

Manual for quality control in the manufacture of handmade bricks

Manual de control de calidad en la fabricación de ladrillos artesanales

Autores:

Tandazo-Chicaiza, Jean Carlos
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Ingeniero Civil
Loja - Ecuador



jean.tandazo.12@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0004-1334-5363>

Cordero-Cabrera, Carlos Julio
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente Tutor del área
Cuenca - Ecuador



carlos.cordero@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-6373-6280>

Soto-Luzuriaga, John Egverto
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
Coautor
Loja - Ecuador



jesoto@utpl.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-6496-5165>

Fechas de recepción: 12-FEB-2025 aceptación: 12-MAR-2025 publicación: 15-MAR-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

En los últimos años, el aumento del nivel de vida y el desarrollo tecnológico han impulsado un notable crecimiento en el consumo de materiales de construcción. Entre ellos, el ladrillo, uno de los materiales más antiguos, ha mantenido su relevancia debido a su accesibilidad, durabilidad y facilidad de manipulación. En la provincia de Loja, especialmente en el cantón Catamayo en el barrio La Vega, la arcilla constituye la materia prima fundamental para la fabricación de ladrillos, generando empleo y sostenibilidad económica a nivel local. Sin embargo, la limitada comprensión técnica sobre la composición mineralógica de las arcillas provoca defectos durante el proceso de cocción, que afectan la calidad final del producto. Un control adecuado del proceso de cocción, con temperaturas superiores a 850 °C, es esencial para eliminar residuos y mejorar la densidad y resistencia del ladrillo, además la utilización de maquinaria para el amasado de las mezclas es fundamental para mejorar la uniformidad y precisión del producto. La implementación del manual de control de calidad es de vital importancia, pues ofrece lineamientos específicos para cada etapa, desde la selección de materias primas hasta el proceso de cocción. Este manual garantiza que los ladrillos artesanales cumplan con estándares de durabilidad y resistencia conforme a las normativas vigentes en el Ecuador.

Palabras clave: Ladrillo; materiales; manual; arcilla

Abstract

In recent years, rising living standards and technological development have driven a remarkable growth in the consumption of building materials. Among them, brick, one of the oldest materials, has maintained its relevance due to its accessibility, durability and ease of handling. In the province of Loja, especially in the Catamayo canton in the La Vega neighborhood, clay is the fundamental raw material for brick manufacturing, generating employment and economic sustainability at the local level. However, the limited technical understanding of the mineralogical composition of clays causes defects during the firing process that affect the final quality of the product. Adequate control of the firing process, with temperatures above 850 °C, is essential to eliminate residues and improve the density and strength of the brick, and the use of machinery for kneading the mixes is fundamental to improve the uniformity and precision of the product. The implementation of the quality control manual is of vital importance, as it provides specific guidelines for each stage, from the selection of raw materials to the firing process. This manual ensures that the handmade bricks meet durability and resistance standards in accordance with current regulations in Ecuador.

Keywords: Brick; materials; manual; clay

Introducción

En los últimos años, el incremento en el nivel de vida, el desarrollo tecnológico continuo y la creciente necesidad de nuevas infraestructuras, han resultado en un notable aumento en el consumo de materiales de construcción [13]. En la antigüedad se empleaban predominantemente materiales naturales que se encontraban fácilmente en las distintas regiones, como la piedra, la madera, el barro y el adobe, debido a su disponibilidad local y la facilidad con la que podían ser manipulados. Con el transcurso del tiempo, se introdujo el uso del ladrillo, el cual se empleaba exclusivamente en los revestimientos exteriores o envolventes, así como en construcciones de carácter lujoso [24].

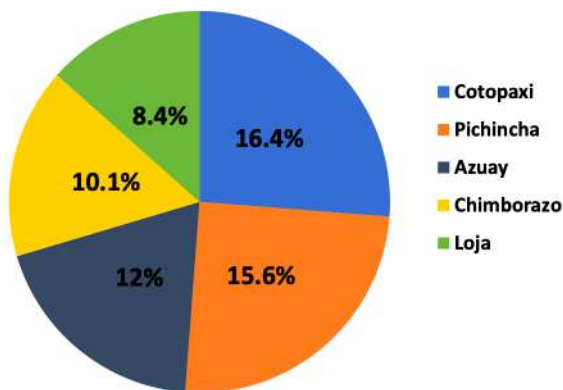
El ladrillo, uno de los materiales de construcción más antiguos, mantiene su aceptación y relevancia debido a su accesibilidad, durabilidad y facilidad de manipulación [12]. Las exigencias actuales en términos de calidad e innovación, junto con la competitividad del entorno, han impulsado un creciente énfasis en la implementación de controles y procesos de mejora en diversas industrias, empresas y organizaciones [23].

En América Latina existen 41,000 productores de ladrillo, donde los países con niveles tecnológicos menos avanzados incluyen: Ecuador, Argentina, México, Chile y los países centroamericanos [26], alrededor del 40% al 50% de la fabricación de ladrillos se concentra principalmente en ladrilleras artesanales que emplean hornos abiertos, estructuras antiguas de áreas rurales, estos hornos son poco eficientes y generan altas emisiones sin ningún tipo de control [30].

En el Ecuador el sector ladrillero está compuesto principalmente por microempresas que elaboran estos productos de manera artesanal y se destacan por operar en un entorno altamente informal [28]. La fabricación de ladrillos se encuentra extendida a lo largo y ancho del país, en donde las compañías de gran envergadura implementan tecnologías que facilitan la creación de productos de alta calidad. De acuerdo con el análisis del mercado de ladrillos artesanales en Ecuador, se observa que en el año 2010 hubo un total de mil ochocientos cinco empresas involucradas en la producción de ladrillos. De este número, el 95,4% eran microempresas, el 3,32% eran pequeñas empresas, mientras que medianas empresas representaban el 0,61% y las grandes empresas apenas constituían el 0,22%. En la **Figura 1** se observan las provincias que poseen una mayor cantidad de establecimientos. En contraste, Santa Elena, Galápagos, Sucumbíos, Pastaza y Orellana registran un menor número de establecimientos, representando en conjunto un 1.7% del total de empresas. [1]

Figura 1

Provincias con mayor cantidad de establecimientos de ladrilleras artesanales



En la provincia de Loja, el ladrillo artesanal ocupa una posición destacada en las edificaciones coloniales como en las contemporáneas, sus cualidades físicas y estéticas lo convierten en un material altamente adecuado para la construcción de viviendas y otras estructuras. Como también las canteras de arcilla son abundantes y poseen características que resultan propicias tanto para la industria cerámica como para la construcción, especialmente en la producción de ladrillos artesanales. [22]

La región sur del Ecuador es una zona de gran riqueza en yacimientos mineros, tanto metálicos como no metálicos. Entre los recursos no metálicos más destacados se encuentra la explotación de arcillas, utilizadas como materia prima en la producción de ladrillos y materiales ornamentales, especialmente en el cantón Catamayo. Esta actividad ha sido una fuente clave de empleo y ha contribuido a la sostenibilidad de la economía local, que enfrenta limitaciones estructurales. La producción de ladrillos cerámicos en esta región, tanto a nivel artesanal como en pequeña industria, ha mostrado un desarrollo significativo a lo largo del tiempo. No obstante, no ha alcanzado un nivel de industrialización, en parte debido a la cosmovisión de los artesanos, quienes abordan la extracción y manufactura desde una perspectiva tradicional y sin el conocimiento técnico adecuado sobre el potencial de los materiales. [11]

