm, es posible realizar la prueba de resistencia a la compresión directamente en un ladrillo entero cargado según su dirección de colocado (Costigan & Pavía, 2010). Pero para los demás, se recomienda el uso del procedimiento Rilem, probando en medios bloques adheridos con mortero de cemento o yeso. Para las unidades de albañilería, los efectos de la geometría la determinación de la resistencia a la compresión de la albañilería o la resistencia a la compresión de las unidades se normaliza utilizando un factor de corrección geométrica para tener en cuenta los efectos de la relación de aspecto (Villasante Sanchez, 2000).

Cuando se especifica la resistencia a la compresión del conjunto de mampostería, los materiales componentes del hormigón líquido y las unidades de mampostería o ladrillo deben ser más fuertes que la resistencia especificada. La ejecución de los prismas y de los muros de mampostería tiene una influencia significativa en la resistencia del sistema de mampostería, pero deben especificarse resistencias individuales de los materiales que superen la resistencia de diseño para

obtener una resistencia satisfactoria del muro, ya que existen diferencias en el módulo de elasticidad entre las unidades de albañilería y el hormigón líquido. Estas diferencias provocan una reducción de la resistencia del conjunto de mampostería y deben compensarse partiendo de una mayor resistencia del hormigón líquido (Villasante Sanchez, 2000).

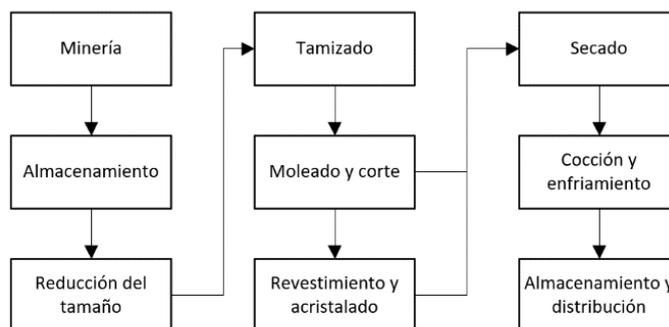
El mortero debe utilizarse en los componentes que forman parte del sistema de resistencia a la carga lateral y también que el cemento de mampostería no está permitido en estas categorías sísmicas (Beal, 2004). Debido a las juntas de mortero relativamente finas, el mortero utilizado en la mampostería tendrá una resistencia en el lugar de 3000 psi o más. Cuando se desea la resistencia a la compresión del mortero, éste debe ser especificado por las especificaciones estandarizadas.

2.2.4. Proceso de producción del ladrillo

Aunque la actual tecnología ha cambiado sustancialmente los detalles de la fabricación de ladrillos, ésta es conceptualmente sencilla y consta de las operaciones descritas en la Figura 1. Algunas de estas etapas pueden realizarse de forma conjunta (Amrhein & Porter, 2009).

Figura 1

Etapas estandarizadas del proceso de fabricación del ladrillo



Fuente: (Amrhein & Porter, 2009)

Algunas de las etapas de la fabricación estandarizada en planta pueden resumirse de la siguiente manera:

- Minería o extracción de arcilla del suelo y almacenamiento de materias primas: La arcilla se extrae en fosas abiertas con equipos mecánicos. A continuación, las mezclas de arcilla se transportan a las zonas de almacenamiento de la planta. La fabricación continua de ladrillos, independientemente de las condiciones meteorológicas, se garantiza mediante el almacenamiento de una cantidad suficiente de materias primas necesarias para muchos días de funcionamiento de la planta (Amrhein & Porter, 2009) (Urrego, Pacheco & Useda, 2014).
- Preparación de las materias primas: Para deshacer los grumos de arcilla y las piedras grandes, el material se procesa a través de máquinas reductoras de tamaño antes de mezclar las materias primas como la arcilla, la arena u otros aditivos (Amrhein & Porter, 2009).
- Formación de la arcilla húmeda en la forma deseada del ladrillo: La mezcla, el primer paso del proceso de formación, produce una pasta de arcilla homogénea y plástica. Por lo general, esto se consigue añadiendo agua a la arcilla en un molino, una cámara de mezcla con uno o más ejes giratorios con extensiones de cuchillas. Después de la extracción, la masa de arcilla plástica está lista para ser moldeada. Existen tres procedimientos principales para la formación de ladrillos: barro duro, barro blando y prensado en seco (Urrego, Pacheco & Useda, 2014) y (Jayasinghe, 2007).
- Proceso de barro duro o proceso de extrusión: Utiliza agua en un rango del 10 al 15% que se mezcla con la arcilla para producir plasticidad. Después de la extracción, la arcilla mezclada pasa por una cámara de vacío. El vaciado elimina los agujeros de aire y las burbujas, lo que confiere a la arcilla una mayor

trabajabilidad y plasticidad, lo que se traduce en una mayor resistencia. A continuación, la arcilla se extruye a través de una matriz para producir una columna de arcilla. A medida que la columna de arcilla sale del troquel, pueden aplicarse texturas o recubrimientos superficiales. A continuación, una cortadora automática corta la columna de arcilla para crear el ladrillo individual. La separación de las cuchillas y el tamaño de las matrices deben calcularse cuidadosamente para compensar la contracción normal que se produce durante el secado y la cocción (Amrhein & Porter, 2009) (Urrego, Pacheco & Useda, 2014) y (Jayasinghe, 2007)

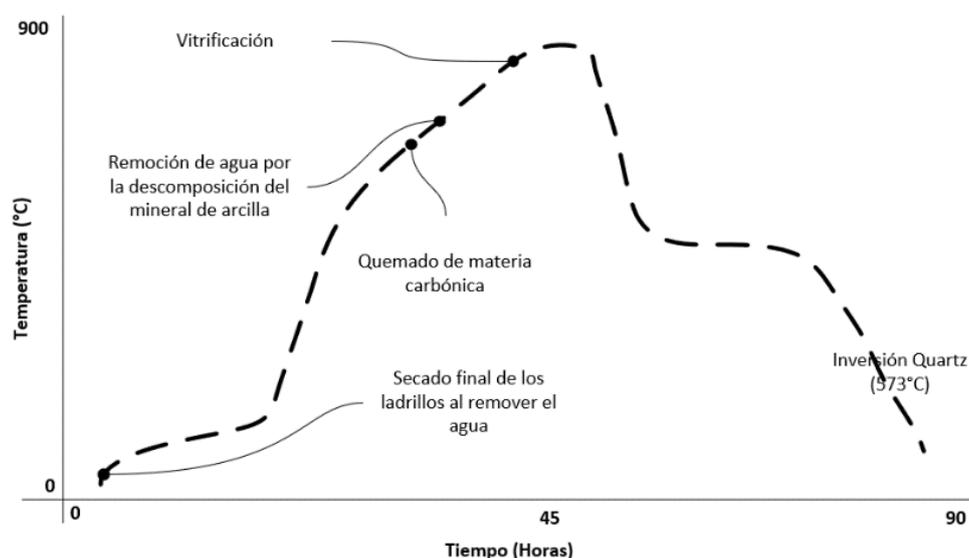
- **Proceso de barro blando o moldeado:** Es especialmente adecuado para arcillas que contienen demasiada agua para ser extruidas por el proceso de barro rígido. Las arcillas se mezclan para que contengan entre un 20 y un 30 por ciento de agua y luego se forman ladrillos en moldes. Para evitar que la arcilla se pegue, los moldes se lubrican con arena o agua para producir. El ladrillo puede producirse de esta manera a máquina o a mano (Amrhein & Porter, 2009).
- **Proceso de prensado en seco:** Este proceso es especialmente adecuado para arcillas de muy baja plasticidad. La arcilla se mezcla con una cantidad mínima de agua (hasta el 10%) y luego se presiona en moldes de acero utilizando arietes hidráulicos o de aire comprimido (Amrhein & Porter, 2009) (Urrego, Pacheco & Useda, 2014).
- **Ladrillos de secado:** Los ladrillos húmedos procedentes de las máquinas de moldeado o de corte contienen entre un 7% y un 30% de humedad, según el método de conformación. Antes de comenzar el proceso de cocción, la mayor parte de esta agua se evapora en cámaras de secado a temperaturas que oscilan entre 40 y 200 °C. El tiempo de secado, que varía con las diferentes arcillas,

suele ser de entre 24 y 48 horas. Aunque el calor puede generarse específicamente para las cámaras de secado, normalmente se suministra a partir del calor de escape de los hornos para maximizar la eficiencia térmica. En todos los casos, el calor y la humedad deben ser cuidadosamente regulados para evitar el agrietamiento del ladrillo (Urrego, Pacheco & Useda, 2014).

- Cocción de ladrillos secos en un horno: La cocción es un proceso clave en la fabricación de productos cerámicos, ya que controla muchas propiedades importantes del producto final. Entre ellas están la resistencia mecánica, la resistencia a la abrasión, la estabilidad dimensional, la resistencia al agua y a los productos químicos y la resistencia al fuego. Los ladrillos se cuecen entre 6 y 36 horas, dependiendo del tipo de horno y de otras variables; el horno suele calentarse a una temperatura superior a los 900°C. La Figura 2 describe el perfil de temperatura ideal (Amrhein & Porter, 2009) (Urrego, Pacheco & Useda, 2014).

Figura 2

Perfil de control de temperatura ideal en la cocción del ladrillo.



Fuente: (Jayasinghe, 2007)

El horno utilizado en las plantas modernas de fabricación de ladrillos es un horno de túnel largo. La cocción de los ladrillos de arcilla pretende mejorar la durabilidad a través de la sinterización, que puede considerarse como el mecanismo de unión de las partículas de arcilla (Jayasinghe, 2007). La cocción puede dividirse en cinco etapas generales: secado final, deshidratación, oxidación, vitrificación, y reducción. La clave del proceso de cocción es controlar la temperatura en el horno para que la fusión incipiente sea completa y se produzca una vitrificación parcial, pero se evite la fusión viscosa (BDA, 2017).

Almacenamiento de los productos acabados: El tiempo de enfriamiento rara vez supera las 5 a 24 horas, dependiendo del tipo de horno. El enfriamiento es una etapa importante en la fabricación de ladrillos porque la velocidad de enfriamiento tiene un efecto directo en el color y después de la cocción los ladrillos se sacan del horno, se clasifican, se atan en cubos y se almacenan en un patio hasta su entrega en la obra (Jayasinghe, 2007) y (BDA, 2017).

2.2.5. Diversas mezclas de elementos en la producción del ladrillo cocido de arcilla

La degradación del ambiente acarrea este tipo de actividades con la contaminación del aire y permanece después de que cesen sus operaciones. En la antigüedad, el ladrillo se fabricaba mezclando los recursos vírgenes, formando los ladrillos, secándolos y cociéndolos (Villasante Sanchez, 2000). La tendencia actual en la fabricación de ladrillos hace hincapié en el uso de residuos posteriores al consumo o de fibras orgánicas en el proceso de producción. La mayor parte de las iniciativas de nuevos desarrollos de los ladrillos de arcilla han consistido en mejorar su calidad y sus propiedades mezclando la arcilla con diversos materiales, como arena, residuos de

aserrado de granito, sedimentos portuarios, perlita, hierba, residuos orgánicos, cenizas de bagazo de caña de azúcar, residuos de arcilla, residuos de vidrio y otros residuos diferentes (Demir, 2008) y (Chan, 2011). Con el fin de lograr la sostenibilidad, muchas mezclas han utilizado totalmente los residuos en la producción de ladrillos como residuos de tratamiento de residuos, residuos de granito, lodos de papel, fibras de paja, lodos de tratamiento de residuos y cenizas (Chan, 2011).

A. Experiencias con diversos materiales

La excesiva extracción de arcilla y la remoción de la capa superior del suelo han provocado un enorme agotamiento de la arcilla virgen. Por lo tanto, se ha realizado un esfuerzo notable por parte de los investigadores para producir nuevos tipos de ladrillos de arcilla elaborados a partir de diversos materiales y reducir la contaminación ambiental, con lo que se contribuye a la sostenibilidad (Chan, 2011) y (Nazira et al., 2019).

Algunos de los ladrillos se han fabricado como elementos resistentes a los sismos y con una alta resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla reforzados con fibras, fabricados con barro, cemento, piedra pómez basáltica, cal y yeso, utilizando como componentes fibrosos fibra de plástico, paja y tejido de poliestireno, cada uno a su vez (Demir, 2008) (Chan, 2011). El comportamiento de las fibras en los ladrillos de barro y los cambios de las diferentes formas geométricas de las capas de unión (Chan, 2011).

Se produjeron ladrillos a partir de arcilla-arena mezclada con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz y se quemaron en un horno durante distintos tiempos de cocción. Las duraciones de cocción a 1000°C fueron de 2, 4 y 6 horas (Demir, 2008). Los efectos de los contenidos de ceniza de cascarilla de arroz sobre el

contenido de agua de mezcla trabajable, los límites de porosidad, la contracción lineal, la densidad, la resistencia a la compresión y la absorción de agua de los ladrillos (Demir, 2008) (Chan, 2011).

El aprovechamiento potencial de los residuos de la producción de pasta de papel en los ladrillos de arcilla. Debido a la naturaleza orgánica del residuo de pulpa, la capacidad de formación de poros en el cuerpo de arcilla, se mezcló una cantidad creciente de residuo en 0, 2,5, 5 y 10 por ciento en peso con el ladrillo de arcilla cruda. Todas las muestras se cocieron a 900°C. Se identificó el efecto sobre la forma, la plasticidad, la densidad y las propiedades mecánicas (Chan, 2011).

Incluso se han utilizado restos de té procesados en ladrillos de arcilla. Los efectos de la adición de este material sobre la durabilidad y las propiedades mecánicas de los ladrillos fueron comparables en diferentes proporciones de los residuos, 0, 2,5 y 5 por ciento en peso se añadieron al ladrillo de arcilla cruda (Demir, 2008).

Por otra parte, los residuos generados en las plantas de producción de biodiésel, como la tierra de filtración de biodiésel, se han utilizado para producir ladrillos estructurales ligeros. Se mezcló al 5, 10, 15 y 20 por ciento en peso con arcilla. Los resultados de la composición química y las propiedades físicas indican que el uso de los desechos disminuyó la densidad total y aumentó la porosidad aparente. Aunque los valores de las propiedades mecánicas disminuyen, a causa del aumento de la absorción de agua y de la succión de agua, pero fueron mayores que los exigidos por las normas (Martínez García, et al., 2012).

Muchos otros han empleado vidrios reciclados de paredes de vidrio estructural hasta un 45% en peso en mezclas de arcilla. Las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla se vieron afectadas. La resistencia a la compresión alcanzada fue tan

alta como 26 a 41 MPa y la absorción de agua tan baja como 2 a 3 por ciento. Ladrillos con un contenido de vidrio del 15 al 30 por ciento en peso y cocidos a 1100°C. Cuando el contenido de residuos de vidrio era del 45 por ciento en peso, la porosidad aparente y la absorción de agua aumentaban rápidamente (Loryuenyong et al., 2009).

Otros residuos recuperados, como los lodos de las aguas residuales urbanas, el bagazo y los lodos de la fábrica de cerveza, las aguas residuales de la aceituna y el residuo del café molido, se mezclaron con la arcilla para producir ladrillos. La influencia de los residuos en las propiedades mecánicas y térmicas reveló que la incorporación de los residuos de café y de las aguas residuales de la aceituna a la arcilla era más beneficiosa, con valores de resistencia a la compresión similares a los ladrillos sin residuos y con un 19% de mejora en la conductividad térmica (Eliche Quesada et al., 2009).

Además, una tecnología para la reutilización de los residuos de papel y las cenizas de cogeneración producidas por la industria de papel en la producción de ladrillos. Los ladrillos de construcción fabricados tenían un índice de absorción de agua inferior al 15%, y una resistencia a la compresión superior a 150 kg/cm², conforme a las especificaciones pertinentes (Liaw et al., 1998).

