

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Propiedades físicas y mecánicas de un ladrillo con sustitución
del 1% con filtro de cigarrillo - Caraz**

Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil

Autor:

Wilson David Pajuelo Menacho

Asesor

Mg. Ing. Solar Jara, Miguel

Chimbote-Perú

2019

TÍTULO

Propiedades físicas y mecánicas de un ladrillo con sustitución del 1% con filtro de cigarrillo - Caraz

PALABRAS CLAVE

Tema	Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo con filtro de cigarro
Especialidad	Tecnología del concreto

KEYWORDS

Theme	Physical and mechanical properties of brick with cigar filter
Speciality	concrete technology

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Línea de investigación	Construcción y gestión de la construcción
Área	Ingeniería y tecnología
sub área	Ingeniería civil
Disciplina	Ingeniería de la construcción
Sub línea o campo de acción	Materiales de la construcción

RESUMEN

En el presente trabajo se demostró todo lo concerniente a las propiedades físicas y propiedades mecánicas que presentan las unidades de albañilería artesanal al ser sustituido en su composición con colillas de cigarro en nuestra localidad.

Para la realización de este proyecto, la metodología utilizada fue la explicativa, necesitando así los servicios del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Institución, la cantera de Yuracoto-Caraz para la extracción de material y fabricación de ladrillos.

Los objetivos y metas concluidos llevaron a la investigación a resultados favorables esperados, demostrando así que con la sustitución de un porcentaje con colillas de cigarro al ladrillo artesanal se puede conseguir similares resultados que las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería patrón.

ABSTRACT

In the present work, everything related to the physical properties and mechanical properties presented by artisanal masonry units was shown when it was replaced in its composition with cigarette butts in our town.

For the realization of this project, the methodology used was the explanatory one, thus needing the services of the Soil Mechanics Laboratory of the Institution, the Yuracoto-Caraz quarry for the extraction of material and brick manufacturing.

The objectives and goals concluded led to the investigation to expected favorable results, demonstrating that with the substitution of a percentage with cigarette butts to artisanal brick, similar results can be achieved as the physical and mechanical properties of the standard masonry units.

INDICE

Título	i
Palabras Claves – Línea de Investigación	ii
Resumen	iii
Abstrac	iv
Introducción	1
Metodología	53
Resultados	65
Análisis y discusión	93
Conclusiones	98
Recomendaciones	99
Agradecimientos	100
Referencias Bibliográficas	101
Anexos	103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución esquemática de las partículas en una arcilla residual o primaria (Hamilton, 1989)

Figura 2: Distribución esquemática de las partículas en una arcilla sedimentaria o secundaria (Hamilton, 1989)

Figura 3: Galletera de Hélice (Moreno, 1981)

Figura 4: Boquilla (Moreno, 1981)

Figura 5: Prensa de Vacío (Moreno, 1981)

Figura 6: Ciclo de cocción típico de un producto de arcilla.

Figura 7: Horno Intermitente con suelo y muros laterales, típico de México (Jiménez y Salazar, 2005)

Figura 8: Horno tipo Hoffman

Figura 9: Abbas Mohajerani, Investigador del RMIT.

Figura 10: Determinación de la altura de la unidad.

Figura 11: Valores promedio de las unidades (variación dimensional)

Figura 12: Valores de alabeo para concavidad y convexidad.

Figura 13: Valores promedio de resistencia a la compresión.

Figura 14: Resumen de valores – resistencia a la flexión.

Figura 15: Valores promedio de densidad.

Figura 16: Comparación de resultados (succión)

Figura 17: Curva granulométrica.

Figura 18: Resultados índice de plasticidad

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación entre el contenido químico de la corteza terrestre y la arcilla roja común (Rhodes, 1990)

Tabla 2: Cuadro resumen de los factores influyentes en las propiedades y características de las unidades de arcilla cocida.

Tabla 3: Cuadro resumen de los factores influyentes en las propiedades y características de las unidades de arcilla cocida (Elaboración propia)

Tabla 4: Muestras por ensayo.

Tabla 5: Variación dimensional del largo de la unidad – sin filtro.

Tabla 6: Variación dimensional del ancho de la unidad – sin filtro.

Tabla 7: Variación dimensional del alto de la unidad – sin filtro.

Tabla 8: Variación dimensional del largo de la unidad – con filtro.

Tabla 9: Variación dimensional del ancho de la unidad – con filtro.

Tabla 10: Variación dimensional del alto de la unidad – con filtro.

Tabla 11: comparación de la variabilidad dimensional

Tabla 12: Espesores de junta horizontal.

Tabla 13: Alabeo de la unidad sin sustitución de su volumen sin filtro de cigarro.

Tabla 14: Alabeo de la unidad con sustitución de su volumen con filtro de cigarro.

Tabla 15: Comparación de alabeo de las unidades patrón y unidades sustituidas con filtro de cigarro.

Tabla 16: Resistencia a la compresión de la unidad y su módulo de elasticidad – ladrillo patrón.

Tabla 17: Resistencia a la compresión de la unidad y su módulo de elasticidad – unidad con sustitución de su volumen con filtro de cigarro.

Tabla 18: Comparación de la resistencia a la compresión según la norma E.070.

Tabla 19: Resistencia a la tracción por flexión (ftb)- ladrillo patrón.

Tabla 20: Resistencia a la tracción por flexión (ftb)- ladrillo con sustitución de su volumen con filtro de cigarro.

Tabla 21: Resumen de valores promedios de la resistencia a la flexión.

Tabla 22: Peso específico y humedad natural – ladrillo con filtro de cigarro.

Tabla 23: Peso específico y humedad natural – ladrillo patrón.

Tabla 24: Resumen de valores

Tabla 25: Resultados de succión de ladrillo patrón.

Tabla 26: Resultados de succión de ladrillo con sustitución de filtro de cigarro.

Tabla 27: Resultados de clasificación según norma.

Tabla 28: Resultados de Absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación de ladrillo patrón.

Tabla 29: Resultados de Absorción, absorción máxima y coeficiente de ladrillo con filtro de cigarro.

Tabla 30: Resultados de granulometría del material extraído en la cantera de Yuracoto.

Tabla 31: Resultados de límites de consistencia

Tabla 32: Resumen límites consistencia

Tabla 33: Variación dimensional del Largo en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tabla 34: Variación dimensional del Ancho en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tabla 35: Variación dimensional del Alto en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tabla 36: Alabeo – Lado superior del ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tabla 37: Alabeo – Lado inferior del ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tabla 38: Resistencia a la compresión en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tabla 39: Resistencia a la flexión en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tabla 40: Prueba de succión en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tabla 41: Prueba de absorción en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

I. INTRODUCCION

Antecedentes y fundamentación científica

Internacional

Los ladrillos ecológicos son un elemento clave en la arquitectura ecológica. Sin embargo, el término agrupa a distintos tipos de materiales y sus beneficios también pueden ser muy diferentes. A pesar de sus diferencias, todos ellos tendrán en común una serie de ventajas a nivel ambiental o de sostenibilidad.

Actualmente, los ladrillos convencionales necesitan mucha energía para su fabricación con lo que el impacto ambiental es importante.

- Cabo L. M. (2011) en su investigación “ladrillo ecológico como material sustentable para la construcción” El principal objeto es el desarrollo de ladrillos puzolánicos sin cocción y compactados a tres niveles relativamente bajos de presión, como material ecológico y sostenible de construcción y alternativa a los ladrillos tradicionales cocidos. Para ello, se utilizará la cal hidráulica natural, el cemento Portland como aditivo de referencia, y residuos como las cascarillas de arroz procedentes de la cosecha del arroz y las cenizas de cáscara de arroz subproducto de la generación de biomasa. La base de este ladrillo es un tipo de arcilla, la marga gris, un suelo considerado marginal.

Concluye en: El producto final denominado “ecoladrillo” satisface completamente las expectativas de este trabajo. Este nuevo tipo de ladrillo puzolánico ecológico sin cocción, incrementa su valor ecológico al contener como componentes del mismo, aditivos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, sobre todo por el ahorro energético que se produce en el proceso de su fabricación. El ecoladrillo está hecho con un suelo arcilloso, marga gris, 5% de cal hidráulica natural, 8% de cenizas de cáscaras de arroz

residuo de la industria de la biomasa, y un 5% de cascarillas de arroz subproducto de la cosecha del mismo. Es un producto con óptimas características mecánicas, obteniéndose buenos resultados de resistencia a compresión y a inmersión en agua, y excelente durabilidad frente a temperaturas extremas, además la apariencia del mismo es totalmente innovadora.