La falta de análisis y de investigaciones sobre la composición de las arcillas ha provocado pérdidas considerables para los artesanos. Un ejemplo de ello es la utilización de arcillas para la fabricación de tejas y ladrillos mediante métodos rudimentarios, donde se han observado cambios inesperados tras la cocción. Estos cambios anómalos podrían estar relacionados con la presencia de compuestos carbonáticos en la arcilla, una característica atribuible a su origen en ambientes de transición marino-someros, que generan arcillas secundarias. Sin embargo, este fenómeno no se repite en los materiales sedimentarios extraídos de las canteras de Catamayo, donde predominan las arcillas formadas por la meteorización de depósitos volcánico sedimentarios de arco continental, los cuales dan lugar a arcillas primarias de distinta naturaleza. [11]

El consumo constante de materiales arcillosos en la industria cerámica demanda un profundo entendimiento de las características químicas y mineralógicas intrínsecas de cada tipo de arcilla. Esto se debe a que estas características pueden variar incluso dentro de un mismo yacimiento, en términos de estructura, apilamiento, morfología y distribución granulométrica.[27] Estas variaciones ejercen una influencia directa en las propiedades finales

de los productos cerámicos fabricados. Las arcillas se componen de aluminosilicatos cristalinos, óxidos e hidróxidos metálicos, sulfatos, carbonatos, y a menudo contienen materia orgánica. Cada una de estas especies contribuye de manera única a las particularidades de cada tipo de arcilla. [5]

Los ladrillos son elaborados a partir de arcilla o suelo arcilloso, en ocasiones con la incorporación de otros elementos, con una plasticidad o consistencia adecuada que les permita mantener una forma permanente y secarse sin que surjan grietas, nódulos o deformaciones. Además, es esencial que no contengan sustancias que puedan causar eflorescencia destructiva o manchas permanentes en el acabado. [7]

La fabricación de ladrillos en las microempresas se caracteriza por llevar a cabo producciones de pequeña y mediana escala, utilizando maquinaria obsoleta o procesos manuales [3]. Aunque los fabricantes confían en su experiencia como una ventaja, esta situación dificulta la identificación precisa de los aspectos que requieren mejoras para alcanzar resultados confiables [8]. Por lo tanto, en el proceso de fabricación de los ladrillos artesanal no se implementa ningún tipo de control de calidad tanto en los procedimientos de producción como en el producto final. Además, no se cumple con el uso de las normativas regulatorias pertinentes para la elaboración de los ladrillos cerámicos [6].

Material y métodos

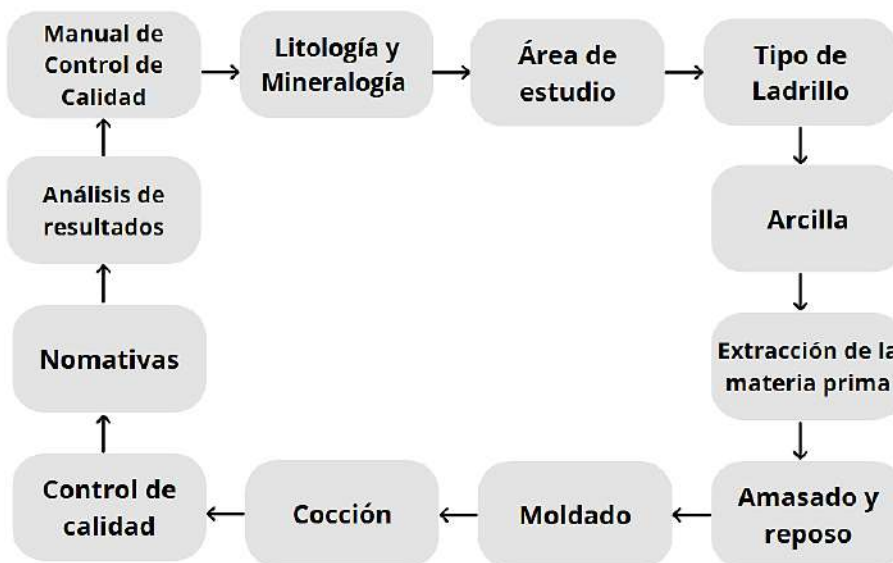
El trabajo de investigación propuesto es de carácter científico, ubicado en los momentos Exploratorio y Descriptivo. Las técnicas que se utilizarán son la observación, búsqueda de información acerca de la producción de ladrillos artesanales y evaluación de la calidad de los ladrillos producidos artesanalmente.

1.1 Manual de control de calidad

Un manual de control de calidad en la fabricación de ladrillos artesanales es un documento que establece los procedimientos y estándares que deben seguirse para asegurar la calidad de los ladrillos producidos de forma artesanal. En la **Figura 2** se propone un esquema metodológico del manual de control de calidad, el cual proporciona una guía detallada sobre cómo llevar a cabo el proceso de fabricación de ladrillos, desde la selección de materias primas hasta la cocción final, de manera que se cumplan criterios de control de calidad.

Figura 2

Esquema metodológico del manual de control de calidad



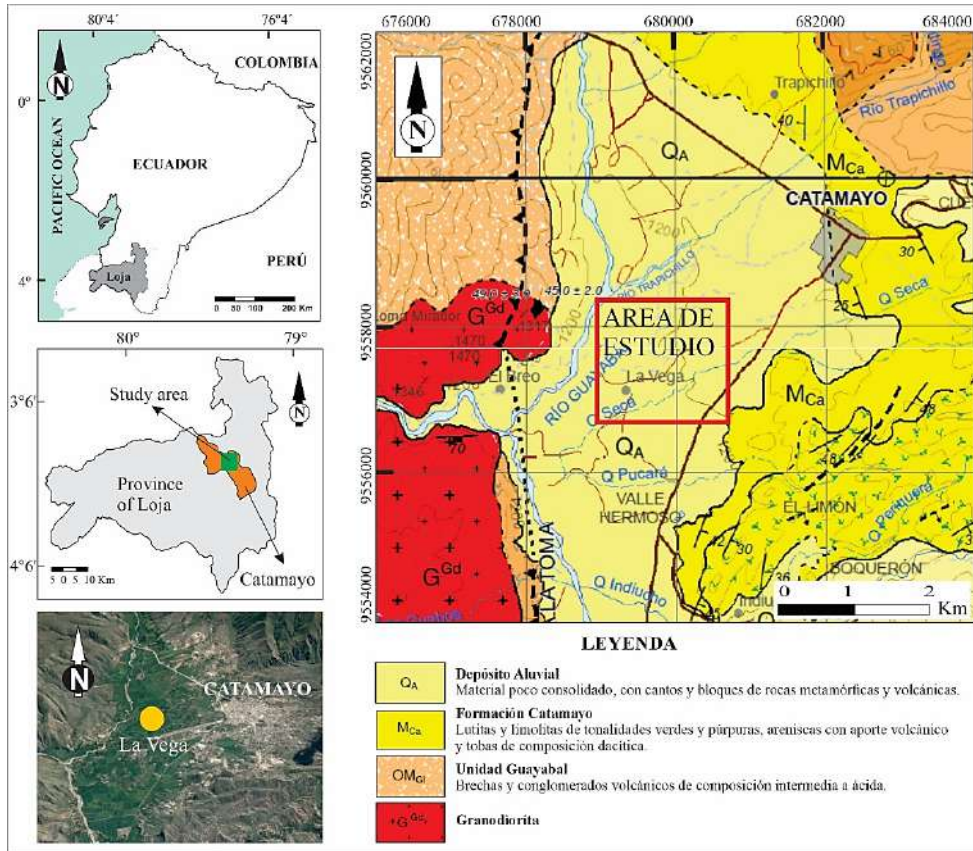
Con base en este esquema, se procederá a desglosar de manera detallada cada punto, siguiendo como referencia las directrices establecidas en el manual de control de calidad.