Se produjeron ladrillos ligeros por sinterización de mezclas de lodos secos de plantas de tratamiento de aguas y residuos agrícolas con ceniza de cascarilla de arroz. Los materiales que contenían un 40% en peso de cáscara de arroz se sinterizaron a 1100°C y produjeron un material de baja densidad aparente y relativamente alta resistencia que cumplía con las normas pertinentes para su uso como ladrillos ligeros ecológicos (Chiang, Chou & Wu, 2009).

B. El futuro de los compuestos en los ladrillos

La industria del ladrillo continúa buscando medios de producción más sostenibles, como el uso de fuentes de combustible alternativas y la incorporación de contenido reciclado, con el fin de aliviar los impactos peligrosos de la emisión de gases de efecto invernadero y salvar la fuente de energía no renovable del deterioro inevitable (Campbell & Price, 2016). La industria del ladrillo ha experimentado recientemente una evolución sustancial con el lanzamiento de nuevos enfoques en la producción de ladrillos no cocidos. Desde el punto de vista económico y medioambiental, los ladrillos no cocidos se diferencian claramente de los ladrillos cocidos convencionales (Beal, 2004).

El ladrillo de arcilla sin cocer se obtiene mediante el reciclado de una escoria de alto horno granulada y triturada, activada con una lima alcalina y cemento Portland, combinada con tierra arcillosa. Este ladrillo tiene unas características mecánicas y una resistencia similares a las de las unidades de albañilería de arcilla (Chan, 2011).

Los residuos de algodón y polvo de roca caliza reciclados en la producción de un nuevo material de la construcción compuesto de bajo costo y peso ligero comprimido en moldes dentro de dos minutos a una presión que oscila entre 2 y 40 tonos, los resultados en propiedades físicas y mecánicas son similares a los ladrillos de arcilla.

Los ladrillos ecológicos basados en la tecnología de geo-polimerización son también una alternativa de futuro (BDA, 2017). El material preparado puede colocarse en un molde cilíndrico de compactación en miniatura con una compactación menor. Una máquina de compresión Geo-test con diferentes índices de carga que van de 0,5 a 30 MPa revela resultados alentadores. Los resultados muestran que los residuos de la

mina de cobre pueden utilizarse para producir ladrillos amigables con el medio ambiente basados con la tecnología de geo-polimerización (Nazira et al., 2019).

2.2.6. Uso de fibras orgánicas en la producción del ladrillo de arcilla

El aprovechamiento de los materiales en favor del medio ambiente y el ahorro de la energía son campos de investigación muy relevantes en la actualidad. Por otra parte, como resultado de las normativas ambientales, aumenta la demanda de los ladrillos de arcilla con mayor capacidad de aislamiento (Demir, 2008). La conductividad térmica es un factor determinante para el concepto de ingeniería térmica de un material aislante térmico. Una forma de potenciar la capacidad de aislamiento del ladrillo es generar porosidad en el cuerpo de arcilla (Chan, 2011). Para ello, lo más habitual es utilizar los aditivos formadores de poros de tipo orgánico.

Es viable el empleo de residuos de paja y caña, generados durante la producción de pasta kraft blanqueada, en la producción de ladrillos de arcilla. Además de la composición de los residuos, la viabilidad también depende de la porosidad y la estructura del cuerpo de arcilla. En primer lugar, la densidad del cuerpo de arcilla determina la conductividad térmica (Junge, 2000).

Los elementos formadores de la porosidad más utilizados en la fabricación de ladrillos de arcilla pueden clasificarse en dos grupos: orgánicos e inorgánicos (Demir, 2008). El serrín, el poliestireno, los lodos de papel, el carbón y el coque son algunos ejemplos de materiales orgánicos formadores de poros. Mientras que la perlita, la diatomita, son ejemplos de tipos inorgánicos de agentes formadores de poros. Los materiales orgánicos son generalmente más baratos y también tienen la ventaja de asegurar un aporte de calor al horno de cocción. Sin embargo, la emisión de CO₂ es el principal inconveniente de los formadores de poros orgánicos. Los moldeadores de la

porosidad inorgánicos tienen una menor incidencia en el medio ambiente, pero pueden modificar negativamente la plasticidad del sistema arcilloso y incrementar la cantidad de agua necesaria para mantener una plasticidad aceptable. Los residuos de productos orgánicos se utilizan ampliamente como formadores de la porosidad en la industria del ladrillo (Junge, 2000).

El aumento de la producción agrícola y el incremento de las industrias agrícolas en muchos países del mundo han dado lugar a la producción de grandes cantidades de residuos agrícolas, la mayoría de los cuales no se gestionan ni utilizan adecuadamente. Los residuos agrícolas se han utilizado para alimentar a los animales, como fertilizantes y como combustible para la producción de energía, aunque se ha trabajado poco para desarrollar la utilización de estos residuos en la producción de los materiales de construcción (Nazira et al., 2019). La necesidad de conservar los materiales de construcción tradicionales, que se están agotando, ha hecho necesaria la búsqueda de materiales alternativos como la pulpa, los residuos, el tabaco, la madera, la paja o los residuos de caña, entre otros. Debido a los altos contenidos orgánicos y valores caloríficos de estos residuos, se favorece la incineración (Demir, 2008).

Por ejemplo, los principales constituyentes químicos del serrín son el carbono 60,8%, el hidrógeno 5,19%, el oxígeno 33,83% y el nitrógeno 0,90%; la madera seca está compuesta principalmente por celulosa, lignina, hemicelulosas y cantidades menores (5-10%) de materiales extraños. La celulosa compone aproximadamente el 50% de la composición de la madera en peso. La lignina constituye del 23 al 33% de la composición de la madera en las maderas blandas y del 16 al 25% en las maderas duras. Aunque la lignina está presente en la madera en toda la pared celular, se concentra hacia el exterior de las células y entre ellas. El componente inorgánico de las materias extrañas constituye generalmente entre el 0,2 y el 1,0% de la composición de la madera,

aunque algunas veces se han registrado valores mayores. El calcio, el potasio y el magnesio son los componentes básicos más abundantes. Suelen estar presentes trazas de menos de 100 ppm de fósforo, sodio, hierro, silicio, manganeso, cobre y zinc (Horisawa et al., 1999).

Realizaron ensayos de laboratorio sobre muestras de arcilla de ladrillo con hasta un 30% de volumen de serrín y/o lodos de papelería como agentes formadores de poros. Estos agentes refuerzan la estructura del cuerpo cerámico durante el secado y contrarrestan el agrietamiento. Tras la cocción a temperaturas de hasta 92°C se obtiene una estructura cerámica altamente porosa (Ducman & Kopar, 2001).

Un parámetro importante para la producción de ladrillos de arcilla estructural es la plasticidad. Si la plasticidad es inadecuada, se desarrollan fallos de extrusión y heterogeneidades en el cuerpo de arcilla moldeado que, en consecuencia, conducen a propiedades mecánicas débiles. Se observó que el aumento de la adición de residuos al cuerpo de arcilla aumenta el contenido de agua necesario para mantener la plasticidad de la mezcla de arcilla y residuos. Se cree que la capacidad de la fibra de celulosa para absorber agua en su canal de agua naturalmente existente es la principal razón del aumento de la demanda de agua para la plasticidad (Demir, 2006).

La naturaleza fibrosa de los residuos no causa dificultades durante el proceso de mezcla y extrusión. Para ello, las fibras orgánicas de entre 25 y 50 μm de diámetro se dispersan uniformemente en la masa sin cocer (Nazira et al., 2019). El secado es la etapa más importante del proceso de fabricación de ladrillos. Durante el secado pueden aparecer pequeñas grietas que provocan un fallo durante la cocción. La tensión de secado aumenta a medida que aumenta la contracción y el cuerpo de arcilla es más susceptible de agrietarse (Demir, 2008).

La evolución completa de los gases, que indican que los residuos orgánicos se queman debido a la combustión, es la principal dificultad cuando se añaden residuos orgánicos al cuerpo de arcilla (Demir, 2008). Como resultado de la cocción del residuo orgánico en la mezcla, la pérdida al encendido aumentó con el incremento de la adición de residuos. Sin embargo, el aumento de la contracción por secado no es tan grande como el cambio en la plasticidad. La contracción por secado de las muestras que contienen residuos es mayor que la de las muestras fabricadas únicamente con arcilla para ladrillos (Chan, 2011).

El aumento del residuo en el cuerpo de la arcilla aumenta el contenido de agua necesario para mantener la plasticidad de la mezcla de arcilla y residuos. Sin embargo, la naturaleza hueca y absorbente de las fibras orgánicas estabiliza hasta cierto punto el comportamiento de secado del cuerpo de arcilla a pesar del aumento de la demanda de agua con la adición de fibras orgánicas (Demir, 2008). Hay un aumento lineal del secado y de la contracción total a medida que aumenta la cantidad de material de desecho en la mezcla (Chan, 2011).

Tabla 2

Propiedades tecnológicas de los ladrillos cocidos con añadidos orgánicos

Propiedades mecánicas	Propiedades tecnológicas de las muestras			
	0%	2.5%	5.0%	10%
Plasticidad				
Serrín	26	29	33	38.5
Residuos de tabaco	29.5	36.9	42	
Hierba	29.2	35.5	41.3	

Contracción de secado (Sd %.)				
Serrín	3.8	4.3	5.0	6.3
Residuos de tabaco	4.4	5.1	6.5	
Hierba	4.2	5.0	6.4	
Contracción total (St) %*				
Serrín	4.1	4.9	5.8	7.4
Residuos de tabaco	5.0	5.9	7.5	
Hierba	4.9	5.8	7.4	
LOS %				
Serrín	8.7	10.4	11.5	12.6
Residuos de tabaco	14.2	16.1	19.2	
Hierba	12.7	14.6	17.4	

Fuente: Elaboración propia a partir de Chan (2011).

Los elementos orgánicos pueden quemarse por completo del cuerpo de la arcilla en las primeras etapas y en un rango bastante amplio, de 200 a 600 °C. El contenido energético de los residuos debe compensarse con las crecientes exigencias energéticas del proceso de secado. Las mayores demandas de consumo de energía son el resultado de las mayores exigencias de agua para la formación de los ladrillos (Chan, 2011). Los datos de densidad, absorción de agua, densidad relativa y porosidad aparente se muestran en la tabla (Demir, 2008); (Chan, 2011); (Nazira et al., 2019) y (Hamid et al, 2021).

Tabla 3*Propiedades físicas de los ladrillos cocidos con añadidos orgánicos*

Propiedades mecánicas	Proporción de materia orgánica en mezcla			
	0%	2.5%	5.0%	10%
Densidad aparente (g/cm ³)				
Serrín	1.80	1.56	1.45	1.35
Residuos de tabaco	1.53	1.47	1.42	-
Hierba	1.55	1.46	1.43	-
Porosidad aparente (% vol.)				
Serrín	30.0	33.4	37.5	42.2
Residuos de tabaco	33.2	36.4	41.3	-
Hierba	33.6	36.7	41.8	-
Densidad aparente (g/cm ³)				
Serrín	2.42	2.21	2.14	1.98
Residuos de tabaco	2.18	1.90	1.86	
Hierba	2.20	2.10	1.92	
Absorción de agua (% en peso)				

Serrín	16.65	21.40	25.80	31.25
Residuos de tabaco	21.85	24.70	29.10	-
Hierba	21.65	25.10	29.21	-

Fuente: Elaboración propia a partir de Chan (2011).

La presencia de restos orgánicos provoca una reducción de la densidad aparente. La razón fundamental de esta trayectoria es la combustión de los residuos orgánicos durante el periodo de la sinterización. La densidad aparente desciende al no agregar elementos orgánicos. Ante nuevas adiciones de residuos, de más de 2.5% sólo se provoca una ligera reducción adicional. Por otra parte, la porosidad y la capacidad de absorción de agua aumentan (Chan, 2011) y (Hamid et al, 2021)

Podemos resumir en pocas palabras los efectos que la adición de residuos orgánicos provoca en el ladrillo de arcilla cocida (Demir, 2008); (Nazira et al., 2019) y (Hamid et al, 2021)

- Aumenta el contenido de agua requerido para la extrusión.
- La naturaleza fibrosa de los residuos no crea problemas durante el moldeo si se utilizan hasta un 10%.
- La contracción de secado de la masa de arcilla aumenta fuertemente, además del efecto esperado de estabilización de las fibras de celulosa, principalmente debido al alto contenido de agua. Una adición de residuos superior al 10% resulta inapropiada debido a la excesiva contracción de secado.
- A pesar de que la contracción por el secado ha aumentado mucho, las adiciones de residuos orgánicos han aumentado considerablemente la resistencia en seco de las muestras de arcilla.

- La resistencia a la compresión de las muestras cocidas disminuye con la adición de residuos. No obstante, los valores siguen estando por encima de lo requerido.
- Los residuos orgánicos se consumen fácilmente del cuerpo de la arcilla durante la cocción.
- Los residuos orgánicos pueden ser utilizados eficazmente para la formación de poros hasta un 5% de adición de residuos en peso; una adición mayor no es muy efectiva para disminuir la densidad aparente del cuerpo de arcilla.
- Los residuos aumentan la porosidad abierta y disminuyen la densidad aparente; este efecto puede mejorar las propiedades de aislamiento térmico.
- Los residuos orgánicos pueden utilizarse como un tipo de añadido formador de poros en el cuerpo de arcilla sin ningún efecto perjudicial sobre los demás parámetros de fabricación de los ladrillos.

2.2.7. Construcción con ladrillo

El ladrillo de construcción, llamado ladrillo común, se utiliza principalmente como material estructural o como soporte de acabados, donde la resistencia y la durabilidad son importantes. Las especificaciones de los ladrillos están directamente relacionadas con la durabilidad y la resistencia a la intemperie (Costigan & Pavía, 2010). Los tamaños y formas de las unidades de albañilería han proliferado en los últimos 5.000 años para cumplir las distintas normas regionales y requisitos de diseño en todo el mundo (Villasante Sanchez, 2000).

La demanda de la industria de la construcción ha incrementado el número de forma sustancial. La tendencia en el desarrollo de diferentes tamaños de ladrillos ha sido hacia la coordinación modular y las dimensiones ligeramente mayores de los ladrillos de arcilla y los bloques de hormigón (Treviño Treviño et al., 2019).

El ladrillo hueco es una de las distinciones tradicionales entre las diferentes mamposterías de arcilla (Costigan & Pavía, 2010). Durante los años 70, en el mundo se desarrollaron nuevas normas para los ladrillos huecos con una superficie central mayor que la permitida hasta entonces para el ladrillo, pero menor que la permitida para otros componentes de arcilla como las tejas.

Esto impulsó la experimentación como medio efectivo para reducir el peso y los costes de producción de esas grandes unidades. Estos ladrillos huecos, que en un principio se producían y comercializaban con diferentes nombres y especificaciones, están ahora clasificados internacionalmente en las normas ASTM.

Ofrecen una considerable economía en la velocidad y la construcción de muros de mampostería, manteniendo el atractivo estético de los sistemas convencionales. En general, se utilizan en paredes y tabiques donde el color y la textura no son una consideración y se permite una mayor variación de tamaño. El ladrillo hueco se utiliza para la construcción de interiores y exteriores de forma muy parecida a la del ladrillo macizo (MYPE, 2010).

En cambio, los ladrillos de uso especial cumplen muchas tareas en la arquitectura y la industria. Los ladrillos refractarios, por ejemplo, se utilizan en las chimeneas, los hogares y los hornos. La arcilla con la que se producen tiene un punto de fusión mucho más alto que el de la arcilla común. Mientras que los ladrillos vidriados se cocinan con recubrimientos cerámicos que se funden con el cuerpo de arcilla en el horno y producen una superficie impermeable en acabado transparente o de color, mate o brillante (Villasante Sanchez, 2000).

2.3. Bases Normativas

2.3.1. Reglamentación técnico-normativa

A. Norma técnica NTP E.070 Albañilería

La norma NTP E.070 Albañilería (2006) establece los mínimos requerimientos de análisis y diseño de diversos materiales en la construcción para su adecuado control de calidad y su inspección en las obras de edificación que utilicen albañilería principalmente en los casos que implementen muros de tipo confinado y muros de tipo armado.