- Mohajerani A. (2016), un investigador de la Universidad RMIT de Australia (Melbourne Institute of Technology) que tuvo la idea de convertir las colillas de cigarrillos en materia prima para producir ladrillos ecológicos. De esta manera, al utilizar solo un 1% de colilla de cigarrillo en la fabricación se podría hacer frente a dos graves problemas: los gases tóxicos de las ladrilleras (permite un ahorro de 58% de energía), y el desecho de las colillas tóxicas que precisan de muchos años para degradarse, contaminando el suelo y el agua con arsénico, cromo, níquel, y cadmio.

Al respecto, Mohajerani señala que: *“La incorporación de colillas en ladrillos puede efectivamente resolver un problema global de basura. Las colillas de cigarrillo recicladas se pueden colocar en los ladrillos, sin temor a la lixiviación o la contaminación. Ellos también son más baratos de producir, en términos de las necesidades energéticas, disminuyendo el coste energético a medida que más colillas se introducen en la producción”*.

- Schirley S. M., Vizcaino C. A., Ramírez S. F. (2007) en su investigación, “estudio de las características físico - mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacias (meta)”, El plástico, por su versatilidad, es el componente principal de muchos de los objetos que se desechan a diario en la basura, además, por su fácil manipulación y modelación a altas temperaturas con un proceso adecuado de reciclaje, se debe convertir en una opción favorable en la construcción de casas con

ladrillos de dicho material buscando proporcionar viviendas de rápida construcción a bajo costo. Para desarrollar una propuesta de tales dimensiones se contará con la decidida participación de la administración de Acacias (Meta) en lo que concierne al manejo y destino final de sus basuras, reduciendo el volumen de las mismas y poniendo a disposición la planta recicladora en la que ya se ha trabajado con dicho material y que cumple con todas las disposiciones y normatividad vigentes, permitiendo así el verificar la resistencia del plástico y darle la forma que se pretende.

Concluyen en, Nuestro país produce una gran cantidad de residuos sólidos de origen orgánico e inorgánico. Del total de los residuos inorgánicos, los plásticos registran un alto porcentaje, por ello se deben aprovechar los recursos que tenemos a nuestro alcance para la fabricación de ladrillos de plástico reciclado y así dar solución a la construcción de viviendas de interés social de una manera económica y ecológica.

El ladrillo de plástico reciclado utilizado en el proyecto tiene una combinación de 70% de PET y 30% de PEAD lo que lo hace un ladrillo liviano por el peso específico de la materia prima y a su vez por su alto contenido de PET un material combustible de muy baja propagación de llama y buen aislante térmico.

Nacional

- Arquíñigo T. W. N (2011), en su investigación “propuesta para mejorar la calidad estructural de los ladrillos artesanales de arcilla cocida de Huánuco” propone obtener ladrillos artesanales de arcilla cocida que cumplan con las exigencias de la Norma E.070 (2006), en cuanto a resistencia a compresión de unidades, prismas y muretes.

Concluye en; La inclusión de huecos en la cara de asiento y aserrín en la composición del crudo, permite que los ladrillos artesanales de arcilla cocida, cumplan con las exigencias de la norma E 070, clasificándolo por lo menos como del tipo II.

Efectivamente, la inclusión de huecos, manteniendo la condición de sólido o macizo (menos de 30% de vacíos), permite mejor circulación del aire caliente, cocinando mejor la parte central de la unidad.

Un mejor grado de cocción (sin llegar a vitrificar), permite que el ladrillo alcance una mayor resistencia y en consecuencia también mayor durabilidad frente a las inclemencias del clima.

La inclusión de aserrín en la composición del crudo, prácticamente evita fisuras o grietas por contracción de secado

- Aguirre V., D. F. (2011) en su investigación, “el plástico reciclado como elemento constructor de la vivienda”. El objetivo de este breve ensayo es realizar un análisis con bloques de botellas de plástico y basura inorgánica que se están haciendo en Países como Perú, con el fin de poder aplicarlo a nuestro medio teniendo en cuenta las condiciones climáticas, geológicas, etc., propias de nuestra zona y así cumplir con las garantías de resistencia y seguridad exigidas para nuestro medio local.

Concluye en; las resistencias obtenidas en los ensayos de concreto con plástico reciclado se puede fabricar bloques para mampostería y también mortero para fabricar paneles estructuras, se plantea trabajar en planta baja con bloque y en planta alta con panel estructural.

Local

- Mendoza G. J. (1997) en su investigación, “ladrillo mejorado de arcilla cruda”. El objetivo es transmitir metodologías y herramientas para el mejoramiento de la calidad y resistencia de ladrillos de manufactura artesanal, así mismo la reducción de costos y aumento de la capacidad de producción en la industria ladrillera.

Para lo cual se ha realizado un estudio racional y sistemático del proceso de elaboración del ladrillo que permite alcanzar mejoras sustanciales en la productividad y calidad, lo que se traduce en aumento de la resistencia, reducción de costos y tiempo empleado en la producción, así como en una mayor competitividad para los productores de ladrillos.

Concluye en; en base a los distintos trabajos ejecutados, observaciones realizadas y datos acumulados en campo y laboratorio, se llega a las siguientes conclusiones

- Los ladrillos mejorados obtenidos se clasifican como TIPO IV de acuerdo a las normas E0-70.
- El ladrillo mejorado contiene arcilla de alta plasticidad con arena silíceo de 35 a 40 % en peso con granulometría que pasa la malla N° 20. La arena sirve como material desgrasante y como material fundante. Para el modelo se utiliza arena, con una granulometría tal que pase la malla N° 16 y retenido en la malla N°50.
- Yanac G. C. (2014) en su investigación, “evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería fabricadas artesanalmente en la Provincia de Huaraz”. Como elemento del sistema constructivo tradicional el ladrillo artesanal mantiene elevada su producción y demanda, debido a la disponibilidad geográfica de la materia prima que contribuye al bajo costo de la unidad, por ello la importancia de expresar la calidad del ladrillo, mediante la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas, así como la caracterización de la materia prima utilizada en la fabricación de las unidades.

Concluye en:

- La mayor variación dimensional le corresponde a las unidades de la zona del milagro, con variaciones de 0.6 %, 0.4 % y 0.8 %, en su largo, ancho y alto respectivamente. Clasificándose las unidades de las 4 zonas como Tipo V.

- El mayor alabeo. Se encuentra en las unidades de la zona de Shancayan, cuyo máximo alabeo es de 1.25mm. Clasificándose las unidades de las 4 zonas como Tipo V.
- Los resultados de la resistencia a la compresión de las unidades de las 4 zonas están por muy debajo del mínimo de 50 kg/cm² recomendado por la Norma E.070 (2006), siendo los de mayor resistencia a la compresión las unidades de Chihuipampa (Zona C), con $f'_{b}=30.04$ kg/cm², por lo que no clasifica ninguna unidad.

Justificación de la investigación

La justificación del presente proyecto es por la necesidad de disminuir la contaminación ambiental que genera la colilla de cigarro en suelos al ser arrojados afectando estos el cultivo y la vida en ella, además en el agua sabiéndose que depende de algunas marcas puede llegar a contaminar desde 8.00 lt de agua por unidad de colilla de cigarro.

Además de poder ahorrar energía en el proceso de cocción de los ladrillos que se produciría al sustituir con el filtro de cigarro en el ladrillo, al ser este material más liviano beneficiaría al sector de la construcción mejorando el rendimiento en obra, con esto generar beneficios económicos a los diferentes proyectos de obras civiles y a los diferentes productores de ladrillo de la Localidad.

Problema

En el mundo, cerca de 1100 millones de seres humanos son fumadores empedernidos, juntos suman más de 15 billones de filtro de cigarrillos al año.

El problema es que ese objeto que mide apenas dos centímetros puede tardar hasta 10 años en descomponerse.

Según un estudio publicado por el British Medical Journal, los filtros de cigarrillo son totalmente perjudiciales para los peces. Esto se debe a que un solo filtro contiene al menos 15 mil fibras de acetato de celulosa que proviene del petróleo, más pegamento y sales.