1.1.1. Litología y mineralogía del cantón Catamayo

La cuenca de Catamayo se caracteriza por una compleja composición geológica que incluye depósitos volcánicos y volcanosedimentarios de origen molásico, pertenecientes al Mioceno. Predominan las areniscas, lutitas blandas y arcillas, acompañadas de diversos tipos de rocas volcánicas como aglomerados y gruesas capas de tobas de tonos variados. Se destacan también lavas andesíticas y materiales piroclásticos, asociados a las formaciones Sacapalca y Loma Blanca, junto con flujos volcánicos dispuestos en capas estratificadas de diferentes espesores. [25]

Dentro de esta cuenca, la **Figura 3** presenta la litología y mineralogía del cantón Catamayo, donde se identifican depósitos aluviales compuestos por materiales poco consolidados, incluyendo cantos y bloques de rocas metamórficas y volcánicas. En la Formación Catamayo, se encuentran lutitas y limonitas de colores verde y púrpura, areniscas con aporte volcánico y tobas de composición dacítica. Por su parte, la Unidad Guayabal contiene brechas y conglomerados volcánicos con una composición que varía de intermedia a ácida, mientras que la granodiorita también es notable en esta estructura geológica.

Figura 3
 Litología y mineralogía del cantón Catamayo



1.1.2. Área de estudio

El área destinada a la actividad ladrillera y a la extracción de la materia prima se sitúan en el cantón Catamayo, perteneciente a la provincia de Loja. La **Figura 4** ilustra la localización geográfica específica del sector denominado “La Vega,” cuyas coordenadas correspondientes son las siguientes: para el sector ladrillero, Norte: 9557012 y Este: 679856; mientras que, para la mina, estas se establecen en Norte: 9556668 y Este: 679975.

Figura 4
 Ubicación del sector ladrillero y la mina la vega

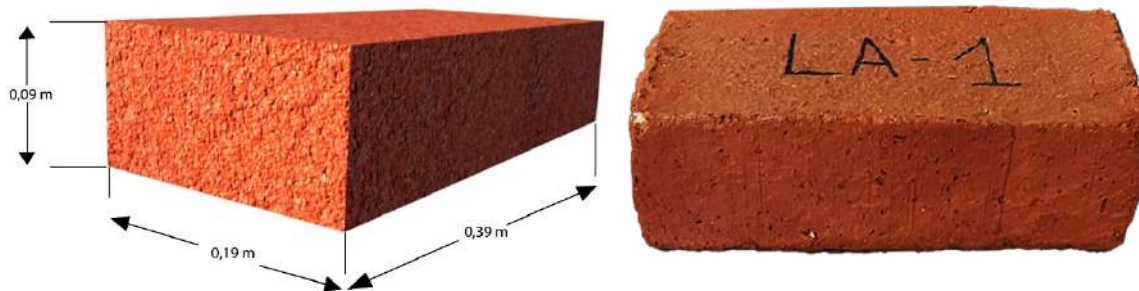


1.1.3. Tipo de ladrillo

Los ladrillos de arcilla siguen siendo un elemento tradicional esencial para la edificación de construcciones. Normalmente, se exige que estos ladrillos de arcilla cumplan con estándares de resistencia física y mecánica para su uso en la construcción [4]. Según lo establecido en la normativa [15], los ladrillos fabricados en el sector ladrillero La Vega son clasificados como ladrillos macizos. En la **Figura 5** se presentan las siguientes dimensiones de los ladrillos artesanales: largo: 39 cm, ancho: 19 cm y alto: 9 cm.

Figura 5

Dimensiones del ladrillo macizo



1.1.4. Arcilla

La arcilla se denomina como un suelo cohesivo de grano fino con plasticidad, cuyas partículas tienen diámetros equivalentes menores de 75 micrómetros [20]. La arcilla utilizada para la elaboración de los ladrillos artesanales proviene de la mina La Vega, ubicada en el cantón Catamayo perteneciente a la provincia de Loja.

1.1.5. Procedimientos de extracción de la materia prima.

La extracción de la muestra puede llevarse a cabo de las siguientes maneras: a) aleatoria, b) estratificada y c) sistemática [14]. En el ámbito del sector ladrillero de La Vega, el proceso de extracción se ejecuta bajo un enfoque estratificado como se muestra en la **Figura 6**. Este método consiste en la subdivisión del lote de materia prima en múltiples estratos, a partir de los cuales se extraen muestras individuales representativas de cada capa, garantizando así una caracterización más precisa y sistemática del material.

Figura 6

Procedimiento de extracción de la arcilla



1.1.6. Amasado y reposo.

En la fase de amasado implica depositar cantidades de materia prima, como arcilla y agua, sobre una superficie plana y al aire libre. Luego, se procede con un amasado constante que puede extenderse durante varias horas como se puede observar en la **Figura 7**. Durante esta etapa, se eliminan impurezas y se busca lograr uniformidad en la mezcla. En la fase de reposo, se permite que la mezcla repose durante un período de alrededor de 12 a 24 horas. El propósito de este reposo es mejorar la manejabilidad de la mezcla al permitir que el agua se evapore de forma natural. [2]

Figura 7

Resultado del amasado y la fase de reposo de la mezcla



1.1.7. Moldeado.

La fabricación de los ladrillos macizos se realiza mediante el empleo de moldes elaborados en metal o madera, conforme a lo establecido en la normativa [15]. En el sector ladrillero La Vega, el proceso de moldeado se efectúa manualmente tal como se muestra observa en la **Figura 8**. Por lo tanto, conforme a la normativa [19], estos ladrillos se clasifican como Tipo C, una categoría que permite el moldeado tanto manual como mecánico, permitiendo imperfecciones más notables y variaciones de hasta 8 mm en la rectitud de sus aristas.

Figura 8

Proceso de moldeado en molde de madera



1.1.8. Cocción.

Es la última fase en la producción de ladrillos. Durante esta etapa, el producto se somete a temperaturas superiores a 850°C, lo que provoca la desaparición de los componentes granulares previamente añadidos a la mezcla de arcilla sin dejar ningún residuo, además se logra una porosidad controlada y uniforme en todo el ladrillo. [9] Para registrar las temperaturas de cocción se utilizó un multímetro digital marca truper mut-39 con termocupla de rango de 0 °C hasta 1000 °C, como se observa en la **Figura 9**. En el presente estudio, se evaluó el comportamiento de la temperatura dentro del horno durante el proceso de cocción de ladrillos artesanales, el cual tuvo una duración total de 24 horas. No obstante, el registro de temperaturas se limitó a las primeras 12 horas del proceso, dado que en este intervalo se alcanzaron y estabilizaron las temperaturas máximas requeridas para que la materia prima experimentara los cambios minerales y químicos esenciales en su proceso de endurecimiento y consolidación.

Posterior a dicho periodo, se observó una tendencia decreciente en la temperatura del horno, seguida de fluctuaciones térmicas de menor magnitud, atribuibles a la inercia térmica del sistema y a la heterogeneidad en la disipación calórica del material refractario. Dado que estas variaciones no ejercían un impacto significativo en la sinterización y consolidación final del material cerámico, se optó por prescindir del registro térmico durante las 12 horas restantes.