La norma indica que los principios establecidos en la misma con respecto a las características físico-mecánicas y la resistencia de los materiales deben ser considerados para el diseño de las estructuras en las construcciones así también la norma establece las dimensiones mínimas de análisis cálculo y diseño.

Esta norma establece que el ladrillo es la unidad que puede ser manipulada con una mano y cuyo material principal es la arcilla, la sílice cal o el concreto así también establece que pueden ser elaboradas de forma artesanal o bajo procesos industriales.

La norma establece una tabla en la que Define los tipos de ladrillo estructurales

Tabla 4

Clase de ladrillo para uso estructural

Clase	Variación de dimensión						Alabeo mm	Resistencia compresión Mpa (kg/cm ²)
	Hasta	100	Hasta	150	Hasta	150		
	mm		mm		mm			

Ladrillo I	+/- 8	+/- 6	+/- 4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	+/- 7	+/- 6	+/- 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	+/- 5	+/- 4	+/- 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	+/- 4	+/- 3	+/- 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	+/- 3	+/- 2	+/- 1	2	17.6 (180)
Bloque P	+/- 4	+/- 3	+/- 2	4	4.9 (50)
Bloque NO	+/- 7	+/- 6	+/- 4	8	2.0 (20)

Fuente: NTP E.070 Albañilería (2006)

Así también establece una tabla con los límites para el uso de este tipo de albañilería.

Tabla 5

Limitación de ladrillo para uso estructural

Tipo	Zona Sísmica 2 y 3		Zona Sísmica 1
	Muro portante ≥ 4 pisos	Muro portante < 4 pisos	Muro portante
L. Artesanal	No	Hasta 2 pisos	Sí
L. Industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Sí	Sí	Sí
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

Fuente: Norma Técnica E.070 Albañilería (2006)

B. Norma técnica ITINTEC NTP 331.019

La norma ITINTEC 331.019 (1982), indica que al ladrillo de arcilla cocida usado en la albañilería para ello indica que está se utiliza para la construcción de muros a disposición por conveniencia y que debe cumplir los requerimientos para asegurar su durabilidad y resistencia. Se indica que para lotes con una cantidad de 50 mil ladrillos se realiza una secuencia de ensayos de tipo A y 2 de tipo B para los grupos adicionales de 100 mil ladrillos. El ensayo que se ejecuta es el llamado de módulo de rotura, succión y eflorescencia. La norma indica en forma general el proceso de su ejecución.

C. Norma técnica ITINTEC NTP 331.018

La norma ITINTEC 331.018 (1982), establece cuál es el método de ensayo que permite la evaluación y determinación de los cambios en las dimensiones, la resistencia a la compresión, el módulo de rotura, el nivel de absorción que puede considerarse máxima, la densidad del ladrillo, el coeficiente de saturación succión y eflorescencia. Así pues, define también lo que es un aparato la muestra el procedimiento de expresión de resultados entre otros. Establece también que las medidas deben de estar dadas en mm e indica el vínculo con otras de las normas para la correcta práctica del ensayo.

D. Norma técnica NTP 331.017

La norma ITINTEC 331.017 (2015) establece los requisitos de las unidades de ladrillo unidad principal para la albañilería y es una versión revisada de la anterior del 1978. La norma contiene definiciones de los componentes de ladrillo como la arcilla su versión de arcilla refractaria las dimensiones para la fabricación y las dimensiones denominadas efectivas así también como la definición de los diferentes tipos de ladrillos sólido perforado tubular por último Define también a la compresión nominal y clasifica los ladrillos por tipos en su uso dependiendo de la resistencia a la compresión

que se solicitó. la muestra los requisitos de resistencia de los diferentes tipos contemplados.

Tabla 6

Resistencia mínima por tipo de ladrillo

Tipo	Resistencia a la compresión mínima con respecto al área bruta promedio, MPa	
	Para una media de cinco ladrillos	Para un ladrillo
Tipo 21: Alta resistencia	21	17
Tipo 17: Resistencia moderada	17	15
Tipo 14: Uso general	14	10
Tipo 10: Uso general	10	8

Fuente: NTP 331.017 (2015)

E. Norma técnica NTP 399.613

En la norma NTP 399.613 (2005) nos habla de los métodos de muestreo y los procedimientos para realizar los ensayos en ladrillos de arcilla cocida en mampostería. Así en la norma se determina la forma de tomar el peso en los ladrillos secados y enfriados, indicando las condiciones de la cámara que deberían estar entre 24 +/- 8 grados centígrados y una humedad relativa que va del 30 al 70%. La norma indica que se debe tener un mínimo de 4 horas de enfriamiento en el que la temperatura puede diferir en 2.8 grados centígrados del suelo o superficie. Donde están asentados los ladrillos antes de tomar el peso. Las aproximaciones del peso se dan con una variación

de 0.5g. El mínimo de unidades de muestra para evaluar la calidad debe ser de 5 ladrillos las cuales se someten a ensayo.

La norma también especifica la forma de hacer el ensayo de flexión o módulo de rotura la resistencia a la compresión, cómo medir la absorción, cómo hacer las pruebas de congelamiento, cómo medir la succión y la eflorescencia. La norma también indica las medidas que deben tomarse y los aparatos que deben utilizarse para los ensayos en cuanto a sus especificaciones mínimas.

El procedimiento dado por la norma indica que para realizar los ensayos sobre ladrillo este se debe hacer sobre su mayor dimensión de la cara dónde se aplica la profundidad de ladrillo. Debe estar hecha en un punto central de apoyo con un margen de 2 mm. Mientras que la máquina de ensayo debe satisfacer las métricas internacionales del ASTM E4 El bloque de contacto debe ser de metal con una superficie circular y debe estar endurecido para que se minimice el desgaste de las placas la dureza no debe ser menor a 60 HRC.

En caso de que la distancia sea mayor a la esperada se puede utilizar una plancha de acero aplanada que tengo una tolerancia de 0.03 mm y un espesor que sea un tercio de la longitud que existe entre el extremo del apoyo esférico y la esquina más lejana del ladrillo aprobar. En este sentido la norma también indica que no existe una velocidad esperada y que está debe ser informe y se recomienda que sea aplicado en entre 1 a 2 minutos.

El cálculo de la resistencia se hace con la fórmula dada a una aproximación de 0.01 MPa.

$$C = W/A$$

Donde:

C es la resistencia a la compresión, MPa

W es la: máxima carga en N, indicada por la máquina de ensayo

A es el área bruta media de las superficies de contacto (superior e inferior en mm²)

F. Norma técnica NTP 339.604

La norma NTP 339.604 (2002) establece los métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. Describe los métodos de selección de las muestras de ladrillos, así como también la cantidad de los mismos que deben ser obtenidos y Qué diferencia de las cinco unidades mínimas de los ladrillos de arcilla está requiere 12 unidades para cada lote de más de 10 mil ladrillos producidos. La norma también describe las mediciones y los requerimientos mínimos de los aparatos para la realización de las pruebas Cómo el ensayo de compresión la absorción el procedimiento de secado y otras mediciones brutas y de equivalencia.

G. Norma técnica NTP 399.605

La norma NTP 399.608 (2013) establece los métodos de ensayo que permiten determinar la resistencia a la compresión en estructuras llamadas prismas de albañilería. Se establecen los requerimientos mínimos y las fórmulas de cálculo para la prueba de prismas de albañilería que se obtienen de muestras eliminadas en obras de este tipo de método constructivo. La norma describe el procedimiento de construcción de los prismas que pueden ser sólidos huecos, huecos rellenos, unidades huecas, unidades huecas con concreto de tipo líquido o prismas de múltiples capas con relleno. Se indica las medidas y las porciones de los prismas y sus rellenos, así como el proceso de obtención transporte y su curado. También se establecen las formas de medición de su área neta y de su refrentado.

La norma indica entre los procedimientos para el cálculo de la resistencia el tipo de dispositivos de ensayo Cómo se coloca el prisma en la máquina para ensayo Cómo determinar la carga que observaciones obtener, así como los cálculos y las fórmulas necesarias para la corrección de los mismos. Finalmente se presenta la estructura mínima del informe los detalles de precisión y de sesgo en las mediciones.

H. Norma técnica NTP 399.621

La norma NTP 399.621 (2004) aborda los métodos utilizados para la obtención de la resistencia a la compresión diagonal en muretes de albañilería. La norma define los equipos necesarios, la máquina de ensayo y las escuadras de carga que se deben utilizar para la ejecución de este ensayo. La norma también especifica la forma, el tamaño, la cantidad de muestras, el curado y los requerimientos de la unidad de albañilería y del concreto líquido a utilizarse; así como los procedimientos para la colocación de las escuadras de la muestra, los instrumentos y las aplicaciones de la carga con la máquina. Finalmente, entre los cálculos detalla el esfuerzo cortante la fórmula de la deformación angular del módulo de rigidez. Finalmente, especifica los requerimientos mínimos del informe.

2.3.2. Conflicto de Intereses

La investigación no presenta ningún tipo de conflicto de intereses ni se utilizan especies o materiales que mantenga algún tipo de impacto negativo para el ambiente.

2.4. Definición de términos

Las definiciones relevantes para el entendimiento de la investigación se enlistan como:

- Albañilería o Mampostería: Es una estructura que se compone de unidades de albañilería o también denominados ladrillos que se encuentran asentadas por

mortero o apiladas en cuyo caso son juntadas usando concreto líquido (NTP E.070 Albañilería, 2006).

- **Aparato:** Constituye cualquier tipo de máquina que se emplea en el desarrollo de un ensayo en laboratorio como los ensayos de compresión y debe estar provista de los elementos mínimos que la normativa recomienda (ITINTEC 331.018, 1978).
- **Arcilla:** Se refiere a un agregado de tipo mineral que puede ser terroso o pétreo y que en esencia está constituido por silicatos de aluminio hidratados tiene una consistencia plástica cuando se le humedece y pulveriza lo suficiente. Además, mantiene su rigidez estando seca y se encuentra vítrea Cuando es quemada a temperaturas cercanas a los 1000 grados centígrados (ITINTEC 331.017, 2015).
- **Dimensiones de fabricación:** Estas son las medidas adoptadas por Quién fabrica o produce la unidad de albañilería o ladrillo (ITINTEC 331.017, 2015).
- **Dimensiones efectivas:** Son las medidas obtenidas por la medición directa de la unidad de albañilería o ladrillo (ITINTEC 331.017, 2015).
- **Dimensiones nominales:** Estas son las medidas obtenidas por lo que establece la normativa técnica peruana en la designación del tamaño de los ladrillos (ITINTEC 331.017, 2015).
- **Grout:** También es denominado concreto líquido y es un tipo de concreto que puede no puede tener agregado grueso y mantiene una consistencia fluida para que pueda ser diseminado entre los ladrillos (NTP E.070 Albañilería, 2006).
- **Ichu:** Es una planta gramínea reconocible por su tallo en forma de Caña que llega hasta los 80 cm de largo con plumas translúcidas y con abundante floración es conocida por el de nombre *Stipa Ichu* (Reynel, 2012).

- Ladrillo de arcilla cocida: Esta es una de las unidades de albañilería que es producida utilizando la arcilla el esquisto arcilloso y otras sustancias terrosas de similar consistencia que ocurren de manera natural. Esta unidad se encuentra conformada por el moldeado prensado extrusión y sometida a un proceso llamado quema que garantiza su cocción a altas temperaturas. Este último tratamiento pretende desarrollar una cantidad de enlaces de origen térmico entre las partículas para así lograr la resistencia y la duración que la normativa establece (ITINTEC 331.017, 2015).
- Muestra: Es una cantidad definida de unidades de albañilería secos enteros que se encuentran en una etapa específica sobre la que se va a probar el ensayo (ITINTEC 331.018, 1978).
- Mortero: Este es un material que se utiliza para la adhesión en el sentido horizontal o vertical de los ladrillos o unidades de albañilería. (NTP E.070 Albañilería, 2006)
- Muro portante: Es un tipo de muro que ha sido diseñado y cuya construcción permite la transmisión de cargas en sentido vertical y horizontal de un Nivel hacia el inferior. Dichos muros son componentes estructurales de una edificación de mampostería y deben tener una continuidad en sentido vertical (NTP E.070 Albañilería, 2006).
- Resistencia a la compresión: Se establece como la proporción entre la carga de rotura a compresión de una unidad de albañilería y su sección bruta (ITINTEC 331.017, 2015).
- Resistencia a la compresión nominal: Se establece como el valor referido en la normativa y utilizado como la designación de ladrillo (ITINTEC 331.017, 2015).

- Unidad de albañilería hueca: Este ladrillo mantiene un corte transversal realizado en cualquier plano paralelo a su lado de mayor superficie o de asiento cuya equivalencia de área es menor al 75% del área bruta medida en el mismo plano. (NTP E.070 Albañilería, 2006; ITINTEC 331.017, 2015).
- Unidad de albañilería sólida: También denominada como la unidad de albañilería maciza En la que un corte en cualquier plano paralelo a su lado de mayor superficie o de asiento tiene una equivalencia igual o mayor al 75% de su área bruta medida en el mismo plano. (NTP E.070 Albañilería, 2006; ITINTEC 331.017, 2015).
- Unidad de mampostería: También conocida como la unidad de albañilería se refiere a los ladrillos o bloques de arcilla cocida de sílice cal o de concreto las cuales pueden ser tubulares alveolares huecas o sólidas. (NTP E.070 Albañilería, 2006; ITINTEC 331.017, 2015).

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

La hipótesis general de la investigación es:

Existe una relación significativa entre la variación de forma e inclusión de Ichu y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

2.5.2. Hipótesis específicas

Las hipótesis específicas probadas son:

- Existe una relación significativa entre la variación de forma y la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.
- Existe una relación significativa entre la inclusión de Ichu y la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

2.6. Variables

2.6.1. Definición conceptual de la variable

A. Ichu añadido en ladrillo

El *Ichu* o *Stipa Ichu* es una planta de la familia de las gramíneas cuyos tallos tienen una forma de cañas de entre 25 a 80cm de longitud, cuyas laminas foliares son ásperas y carentes de pelos. Con una panícula de entre 15 a 30cm, que es sedosa y provista de abundante floración; mientras que sus translúcidas glumas son de 6 a 8mm (Reynel, 2012)

B. Forma de ladrillo

La forma del ladrillo, conocido también unidad de albañilería maciza, define su forma sólida por el área de material en un plano de corte, paralelo a su base, de más de 75% y ahuecada como un área menor al 75% (ITINTEC 331.017, 2015). Para fines del estudio se elaboró un ladrillo sólido y uno ahuecado (de 4 pares de huecos paralelos), cuyas características son visibles en la Figura 3 (siguiente página).

C. Resistencia a la compresión

Es el valor de razón entre la carga de rotura a compresión de una unidad de albañilería (ladrillo) y su sección bruta (ITINTEC 331.017, 2015).

2.6.2. Definición operacional de la variable

A. Ichu añadido en ladrillo

Originalmente concebida como una variable cuantitativa transformada a una variable ordinal para poder contar con 3 categorías de porcentaje de Ichu añadido. Cada categoría presenta una dosificación de Ichu agregado en medida relativa al peso del ladrillo en la mezcla inicial con una aproximación de 0.1%.