Un material que las bacterias del suelo no pueden combatir. Además, su composición con trazos de toxinas como plomo, arsénico y cadmio pueden infiltrarse en el suelo y en aguas subterráneas. Cuando esto sucede, la descomposición acuática es mucho más rápida pero el grado de contaminación crece de forma exponencial y con solo un filtro de cigarrillo podemos contaminar de 8 a 50 litros de agua.

A este problema ambiental se suma, en menor grado la contaminación que se genera por los hornos de cocción a altas temperaturas de ladrillos, que se ve en la energía utilizada para este fin.

Es por estos motivos, nace la inquietud de querer disminuir la contaminación generada por el filtro de cigarrillo y la contaminación generada por los hornos de ladrillos, proponiendo añadir un porcentaje de filtro de cigarrillo a la composición del ladrillo, tratando así de disminuir la contaminación que generan los antes mencionados.

Para lo cual nos hacemos la siguiente pregunta:

¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de un ladrillo artesanal con la sustitución del 1% de su volumen con filtro de cigarrillo en el proceso de mezclado?

Marco referencial

Definición de ladrillos

Los ladrillos son pequeñas piezas cerámicas en forma de paralelepípedo, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción. Pueden utilizarse en toda clase de construcciones por ser su forma regular y fácil su manejo (Moreno, 1981).

Gallegos (2005); Hendry, Sinha y Davies (1997) definen al ladrillo como el componente básico para la construcción de la albañilería y la construcción.

La Norma Técnica Peruana 331.017 (2003) denomina al ladrillo como la unidad de albañilería fabricada con arcilla, esquisto arcilloso, o sustancias terrosas similares de ocurrencia natural, conformada mediante moldeo, prensado o extrusión y sometida a un tratamiento con calor a temperaturas elevadas (quema).

El presente trabajo se refiere a las unidades prismáticas fabricadas con arcilla y sometida a cocción con aplicaciones específicas en muros de albañilería.

Características de los ladrillos

El ladrillo está destinado principalmente a la construcción de muros, tabiques, suelos, etc., por lo que debe ser invulnerable a los efectos de la intemperie, y poseer suficiente resistencia a la compresión.

Del Río (1975), Moreno (1981), Somayaji (2001) y Gallegos (2005), coinciden en que un ladrillo considerado como bueno, para muros de albañilería, debe poseer las características generales siguientes: estar bien moldeado, lo que da lugar a caras planas, lados paralelos y los bordes y ángulos agudos. Ser poroso, sin exceso, para poder tomar bien el mortero, no contener sales solubles para no propiciar la eflorescencia, poseer un sonido metálico al ser golpeado con un martillo u otro objeto similar, puesto que cuando

se da este sonido es una muestra que el ladrillo está bien cocido y no tiene defectos como fisuras.

Así mismo debe contar con una geometría homogénea, compacta, luciente y exenta de caliches, no debe estar demasiado cocido ya que produciría una unidad de color violáceo o negruzco, con una estructura vitrificada y brillante, con deformaciones y grietas. Un ladrillo demasiado cocido es muy duro pero la resistencia queda anulada por las fisuras. Tampoco debe estar poco cocido o blando, pues podría desmoronarse fácilmente y daría un sonido sordo. En resumen, las características físicas del ladrillo son que debe tener una buena cocción, un color uniforme, un sonido claro y seco al ser golpeado.

El Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.070 Albañilería) manifiesta que el ladrillo no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea. Además, el ladrillo estará bien cocido, tendrá un color uniforme y no presentará vitrificaciones. No tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras o grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad y/o resistencia. No tendrá manchas o vetas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo.

Según la NTP 331.017, los ladrillos estarán libres de defectos, deficiencias y tratamientos superficiales, incluyendo recubrimientos, que pudieran interferir con la adecuada colocación del ladrillo o perjudicar significativamente la resistencia o el desempeño de la construcción.

Propiedades de los ladrillos

Las propiedades principales de las unidades de albañilería deben entenderse en su relación con el producto terminado, que es la albañilería.

Se pueden dividir en dos categorías mayores:

Propiedades físicas relacionadas a la estética del material:

- Color: Depende de su composición química de la materia prima y de la intensidad del quemado. De todos los óxidos comúnmente encontrados en las arcillas, el hierro tiene el mayor efecto sobre el color.
- Textura: Es el efecto en la superficie o la apariencia que presenta la unidad como resultado de la forma de elaboración (Somayaji, 2001).

Propiedades ingenieriles:

Algunas propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcillas son las siguientes (Gallegos, 2005):

Relacionadas con la resistencia estructural:

- Resistencia a la compresión: Propiedad mecánica que le permite al ladrillo soportar a compresión.
- Variabilidad dimensional con relación a la unidad nominal, o mejor con relación a la unidad promedio y, principalmente, la variabilidad de la altura de la unidad.
- Alabeos, medidos como concavidades o convexidades en las superficies de asiento.
- Succión o velocidad inicial de absorción en la cara de asiento.

Relacionadas con la durabilidad:

- Absorción: Propiedad física que hace referencia a la capacidad de retener una sustancia (agua) en estado líquido.
- Resistencia a la congelación: Capacidad de los ladrillos de soportar bajas temperaturas sin perder sus propiedades ni sufrir fracturas.
- Resistencia al fuego: Propiedad física de los ladrillos que consiste en soportar altas temperaturas sin sufrir daños.
- Aislamiento térmico: Propiedad física que no permite la transferencia de calor, ya que tiene una baja conductividad térmica.

Clasificación de los ladrillos

De acuerdo a sus propiedades, el Reglamento Nacional de Edificaciones, clasifica al ladrillo en cinco tipos:

- Tipo I: Resistencia y durabilidad muy bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio con exigencias mínimas.
- Tipo II: Resistencia y durabilidad bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicios moderadas.
- Tipo III: Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de albañilería de uso general.
- Tipo IV: Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.
- Tipo V: Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

La Norma Técnica Peruana 331.017 (2003), clasifica a los ladrillos de arcilla, en cuatro tipos, tal como sigue:

- Tipo 21: Para uso donde se requiera alta resistencia a la compresión y resistencia a la penetración de la humedad y a la acción severa del frío.
- Tipo 17: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión y resistencia a la acción del frío y a la penetración de la humedad.
- Tipo 14: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.
- Tipo 10: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.

Materia prima

Origen de la arcilla

El término arcilla, que se considera y define de muchas maneras, es variable y difícil de precisar. Desde el punto de vista de su origen, la arcilla no tiene significado unitario ya que puede ser un depósito sedimentario, un producto de meteorización, un producto hidrotermal o ser el resultado de una síntesis. La imprecisión del término arcilla radica en que conceptualmente es diferente para el ceramista, el geólogo, el edafólogo o el fabricante de ladrillos (Besoain, 1985).

Del Río (1975), define la arcilla como una roca terrosa, como un producto secundario proveniente de la destrucción de materiales antiguos silicatados y aluminosos.

Otros autores como Kohl (1975), precisan que las arcillas son producto de la erosión química de las rocas. De una manera más ambigua Del Busto (1991) considera que es una clase especial de tierra, formada por descomposición de rocas mediante la acción de agentes ambientales.

La definición más completa parece ser la propuesta por Rhodes (1990), que indica que la arcilla constituye un agregado de minerales y de sustancias coloidales que se han formado mediante la desintegración química de las rocas alúminas. Ésta ha sido obtenida por procesos geológicos de envejecimiento del planeta. Debido a que el proceso de envejecimiento es continuo y ocurre en cualquier punto del planeta, es considerada un material corriente y bastante abundante.

La gran mayoría de las rocas que conforman la corteza terrestre están formadas de feldespato ya que es el mineral más común de la Tierra. A este tipo de rocas formadas por feldespato se le conoce como rocas feldespáticas. Debido a la descomposición de estas rocas es que se da origen a la formación de arcilla (Rhodes, 1990).

Composición de la arcilla

La arcilla, en su estado natural, está compuesta de uno o, como es el caso general, varios minerales arcillosos. En esencia los minerales de arcilla son silicatos de aluminio, pero también hay presente productos hidratados de la descomposición de las rocas aluminosas y silicatadas, y otras sustancias como fragmentos de rocas, de óxidos hidratados, álcalis y materiales coloidales (Del Río, 1975).