Figura 9

Proceso de cocción de los ladrillos artesanales



1.2 Pruebas de control de calidad

1.2.1. Determinación de la resistencia a la compresión.

De acuerdo con la normativa (NTE INEN 294, 1977), establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de ladrillos cerámicos utilizados en albañilería. La determinación de la resistencia a la compresión de los ladrillos elaborados de manera artesanal fue determinada utilizando una prensa hidráulica semiautomática. Para la realización del ensayo, se seleccionaron cinco unidades representativas, las cuales fueron analizadas en el laboratorio.

Figura 10

Ensayo de resistencia a la compresión de ladrillos artesanales

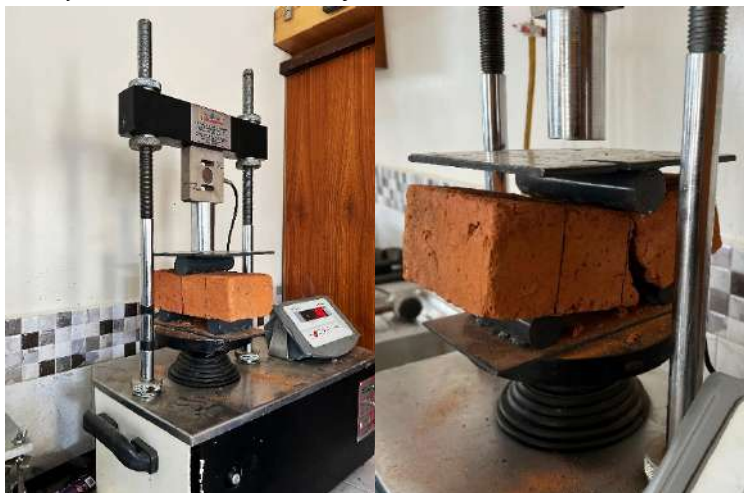


1.2.2. Determinación de la resistencia a la flexión.

Conforme la normativa (NTE INEN 295, 1977), tiene como objetivo establecer el método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de los ladrillos cerámicos utilizados en albañilería. La evaluación de la resistencia a la flexión de ladrillos de fabricación artesanal se llevó a cabo empleando un equipo de ensayo tipo Marshall y CBR. Para dicho análisis, se seleccionaron cinco muestras representativas, que posteriormente fueron analizadas en el laboratorio.

Figura 11

Ensayo de resistencia a la flexión de ladrillos artesanales



1.2.3. Determinación de absorción de humedad.

Conforme la normativa (NTE INEN 296, 1977), establece el método de ensayo para determinar la absorción de humedad de los ladrillos cerámicos utilizados en albañilería. La evaluación de la capacidad de absorción de humedad en ladrillos de fabricación artesanal se realizó mediante su inmersión en agua durante un período continuo de 24 horas. Para llevar a

cabo este análisis, se seleccionaron cinco muestras representativas, las cuales fueron analizadas en el laboratorio.

Figura 12

Inmersión en agua de ladrillos artesanales



1.2.4. Granulometría del árido fino.

De acuerdo a la normativa (NTE INEN 696, 2011), es utilizada principalmente para evaluar la gradación de materiales destinados a ser usados como áridos u otros fines. Los resultados permiten verificar si la distribución granulométrica de las partículas cumple con los requisitos de las especificaciones correspondientes, además de ofrecer datos importantes para controlar la producción de diversos productos que contienen áridos.

1.2.5. Fluorescencia de rayos x.

La Fluorescencia de Rayos X (FRX), es una técnica analítica instrumental no destructiva utilizada para determinar la composición elemental de una muestra, generalmente sólida, mediante su exposición a radiación de rayos X. El tiempo de exposición varía según el nivel de precisión requerido en el análisis, con rangos habituales entre 30 y 600 segundos. El análisis cualitativo se basa en la energía característica o la longitud de onda de la radiación de fluorescencia emitida, mientras que el análisis cuantitativo se realiza mediante el conteo de los rayos X en una longitud de onda específica. [29]

1.2.6. Difracción de rayos x.

La Difracción de Rayos X (DRX), es un método que se utiliza para la identificación de compuestos cristalinos a través de la dispersión de rayos X al atravesar la materia. Los puntos de la red cristalina interfieren con el haz energético, provocando su desviación de la trayectoria inicial. Cada compuesto genera un patrón de difracción característico, definido por su estructura interna, lo que facilita su identificación precisa. De esta manera, la difracción de rayos X permite observar una serie de transformaciones químicas y estructurales, como la deshidratación, descomposición y la formación de nuevas fases en las arcillas a medida que la temperatura aumenta progresivamente. [31]

1.3 Normativas

Las normativas que se utilizaran en la elaboración del manual de control de calidad son las siguientes:

- NTE INEN 292. (2015). LADRILLOS CERÁMICOS. MUESTREO. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–7.
- NTE INEN 293. (2014). LADRILLOS CERAMICOS. DEFINICIONES. CLASIFICACION Y CONDICIONES GENERALES. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–7.
- NTE INEN 294. (1977). LADRILLOS CERAMICOS DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–9.
- NTE INEN 295. (1977). LADRILLOS CERAMICOS. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–6.
- NTE INEN 296. (1977). LADRILLOS CERAMICOS DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 297. (1977). LADRILLOS CERÁMICOS. REQUISITOS. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–6.

Resultados y discusión

1.4 Análisis de resultados

1.4.1. Ladrillos cerámicos requisitos

Los ladrillos cerámicos deberán cumplir con las especificaciones técnicas detalladas en la siguiente tabla de acuerdo con La Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 297, 1977).

Tabla 1

Requisitos de resistencia mecánica y absorción de la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos

Tipo de Ladrillo	Resistencia		Absorción
	Resistencia mínima a la compresión (MPa)	mínima a la flexión (MPa)	máxima de humedad (%)
	Promedio	Promedio	Promedio
	de 5 unidades	Individual de 5 unidades	de 5 unidades

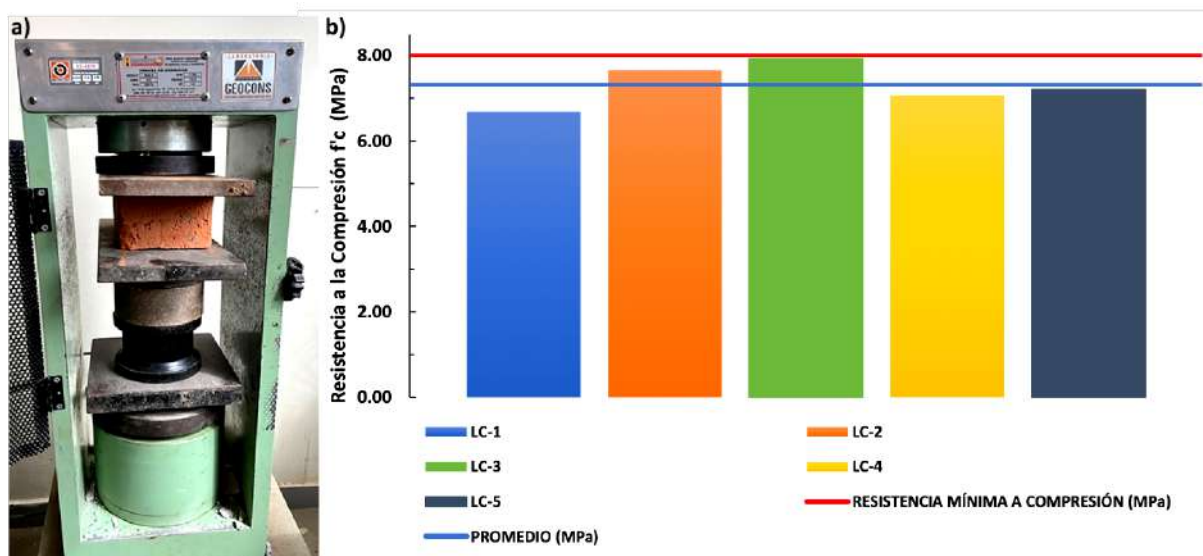
Macizo	25	20	4	16
Tipo A				
Macizo	16	14	3	18
Tipo B				
Macizo	8	6	2	25
Tipo C				
Hueco	6	5	4	16
Tipo D				
Hueco	4	4	3	18
Tipo E				
Hueco	3	3	2	25
Tipo F				
Método				
de	INEN 294	INEN 295	INEN 296	
Ensayo				