Las categorías de porcentaje de Ichu añadido en la mezcla del ladrillo son:

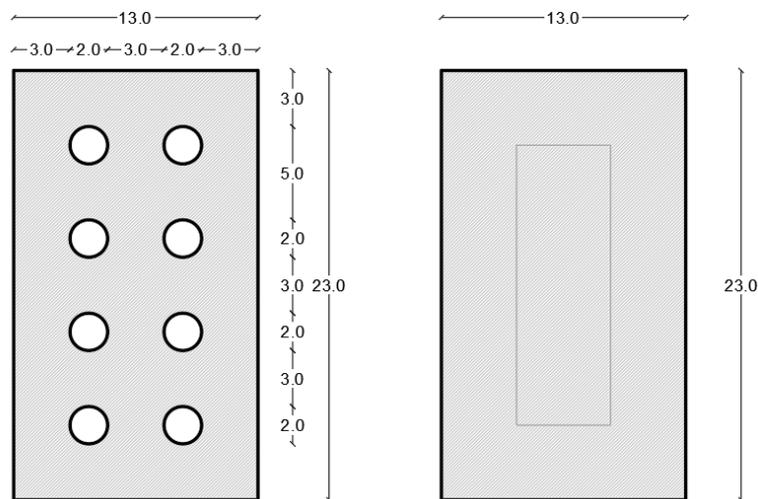
- 0% de Ichu relativo al peso de la mezcla inicial será utilizado.
- 2.5% de Ichu relativo al peso de la mezcla inicial será utilizado.
- 5% de Ichu relativo al peso de la mezcla inicial será utilizado.

B. Forma de ladrillo

Variable cualitativa nominal que presenta una forma de ladrillo, siendo una sólida y la otra ahuecada con el fin de su comparación. Su indicador principal se denomina Forma de ladrillo y puede tener los valores de:

- Sólido: Ladrillo con una sección de corte paralelo a la base de acuerdo a la norma ITINTEC 331.017 (2015).
- Ahuecado: Ladrillo con una sección de corte paralelo con huecos generados de 4 pares paralelos de acuerdo a la norma ITINTEC 331.017 (2015).

Figura 3

Dimensiones de ladrillo hueco y sólido

Fuente: Elaboración propia.

C. Resistencia a la compresión

Variable cuantitativa continua cuya medición se obtiene de la prueba de ensayo.

Resistencia a la compresión: Su medición directa se reportará en kg/cm².

3. CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de Investigación

Se usó como método general el método científico. El cual permite, a través de pasos ordenados y bien definidos la prueba de una hipótesis con evidencia estadística (Hernández et al, 2014). Al ser un experimento, el método específico es el cuantitativo, teniendo como variable principal la medición de la fuerza de compresión.

3.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo básica. Este tipo de investigaciones permiten la adición de nuevo conocimiento que servirá para desarrollar soluciones aplicadas futuras (Hernández et al, 2014). La presente investigación genera nuevo conocimiento sobre la fabricación de ladrillos usando un material renovable. La identificación de la variación de la resistencia a la compresión resultante del experimento permite comprender como la adición del Ichu y la modificación de la forma contribuyen con esta variable.

3.3. Nivel de la investigación

La investigación tiene un nivel explicativo. Para Hernández et al (2014), este nivel permite entender la incidencia directa o indirecta de unas variables sobre otras. La relación numérica entre las mismas suele revelarse con el uso de experimentos. En la investigación esta se hace a través de la comparación de 8 muestras cuyos factores permiten la identificación causal.

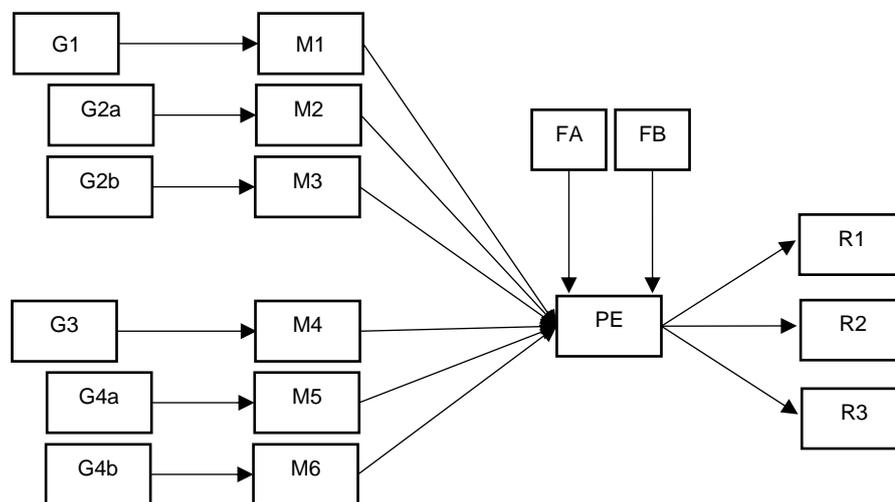
3.4. Diseño de la investigación

El diseño es experimental usando grupos de control. Para Hernández et al (2014), este diseño permite comparar los resultados obtenidos de una variable dependiente habiendo modificado las variables independientes. De esta forma se puede reconocer la incidencia de los cambios sobre la variable de estudio.

El diseño de la presente investigación se representa gráficamente en la Figura 3:

Figura 4

Esquema del diseño de investigación.



Donde:

G1: Grupo de control 1 (ladrillo sin cambio de forma o sin Ichu añadido o 0%)

G2a: Grupo con Ichu añadido 2.5%

G2b: Grupo con Ichu añadido 5.0%

G3: Grupo de control 2 (ladrillo hueco, sin Ichu añadido o 0%)

G4a: Grupo de ladrillo hueco con Ichu añadido 2.5%

G4b: Grupo de ladrillo hueco con con Ichu añadido 5.0%

M1 a M6: Muestras de 20 elementos cada una

FA: Factor variable porcentaje de Ichu añadido (0%, 2.5%, 5%)

FB: Forma de ladrillo (Sólido, con hueco)

PE: Prueba estadística ANOVA de dos factores (0%, 2.5%, 5.0%, por Sólido, con hueco).

R1: Relación de diferencia entre grupos por factor A (adición de Ichu añadido)

R2: Relación de diferencia entre grupos por factor B (forma de ladrillo)

R3: Relación de diferencia entre grupos por factor A y factor B (A:adición de Ichu añadido y B:forma de ladrillo) al mismo tiempo.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población de estudio

La población se define para cada grupo con las características definidas de arcilla, porcentaje hueco de ladrillo y el porcentaje de Ichu añadido. Las poblaciones definidas son:

- P1: Población de ladrillos sólidos de arcilla cocida producidos en la ladrillera Rodríguez.
- P2: Población de ladrillos sólidos con Ichu añadido 2.5%, producidos en la ladrillera Rodríguez.
- P3: Población de ladrillos sólidos con Ichu añadido 5%, producidos en la ladrillera Rodríguez.
- P4: Población de huecos de arcilla cocida, producidos en la ladrillera Rodríguez.
- P5: Población de ladrillos huecos con Ichu añadido 2.5%, producidos en la ladrillera Rodríguez.
- P6: Población de ladrillos huecos con Ichu añadido 5%, producidos en la ladrillera Rodríguez.

3.5.2. Muestra

Una muestra constituye un porcentaje representativo de la población, en ciertos casos, su tamaño puede ser definido a conveniencia para asegurar los resultados de un experimento (Hernández et al, 2014). El tipo de muestreo utilizado es no aleatorio intencional a conveniencia del investigador, representando un porcentaje representativo de la producción semanal de la Ladrillera Rodríguez.

El tamaño de muestra estimado es de 5% del lote de fabricación semanal por cada muestra. El lote semanal está compuesto de una cantidad media de 400 ladrillos. Siendo 20 el 5% de la misma. En total las muestras M1 a M6 conforman 120 ladrillos.

3.5.3. Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión: Los ladrillos serán sometidas a condiciones similares controladas de fabricación, porcentaje de agua y arcilla recolectada del mismo depósito natural. Solo se contabilizarán las muestras de ladrillo adecuadamente manipulados durante todo el proceso.

Criterios de exclusión: Los ladrillos considerados adecuados para la muestra dañados por manipulación o efectos de acciones externas como golpes, accidentes o moldeado no serán contabilizados.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada es la recolección de datos es la observación directa. Para Hernández et al (2014), el método es altamente recomendado para una recolección objetiva de datos. En la presente investigación, los datos de medición de la resistencia a la compresión se obtendrán directamente de los alcanzados usando la prensa hidráulica calibrada.

3.7. Procesamiento de la información

3.7.1. Procedimientos estadísticos descriptivos

Se utilizarán medidas de tendencia central y dispersión agrupados por factores para describir los resultados obtenidos. Los medios en tablas y gráficos permitirán mostrar los datos de forma objetiva. Se utilizarán escalas gráficas iguales y comparativas agrupadas.

3.7.2. Procedimientos estadísticos diferenciales

Se utilizará la prueba de ANOVA para dos factores con la intención de comparar las diferencias medias entre grupos por factor de adición de Ichu añadido, la diferencia entre grupos por factor de forma de ladrillo y la diferencia entre grupos por los factores de Ichu añadido y forma de ladrillo al mismo tiempo.

Se aplicaron pruebas post-hoc de Tukey para la identificación de diferencias específicas entre grupos. Permitiendo emparejas las muestras y esclarecer la relación de las variables Forma y Proporción de Ichu añadido sobre la resistencia a la compresión axial del ladrillo producido.

3.8. Técnicas y análisis de datos

Para la tabulación y generación de tablas y gráficos estadísticos descriptivos se ejecutaron usando el software estadístico IBM SPSS v26.0

Para la aplicación de las pruebas de hipótesis con ANOVA de 2 factores y las pruebas post hoc de Tukey se ejecutaron usando el software estadístico IBM SPSS v26.0.

4. CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados generales

A continuación, se presentan los resultados obtenidos después de la ejecución de las pruebas de resistencia a la fuerza de compresión, las que fueron tabuladas y procesadas usando el software estadístico IBM SPSS v26.

4.1.1. Estadísticos descriptivos por grupo

La tabla muestra los estadísticos descriptivos de tendencia central de posición y de variación tomados a partir de las pruebas de resistencia a la compresión para una muestra de 120 ladrillos divididas en dos grupos iguales por forma de ladrillo sólido o ladrillo hueco. Cada subgrupo fue dividido a su vez en tres el primero siendo un grupo de control sin Ichu añadido el segundo un grupo con 2.5% de Ichu añadido y el tercero con 5% de Ichu añadido, constituyendo 20 ladrillos por cada uno de los grupos experimentales. Los resultados se presentan de esta forma puesto cada uno de los grupos presenta indicadores con valores diferenciados.

Tabla 7

Estadísticos descriptivos para la resistencia a la compresión por forma de ladrillo y por porcentaje de Ichu añadido

Variable	Forma	Porcentaje de Ichu añadido	N	Media	Mediana	Desviación Estandar	Varianza
Resistencia a kg/cm ²	L. Sólido	0	20	21.8057	21.592	2.6393	6.9658
		2.5	20	23.3657	22.9214	1.9076	3.6388
		5	20	37.0324	37.1806	1.7445	3.0433
	L. con Hueco	0	20	24.5375	25.7625	3.1054	9.6435
		2.5	20	51.0102	51.1421	1.3974	1.9527
		5	20	43.1145	43.2207	2.5897	6.7066

Variable	Forma	Porcentaje de Ichu añadido	RIC	Rango	Mínimo	Máximo	Asimetría
Resistencia a kg/cm ²	L. Sólido	0	3.5025	10	17.7258	27.7258	0.4004
		2.5	2.6003	7.0201	20.1438	27.1639	0.4543
		5	2.9975	5.097	34.5184	39.6154	-0.0566
	L. con Hueco	0	4.1973	9.5619	18.7625	28.3244	-0.5704
		2.5	2.3687	4.0669	49.0234	53.0903	-0.0543
		5	4.5686	8.0535	38.6154	46.6689	-0.2197

Variable	Forma	Porcentaje de Ichu añadido	Curtosis	Q1	Q2	Q3
Resistencia a kg/cm ²	L. Sólido	0	-0.1816	19.9431	21.592	23.4457
		2.5	-0.5611	22.0276	22.9214	24.6279
		5	-1.4446	35.4891	37.1806	38.4866
	L. con Hueco	0	-0.8522	22.5059	25.7625	26.7032
		2.5	-1.4445	49.9331	51.1421	52.3018
		5	-1.2967	41.0176	43.2207	45.5861

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

La mayor resistencia alcanzada en el ladrillo sólido se da con el 5% de Ichu añadido, llegando al 37.03 kg/cm². Mientras que en el ladrillo hueco la mayor resistencia se da con el 2.5% de Ichu añadido, alcanzando en 51.01 kg/cm². La distribución de la resistencia a la compresión es más simétrica en el caso del 5.0% de Ichu añadido para el ladrillo sólido, con -0.057 como coeficiente de asimetría. Mientras que en el ladrillo hueco se conservan la asimetría al 2.5% de fibra añadida, con -0.054 en su coeficiente de asimetría.

En cuanto al rango de variación el que presenta un mayor rango en el ladrillo sólido es la mezcla con Ichu añadido en 0% siendo de 10 kg/cm². Mientras que para el ladrillo hueco el mayor rango también se da con el 0% de Ichu añadido alcanzando un nuevo punto 56 kg/cm². Por otro lado, el valor de resistencia mínima se da para el ladrillo sólido con un 0% de Ichu añadido de 17.73 kg/cm². Mientras que el valor máximo se da para el 5% de hecho añadido con un 39.62 kg/cm². En cuanto al ladrillo hueco la menor resistencia alcanzada se da un 0% de hecho añadido alcanzando 18.76 kg/cm²; y un máximo de resistencia alcanzado de 53.09 kg/cm² para una mezcla de Ichu añadido de 2.5%.

En cuanto a la distribución cuartílica el 75% de los ladrillos sólidos con 0% Ichu añadido alcanzaron menos de 23.45 kg/cm², Con una Ichu añadido de 2.5% El 75% de los ladrillos sólidos alcanzó una resistencia menor a 24.63 kg/cm², y con un 5% de Ichu añadido el 75% de los ladrillos sólidos se alcanzó una resistencia menor a 38.49 kg/cm².

Para el ladrillo hueco con una mezcla de 0% de Ichu añadido, el 75% de los ladrillos alcanzó una resistencia menor a 26.70 kg/cm². Para una mezcla de 2.5% de Ichu añadido, el 75% de 2 ladrillos alcanzó una resistencia menor a 52.31 kg/cm².

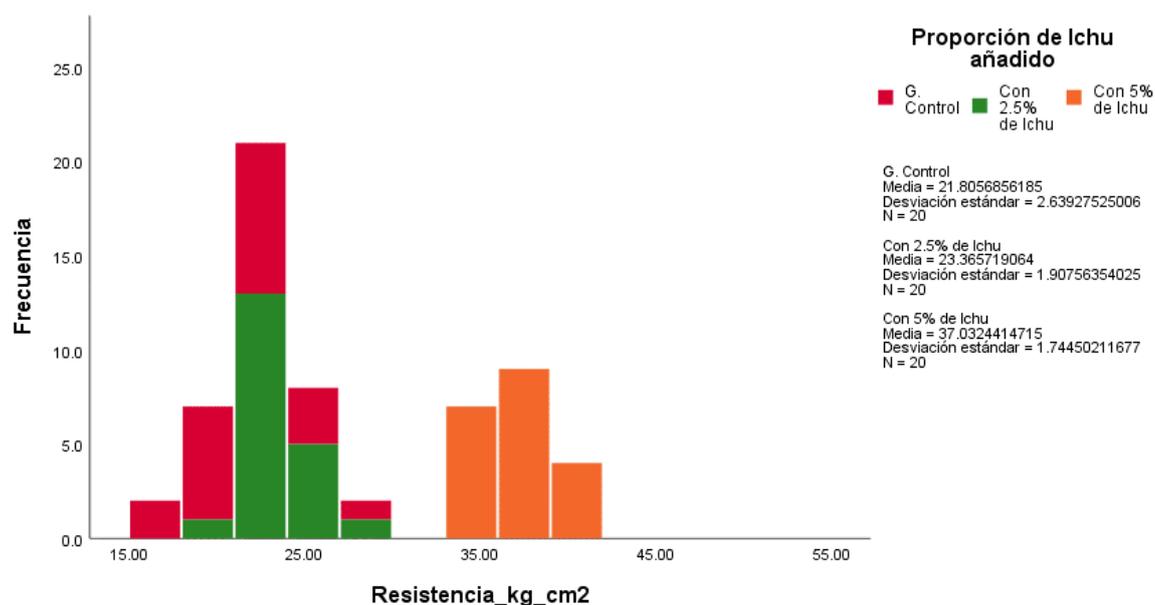
Mientras que en los ladrillos con 5% de Ichu añadido, el 75% de los ladrillos tuvo una resistencia menor a 45.59 kg/cm².