Como ya se ha mencionado anteriormente, las arcillas se presentan en la naturaleza, derivadas directamente de la degradación natural de las rocas ígneas o de los feldespatos o en depósitos aluviales o eólicos (Gallegos, 2005). Es por eso que la composición química de la corteza terrestre y la de la mayoría de las arcillas es muy similar como se muestra en la Tabla 1, donde los contenidos de sílice y de alúmina son los más altos dentro de la composición de los minerales (Rhodes, 1990).

Tabla 1: Comparación entre el contenido químico de la corteza terrestre y la arcilla roja común (Rhodes, 1990)

COMPONENTE	CORTEZA TERRESTRE(%)	ARCILLA ROJA COMUN (%)
SiO ₂	59.14	57.02
Al ₂ O ₃	15.34	18.15
Fe ₂ O ₃	6.88	6.7
MgO	3.49	3.08
CaO	5.08	4.26
Na ₂ O	3.84	2.38
K ₂ O	3.13	2.03
H ₂ O	1.15	3.45
TiO ₂	1.05	0.91

Fuente: elaboración propia.

Algunos autores como Rhodes (1990) y Clews (1969) proponen la siguiente fórmula molecular de la arcilla: Al₂O₃2SiO₂2H₂O. Esta fórmula no incluye las impurezas que siempre están presentes. Por tal motivo la fórmula anterior hace referencia a una arcilla pura que recibe el nombre de caolín.

Las arcillas con un mayor grado de pureza son las que cuentan con un alto contenido de sílice y alúmina. El contenido de hierro y otras impurezas en este tipo de arcillas tiende a ser más bajo. El caolín y la arcilla plástica son un ejemplo de este tipo de arcillas. El contenido químico de los diferentes tipos de arcillas puede variar considerablemente.

Este cambio es consecuencia de las condiciones con las cuales se formó la roca ígnea de la que proviene (Rhodes, 1990).

La composición y naturaleza de la arcilla, determinan el uso y el valor de ésta. Es así que algunos de sus componentes tienen influencia sobre algunas de sus propiedades

- El cuarzo disminuye la plasticidad y la retracción y contribuye a hacerla refractaria.
- La sílice en forma coloidal aumenta la plasticidad.

- La alúmina la hace refractaria.
- El óxido de hierro al igual que el feldespato, disminuye la temperatura de fusión, actúa como fundente y también es un poderoso agente colorante. Un poco de óxido de hierro colorea intensamente la arcilla tostada pero una gran cantidad la convierte en un producto rojo o blanco si tiene 5% menos.
- Los filosilicatos de aluminio, manganeso y hierro le proporcionan a la arcilla cualidades plásticas y si bien es cierto que intervienen otros que tienen propiedades diferentes, contribuyen a darles cualidades que determinan su uso

(Del Busto, 1991).

Características físicas de la arcilla

Es indudable que la caracterización de la arcilla depende de la complejidad y proporción de los componentes que la constituyen (Besoain, 1985).

La distribución granulométrica es una variable de suma importancia, dado que de ella va a depender el grado de empaquetamiento de las partículas y, por tanto, las propiedades físico-mecánicas de los elementos hechos con arcilla tales como porosidad, absorción de agua, resistencia a la flexión, etc. Debido a que el tamaño de los granos de arcilla puede variar mucho dependiendo el tipo de arcilla al que se esté refiriendo, las propiedades físicas de las arcillas también varían (Rhodes, 1990).

Existen grandes cantidades de arcillas que cuentan con un porcentaje elevado de partículas cuyo diámetro es inferior a un micrón (0.001mm). La forma de estas partículas es delgada, plana y alargada. La arcilla cuenta con un área superficial por unidad de

volumen muy grande, producto de la combinación de tamaño de sus partículas y su forma. El tamaño extremadamente pequeño de las partículas de arcillas es producto de la desintegración de la roca por el choque entre las partículas de las rocas. Pero en combinación con los granos diminutos de algunas arcillas se encuentran mezclados fragmentos de mayor tamaño. Estos granos de mayor tamaño pueden ser feldespato inalterado, cuarzo u algún otro mineral que se ha unido a la arcilla producto del transporte o durante la sedimentación.

El tamaño típico de grano, según SUCS, es de 4.75mm a 0.075mm de diámetro para arenas y menores de 0.075mm de diámetro para arcillas.

La proporción de los minerales en una arcilla varía con el tamaño del gránulo, es decir, hay tendencia a que se concentren algunos minerales entre límites de determinado tamaño. Así, el cuarzo, y más aún el feldespato, se acumula preferentemente en la fracción de la arcilla gruesa (2-0.2 μ ϕ). Por el contrario, los minerales propios de la arcilla son los más abundantes en las fracciones más finas. Por lo general, en tamaños menores a 0.2 μ ϕ , existen sólo minerales de arcilla y algunos óxidos. La determinación completa de una arcilla sólo puede lograrse efectuando las segregaciones o fraccionamientos de tamaño adecuados. Una correcta identificación debe preservar las características que exhiben los minerales en su estado natural (Besoain, 1985).

Propiedades de la arcilla

Las propiedades de las arcillas están determinadas por sus antecedentes geológicos, especialmente por el medio en que se ha formado el depósito (ONU, 1970).

Las propiedades, que dependen de su mineralogía, estado físico e historia geológica, pueden modificarse con relativa facilidad y sus amplios usos son función de sus propias características y de las que resultan al asociarse con otras sustancias (Sociedad

Geológica Mexicana, 1964).

Con el fin de entender mejor el comportamiento de la arcilla utilizada para la conformación de la mezcla para ladrillos, a continuación, se definen algunas de las principales propiedades de la arcilla.

Plasticidad:

Ésta es la propiedad principal de las arcillas que la hacen adecuada para la fabricación de ladrillo y que hace referencia a la habilidad que tiene la arcilla, en combinación de cierta cantidad de agua, de mantener casi cualquier forma que se le dé.

La causa de que las partículas de arcilla se adhieran unas con otras ha sido motivo de muchos estudios, pero no ha sido completamente determinado aún. Hasta cierto punto la plasticidad se debe a que el grano, por su forma (delgada, plana y alargada) y encontrarse húmedo, forma una película alrededor del grano que produce tal efecto.

Otros factores que contribuyen a la plasticidad de la mezcla son: la atracción química y el contenido de carbón en las arcillas. Debido a que la plasticidad no ha sido comprendida en su totalidad la forma de medirla sigue siendo mediante el tacto, esto es pellizcando, estrujando, o haciendo una bola con la mezcla, y observando si permanece con la forma que se le dio.

Se encuentran plasticidades diferentes en las arcillas, la estructura interior no es la misma en todas las tierras y, además, los cuerpos extraños mezclados con la materia arcillosa modifican la plasticidad según su estado físico y su composición (Del Río, 1975).

Contracción:

Propiedad de las arcillas que produce una disminución en las dimensiones de lo que se esté moldeando al perder humedad. Al momento de realizar el moldeado, la arcilla se encuentra húmeda y con un alto contenido de agua, y cuando se realiza el proceso de secado la mezcla pierde el agua que contenía produciendo una reducción en el tamaño de la pieza moldeada.

Dos tipos de contracciones se llevan a cabo:

- a) Contracción por aire, que tiene lugar después que se ha formado la unidad, pero antes de que sea secada al horno.
- b) Contracción por fuego, que se produce durante el proceso de quemado.

Cualquiera de estos tipos de contracciones, si es excesivo, puede causar grietas y deformaciones en la unidad de albañilería (Schneider y Dickey, 1980).

Refractariedad:

Propiedad de las arcillas, que se refiere a la resistencia a los aumentos de temperatura.

Todas las arcillas tienen esta propiedad, pero algunas presentan un mayor grado de refractariedad. La variación en el grado de refractariedad de una arcilla a otra se debe al contenido químico de alúmina y sílice. Si la arcilla cuenta con un porcentaje alto de estos compuestos esta propiedad será mayor.

Porosidad:

La porosidad de las arcillas varía de un tipo a otro. Esta propiedad depende mucho del tamaño de grano que tenga la arcilla. Si la arcilla tiene un tamaño de grano grande la

porosidad será mayor que la de una arcilla con un tamaño de grano pequeño. Al momento de moldear y compactar la mezcla que será utilizada en la fabricación de la unidad de albañilería, las arcillas con granos pequeños quedan más unidas unas con otras. Esto evita que se acumule tanta agua entre ellas y al momento de que se cueza la pieza, disminuyen las cavidades provocadas por la evaporación del agua.