Nota. Adaptado de (NTE INEN 297, 1977)

1.4.2. Resistencia a la compresión

Figura 13

Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión en ladrillos artesanales



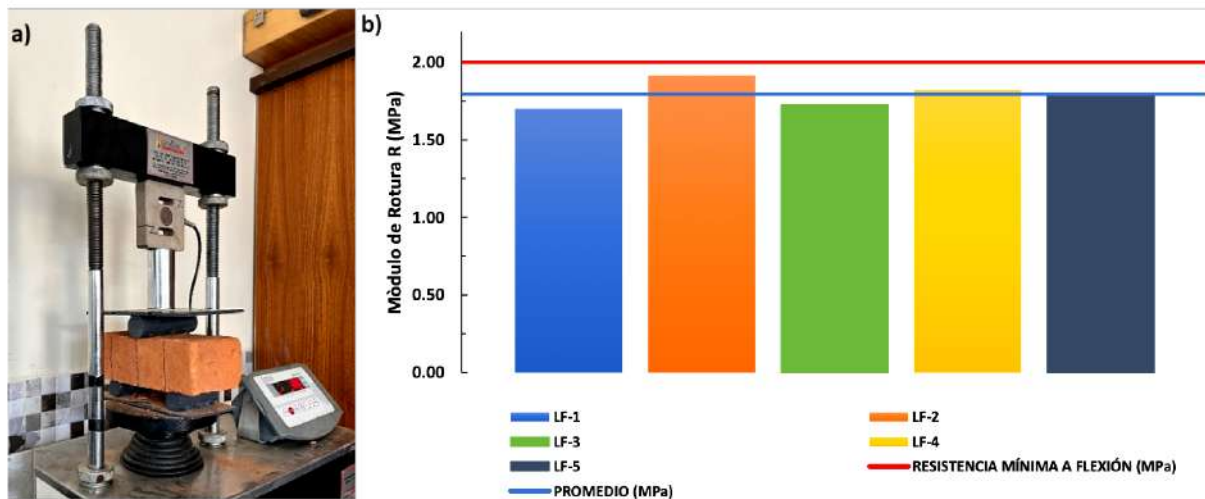
Nota. a) Ensayo de resistencia a la compresión en ladrillos artesanales y b) Resultados de laboratorio.

El ladrillo fabricado en el sector ladrillero “La Vega” corresponde a un ladrillo macizo tipo C, caracterizado por su elaboración artesanal, permitiendo imperfecciones y variaciones de hasta 8 mm en la rectitud de sus aristas. Según lo establecido en la Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 297, 1977), los ladrillos artesanales no alcanzan la resistencia mínima a compresión requerida de (8 MPa) en un promedio de 5 unidades, quedando por debajo del 8.63% el valor de la normativa. No obstante, los resultados de los ensayos a compresión presentan una baja dispersión, evidenciada por una desviación estándar baja (0.49%), este comportamiento indica que los valores individuales de los ensayos de compresión en los ladrillos están muy cercanos al promedio, lo que refleja uniformidad o consistencia en el comportamiento del conjunto de datos.

1.4.3. Resistencia a la flexión

Figura 14

Resultados de la resistencia a la flexión en ladrillos artesanales



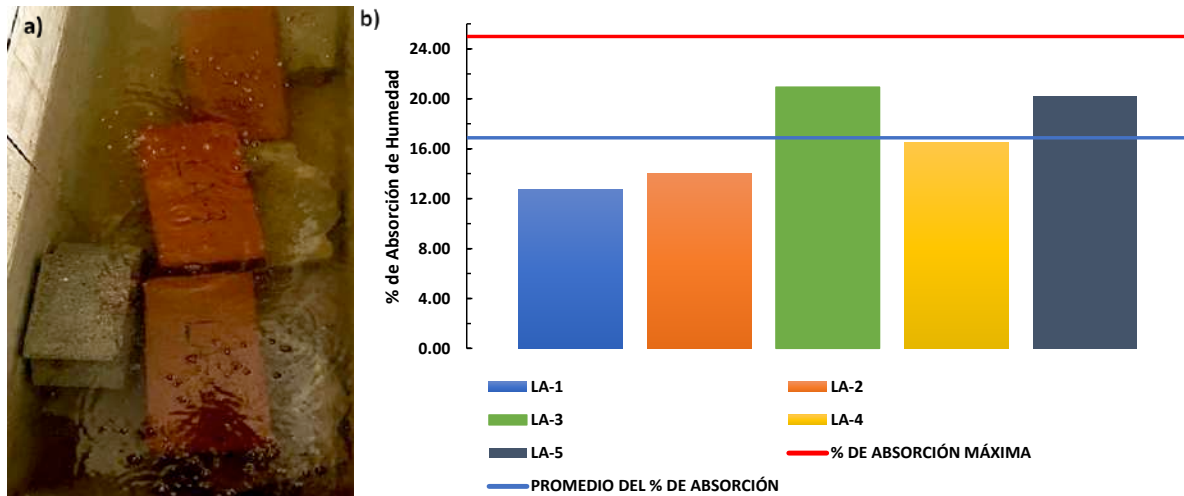
Nota. a) Ensayo de resistencia a la flexión en ladrillos artesanales y b) Resultados de laboratorio.

El ladrillo producido en el sector ladrillero “La Vega” es un ladrillo macizo tipo C, elaborado de forma artesanal, permitiendo imperfecciones y variaciones de hasta 8 mm en la rectitud de sus aristas. Según lo establecido en la Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 297, 1977), los ladrillos artesanales no cumplen con la resistencia mínima a flexión requerida de (2 MPa) en un promedio de 5 unidades, quedando por debajo del 10.5% el valor de la normativa. Sin embargo, los resultados obtenidos en los ensayos de flexión exhiben una desviación estándar baja (0.09%), lo que evidencia que las resistencias individuales se encuentran estrechamente agrupadas en torno al promedio. Lo que evidencia la homogeneidad en el comportamiento del conjunto de datos analizados.

1.4.4. Absorción de humedad

Figura 15

Resultados del ensayo de absorción de humedad en ladrillos artesanales



Nota. a) Ensayo de absorción de humedad en ladrillos artesanales y b) Resultados de laboratorio.