4.1.2. Resultados por factor de Forma del sólido de ladrillo

A continuación, se presentan las formas gráficas de distribución de la resistencia a la compresión alcanzadas para la forma de ladrillo sólida.

Gráfico 1

Histograma apilado de resistencia a la compresión por proporción de Ichu añadido para ladrillos sólidos



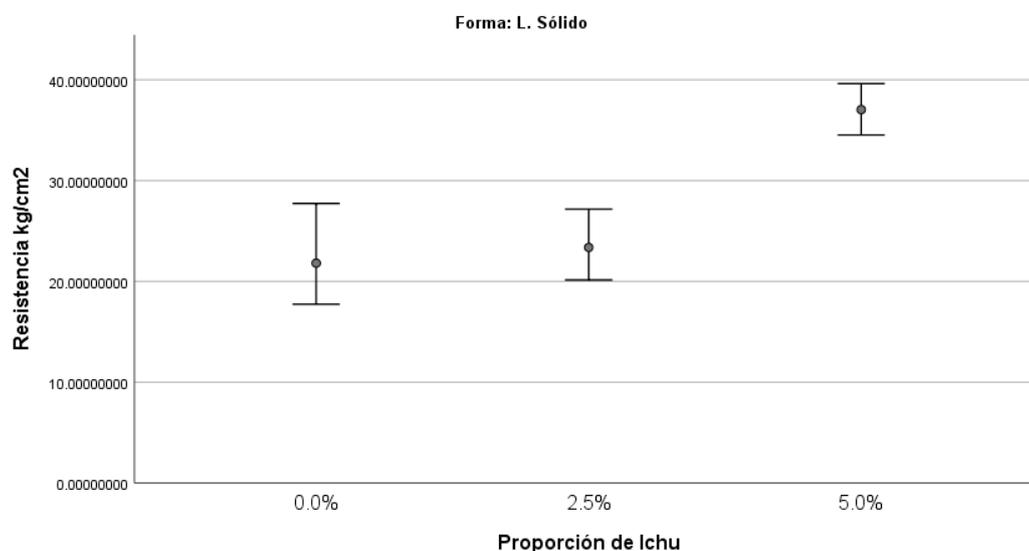
Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

El gráfico muestra que la distribución de la resistencia alcanzada por el grupo de control de los ladrillos sólidos se sitúa hacia la izquierda con una menor resistencia que los otros dos grupos el grupo seguido es el de 2.5% de Ichu añadido que se sitúa hacia la parte central de la resistencia total. La posición de ambos grupos el de grupo de control y el de 2.5% de Ichu añadido tienen una asimetría ligeramente negativa cuando se les observa de forma individual. De forma diferenciada se encuentra el grupo

con 5% de Ichu añadido, el que se sitúa hacia la derecha. Así la resistencia media alcanzada por el grupo de control el grupo de 2.5 de Ichu añadido y el de 5% de Ichu añadido son de 21.81 Kg/cm² 23.37 kg/cm² y 37.03 kg/cm² correspondientemente.

Gráfico 2

Máximos y mínimos de resistencia a la compresión por proporción de Ichu añadido para ladrillos sólidos



Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

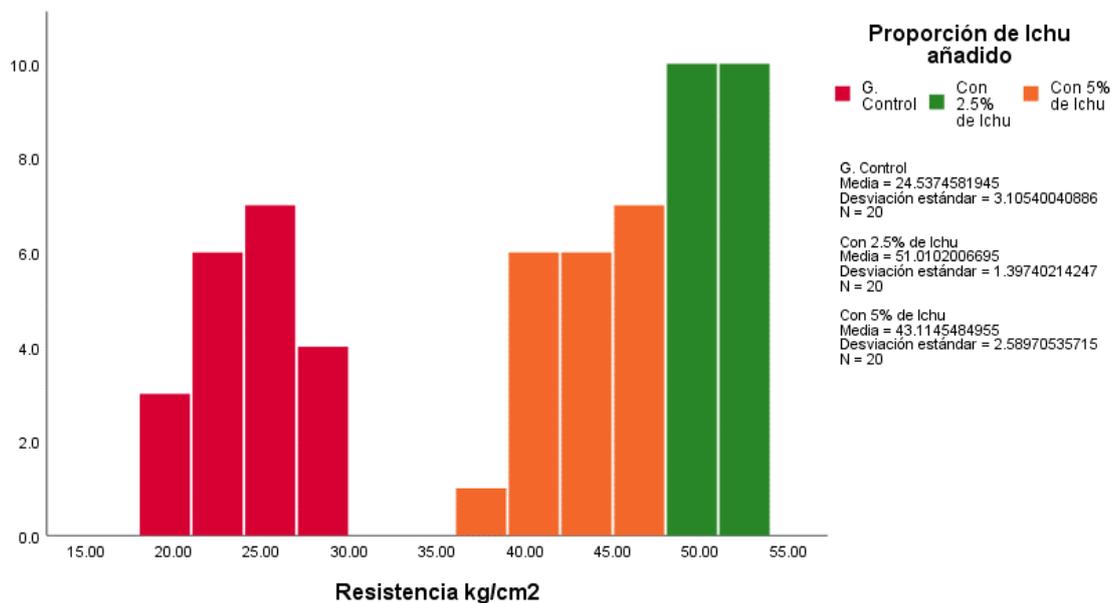
En cuanto a los valores máximos y mínimos alcanzados y la media del grupo de ladrillos sólidos, en el gráfico de mínimos y máximos se distingue que el de mayor rango es el grupo de control mientras que en el grupo de 2.5% de Ichu añadido existe un rango intermedio y en menor rango se da en el grupo de 5% de Ichu añadido. Esto permite decir que el grupo con mayor homogeneidad de datos y con la mayor resistencia es notoriamente el grupo con 5% de Ichu añadido entre los ladrillos de forma sólida.

4.1.1. Resultados por factor de Forma hueca del ladrillo

A continuación, se presentan las formas gráficas de distribución de la resistencia a la compresión alcanzadas para la forma de ladrillo hueco.

Gráfico 3

Histograma apilado de resistencia a la compresión por proporción de Ichu añadido para ladrillos hueco

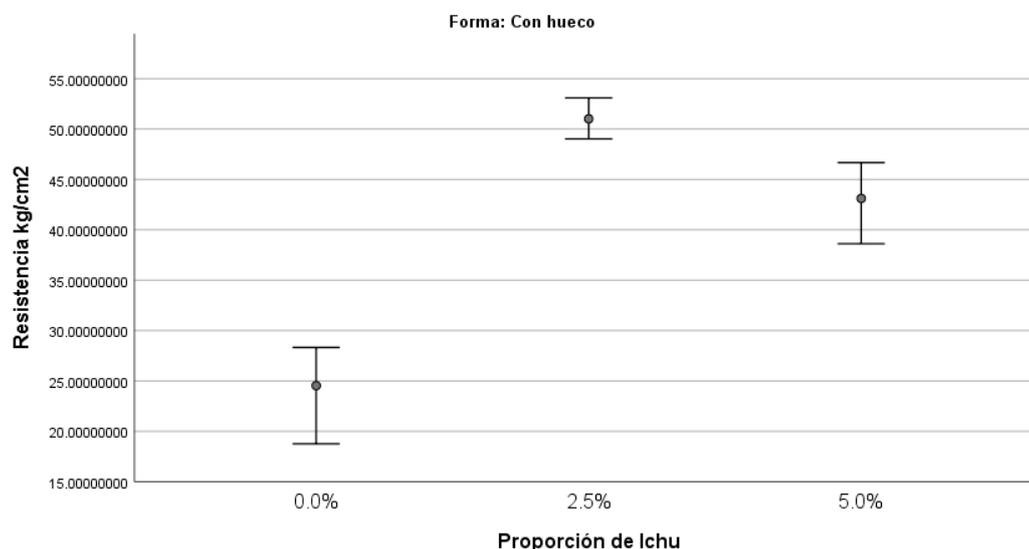


Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

La distribución de la resistencia de los ladrillos con hueco varía significativamente de la resistencia alcanzada en los ladrillos sólidos. En estos el grupo de control se sitúa hacia la izquierda entre 20 y 30 kg/cm² con la menor resistencia alcanzada. Mientras que el grupo con 5% de Ichu añadido se sitúan hacia la parte centro derecha alcanzando entre aproximadamente 35 y 50 kg/cm². De forma notoria en la resistencia mayor de los ladrillos se da en el grupo con 2.5% de Ichu añadido. Para los grupos de control el grupo de 2.5% de Ichu añadido y el de 5% de Ichu añadido, las medias de la resistencia alcanzadas son de 24.54 kg/cm² 51.01 kg/cm² y 43.11 kg/cm² correspondiente.

Gráfico 4

Máximos y mínimos de resistencia a la compresión por proporción de Ichu añadido para ladrillos huecos



Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

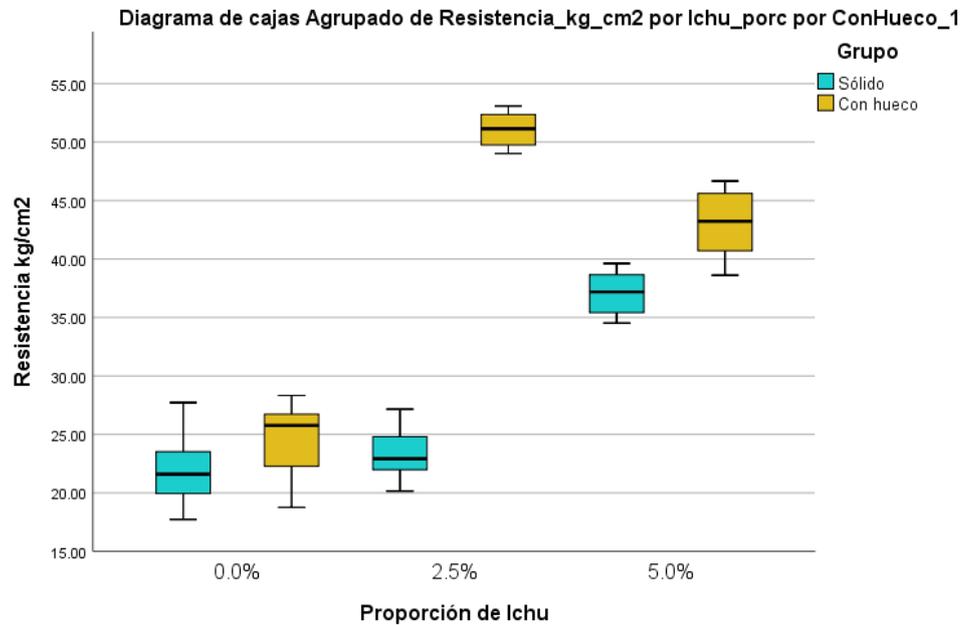
En el gráfico de mínimos y máximos se observa una distribución mucho más diferenciada que entre los ladrillos sólidos siendo la de mayor Rango de alcanzada por el grupo de control con la menor resistencia entre los ladrillos huecos seguida por el grupo de 5% de Ichu añadido y por último la más homogénea de menor rango y con la más alta resistencia se encuentra al 2.5% de Ichu añadido estos resultados son altamente diferenciados de los del ladrillo sólido.

4.1.2. Resultados por ambos factores

A continuación, se presenta la distribución de la resistencia agrupada por ambos factores. Para una presentación adecuada se muestran los gráficos de cajas y los gráficos de mínimos y máximos agrupados.

Gráfico 5

Gráfico de cajas resistencia a la compresión por forma por proporción de Ichu añadido

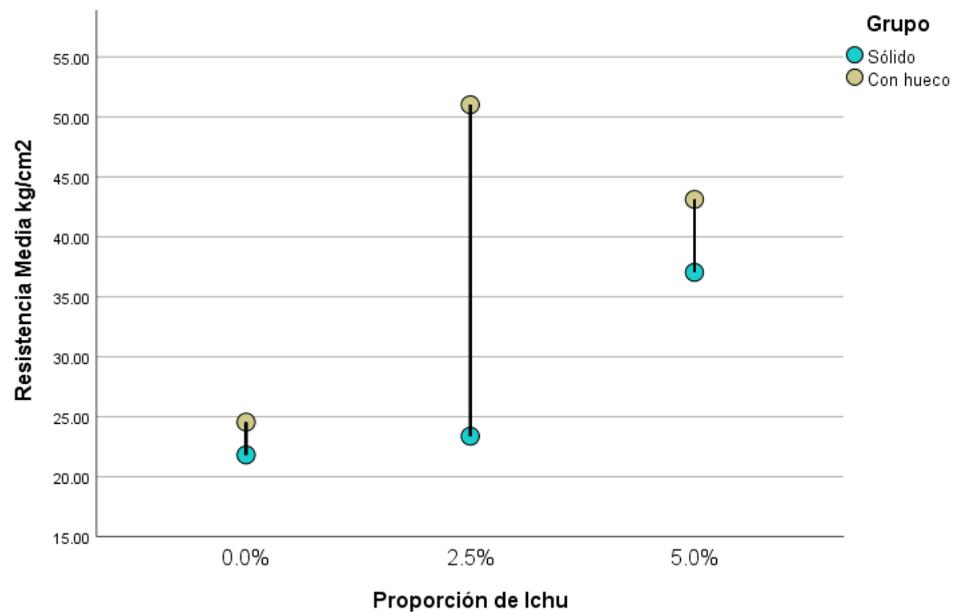


Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

En cuanto a la comparación de los gráficos de cajas agrupados por Ichu añadido y por la forma de ladrillo se identifica claramente que para el ladrillo Sólido y para el ladrillo hueco la menor resistencia alcanzada se da en el cero en el grupo de control mostrando una mayor variación en el ladrillo hueco que en el sólido con una asimetría más positiva en el ladrillo Sólido y más negativa en el ladrillo hueco. También se ve una similitud en el grupo con 5% de Ichu añadido entre ladrillo sólido y el ladrillo hueco con un ligero incremento de la resistencia para el ladrillo con hueco y además de una menor dispersión en el ladrillo sólido. Finalmente, la diferencia más notable se da entre el ladrillo Sólido y el ladrillo con hueco para el grupo de 2.5% de Ichu añadido en el que el ladrillo sólido tiene una baja resistencia y el ladrillo con huecos y llega a una gran resistencia que supera los 50 kg/cm².

Gráfico 6

Media de resistencia a la compresión por forma por proporción de Ichu añadido

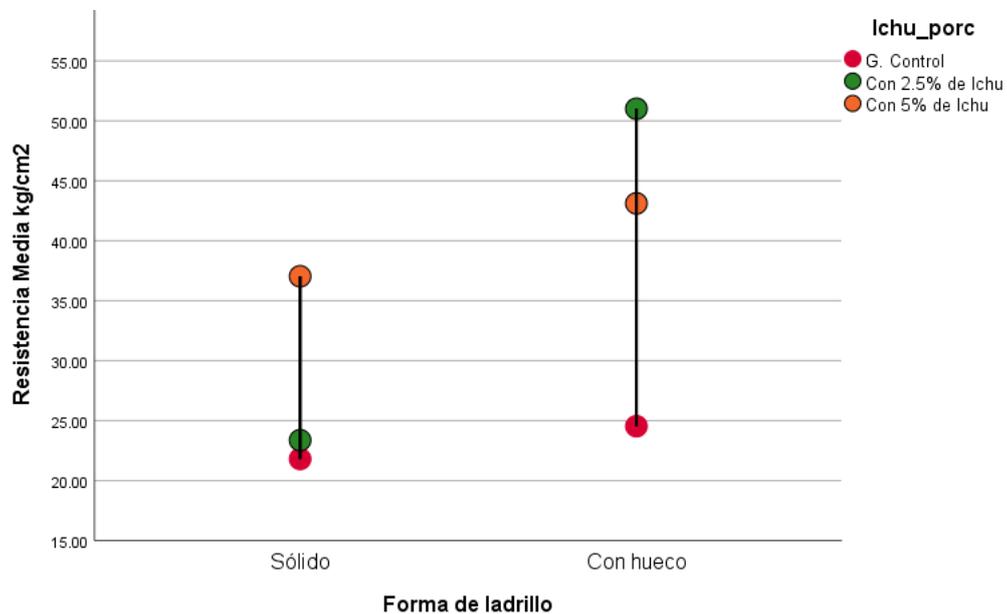


Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

Al comparar los puntos medios entre los grupos de ladrillos sólidos y el grupo de ladrillos con huecos se distingue una amplia diferencia para los ladrillos que se encuentran en el grupo de 2.5% de Ichu añadido seguido por la diferencia alcanzada en el grupo del 5% de fibras añadido y finalmente el grupo de control con la menor diferencia alcanzada entre los dos tipos de ladrillo por forma.