Color:

Las arcillas se presentan con variados colores, siendo blancas las arcillas más puras, pero, en general, son más o menos grises, a veces azules o negras, y frecuentemente, amarillas, rojas o pardas (Del Río, 1975).

Los diversos matices dependen de su contenido químico, pero en este caso no lo determina el contenido de sílice y alúmina, sino que los causantes de la coloración lo determinan las impurezas de origen tanto mineral como orgánico, principalmente: óxido de hierro, óxido de cobalto, óxido de cobre, pentóxido de vanadio, cobalto y el óxido de manganeso.

Clasificación de las arcillas

Diversos autores establecen la clasificación de las arcillas teniendo en cuenta ciertos aspectos, como son su origen, su composición o su capacidad para absorber agua.

Según su origen:

a) Arcillas primarias o residuales:

Los depósitos primarios de arcilla se han formado en el mismo lugar que sus rocas madres. Las arcillas derivan directamente de la degradación natural de las rocas ígneas o

de los feldespatos (Gallegos, 2005). Es por ello que la arcilla originaria de estos depósitos suministra los productos más puros, pero se encuentran raramente (Del Río, 1975).

Estas arcillas que no han sido transportadas por el agua, el viento o el glaciar; son generalmente más puras. Esto se debe a que las partículas que contienen el mayor número de impurezas son aquellas arrastradas por el viento o el agua. En la mayoría de los depósitos de arcillas primarias se pueden encontrar pedazos de roca inalterada.

Debido a que la arcilla no ha sido sometida al proceso de selección de granos mediante la suspensión en el agua, los granos grandes y pequeños se encuentran mezclados.

Comúnmente los bancos de arcillas primarias tienden a tener granos gruesos (ver Figura 1) y una plasticidad baja (Hamilton, 1989).

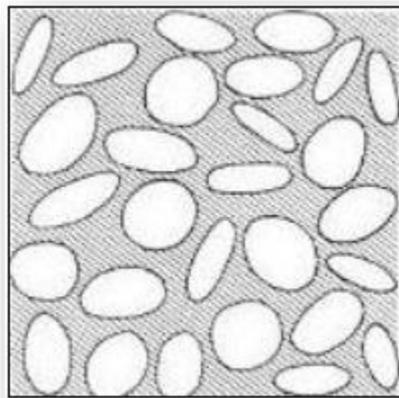


Figura 1: Distribución esquemática de las partículas en una arcilla residual o primaria (Hamilton, 1989)

Fuente:<https://www.google.distribucion+de+particulas+de+arcilla+hamilton>

A pesar de que las arcillas primarias generalmente tienden a estar libres de impurezas, no existen depósitos de arcilla en donde sea posible encontrar arcillas 100% puras. Esto se

debe a que incluso las arcillas residuales contienen algunas impurezas, producto de la asociación de varios minerales de arcilla con otros minerales.

Las arcillas primarias se caracterizan por:

- Alto grado de refractariedad, ya que se funden a temperaturas apenas menores a los 1750° C.
- Relativa pureza, ya que tienen altos porcentajes de sílice y alúmina, y bajo contenido de óxido de hierro y otras impurezas; en su composición química.
- Color blanco adquirido después de la cocción, producto de su bajo contenido de impurezas.
- Poca plasticidad al ser moldeadas, ya que no conservan la forma que se les da después del moldeo.

b) Arcillas secundarias o sedimentarias:

Los depósitos secundarios resultan del transporte de la arcilla por la acción del agua, viento o del hielo. La arcilla procedente de estos depósitos es la que más abunda en la Tierra (Del Río, 1975).

Las arcillas secundarias hacen referencia al tipo de arcilla que no se encuentra en el mismo lugar en donde se realizó la desintegración de su roca madre, y ha sido transportada a otro lugar. El medio más común en el que son transportadas las partículas de este tipo de arcillas es el agua, pero el viento y los glaciares también funcionan como medio de transporte para estas arcillas. Las arcillas transportadas por agua sufren dos procesos durante su transporte. Primero son disminuidas de tamaño debido al desgaste por rozamiento entre las partículas, y después, al llegar a aguas tranquilas pasan por un

proceso de selección. En esta etapa de selección, las partículas más grandes se separan por sedimentación de las partículas más pequeñas, las cuales continúan suspendidas en el agua.

La pureza de este tipo de arcillas es menor al de las arcillas primarias, ya que las arcillas secundarias son una mezcla de gran cantidad de arcillas producto de la erosión procedentes de diferentes lugares. Por ello es común encontrar, en el contenido químico de estas arcillas, porcentajes de hierro, cuarzo, mica y otras impurezas.

Es muy raro, pero no imposible encontrar arcillas secundarias con un nivel de pureza mayor al de la mayoría de este tipo de arcillas. A este tipo de arcillas se le conoce como “arcillas de bola”, y son muy útiles para mejorar la plasticidad de las arcillas primarias sin afectar su coloración blanca. Un ejemplo de este tipo de arcillas son los llamados “caolines secundarios”, los cuales tienen relativamente un bajo contenido de hierro.

Las principales características de las arcillas secundarias son:

- Alto grado de plasticidad, ya que tienen granos más pequeños (ver Figura 2).
- Pueden adquirir diferentes coloraciones después del proceso de cocción, desde blanco hasta marrón oscuro, la razón es porque cuentan con un alto contenido de impurezas.
- Su punto de fusión generalmente se encuentra entre los 1150° C y los 1500° C.

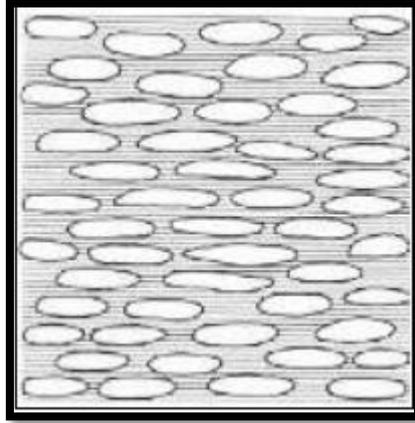


Figura 2: Distribución esquemática de las partículas en una arcilla sedimentaria o secundaria (Hamilton, 1989)

Fuente: <https://www.google.distribucion+de+particulas+de+arcilla+hamilton>

Según su composición:

Pueden ser clasificadas, dependiendo de su composición básica (Gallegos, 2005):

- a) Calcáreas: Contienen alrededor de 15% de carbonato de calcio. Producen ladrillos de color amarillento.
- b) No calcáreas: Compuestas de silicato de alúmina, tienen de 2 a 10% de óxidos de hierro y feldespato y queman a un color rojizo o salmón.

Este tipo de arcillas son usadas para la elaboración de unidades de albañilería en las que la apariencia estética no es un factor (Huntington y Ellison, 1987).

Según su capacidad de absorción de agua:

Del Busto (1991) y Kohl (1975) coinciden en clasificar a las arcillas según su capacidad para absorber agua. Así, tenemos 2 clases:

- a) Grasas: Son arcillas demasiado plásticas, incluso para pequeñas humedades.

Presentan en su constitución una gran concentración de minerales arcillosos y una baja concentración en arenas silíceas. Además, contienen gran cantidad de componentes en

estado coloidal, pueden absorber mucha agua, al secarse sufren de contracciones demasiado considerables. Este tipo de arcillas se moldean con facilidad, pero su gran adherencia impide el desmoldeo correcto del producto elaborado.

b) Magras: Absorben poca agua y poseen una baja plasticidad. Al secarse no experimentan mucha contracción. Va acompañada de abundante arena.

Arcillas para la fabricación de ladrillos

Dependiendo de las condiciones y factores que influyeron en la formación de las arcillas, éstas presentarán diferentes características propias de cada tipo que determinarán las propiedades que va a tener la mezcla de la cual formen parte, en este caso para la elaboración de ladrillos (Gallegos, 2005).

- Los materiales utilizados en la fabricación de ladrillos son por lo general arcillas amarillas o rojas de composición heterogénea o relativamente impura (casi siempre secundarias).

- Las arcillas usadas en la mezcla deben ser plásticas al mezclarse con agua, de modo tal que puedan ser formadas en moldes o por el dado de las máquinas extrusoras que moldean y dan la forma definitiva a las unidades de arcilla

(Referencia Figura 5).

- Sus partículas deben tener suficiente adhesión para mantener la estabilidad de la unidad después del moldeo y ser capaces de unirse fundiéndose cuando se calientan a temperaturas elevadas.