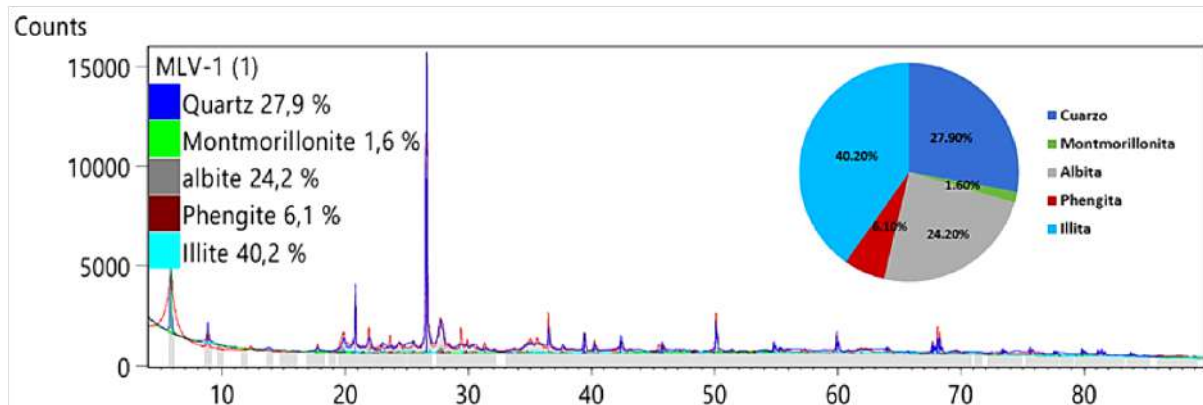
El ladrillo fabricado en el sector ladrillero “La Vega” es un ladrillo macizo tipo C, fabricado mediante un proceso artesanal, permitiendo imperfecciones y variaciones de hasta 8 mm en la rectitud de sus aristas. Según lo establecido en la Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 297, 1977), los ladrillos artesanales cumplen con el porcentaje (%) de absorción de humedad máxima requerida del (25%) en un promedio de 5 unidades.

Aunque el porcentaje de absorción de humedad se encuentra dentro del rango establecido por la normativa, se ha registrado una desviación estándar elevada (3.64%) en los resultados experimentales, lo cual indica una dispersión moderada entre las mediciones individuales del porcentaje de absorción en ladrillos artesanales.

1.4.5. Difracción de rayos x

Figura 16

Resultados de la difracción de rayos x



Se conoce que la plasticidad de los suelos es atribuible a la presencia de minerales arcillosos como la montmorillonita y la caolinita. En particular, las propiedades de la montmorillonita (1.6%) dependen en gran medida del tamaño y la carga de los cationes

alojados entre sus capas elementales, compuestas por redes de tetraedros de sílice y octaedros de alúmina. La montmorillonita presenta como principal ventaja su capacidad para absorber moléculas de agua en los espacios entre sus capas, lo que le otorga propiedades excepcionales de absorción y expansión. (Junco del Pino & Tejeda Piusseaut, 2013)

El cuarzo (27.9%) mejora la estabilidad del material durante el secado y la cocción (disminuyendo la retracción) y lo hacen más adecuado para resistir temperaturas altas (mejorando su refractariedad).

La albita (24.2%) actúa como fundente, lo que significa que reduce la temperatura de fusión de la arcilla. Al disminuir el punto de fusión, facilita la vitrificación (formación de una fase vítrea) en el proceso de cocción, lo que mejora la densidad y la resistencia del producto final.

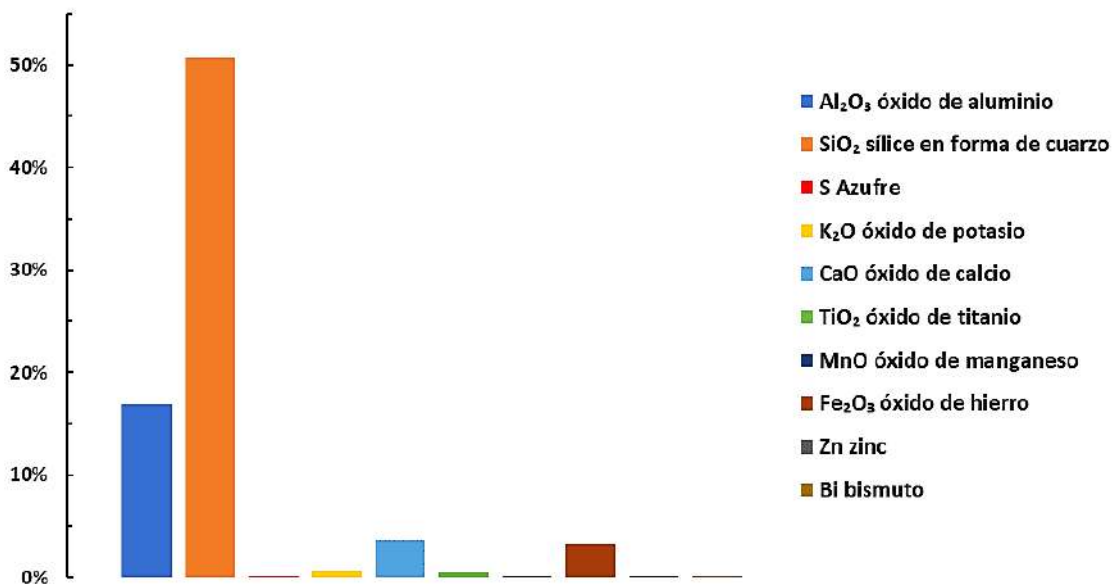
La phengita (6.1%) es un miembro del grupo de las micas, tiene una estructura laminar que contribuye a mejorar la plasticidad de la arcilla. Esto facilita su manejo en el modelado y conformado, haciendo que la arcilla sea más trabajable y cohesiva durante los procesos de fabricación.

La illita (40.2%), un miembro del grupo de las micas que contribuye en cierta medida a la refractariedad de la arcilla, aunque no es tan efectiva como otros minerales como la albita o la phengita. Sin embargo, su estabilidad térmica es suficiente para soportar temperaturas moderadas en aplicaciones cerámicas.

1.4.6. Fluorescencia de rayos x

Figura 17

Resultados de la fluorescencia de rayos x



El óxido de aluminio (Al₂O₃), que representa un 16.9% de la composición de la arcilla, indica la presencia de minerales como la caolinita o la illita, fundamentales para la plasticidad y refractariedad del material. El sílice en forma de cuarzo (SiO₂) constituye el 50.7%, caracterizándose por su perfección cristalina y alta pureza, lo que constituye el componente principal de las arcillas, a temperaturas alrededor de 573 °C los cristales de cuarzo experimentan una transformación en su estructura cristalina. Por esta razón, es fundamental programar un calentamiento gradual en el rango de 500 a 600 °C durante el proceso de

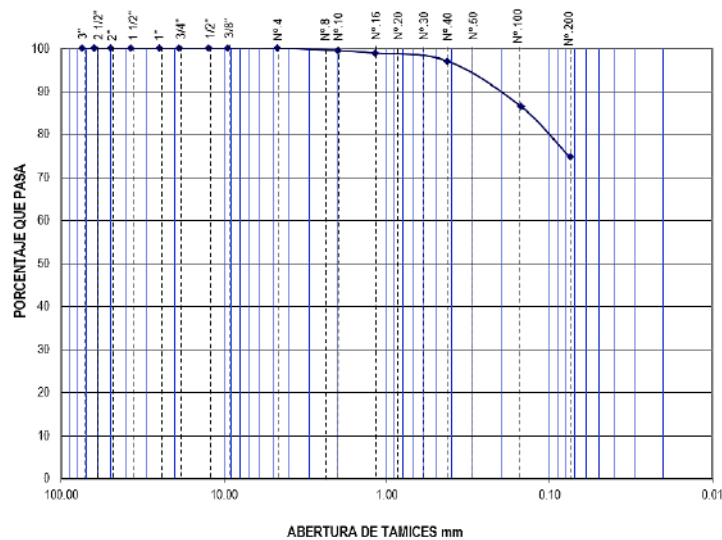
fabricación de los ladrillos artesanales, para evitar que se generen rupturas en el material. Además, el azufre (P, 0.07%) mejora la cohesión y coloración sin comprometer el rendimiento en los ladrillos cerámicos.