Gráfico 7

Media de resistencia a la compresión por Ichu añadido por forma



Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

Cuando la comparación se realiza por el porcentaje de Ichu añadido el menor alcanzado será por los grupos de control. Sin embargo, se mantiene alejada para el grupo de ladrillos sólidos, siendo en este grupo la más alejada el grupo de 5% de Ichu añadido, y la más cercana al valor del grupo de control, el que utilizó el 2.5% de hecho añadido. En cuanto a los ladrillos con hueco, la mayor distancia de la media del grupo de control se da en el grupo de 2.5% de Ichu añadido, seguido por el grupo de 5% de Ichu añadido. La diferencia se distingue bastante significativa en la variación del grupo con 2.5% de Ichu añadido para los ladrillos con hueco.

4.2. Pruebas de hipótesis

4.2.1. Hipótesis específica 1 – Modelo Forma del ladrillo

Ho: La variación de forma no altera la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

Ha: Existe una relación significativa entre la variación de forma y la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

$$H_0: \mu_{L. \text{ sólido}} = \mu_{L. \text{ con hueco}}$$

$$H_a: \mu_{L. \text{ sólido}} \neq \mu_{L. \text{ con hueco}}$$

$$\text{Valor crítico de prueba} = 0.05$$

Tabla 8

Resultado global de prueba ANOVA – Forma del ladrillo

Grupo	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p	η^2
Forma del ladrillo	4430.707	1	4430.707	832.04	<.0001	0.2909

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

La tabla muestra los resultados parciales de la prueba de ANOVA de dos vías para la variable nominal Forma del ladrillo, obteniendo un valor F de 832.04 con una significancia $p < 0.0001$ y una medida de efecto η^2 (eta-cuadrado) de 0.2909, que indica un efecto bajo. Ya que el valor de p es menor al valor crítico de 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que: Existe una relación significativa entre la variación de forma y la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

Tabla 9*Prueba post-hoc de Tukey – Forma de Ladrillo*

Grupos	Diferencia de Medias	EE	gl	t	p	d de Cohen
L. Sólido – L. con Hueco	-12.1528	0.4213	114	-28.8451	<.0001	-5.2664

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

Al identificarse diferencias entre grupos, se procedió a realizar la prueba post hoc de Tukey para comparar las medias emparejadas entre grupos. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa entre la resistencia alcanzada por los ladrillos sólidos y los ladrillos con hueco de 12.15 kg/cm² en favor de los ladrillos con hueco, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -5.2664.

4.2.2. Hipótesis específica 2 – Modelo: Proporción de Ichu añadido

Ho: La inclusión de Ichu no altera la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

Ha: Existe una relación significativa entre la inclusión de Ichu y la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

$$H_0: \mu_{\text{Ichu } 0\%} = \mu_{\text{Ichu } 2.5\%} = \mu_{\text{Ichu } 5\%}$$

$$H_a: \mu_{\text{Ichu } 0\%} \neq \mu_{\text{Ichu } 2.5\%} \text{ ó } \mu_{\text{Ichu } 0\%} \neq \mu_{\text{Ichu } 5\%} \text{ ó } \mu_{\text{Ichu } 2.5\%} \neq \mu_{\text{Ichu } 5\%}$$

$$\text{Valor crítico de prueba} = 0.05$$

Tabla 10

Resultado global de prueba ANOVA – Proporción de Ichu añadido

Grupo	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	P	η^2
Proporción de Ichu Añadido	6539.4726	2	3269.7363	614.022	< .0001	0.4293

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

La tabla muestra los resultados parciales de la prueba de ANOVA de dos vías para la variable ordinal Ichu añadido, obteniendo un valor F de 614.02 con una significancia $p < 0.0001$ y una medida de efecto η^2 (eta-cuadrado) de 0.4293, que indica un efecto medio. Ya que el valor de p es menor al valor crítico de 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que: Existe una relación significativa entre la inclusión de Ichu y la resistencia a la compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

Tabla 11

Prueba post-hoc de Tukey – Proporción de Ichu añadido

Grupos	Diferencia de Medias	EE	gl	t	p	d de Cohen
G. control 0.0% – 2.5%	-14.01464	0.5160	114	-27.1636	< .0001	-6.0740
G. control 0.0% – 5.0%	-16.9019	0.5160	114	-32.7557	< .0001	-7.3244
2.5% - 5.0%	-2.8855	0.5160	114	-5.5921	< .0001	-1.2504

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

Al identificarse diferencias entre grupos, se procedió a realizar la prueba post hoc de Tukey para comparar las medias emparejadas entre grupos, en los se encontraron diferencias significativas entre todos los grupos.

Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre los ladrillos con 0% de Ichu añadido y los ladrillos con 2.5% de Ichu

añadido hueco de 14.01 kg/cm² en favor del segundo grupo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -6.0740.

Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre los ladrillos con 0% de Ichu añadido y los ladrillos con 5% de Ichu añadido hueco de 16.91 kg/cm² en favor del segundo grupo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -7.32.

Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre los ladrillos con 2.5% de Ichu añadido y los ladrillos con 5% de Ichu añadido hueco de 2.89 kg/cm² en favor del segundo grupo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -1.2504.

4.2.3. Prueba de hipótesis general

Ho: La variación de forma e inclusión de Ichu no altera la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

Ha: Existe una relación significativa entre la variación de forma e inclusión de Ichu y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

$$H_0: \mu_{\text{Ichu } 0\%} = \mu_{\text{Ichu } 2.5\%} = \mu_{\text{Ichu } 5\%}$$

Ha: $\mu_{\text{L Sólido con Ichu } 0\%} \neq \mu_{\text{L Sólido con Ichu } 2.5\%}$ ó $\mu_{\text{L Sólido con Ichu } 0\%} \neq \mu_{\text{L Sólido con Ichu } 5\%}$ ó $\mu_{\text{L Sólido con Ichu } 0\%} \neq \mu_{\text{L Hueco con Ichu } 0\%}$ ó $\mu_{\text{L Sólido con Ichu } 0\%} \neq \mu_{\text{L Hueco con Ichu } 5\%}$... (Al menos uno de los pares combinados es distinto)

$$\text{Valor crítico de prueba} = 0.05$$

Tabla 12*Resultado global de prueba ANOVA 2 factores – Factores combinados*

Modelo	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p	η^2
Modelo global	14626.1923	5	2925.2385	549.3289	< .0001	
Forma del ladrillo * Proporción de Ichu Añadido	3656.0127	2	1828.0063	343.2803	< .0001	0.24

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

La tabla muestra los resultados del modelo global de la prueba de ANOVA de dos vías, obteniendo un valor F de 549.33, con una significancia $p < 0.0001$, lo que significa que se hallaron diferencias entre los factores de forma independiente y forma combinada. Por otro lado, la prueba de ANOVA de dos vías para la combinación de variable Forma del Ladrillo en combinación con la variable Ichu añadido, obteniendo un valor F de 343.28, con una significancia $p < 0.0001$, y una medida de efecto η^2 (eta-cuadrado) de 0.24, que indica un efecto bajo. Ya que el valor de p es menor al valor crítico de 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que: Existe una relación significativa entre la variación de forma e inclusión de Ichu y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021.

Tabla 13*Resultado global de prueba ANOVA 2 factores – Factores combinados*

Prueba de homogeneidad	Estadístico	gl1	gl2	p
Levene's	2.1971	5	114	0.0594

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

La prueba de homogeneidad de varianzas de Lavene, alcanza un coeficiente de 2.1971, y un valor p de 0.0594, siendo mayor que el valor crítico de 0.05, se determina que las varianzas entre grupos son homogéneas.

Tabla 14

Resultado global de prueba ANOVA 2 factores – Factores combinados

Prueba	Estadístico	p
Shapiro-Wilk	0.9881	0.3776
Kolmogorov-Smirnov	0.059	0.7973

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

La prueba de Shapiro-Wilk presenta un W de 0.9881 con un valor p de 0.3776, al ser mayor al valor crítico de 0.05, se puede determinar que los grupos cumplen con una distribución normal. Para la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un D de 0.059 y un valor p de 0.7973, al ser mayor al valor crítico de 0.05, se puede determinar que la resistencia a la compresión medida cumplen con una distribución normal. Las medidas de resistencia a la compresión cumplen con el supuesto de normalidad, por lo que no se requirió efectuar correcciones en la prueba de ANOVA de dos factores.

Tabla 15

Prueba post-hoc de Tukey – Comparaciones de ambos factores

Grupos	Diferencia de Medias	EE	gl	t	p	d de Cohen
L. Sólido*0.0% - L. Sólido*2.5%	-1.56	0.7297	114	-2.1378	0.0347	-0.676
L. Sólido*0.0% - L. Sólido*5.0%	-15.2268	0.7297	114	-20.8662	< .0001	-6.5985
L. Sólido*0.0% - L. con Hueco*0.0%	-2.7318	0.7297	114	-3.7435	0.0003	-1.1838
L. Sólido*0.0% - L. con Hueco*2.5%	-29.2045	0.7297	114	-40.0208	< .0001	-12.6557

L. Sólido*0.0% - L. con Hueco*5.0%	-21.3089	0.7297	114	-29.2009	< .0001	-9.2341
L. Sólido*2.5% - L. Sólido*5.0%	-13.6667	0.7297	114	-18.7284	< .0001	-5.9224
L. Sólido*2.5% - L. con Hueco*0.0%	-1.1717	0.7297	114	-1.6057	0.1111	0.5078
L. Sólido*2.5% - L. con Hueco*2.5%	-27.6445	0.7297	114	-37.883	< .0001	-11.9796
L. Sólido*2.5% - L. con Hueco*5.0%	-19.7488	0.7297	114	-27.0631	< .0001	-8.5581
L. Sólido*5.0% - L. con Hueco*0.0%	12.495	0.7297	114	17.1227	< .0001	-5.4147
L. Sólido*5.0% - L. con Hueco*2.5%	-13.9778	0.7297	114	-19.1546	< .0001	6.0572
L. Sólido*5.0% - L. con Hueco*5.0%	-6.0821	0.7297	114	-8.3347	< .0001	-2.6357
L. Hueco*0.0% - L. con Hueco*2.5%	-26.4727	0.7297	114	-36.2773	< .0001	-11.4719
L. Hueco*0.0% - L. con Hueco*5.0%	-18.5771	0.7297	114	-25.4574	< .0001	-8.0503
L. Hueco*2.5% - L. con Hueco*5.0%	7.8957	0.7297	114	10.8199	< .0001	3.4216

Fuente: Elaboración propia en base a resultados obtenidos con SPSS v26

Al identificarse diferencias entre grupos, se procedió a realizar la prueba post hoc de Tukey para comparar las medias emparejadas entre grupos, en los que se encontró diferencias significativas entre casi todos los grupos, estas diferencias se describen en orden de intensidad del efecto:

1. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 0% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 2.5% de Ichu añadido de 29.2045 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -12.6557. Esta representa la mayor diferencia entre la resistencia alcanzada entre las configuraciones experimentadas de ladrillo.

2. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 2.5% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 2.5% de Ichu añadido de 27.6445 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -11.9796.
3. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo hueco con 0% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 2.5% de Ichu añadido de 26.4727 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -11.4719.
4. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 0% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 5% de Ichu añadido de 21.3089 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -9.2341.
5. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 2.5% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 5% de Ichu añadido de 19.7488 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -8.5581.
6. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo hueco con 0% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 5% de Ichu añadido de 18.5771 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -8.0503.
7. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 0% de Ichu añadido y el ladrillo sólido con 5% de Ichu añadido de 15.2268 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -6.5985.

8. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 2.5% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 5% de Ichu añadido de 13.9778 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de 6.0572.
9. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 2.5% de Ichu añadido y el ladrillo sólido con 5% de Ichu añadido de 13.6667 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -5.9224.
10. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 5% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 0% de Ichu añadido de 12.495 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -5.4147.
11. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo hueco con 2.5% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 5% de Ichu añadido de 7.8957 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de 3.4216.
12. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 5% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 5% de Ichu añadido de 6.0821 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue <0.0001, con un efecto de -2.6357.
13. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 0% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 0% de Ichu añadido de 2.7318 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue 0.0003, con un efecto de -1.1838.

14. Se identificó que existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 0% de Ichu añadido y el ladrillo sólido con 2.5% de Ichu añadido de 1.56 kg/cm² en favor del segundo tipo, el valor p de esta comparación emparejada fue 0.0347, con un efecto de -0.676.
15. Se identificó que no existe una diferencia promedio significativa en la resistencia alcanzada entre el ladrillo sólido con 2.5% de Ichu añadido y el ladrillo hueco con 0% de Ichu añadido de solo 1.1717 kg/cm², el valor p de esta comparación emparejada fue 0.1111, con un efecto de 0.5078.

5. CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

Siguiendo el orden de presentación de los objetivos y las pruebas de hipótesis, así como los mas resaltantes alcances, se concluye:

- Se concluye que la variación de la forma del ladrillo, entre ladrillo sólido y hueco altera la resistencia a la compresión alcanzada. Aunque la diferencia media de la resistencia entre los grupos de control para ambas formas fue de apenas 2.73 kg/cm², en favor del ladrillo hueco y puede considerarse significativa. Para el ladrillo sólido se obtuvo una resistencia media de 21.80 kg/cm², similar a los 21.55 kg/cm², obtenido por Limay & Vásquez (2019), pero altamente divergente de los resultados obtenidos por Phonphuak (2017), cuyo proceso de fabricación y condiciones ambientales difieren significativamente.
- Se concluye que la variación del porcentaje de fibra de Ichu añadido altera la resistencia a la compresión alcanzada. Mientras que la conducta es similar a las descritas por Phonphuak (2017), Limami et al. (2021) y Arunraj et al (2019), en las que se obtiene una mejora de las características físico mecánicas del ladrillo con bajas adiciones de componentes orgánicos y se inicia un descenso de la resistencia al añadirse altos porcentajes de los mismos. El porcentaje más alto alcanzado en la resistencia se logra al añadir 5% de fibra de Ichu al ladrillo sólido y 2.5% de fibra de Ichu al ladrillo hueco, cantidad coincidente con los estudios mencionados.

- Se concluye que la variación de la forma del ladrillo y la adición de fibra de Ichu, en forma conjunta, altera la resistencia a la compresión alcanzada. La resistencia media más alta se da en el ladrillo hueco a 2.5% de adición de fibra de Ichu con 51.01 ± 1.40 kg/cm², similar a la alcanzada por Limay & Vásquez (2019) que fue de 51.73 kg/cm². Por otro lado, la resistencia media más baja se atribuye al ladrillo sólido del grupo de control con 21.81 ± 2.64 kg/cm².

Se concluye que la adición de componentes orgánicos como la fibra de Ichu y la modificación de la forma del ladrillo son métodos viables para la obtención de un ladrillo de calidad que puede ser ampliamente utilizado en la construcción, pues mejoran su resistencia a la compresión y la diversidad de oferta del producto terminado. En este sentido se puede decir que la adición de la fibra de Ichu en un 2.5% de la mezcla para un ladrillo hueco no solo mejora su resistencia, sino que reduce la variabilidad del mismo, siendo la desviación estándar alcanzada de esta combinación de ± 1.40 kg/cm² frente a ± 3.11 kg/cm² del ladrillo hueco sin fibra y ± 2.64 kg/cm² del ladrillo sólido sin fibra.