De acuerdo a estas características, son las arcillas superficiales las que satisfacen estas condiciones para ser adecuadas para la fabricación de ladrillos. Este tipo de arcillas son

las más fáciles de explotar porque corresponden a una formación sedimentaria reciente y, por lo tanto, son las más empleadas. Sin embargo, al estar más expuestas a la contaminación con sales por razones naturales y por el empleo agrícola del suelo, ellas producen las unidades más vulnerables a la eflorescencia (Gallegos, 2005).

Impurezas frecuentes y su influencia sobre las unidades de arcillas

No hay arcilla perfectamente pura, sino que siempre va acompañada por más o menos cantidad de materias extrañas a ella que constituyen las llamadas impurezas. Estas impurezas pueden encontrarse en ella a partir de su origen; pueden también hallarse accidentalmente o haber sido incorporadas mucho más tarde (Del Río, 1975).

a) Impurezas de origen:

Con frecuencia provienen de los residuos que han dejado las rocas cuando, en su desintegración, dan origen a la arcilla. El cuarzo y la mica son los que se encuentran más frecuentemente y en mayor cantidad. Por consiguiente, solamente deben considerarse como impurezas principales el cuarzo y la mica. A veces se podrá encontrar algo más, pero es tan poco y tan raras veces, que no tiene importancia tenerlo o no en cuenta.

b) Impurezas accidentales:

Aparecen en las arcillas que han sido desplazadas y arrastradas a lugares lejanos de los de su formación a causa de perturbaciones geológicas; por lo tanto, no es sorprendente que en dichas arcillas se hayan depositado cuerpos extraños que han sido arrastrados en su desplazamiento. Tales son los carbonatos alcalinotérreos o terrosos (calcio, magnesio), los compuestos ferruginosos y el rutilo, que es el anhídrido titánico.

Las piritas de hierro no aparecen extremadamente puras en las arcillas; por el contrario, a veces están completamente oxidadas. La arcilla que posea piritas es porosa bajo la

influencia del calor. Sometida a la acción de una llama reductora, la pirita se transforma en sulfuro de hierro fácilmente reducible a polvo, lo cual puede producir hendiduras.

Bajo fuego oxidante aparece la producción de óxido de hierro y compuestos oxigenados de azufre. Estas combinaciones sulfurosas pueden originar graves inconvenientes en la cocción de los ladrillos, puesto que éstos son alterados fácilmente por esa causa.

Las piezas elaboradas conteniendo sulfuro de hierro se mantienen húmedas durante un tiempo bastante largo y cada grano de sulfuro, al oxidarse, conduce indefectiblemente a una destrucción de la homogeneidad de la región arcillosa que lo envuelve, y esta falta de homogeneidad provoca una rotura.

La cal se encuentra especialmente en el estado de carbonato. Este carbonato se presenta a veces en trozos compactos; otros casos, y más a menudo, está íntimamente mezclado a la arcilla y únicamente por medio de un ensayo químico puede apreciarse su presencia.

Una gran cantidad de carbonato cálcico es perjudicial en la arcilla, puesto que el producto se agrieta y pierde cohesión.

El sulfato de calcio, que puede ser anhidro (anhidrita) o hidratado (distintas variedades de yeso), en el caso de que la arcilla esté débilmente cocida, se deshidrata sencillamente y se vuelve a hidratar bajo la influencia del aire húmedo, taladrando la masa con una multitud de canales capilares que la convierten en una materia heladiza y, paralelamente, disminuyen su solidez (Del Río, 1975).

El carbono es una impureza común en las arcillas y se presenta en forma de raíces, de vetas de turba o en capas delgadas, como en el caso del carbón o disperso en partículas muy finas como en los esquistos carbonosos y bituminosos. Su presencia es útil cuando sirve de combustible o muy perjudicial sobre todo cuando hay variación de calidad y

cantidad. En este último caso, es necesario alargar la duración de la cochura o bien oxidar completamente el carbono. De lo contrario, habrá que resignarse a obtener un producto ennegrecido por dentro o incluso “hinchado” (ONU, 1970).

Efectos de la calidad de la materia prima en la calidad final de las unidades

Las características y propiedades de las unidades de arcilla son afectadas por diversos factores, pero determinante es la composición química de la materia prima. Aunque el proceso de moldeo y cocción también son relevantes, éstos se establecen en función de las características de la materia prima.

En la Tabla 1.2 se ha resumido los principales componentes mineralógicos de la materia prima de la arcilla y los efectos que producen en la fabricación de las unidades de albañilería.

Por ejemplo, el color de las unidades se ve afectada por la presencia de hierro, que en una cantidad menor al 7% proporciona una coloración rojiza, si se presenta un mayor porcentaje se presentará una coloración azul oscura. Además del hierro, el óxido de magnesio, en un porcentaje menor a uno, proporciona una coloración amarilla. El óxido de hierro produce unidades rojas o blancas con porcentajes menores al 5%.

La presencia de carbono puede llegar a producir unidades ennegrecidas por dentro si no se ha tomado un adecuado control del proceso de cocción.

Asimismo, la presencia de piratas de hierro en exceso puede ocasionar coloraciones indeseables. También puede llegar a alterar la textura de las unidades de albañilería por la aparición de cuarteaduras sobre el producto obtenido.

Existen algunos minerales tales como sílice, cal y feldespato que proporcionan compacidad a las unidades, de presentarse exceso de estos minerales, se perdería la cohesión y homogeneidad del material. Así, la sílice debe mantenerse en un rango de 50% a 60% y la cal debe encontrarse por debajo del 10%. Estos valores límite también evitan el agrietamiento en el producto final.

Otros minerales como el cuarzo, disminuyen la retracción y contribuyen a la refractariedad. La alúmina en porcentajes mayores a cinco, proporciona el aumento de la refractariedad del material.

La presencia de cal, influye en el alabeo. Si se presenta un exceso de cal (mayor a 10%), produciría deformaciones de las unidades. También la presencia de carbono durante el proceso de cocción, llevaría a unidades hinchadas.

Una característica importante en las unidades es que no debe presentar eflorescencia; para ello el porcentaje de álcalis y ácidos presentes en la materia prima debe permanecer por debajo del 0.2%.

Otra de las propiedades a mencionar es la resistencia a la compresión. Entre los componentes que producen efectos sobre ella, está el sulfato de calcio que produciría una unidad quebradiza con poca resistencia si se lleva a cabo una cocción débil. El óxido de magnesio que produciría deterioro por expansión de la superficie si se presentan cantidades mayores a 1%.

También se encuentra que el sulfuro de hierro al oxidarse, lleva a la destrucción de la homogeneidad, afectando la resistencia puesto que provoca rotura de la unidad.

Tabla 2: Cuadro resumen de los factores influyentes en las propiedades y características de las unidades de arcilla cocida.

PROP. Y CARACT. COMPOS. QUIMICA	COLOR	TEXTURA	COMPACIDAD	BIEN COCIDO	RETRACCION	REFRACTARIO	ALABEO	EFLORESCENCIA	RESISTENCIA A LA COMPRESION
ALCALIS Y ACIDOS MAYOR AL 0.2%								con un porcentaje mayor se presenta eflorescencia	
SILICE (50 - 60 %)			al exeder el rango pierde cohesion	dentro del rango previene el agrietamiento					un exceso produce poca cohesion que lleva al agrietamiento de la unidad
ALUMINA (>5%)						aumenta la refracteriedad del material			
HIERRO (<7%)	imparte una coloracion rojiza, en exceso produce una coloracion azul oscura								
CALCIO (<10%)			su exceso produce perdida de cohesion en la unidad	su exceso produce agrietamiento en la unidad			su exceso produce deformacion de la unidad		con un porcentaje mayor, la cohesion en poca llevando al agrietamiento de la unidad

PRESENCIA DE CUARZO					disminuye la retraccion del material	contribuye a la refratariedad del material		
PRESENCIA DE SULFATO DE CALCIO								con una coccion debil, se produce una unidad heladiza disminuyendo su resistencia
PRESENCIA DE CARBONO	puede producir un producto ennegrecido por dentro si no se controla el quemado						puede producir un producto hinchado si no se controla el quemado	
PRESENCIA DE SULFURO DE HIERRO								al oxidarse conlleva a destruccion de la homogeneidad y como consecuencia provoca rotura un exceso ocasionaria cuarteaduras en el material que llevarian a la rotura
PRESENCIA DE PIRITAS DE HIERRO	su exceso puede producir coloraciones indeseables	su exceso puede ocasionar cuarteaduras sobre el material						

PRESENCIA DE FELDESPATO							mantiene la homogeneidad de la unidad, evitando deformaciones	
OXIDO DE MAGNESIO <1%	imparte coloración amarilla a la unidad							su exceso produce deterioro por expansión de la superficie
OXIDO DE HIERRO (<5%)	produce un producto rojo o blanco							

Fuente : Cuadro Excel de elaboración propia.