La presencia de óxidos de potasio (K_2O , 0.70%), calcio (CaO , 3.6%) y bismuto (Bi, 0.01%) actúan como fundentes, facilitando la vitrificación y mejorando la densidad y resistencia final en los ladrillos artesanales. El óxido de titanio (TiO_2 , 0.5%) y el zinc (Zn , 0.022%) contribuyen a la resistencia térmica del material, mientras que el manganeso (MnO , 0.1%) mejora la plasticidad, coloración y vitrificación de los ladrillos cerámicos. Finalmente, el óxido de hierro (Fe_2O_3 , 3.2%) reduce la temperatura de fusión y aporta tonos marrones a negros en los productos cerámicos.

1.4.7. Granulometría del árido fino

Figura 18

Curva granulométrica del árido fino



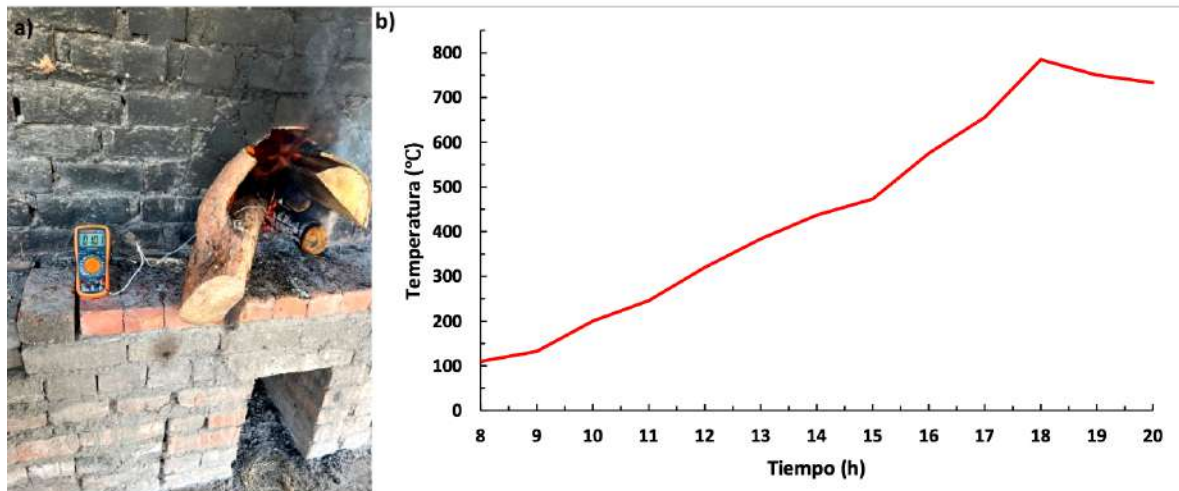
El material ensayado proviene de la Mina “La Vega”, mediante el análisis granulométrico realizado bajo la Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 696, 2011) muestra la distribución de tamaño de las partículas de una muestra de arcilla.

Al observar el paso por los tamices, se evidencia que el 100% del material pasa el tamiz N°4 (4.75 mm), lo cual indica que no hay presencia de partículas gruesas. Además, al examinar los tamices más finos, notamos que el tamiz N°200 (0.075 mm) retiene el 25% del material, dejando que el 74.7% pase, lo cual indica una elevada proporción de partículas muy finas, típicas de una arcilla. El proceso de lavado de la muestra nos indica una reducción en el peso total del material, pasando de 340 gramos a 86 gramos. Esta pérdida se debe a la eliminación de materiales extremadamente finos, posiblemente limos o partículas coloidales, las cuales son comunes en arcillas.

1.4.8. Temperatura de cocción

Figura 19

Temperatura de cocción de los ladrillos artesanales



Nota. a) Medición de temperatura de cocción en ladrillos artesanales y b) Resultados de las temperaturas de cocción.

El material a ensayar proviene del sector ladrillero “La Vega”, el análisis de la temperatura de cocción de los ladrillos artesanales muestra un proceso de calentamiento gradual, que alcanza su temperatura máxima en las horas finales del registro. A partir de las 8 horas, la temperatura comienza a incrementarse progresivamente, manteniendo un ritmo de ascenso estable alcanzando un pico de aproximadamente 785°C. Posteriormente, el incremento en la temperatura se estabiliza y tiende a descender ligeramente.

Este comportamiento indica que se ha seguido un ciclo de cocción gradual, permitiendo la eliminación progresiva de humedad y gases internos en los ladrillos sin generar tensiones térmicas bruscas que puedan causar deformaciones o fracturas. Por lo tanto, al tener una temperatura elevada de 785°C es adecuado para la vitrificación parcial de las partículas de arcilla, mejorando así la resistencia y durabilidad del ladrillo.

Conclusiones

En la producción de ladrillos artesanales, no se aplican procesos de control de calidad que aseguren la consistencia y las propiedades mecánicas del material, conforme la Normativa Técnica Ecuatoria (NTE INEN 297, 1977) de los ladrillos macizos tipo C producidos artesanalmente en el sector La Vega. En términos de resistencia a compresión y flexión, los resultados promedio no alcanzan los valores mínimos establecidos por la normativa, registrando déficits del 8.63% y 10.5% respectivamente. Sin embargo, la baja dispersión de los datos observada en ambas propiedades mecánicas, reflejada por una desviación estándar baja del (0.49% y 0.09%), establecen una uniformidad en el comportamiento del conjunto de datos, lo que evidencia una homogeneidad en el conjunto de datos analizados.

En contraste, los valores de absorción de humedad cumplen con los límites establecidos por la normativa, aunque la elevada dispersión de los datos reflejada por una desviación estándar del (3.64%) en los resultados individuales denota una variabilidad significativa en la capacidad de absorción del material. Esta variabilidad implica la existencia de irregularidades en el proceso de fabricación, las cuales comprometen la homogeneidad de las propiedades del material, afectando así su comportamiento estructural y su desempeño en condiciones de carga y durabilidad a largo plazo.

La composición mineralógica y la distribución de óxidos presentes en las arcillas son factores determinantes en la calidad final de los ladrillos artesanales, al influir directamente en propiedades fundamentales como la plasticidad, la cohesión y la estabilidad térmica del material. En este contexto, se estableció que la temperatura máxima de cocción alcanzada fue de 785°C, por lo tanto, un control riguroso y detallado del proceso de cocción es esencial para evitar la aparición de fracturas durante la fabricación, ya que este proceso es crítico para la optimización de la densidad y la resistencia mecánica del producto final.

Por lo tanto, es necesario el manual de control de calidad en la fabricación de ladrillos artesanales. Este manual define procedimientos clave y estándares para garantizar la excelencia del producto. Proporcionando lineamientos precisos desde la selección de materia prima hasta la cocción optimizando recursos, asegurando una consistencia y calidad en el producto final cumpliendo con los requerimientos y especificaciones prescritas en las normativas vigentes.