RECOMENDACIONES

Producto de la investigación se listan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda utilizar los alcances obtenidos por la presente investigación en el desarrollo de nuevas aplicaciones, ya sean productos de tesis o proyectos de investigación independientes, puesto que se evidencia el importante rol que la introducción de la fibra de Ichu en la mezcla del ladrillo puede tener en la mejora del producto artesanal.
- Se recomienda la exploración de otras propiedades mecánicas del ladrillo y bajo distintos tipos de arcilla y condiciones atmosféricas para poder tener un entendimiento más detallado de las propiedades que pueden obtenerse de la adición de fibras orgánicas en la mezcla del ladrillo.
- Se recomienda el desarrollo de procedimientos estándares mínimos para la industria ladrillera artesanal que permita el desarrollo de mejores prácticas, la generación de mezclas bajo dosificaciones adecuadas que incorporen residuos y/o material orgánico como la fibra de Ichu, estudiado en la presente investigación.
- Se recomienda a la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño iniciar con la producción gradual de ladrillo que usen fibras orgánicas como Ichu para la producción de ladrillos huecos a una dosis del 2.5% de la mezcla inicial y se pueda implementar esta variante del producto para su valoración económica a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amrhein, J. & Porter, M. (2009). Reinforced Masonry Engineering (6a ed.). Washington: International Code Council
- Arunraj, E., Vincent Sam Jebadurai, S., Daniel, C., Shelton, J., & Hemalatha, G. (2019). Experimental Study on Compressive Strength of Brick Using Natural Fibres. International Journal of Engineering, 32(6), 799-804.
<https://doi.org/10.5829/ije.2019.32.06c.01>
- BDA (2017). The UK Brickmaking Process. Londres: Brick Development Association.
- Beal, C. (2004). Masonry Detail and Designing. Nueva York: McGraw-Hill.
- Campbell, J. & Price, W. (2016). Ladrillo: Historia universal. Barcelona: Blume.
- Chan, C. (2011). Effect of Natural Fibres Inclusion in Clay Bricks: Physico-Mechanical Properties. World Academy of Science, Engineering and Technology, Open Science Index 49, International Journal of Civil and Environmental Engineering, 5(1), 7-13.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1331783>
- Chiang, K., Chou, K., & Wu, C. (2009). Novel Lightweight Building Bricks Manufactured from Water Treatment Plant Sludge and Agricultural Waste. Journal of Residuals Science & Technology, 6.
- Costigan, A., & Pavía, S. (2010). Mechanical properties of clay brick masonry bound with hydraulic limes and hydrated calcium lime.

- Demir, I. (2006). An investigation on the production of construction brick with processed waste tea. *Building and Environment*, 41, 1274-1278. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.004>.
- Demir, I. (2008). Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks. *Waste management*, 28, 622-7. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.03.019>.
- Ducman, V. & Kopar, T. (2001). Sawdust and paper-making sludge as pore-forming agents for lightweight clay bricks. *Industrial Ceramics*, 21, 81-86. https://www.technagroup.it/industrial_ceramics/view_articles/volume_21_2001/issue_no_2/sawdust_and_paper-making_sludge_as_pore-forming_agents_for_lightweight_clay_bricks
- Eliche-Quesada, D., Martínez García, C., Martínez Cartas, M., Cotes Palomino, M., Pérez Villarejo, L., Cruz Pérez, N. & Corpas Iglesias, F. (2011). The use of different forms of waste in the manufacture of ceramic bricks. *Applied Clay Science*, 52(3), 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.03.003>
- Hamid, N., Kadir, A., Hashar, N., Hashim, A., Sarani, N., & Hassan, M. (2021). Effect of different heating rate on properties of fired brick produced from industrial waste and natural clay. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 880.
- Horisawa, S., Sunagawa, M., Tamai, Y., Matsuoka, Y., Tohru Miura, T. & Terazawa, M. (1999). Biodegradation of nonlignocellulosic substances: physical and chemical properties of sawdust before and after use as artificial soil. *Journal of Wood Science* 45, 492–497. <https://doi.org/10.1007/BF00538959>
- ITINTEC 331.018 (1982). Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Perú.

ITINTEC 331.019 (1982). Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Perú.

Jayasinghe, C. (2007). Comparative Performance of Burnt Clay Bricks and Compressed Stabilized Earth Bricks and Blocks. *Engineer*, 40, 33-40. <https://doi.org/10.4038/engineer.v40i2.7137>.

Junge, K. (2000). Additives in the brick and tile industry. *Ziegelindustrie International* 8 (12), 25–39.

Kummer, N. (2010). *Albañilería*. Barcelona: Gustavo Gili.

Liaw, C., Chan, H., Hsu, W. & Hang, C. (1998). A novel method to reuse paper sludge and cogeneration ashes from paper mill. *Journal of Hazardous Materials*, 58, 93–102. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(97\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(97)00123-4)

Limami, H., Manssouri, I., Cherkaoui, K., & Khaldoun, A. (2021). Mechanical and physicochemical performances of reinforced unfired clay bricks with recycled Typha-fibers waste as a construction material additive. *Cleaner Engineering and Technology*, 2, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100037>

Limay, E., & Vásquez, H. (2019). Resistencia a compresión del ladrillo de arcilla con adición de Ichu (*Stipa Ichu*) (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte. <http://hdl.handle.net/11537/21089>

Loryuenyong, V., Panyachai, T., Kaewsimork, K. & Siritai, C. (2009). Effects of recycled glass substitution on the physical and mechanical properties of clay bricks. *Waste Management*, 29, 2717– 2721. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.015>

- Lourenço, P., Fernandes, F. & Castro, F. (2010) Handmade Clay Bricks: Chemical, Physical and Mechanical Properties, *International Journal of Architectural Heritage*, 4:1, 38-58, DOI: 10.1080/15583050902871092
- Martínez García, Eliche Quesada, D., Pérez-Villarejo, L. Iglesias-Godino, F. & Corpas-Iglesias, F. (2012). Sudge valorization from wastewater treatment plant to its application on the ceramic industry. *Journal of Environmental Engineering*, 95, 5343-5348. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.016>
- MYPE (2010). Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales. Lima: Ministerio de la Producción
- Nazira A., Nabilah Sarbini, N., Abdul Shukor Lim, N., Syahrizal Ibrahim, I., Aminuddin, E. & Rosseira Abu Talib, A. (2019). Thermal Insulation Properties of Organic and Inorganic Material in Clay Brick - A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- NTP 331.017 (2015). Dirección de Normalización - Instituto Nacional de Calidad, Perú.
- NTP 399.604 (2002). Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Perú.
- NTP 399.608 (2013). Unidades de Albañilería: Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Perú.

NTP 399.613 (2005). Norma de Unidades. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Perú.

NTP 399.621 (2004). Normas para muretes de albañilería. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Perú.

NTP E.070 Albañilería (2006). Ministerio de Vivienda, Perú.

Phonphuak, N. (2017). Application of Dry Grass for Clay Brick Manufacturing. *Key Engineering Materials*, 757, 35–39.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.757.35>

Reynel, C. (2012). Guía de Identificación de las Plantas Comunes de Derecho de Vía del Ducto de Perú LNG. Lima: Melchorita LNG.

Sheppard W. (1986). *Corrosion and Chemical Resistant Masonry Materials Handbook*. Pensilvania: Noyes Publications.

Silva Mondragón, G. (2018) Development of an eco-friendly composite based on geopolymer matrix produced with fired clay brick powder and reinforced with natural fibers (Tesis de posgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/13564>

Treviño Treviño, E., Gomez Gonzalez, B., Perrilliat, R. & Perez Gomez, J. (2019). Edificación de Mampostería. Limusa

Ukwatta Pitiye, A (2017). Use of biosolids in enhanced fired clay bricks (tesis de doctorado). Universidad RMIT. <http://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:162033>

Urrego, E., Pacheco, D. & Useda, M. (2014). Análisis de factores de riesgo en trabajadores de ladrilleras de Ubaté, 3, 5-10. <https://doi.org/10.13140/2.1.4697.5682>.

Villasante Sanchez, E. (2000). Mampostería y construcción. Barcelona: Trillas.

ANEXOS

A. Matriz de consistencia

Tesis: Relación de La Variación de Forma e Inclusión de Ichu en La Resistencia a Compresión del Ladrillo Artesanal – Huancayo

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema general:	Objetivo general:	Hipótesis general:	Variable	Método de Investigación: Método Científico
¿Qué relación existe entre la variación de forma e inclusión de Ichu y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021?	Definir la relación que existe entre la variación de forma e inclusión de Ichu y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021	Existe una relación significativa entre la variación de forma e inclusión de Ichu y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021	Independiente 1: Variación de forma. Variable Independiente 2: Porcentaje de Stipa Ichu	Tipo de Investigación: Básica Nivel de Investigación: Explicativo Diseño de Investigación: Experimental Técnica: Observación, ensayo de compresión Instrumentos: Ficha de observación de evaluación de ensayo de compresión usando una prensa hidráulica.
Problemas específicos:	Objetivos específicos:	Hipótesis específicas:	Variable dependiente:	
¿Qué relación existe entre la variación de forma en la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del	Determinar la diferencia que existe entre la variación de forma en la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez	Existe una relación significativa entre la variación de forma y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez		

Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021	del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021	del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021	Resistencia a la compresión	Población: Ladrillos artesanales producidos en la ladrillera Rodríguez.
¿Qué relación existe entre la inclusión de Ichu en la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021	Establecer la diferencia que existe entre la inclusión de Ichu en la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021	Existe una relación significativa entre la inclusión de Ichu y la resistencia a compresión del ladrillo artesanal en la ladrillera Rodríguez del Distrito de Saño, Provincia de Huancayo, año 2021		Muestras: Tipo de muestreo: muestreo no aleatorio intencional a conveniencia del investigador. Tamaños de muestra: 5% de la fabricación semanal: 20 ladrillos por muestra. Siendo un total de 120 ladrillos entre todas las muestras.

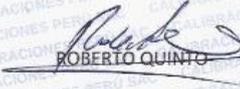
B. Matriz de operacionalización de variables

Tesis: Relación de La Variación de Forma e Inclusión de Ichu en La Resistencia a Compresión del Ladrillo Artesanal – Huancayo

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Medición
Ichu añadido en ladrillo	El Ichu o Stipa Ichu es una planta de la familia de las gramíneas cuyos tallos tienen una forma de cañas de entre 25 a 80cm de longitud, cuyas laminas foliares son ásperas y carentes de pelos. Con una panícula de entre 15 a 30cm, que es sedosa y provista de abundante floración; mientras que sus translúcidas glumas son de 6 a 8mm (Reynel, 2012)	Variable ordinal que presenta una dosificación de Ichu agregado en medida relativa al peso del ladrillo en la mezcla inicial con una aproximación de 0.1%	Porcentaje de Ichu añadido en la mezcla del ladrillo	Ordinal: 0: 0% de Ichu 2: 2.5% de Ichu 3: 5.0% de Ichu
Forma de ladrillo	La forma del ladrillo, conocido también unidad de albañilería maciza, define su forma sólida por el área de material en un plano de corte, paralelo a su base, de más de 75% y ahuecada como un área menor al 75% (ITINTEC 331.017, 2015). Para fines del estudio se elaboró	Variable cualitativa nominal que presenta una forma de ladrillo, siendo una sólida y la otra ahuecada con el fin de su comparación.	Forma de ladrillo	Nominal 0: Sólido 1: Ahuecado

	un ladrillo sólido y uno ahuecado (de 4 pares de huecos paralelos).			
Resistencia a la compresión	Es el valor de razón entre la carga de rotura a compresión de una unidad de albañilería (ladrillo) y su sección bruta (ITINTEC 331.017, 2015).	Variable cuantitativa continua cuya medición se obtiene de la prueba de ensayo.	Resistencia a la compresión	kg/cm ²

C. Certificación de laboratorio de calibración

 CALIBRACIONES PERU S.A.C.		LABORATORIO DE METROLOGÍA Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		LMF-032-2021
Laboratorio de Fuerza		Pág. 1 de 2
Expediente	2014	
Solicitante	ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMI SOC.COM.RESPONS. LTDA	
Dirección	AV.ORIENTE NRO.772(FRENTE A FABRICA DE EMBUTIDOS HUAYCHULO)JUNIN-CONCEPCION-CONCEPCION	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
Instrumento de Medición	Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.
Equipo Calibrado	PRENSA DE CONCRETO (DIGITAL)	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.
Alcance de Indicación	0 kgf a 100,000 kgf	Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.
Marca (o Fabricante)	TAMIEQUIPOS LTDA	
Modelo	TCP038	
Número de Serie	507	
Procedencia	COLOMBIANO	
Indicador de Lectura	DIGITAL	
Marca (o Fabricante)	HIGH WEIGT	
Modelo	NO INDICA	
Número de Serie	507	
Identificación	NO INDICA	
Alcance de Indicación	0 kgf a 100,000kgf	
Resolución	10 kgf	
Transductor de Fuerza	ZEMIC	
Alcance de Indicación	70 Mpa	
Marca (o Fabricante)	ZEMIC	
Modelo	NO INDICA	
Número de Serie	NO INDICA	
Fecha de Calibración	2021-09-29	
Ubic. Del Equipo	Laboratorio de Solicitante	
Sello	Fecha de emisión	Jefe del laboratorio de calibración
	2021-09-29	 ROBERTO QUINTO
CALIBRACIONES PERU S.A.C. - RUC: 20600820959 Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú Telf.: (01) 397 8754 - Cel.: 949 985 016		E-mail: ventas@calibracionesperu.pe laboratorio@calibracionesperu.pe www.calibracionesperu.pe



**CALIBRACIONES
PERÚ S.A.C.**

LABORATORIO DE METROLOGÍA

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de
Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LMF-032-2021

Laboratorio de Fuerza

Pág. 2 de 2

Método de Calibración

La calibración se realizó tomando como referencia el método descrito en la norma ISO 7500-1 / ISO 376,

Verificación de Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos, Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión

Verificación y Calibración del Sistema de Medición de Fuerza.

Trazabilidad

Se utilizó patrón calibrado con trazabilidad al SI, calibrado por la Pontificia Universidad Católica del Perú

Con Certificado N° INF - LE 238-19

Resultados de medición

Lectura de la máquina (Fi)		Lectura del patrón			Promedio	Cálculo de errores		Incertidumbre
%	kgf	Primera	Segunda	Tercera		Exactitud	Repetibilidad	
		kgf	kgf	kgf	kgf	q(%)	b(%)	U(%)
10	10000	10003.0	10003.0	10003.0	10003.0	0.0	0.0	0.24
20	20000	20037.0	20037.0	20037.0	20037.0	-0.2	0.0	0.24
30	30000	30010.0	30010.0	30010.0	30010.0	0.0	0.0	0.24
40	40000	40020.0	40020.0	40020.0	40020.0	0.0	0.0	0.24
50	50000	50020.0	50020.0	50020.0	50020.0	0.0	0.0	0.24
60	60000	60020.0	60020.0	60020.0	60020.0	0.0	0.0	0.24
70	70000	70030.0	70030.0	70030.0	70030.0	0.0	0.0	0.24
80	80000	80030.0	80030.0	80030.0	80030.0	0.0	0.0	0.24
90	90000	90030.0	90030.0	90030.0	90030.0	0.0	0.0	0.24
100	100000	100030.0	100030.0	100030.0	100030.0	0.0	0.0	0.24
Lectura máquina en cero		0	0	0	---	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

Temperatura promedio durante los ensayos 18.0 °C; Varación de temperatura en cada ensayo < 2 °C.

Evaluación de los resultados

Los errores encontrados entre el 20% y el 100% del rango nominal considerado no superan los valores máximos permitidos establecidos en la norma ISO 7500-1.

Observaciones

Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO"

La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estandar de la medición por el factor de cobertura $k=2$ para una distribución normal de aproximadamente 95 %.