Procesos de producción

Tipos de proceso de fabricación

La producción de ladrillos puede llevarse a cabo de tres formas, de acuerdo a la Norma Técnica Peruana:

1. Artesanal: Ladrillo fabricado con procedimientos predominantemente manuales.

El amasado o moldeado es hecho a mano. El ladrillo producido artesanalmente se caracteriza por variaciones de unidad a unidad.

2. Semi-Industrial: Es el ladrillo fabricado con procedimientos manuales, donde el proceso de moldeado se realiza con maquinaria elemental que en ciertos casos extruye, a baja presión, la pasta de arcilla. El ladrillo semi-industrial se caracteriza por presentar una superficie lisa.

3. Industrial: Es el ladrillo fabricado con maquinaria que amasa, moldea y prensa o extruye la pasta de arcilla. El ladrillo producido industrialmente se caracteriza por su uniformidad.

Las formas de producción artesanal y semi-industrial, tienen los mismos pasos o secuencias, únicamente variando en los instrumentos, métodos y herramientas utilizadas para la producción. La principal variación se da en el proceso de moldeado, como ya se explicó en la definición, para el ladrillo semi-industrial se utiliza maquinaria que extruye la pasta de arcilla, por lo que se obtienen unidades de superficie lisa.

El proceso industrial se diferencia de los dos primeros procesos de fabricación no solo en la utilización de maquinaria para el proceso de moldeado sino en el empleo de hornos más sofisticados para la fase de cocción. En estos hornos se lleva un control de

temperatura, logrando una mayor eficiencia en la producción de unidades de arcilla con una mejor calidad final.

Fabricación

Los pasos básicos para la producción de ladrillos son:

a) Selección y preparación de la mezcla

Etapa muy importante de la fabricación. De la fineza de la pasta depende en gran parte que el producto sea bien logrado (aspecto, resistencia, etc.).

Los depósitos de arcilla se encuentran al pie de colinas o en tierras agrícolas cercanas a ríos. Los criterios para seleccionar una localización adecuada son la calidad de la arcilla, disponibilidad a nivel superficial y la cercanía de una vía transitable.

La excavación manual en plantas de pequeña y mediana escala generalmente se realiza a una profundidad menor de dos metros. Para plantas de fabricación de ladrillos a gran escala se necesitan medios mecánicos como dragaminas y excavadoras de cucharas de diferentes tipos. Estos métodos requieren proporcionalmente menos área de excavación, pero hacen cortes profundos en el paisaje.

La arcilla debe someterse a ciertos tratamientos de trituración, homogenización y reposo en acopio, para obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características mecánicas y químicas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, etc.) favorece además a la descomposición de la materia orgánica que puede estar presente y permite la purificación química del material.

La principal dificultad inherente a la fabricación consiste en la elección de una mezcla de diferentes arcillas. Así por ejemplo con aquellas que son muy grasas se les mezclará con materiales desgrasantes como la arena (Robusté, 1969).

El porcentaje de agua utilizada para la mezcla es aproximadamente del 25% del total (Jiménez y Salazar, 2005).

b) Moldeado

En esta etapa, se le da a la arcilla la forma que las unidades de albañilería deberán tener después de la cocción. El proceso de moldeado se puede realizar a mano o empleando máquinas.

El proceso de moldeado en la producción de ladrillo artesanal únicamente consiste en llenar las gaveras o moldes vaciando la mezcla dentro de ellas, compactándola con las manos y después alisándola con un rasero, que es un palo cilíndrico que se usa para quitar la parte que excede de una medida determinada (Rhodes, 1990).

La fabricación mecánica puede ser mediante una máquina que se conoce como galletera de hélice o mediante una prensa de vacío (Moreno, 1981).

La galletera de hélice consiste en un cilindro horizontal, dentro del cual gira un eje guarnecido con una hélice que impulsa la pasta y la obliga a salir por una boquilla (ver Figura 3).

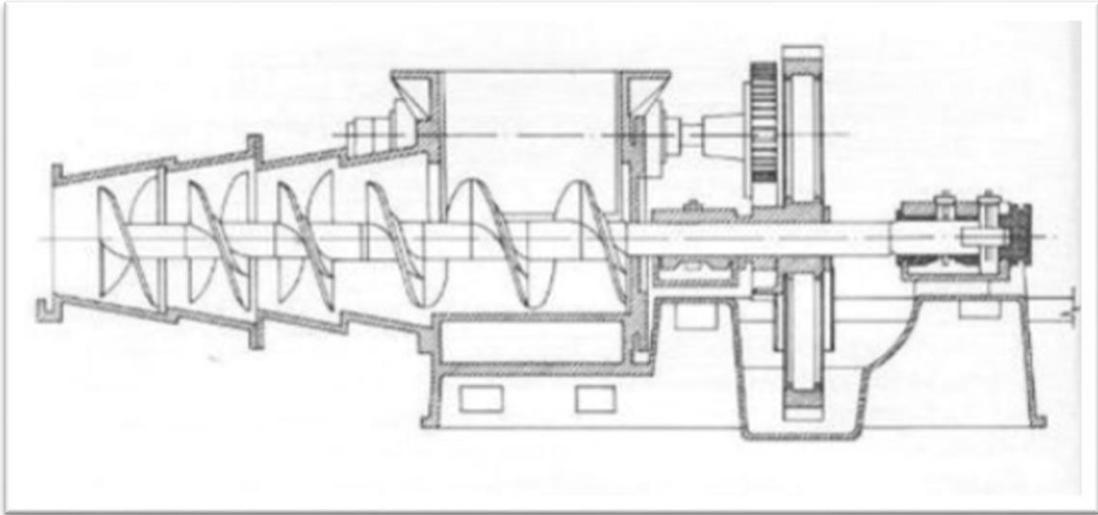


Figura 3: Galletera de Hélice (Moreno, 1981)

Fuente:<https://www.google.com/galletera+de+helice++moreno>

La boquilla, cuya misión es darle forma al ladrillo, consiste en una pieza de madera sujeta con tornillos a una gruesa placa rectangular de fundición llamado portaboquillas (ver Figura 4). El portaboquillas es el que recoge la arcilla y la hace compacta antes de llegar a la boquilla.

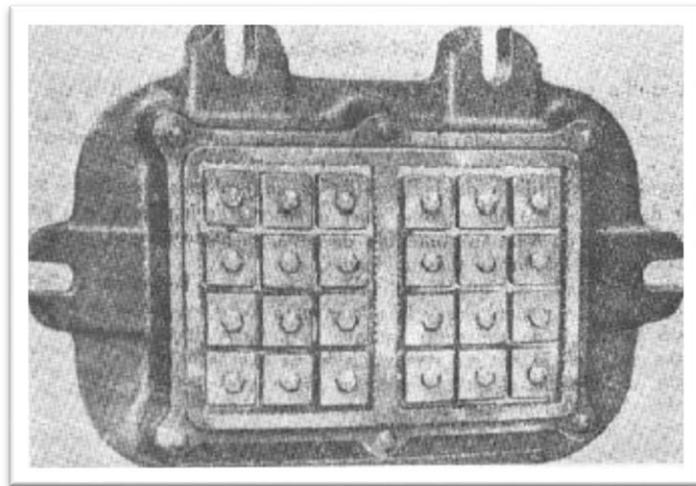


Figura 4: Boquilla (Moreno, 1981)

Fuente:<https://www.google.com/search?q=galletera+de+helice++moreno>

Actualmente se usan galleteras de vacío, también conocidas como Prensas de Vacío, que tienen la ventaja de que al momento de realizar el moldeado consiguen una homogenización de la arcilla y eliminación del aire, como la que se muestra en la Figura 5 (Moreno, 1981).