Recomendaciones

En la fabricación de ladrillos artesanales, el proceso de cocción en el horno se debería realizar a una temperatura superior de 850°C, con la finalidad de eliminar residuos granulares, logrando una porosidad homogénea en el ladrillo cerámico asegurando un producto óptimo y de buena calidad.

La adopción de un proceso mecanizado en el amasado de mezclas para la producción de ladrillos artesanales es fundamental para optimizar la calidad y la uniformidad del producto. El empleo de maquinaria especializada no solo garantiza una mayor precisión en la mezcla, sino que también eleva los estándares de producción, acercándolos a los niveles industriales en términos de eficiencia y consistencia.

Referencias bibliográficas

- [1] ALTIOR. (2013). ESTUDIO DE MERCADO SECTOR LADRILLERO ARTESANAL EN ECUADOR. 95. <https://docplayer.es/45015635-Estudio-de-mercado-sector-ladrillero-artesanal-en-ecuador-estudio-de-mercado-del-sector-ladrillero-artesanal-en-el-canton-cuenca.html>
- [2] Barranzuela Lescano, J. E. (2014). Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura. <https://hdl.handle.net/11042/1755>
- [3] Barreiro García, L. A. (2023). Puesta en valor del ladrillo artesanal fabricado en la ciudad de Santa Ana de vuelta larga, provincia de Manabí. http://repositorio.sangregorio.edu.ec/bitstream/123456789/3046/1/TESIS_POSGRADO_ARQ_ANTONIO_BARREIRO_%281%29.pdf
- [4] Bilgil, A., Ari Polat, T., Simsek, O., & Yesilyurt, E. (2020). Synthesis and characterization of sustainable geopolymer green clay bricks: An alternative to burnt clay brick. *Construction and Building Materials*, 259, 12. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1246745>
- [5] Castrillón Zuluaga, D., Henao Arrieta, A. P., Ferney García, P. D., Rodríguez, J. E., Hoyos Machado, Á. M., López, M. E., & Gómez Álvarez, C. (2016). Caracterización térmica, química y mineralógica de un tipo de arcilla roja propia de la región andina colombiana, empleada para la producción de ladrillos para construcción. *Revista Colombiana de Materiales*, 9, 53–63. <https://doi.org/10.17533/udea.rcm.326494>
- [6] Cruz Maldonado, R., Mora, E., & Bonilla, D. (2020). Retos De La Industria Ladrillera En La Actualidad Para La Asociación Nacional De Fabricantes De Ladrillo Y Productos De Arcilla. *Germina*, 2(2), 95–101. <https://doi.org/10.52948/germina.v2i2.212>
- [7] Frías Torres, A. X., & Romero Coyago, J. A. (2021). Determinación de la resistencia a compresión de ladrillos macizos fabricados con diferentes tipos de arcilla del cantón Pastaza y su comparación con el ladrillo común. 133.
- [8] GARAY MENDOZA, H. C. (2020). Revisión sistemática: calidad de la producción de los ladrillos artesanales. *Universidad Privada Del Norte*, 29. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24196>
- [9] Guerrero Gómez, G., Espinel Blanco, E., & Escobar Mora, N. (2018). CURVA DE COCCIÓN DE LA ARCILLA EN LA LADRILLERA EL RECREO. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, 1(31), 1–7. <https://doi.org/10.24054/16927257.v31.n31.2018.2762>
- [10] Junco del Pino, J. M., & Tejada Piusseaut, E. (2013). Consideraciones acerca de la actividad de las arcillas en la estabilización de suelos con sales cuaternarias de amonio. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, ISSN: 1990-8830, 7, 1–13.
- [11] Loayza Arias, C. A., & Guarderas Ortiz, M. F. (2017). Caracterización de arcillas naturales del cantón Catamayo y su uso potencial tecnológico. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/17079>
- [12] Maldovan Bonelli, J., Goren, N., & Corradi, F. (2021). ¿Nuevos problemas o profundización de desigualdades preexistentes? *Trabajo y Sociedad*, 21(36), 54–79. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1514-68712021000100055&script=sci_abstract

- [13] Mimbela Orderique, F., Muñoz Perez, S., & Rodríguez Lafitte, E. (2021). Uso de ladrillos triturados en concreto: una revisión literaria. *Revista Politécnica*, 17(34), 82–100. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a6>
- [14] NTE INEN 292. (2015). LADRILLOS CERÁMICOS. MUESTREO. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–7.
- [15] NTE INEN 293. (2014). LADRILLOS CERAMICOS. DEFINICIONES. CLASIFICACION Y CONDICIONES GENERALES. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–7.
- [16] NTE INEN 294. (1977). LADRILLOS CERAMICOS DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–9.
- [17] NTE INEN 295. (1977). LADRILLOS CERAMICOS. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–6.
- [18] NTE INEN 296. (1977). LADRILLOS CERAMICOS DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [19] NTE INEN 297. (1977). LADRILLOS CERÁMICOS. REQUISITOS. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–6.
- [20] NTE INEN 685. (1982). GEOTECNIA. MECANICA DE SUELOS. TERMINOLOGÍA Y SIMBOLOGÍA. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 34.
- [21] NTE INEN 696. (2011). ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–14.
- [22] Pérez Castillo, J. G. (2016). Mejorar la calidad de los ladrillos artesanales producidos en la ciudad de Catamayo. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/14779>
- [23] Riera Bravo, D. A., & Herrera Mora, B. (2018). Estandarización del proceso productivo y control de calidad en la industria ladrillera. Caso: Ladrillera y Comercializadora Alfredo. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7726>
- [24] Romero Coyago, J. A. (2021). Determinación de la resistencia a compresión de ladrillos macizos fabricados con diferentes tipos de arcilla del cantón Pastaza y su comparación con el ladrillo común. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/33092>
- [25] Sánchez Romero, Á. M. (2012). Estudio geológico estructural e inventario de deslizamientos del área 1 de la cuenca de Catamayo. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/4268>
- [26] Swisscontact. (2016). Manual De Capacitación Sector Ladrillero. La Coalición de Calidad de Aire y Clima, Primera Edición, 56. <https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/manual-capacitacion-sector-ladrillero.pdf>
- [27] Téllez Salazar, D. (2015). Evaluación de mezclas de arcilla de la zona de Cayo Guam para su utilización en la industria de la cerámica roja. <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1401>
- [28] Tenesaca, M., & Rasco, J. (2017). Diseño de un Modelo de Negocios Para el Sector Ladrillero Artesanal del Cantón Cuenca, Período 2017-2019. <https://core.ac.uk/download/pdf/288584645.pdf>
- [29] Torres Rodríguez, D., Merú Marcó, L., & García-Orellana, Y. (2022). Fluorescencia total de rayos X como método alternativo para la determinación de microelementos en suelos

de la depresión de Quíbor (Venezuela). *TecnoLógicas*, ISSN-e 2256-5337, ISSN 0123-7799, N° 53, 2022, 25(53), 2195. <https://doi.org/10.22430/22565337.2195>

[30] Valdes, H., Vilches, J., Felmer, G., Hurtado, M., & Figueroa, J. (2020). Artisan brick kilns: State-of-the-art and future trends. *Sustainability (Switzerland)*, 12(18), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su12187724>

[31] Zeballos Velásquez, E. L., Melero, P. C., Trujillo, A. L., Mejía, M. E., & Ceroni, M. (2014, April 1). Estudio estructural de arcillas de Chulucanas por difracción de rayos-X y método de Rietveld. *REVISTA MATERIA*, ISSN 1517-7076, 19(2), 159–170. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762014000200010>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.