Fin del documento



CALIBRACIONES PERÚ S.A.C. - RUC: 20600820959
Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú
Telf.: (01) 397 8754 - Cel.: 949 985 016

E-mail: ventas@calibracionesperu.pe
laboratorio@calibracionesperu.pe
www.calibracionesperu.pe



ESPECIALISTAS EN SUELOS Y PAVIMENTOS

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO:	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL SIN HUECO CON ADICIÓN DE 2.5% DE ICHU				
NORMA:	NTP 331.017, NTP 399.613 Y NTP 399.604				
TESIS:	RELACIÓN DE LA VARIACIÓN DE FORMA E INCLUSIÓN DE ICHU EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL - HUANCAYO"				
TESISTA:	WILDER ELIAS, ISIDRO CERRON				
UBICACIÓN:	DISTRITO DE SANO, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN				
FECHA DE ENSAYO:	05 DE MARZO DEL 2022				
N° DE TESTIGO	ESTRUCTURA	FECHA	AREA (cm ²)	CARGA (KG)	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	LADRILLO	05/03/2022	299	6830.00	22.84
2	LADRILLO	05/03/2022	299	7720.00	25.82
3	LADRILLO	05/03/2022	299	6870.00	22.98
4	LADRILLO	05/03/2022	299	7820.00	26.15
5	LADRILLO	05/03/2022	299	7813.00	26.13
6	LADRILLO	05/03/2022	299	6320.00	21.14
7	LADRILLO	05/03/2022	299	7154.00	23.93
8	LADRILLO	05/03/2022	299	6600.00	22.07
9	LADRILLO	05/03/2022	299	6540.00	21.87
10	LADRILLO	05/03/2022	299	6730.00	22.51
11	LADRILLO	05/03/2022	299	6837.00	22.87
12	LADRILLO	05/03/2022	299	7019.00	23.47
13	LADRILLO	05/03/2022	299	6870.00	22.98
14	LADRILLO	05/03/2022	299	7525.00	25.17
15	LADRILLO	05/03/2022	299	7310.00	24.45
16	LADRILLO	05/03/2022	299	6320.00	21.14
17	LADRILLO	05/03/2022	299	8122.00	27.16
18	LADRILLO	05/03/2022	299	6545.00	21.89
19	LADRILLO	05/03/2022	299	6023.00	20.14
20	LADRILLO	05/03/2022	299	6759.00	22.61
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)				1.91	
PROMEDIO (Kg/Cm ²)				23.37	
PROMEDIO - σ				21.46	

C.I.A.A. SANTA CRUZ SRL.
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
SANTA CRUZ, JUNÍN
TEL. 975151126 / 912880976



SANTA CRUZ



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO:	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL CON HUECO Y ADICIÓN DE 0% DE ICHU				
NORMA:	NTP 331.017, NTP 399.613 Y NTP 399.604				
TESIS:	RELACIÓN DE LA VARIACIÓN DE FORMA E INCLUSIÓN DE ICHU EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL - HUANCAYO*				
TESISTA:	WILDER ELIAS, ISIDRO CERRON				
UBICACIÓN:	DISTRITO DE SANÓ, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN				
FECHA DE ENSAYO:	05 DE MARZO DEL 2022				
N° DE TESTIGO	ESTRUCTURA	FECHA	AREA (cm ²)	CARGA (KG)	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	LADRILLO	05/03/2022	299	7851.00	26.26
2	LADRILLO	05/03/2022	299	6532.00	21.85
3	LADRILLO	05/03/2022	299	8452.00	28.27
4	LADRILLO	05/03/2022	299	8134.00	27.20
5	LADRILLO	05/03/2022	299	7965.00	26.64
6	LADRILLO	05/03/2022	299	8012.00	26.80
7	LADRILLO	05/03/2022	299	5988.00	20.03
8	LADRILLO	05/03/2022	299	8465.00	28.31
9	LADRILLO	05/03/2022	299	6953.00	23.25
10	LADRILLO	05/03/2022	299	7975.00	26.67
11	LADRILLO	05/03/2022	299	7564.00	25.30
12	LADRILLO	05/03/2022	299	7842.00	26.23
13	LADRILLO	05/03/2022	299	8469.00	28.32
14	LADRILLO	05/03/2022	299	7130.00	23.85
15	LADRILLO	05/03/2022	299	6895.00	23.06
16	LADRILLO	05/03/2022	299	5637.00	18.85
17	LADRILLO	05/03/2022	299	6795.00	22.73
18	LADRILLO	05/03/2022	299	5610.00	18.76
19	LADRILLO	05/03/2022	299	7967.00	26.65
20	LADRILLO	05/03/2022	299	6498.00	21.73
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)				3.11	
PROMEDIO (Kg/Cm ²)				24.54	
PROMEDIO - σ				21.43	

C.I.A.A. SANTA CRUZ SRL.
LABORATORIO DE SUELOS, ASFALTO Y PAVIMENTO

Javier Santa Cruz Veltz
TEC. ESC. SUELOS Y PAVIMENTOS



SANTA CRUZ VELTZ PAOLO LUIS
INGENIERO CIVIL
CIP N° 263426

SANTA CRUZ



Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO:	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL CON HUECO Y ADICIÓN DE 2.5% DE ICHU				
NORMA:	NTP 331.017, NTP 399.613 Y NTP 399.604				
TESIS:	RELACIÓN DE LA VARIACIÓN DE FORMA E INCLUSIÓN DE ICHU EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL - HUANCAYO"				
TESISTA:	WILDER ELÍAS, ISIDRO CERRÓN				
UBICACIÓN:	DISTRITO DE SANO, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNÍN				
FECHA DE ENSAYO:	05 DE MARZO DEL 2022				
N° DE TESTIGO	ESTRUCTURA	FECHA	AREA (cm ²)	CARGA (KG)	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	LADRILLO	05/03/2022	299	15421.00	51.58
2	LADRILLO	05/03/2022	299	15580.00	52.11
3	LADRILLO	05/03/2022	299	15623.00	52.25
4	LADRILLO	05/03/2022	299	14658.00	49.02
5	LADRILLO	05/03/2022	299	14687.00	49.12
6	LADRILLO	05/03/2022	299	14706.00	49.18
7	LADRILLO	05/03/2022	299	15379.00	51.43
8	LADRILLO	05/03/2022	299	14989.00	50.13
9	LADRILLO	05/03/2022	299	14762.00	49.37
10	LADRILLO	05/03/2022	299	15347.00	51.33
11	LADRILLO	05/03/2022	299	15236.00	50.96
12	LADRILLO	05/03/2022	299	15687.00	52.46
13	LADRILLO	05/03/2022	299	15698.00	52.50
14	LADRILLO	05/03/2022	299	14986.00	50.12
15	LADRILLO	05/03/2022	299	15684.00	52.45
16	LADRILLO	05/03/2022	299	14724.00	49.24
17	LADRILLO	05/03/2022	299	15023.00	50.24
18	LADRILLO	05/03/2022	299	15874.00	53.09
19	LADRILLO	05/03/2022	299	15126.00	50.59
20	LADRILLO	05/03/2022	299	15851.00	53.01
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)				1.40	
PROMEDIO (Kg/Cm ²)				51.01	
PROMEDIO - σ				49.61	

C.I.A.A. SANTA CRUZ SRL.
LABORATORIO DE SUELOS, COQUE Y ASFALTO

Javier Santa Cruz Veltz
TEL: 975151126 / 912880976



SANTA CRUZ VELLIZO LLUC
INGENIERO CIVIL
CIP N° 283426

SANTA CRUZ



SANTA CRUZ
Especialistas en suelos y pavimentos

CIAA
SANTA
CRUZ
GEOTECNIA

**CONSTRUCTORA INGENIEROS & ARQUITECTOS
ASESORES SANTA CRUZ SCRL**

975151126 / 912880976 / (064) 581405
Av. Oriente N° 772 Concepción
Concepción - Junín
ciaasantacruz@gmail.com

ENSAYO:	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL CON HUECO Y ADICIÓN DE 5% DE ICHU				
NORMA:	NTP 331.017, NTP 399.613 Y NTP 399.604				
TESIS:	RELACIÓN DE LA VARIACIÓN DE FORMA E INCLUSIÓN DE ICHU EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL -HUANCAYO"				
TESISTA:	WILDER ELIAS, ISIDRO CERRON				
UBICACIÓN:	DISTRITO DE SANO, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNIN				
FECHA DE ENSAYO:	05 DE MARZO DEL 2022				
N° DE TESTIGO	ESTRUCTURA	FECHA	AREA (cm ²)	CARGA (KG)	RESISTENCIA (KG/CM ²)
1	LADRILLO	05/03/2022	299	12356.00	41.32
2	LADRILLO	05/03/2022	299	12745.00	42.63
3	LADRILLO	05/03/2022	299	12698.00	42.47
4	LADRILLO	05/03/2022	299	11546.00	38.62
5	LADRILLO	05/03/2022	299	13564.00	45.36
6	LADRILLO	05/03/2022	299	13845.00	46.30
7	LADRILLO	05/03/2022	299	13111.00	43.85
8	LADRILLO	05/03/2022	299	13623.00	45.56
9	LADRILLO	05/03/2022	299	11989.00	40.10
10	LADRILLO	05/03/2022	299	13862.00	46.36
11	LADRILLO	05/03/2022	299	13652.00	45.66
12	LADRILLO	05/03/2022	299	12987.00	43.43
13	LADRILLO	05/03/2022	299	13654.00	45.67
14	LADRILLO	05/03/2022	299	12471.00	41.71
15	LADRILLO	05/03/2022	299	11874.00	39.71
16	LADRILLO	05/03/2022	299	11965.00	40.02
17	LADRILLO	05/03/2022	299	11860.00	39.67
18	LADRILLO	05/03/2022	299	12859.00	43.01
19	LADRILLO	05/03/2022	299	13954.00	46.67
20	LADRILLO	05/03/2022	299	13210.00	44.18
DESVIACIÓN ESTANDAR (σ)				2.59	
PROMEDIO (Kg/Cm ²)				43.11	
PROMEDIO - σ				40.52	

C.I.A.A. SANTA CRUZ S.R.L.
LABORATORIO DE SUELOS, GEOTECNIA Y PAVIMENTO
Junín, Santa Cruz Veliz
TRABAJOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS



SANTA CRUZ VELIZ PAUCOLLE
INGENIERO CIVIL
CIP N° 263426

SANTA CRUZ

E. Registro fotográfico del proceso

Fotografía 1

Recolección de Ichu en su ambiente natural



Nota: captura propia en los alrededores del Distrito de Saño.

Fotografía 2.

Estado original de una unidad de Ichu recolectado



Nota: captura propia en los alrededores del Distrito de Saño.

Fotografía 3.

Vista de las condiciones del Ichu en su entorno natural



Nota: captura propia en los alrededores del Distrito de Saño.

Fotografía 4.

Corte del Ichu usando oz



Nota: captura propia en los alrededores del Distrito de Saño.

Fotografía 5.

Recolección de Ichu cortado



Nota: captura propia en los alrededores del Distrito de Saño.

Fotografía 6.

Trituración de la fibra del Ichu



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 7.

Preparación de la arcilla, materia prima en reposo.



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 8.

Preparación del Ichu para mezclado



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 9.

Mezcla del Ichu con la arcilla



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 10.

Amazado de la mezcla de Ichu con arcilla



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 11.

Homogeneización de la mezcla



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 12.

Preparación de la gavera o molde para ladrillos huecos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 13.

Humedecimiento de la gavera



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 14.

Preparación de la gavera para ladrillos sólidos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 15.

Gavera humedecida, para luego ser enrazada con arena fina.



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 16.

Gavera siendo enrazada con arena fina.



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 17.

Gavera siendo enrazada con arena fina.



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 18.

Preparación de porción de mezcla para gavera



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 19.

Cúmulo uniforme para gavera

**Fotografía 20.**

Moldeado en gavera



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 21.

Moldeado en gavera



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 22.

Moldeado en gavera



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 23.

Moldeado en gavera



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 24.

Moldeado en gavera



Fotografía 25.

Desmoldado de ladrillos de la gavera



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 26.

Ladrillos desmoldados



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 27.

Disposición de ladrillos para secado



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 28.

Disposición de ladrillos para secado



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 29.

Secado de ladrillos en el exterior



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 30.

Apilamiento de ladrillos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 31.

Disposición de ladrillos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 32.

Disposición de ladrillos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 33.

Preparación del horno



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 34.

Puesta de ladrillos en horno



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 35.

Puesta de ladrillos en horno



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 36.

Preparación del horno



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 37.

Apilamiento de ladrillos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 38.

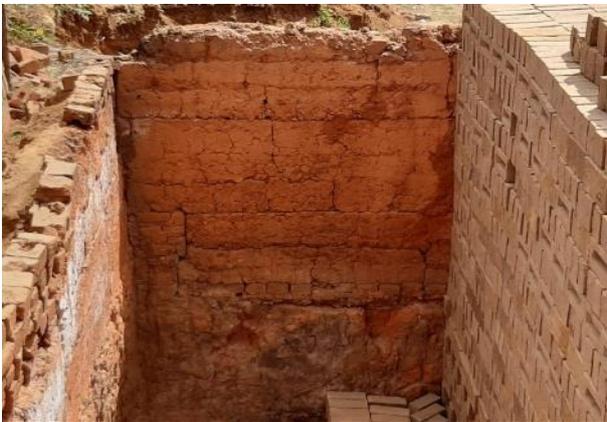
Remoción de ladrillos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 39.

Vista de pila de ladrillos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 40.

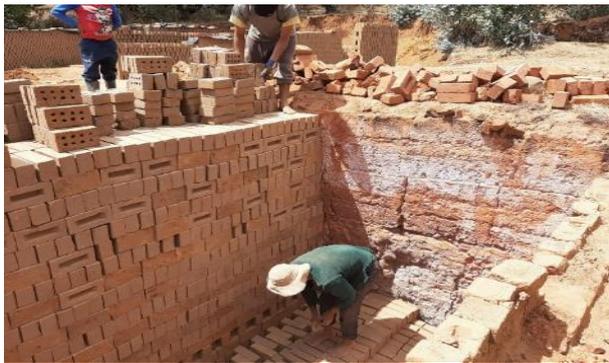
Vista de pila de ladrillos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 41.

Vista de pila de ladrillos cocidos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 42.

Remoción de ladrillos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 43.

Almacenamiento de ladrillos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 44.

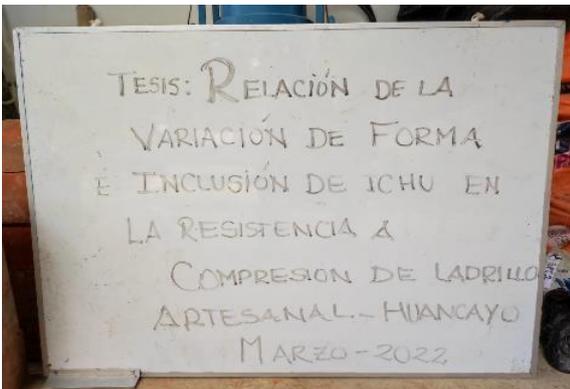
Apilado de ladrillos



Nota: captura propia en las instalaciones de la Ladrillera Rodríguez

Fotografía 45.

Preparación para prueba



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 46.

Preparación de la prensa hidráulica para prueba



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 47.

Pruebas iniciales



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 48.

Prueba de rompimiento del ladrillo usando prensa calibrada



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 49.

Vista del ladrillo luego de la prueba



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 50.

Vista del ladrillo y el equipamiento



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 51.

Vista del ladrillo y el equipamiento



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 52.

Vista del ladrillos marcados para la prueba



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 53.

Vista del ladrillo y en la prueba



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 54.

Vista del ladrillo y el equipamiento posterior a la prueba



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 55.

Vista del ladrillo y el equipamiento



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.

Fotografía 56.

Vista del ladrillo y el equipamiento posterior a la prueba



Nota: captura propia en las instalaciones del laboratorio de CIAA Santa Cruz SCRL, Concepción.