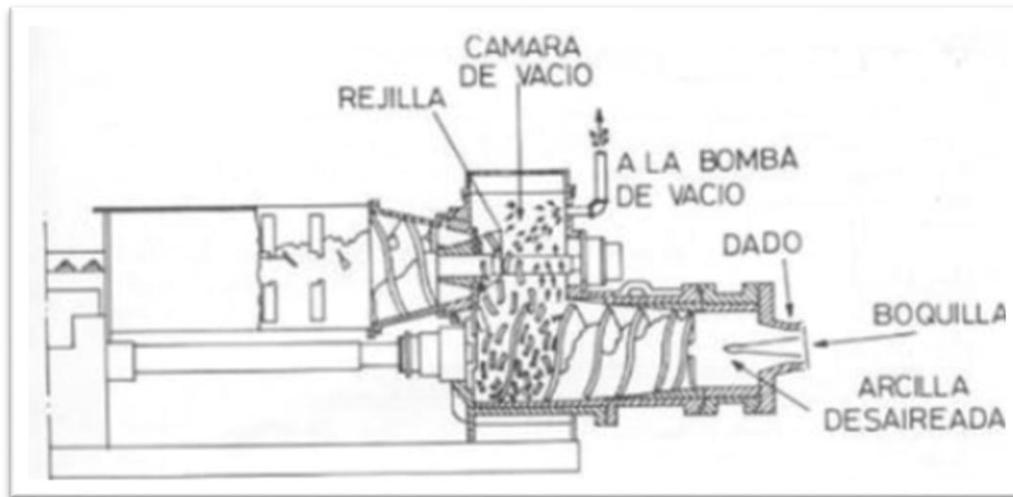


Figura 5: Prensa de Vacío (Moreno, 1981)

Fuente: <https://www.google.com/search?q=galletera+de+helice++moreno>

c) Secado

El proceso de secado consiste en el desprendimiento del agua unida físicamente a la pasta.

Dentro del proceso de secado hay un proceso conocido como pre-secado, el cual consiste en dejar durante un tiempo el ladrillo recién moldeado en el mismo lugar donde fue hecho para que pierda humedad y sea posible su manipulación.

En el proceso de secado se involucran dos fenómenos físicos: Transferencia de calor y Transferencia de masa. La transferencia de calor se da cuando el ladrillo y el ambiente encuentran un equilibrio térmico, del cual dependerá en parte la velocidad de difusión del agua presente en la arcilla. El fenómeno de transferencia de masa se da siempre y cuando

exista un gradiente de humedad entre el ambiente y la arcilla, ya que se produce cuando el vapor de agua se difunde a través de los poros de la matriz arcillosa. El tiempo de secado dependerá de la velocidad de difusión, misma que está en función del tamaño, longitud y forma del poro de la arcilla (Rhodes, 1990).

El secado puede ser natural o artificial. En el primer caso el secado está condicionado a las características climáticas de la región y algunas veces el lugar de secado es colocado sobre los hornos para que de esta manera se pueda recuperar algo de la energía perdida a través de la bóveda del horno.

En el caso de secado artificial, este proceso es acelerado por acondicionamiento del aire.

Existen muchos tipos de secadores artificiales pero los más conocidos son los de cámara y los de túnel. Los productos a secar son llevados por medio de pequeñas vagonetas en donde son sometidos a un proceso de secado regulado al contenido de agua de los productos. El aire caliente utilizado para el secado proviene de máquinas especiales que algunas veces aprovechan el calor de los hornos cuando éstos están en proceso de enfriamiento.

El secado de los ladrillos es una de las partes más delicadas de la fabricación, pues un secado muy rápido puede rajarlos y un secado incompleto puede impedir el buen cocimiento (Robusté, 1969).

d) Cocción:

El proceso de cocción consiste en someter los ladrillos previamente secados a condiciones de alta temperatura por tiempos prolongados en hornos, con el fin de que adquieran sus propiedades mecánicas y físicas, ya que la arcilla sin cocer tiene propiedades muy bajas.

Con este proceso no sólo consiguen las propiedades físicas y mecánicas sino también la apariencia final.

Las fases de cocción en el horno son tres: precalentamiento, cocción y enfriamiento (ver Figura 6). En la primera fase se elimina paulatinamente el agua impregnada en la arcilla. El agua es removida por aire continuamente renovado y aumenta constantemente la temperatura, el precalentamiento se considera terminado cuando toda la masa alcanza los 100° C.

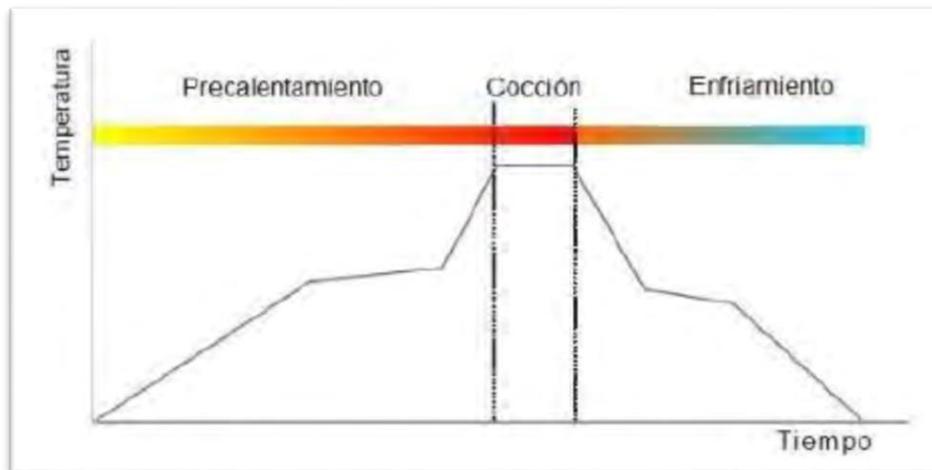


Figura 6: Ciclo de cocción típico de un producto de arcilla (Terán, 2013)

Fuente: <https://edoc.site/fabricacion-de-ladrillos-pdf-free.html>

En la etapa de enfriamiento la temperatura desciende desde la de cocción hasta la normal, esto debe realizarse paulatinamente (de 500° C a 600° C), especialmente en los hornos cerrados, para garantizar dureza, tenacidad y colorado de la pieza vitrificada.

El enfriamiento de las piezas está definido por su tamaño, cuanto mayor es el tamaño de los ladrillos, la temperatura normal se alcanza más lentamente. Los productos cuyo enfriamiento se realiza lentamente, son tenaces y muy resistentes a las acciones mecánicas. Por el contrario, un enfriamiento rápido los hace frágiles, hasta el punto que

si han sido enfriados con demasiada premura se rompen a veces espontáneamente, sin la intervención de agentes mecánicos exteriores (Anfalit, 2002).

Villarreal (2004) considera cuatro etapas durante el proceso de cochura:

1. Precalentamiento a 200° C y eliminación del agua unida físicamente a la arcilla.
2. Calentamiento hasta 700° C, aquí se da la eliminación del agua químicamente unida a la arcilla.
3. Maduración del producto entre 900° C y 1000° C.
4. Temple de la pieza, enfriamiento lento hasta alcanzar 500° C.

En este proceso, es importante considerar el intervalo de cocción, es decir, el rango de temperatura entre el inicio de la vitrificación (formación de fase vítrea) y el inicio de la deformación. Este intervalo depende de las características de la pasta y debe ser lo más amplio posible, debiendo estar la temperatura óptima de cocción dentro de dicho intervalo, no demasiado cerca del inicio de la vitrificación para que el material no sea demasiado poroso, y no demasiado cerca del inicio de la deformación para que la pieza no quede deformada.

Con un intervalo de cocción demasiado corto, cualquier pequeña diferencia de temperatura del horno hace que el producto pase de poco a demasiado cocido.

Otro factor importante a considerar es el control de la curva de cocción, de la cual dependerán varias de las características del ladrillo. Si no se controla la evolución de la temperatura en el tiempo, puede haber problemas con el ladrillo, incluso durante el calentamiento y enfriamiento, ya que pueden presentarse tensiones que produzcan roturas.

La cocción, en el proceso de fabricación de las unidades de albañilería, es la fase final más importante del mismo. La eficiencia de esta etapa depende, entre otros factores, del tipo de horno empleado.

Durante el proceso de cocción, el material, ya bastante seco como para no agrietarse al ser sometido al fuego, adquiere la resistencia necesaria para ser empleado como material de construcción, de lo que se deduce que esta etapa es la más compleja del proceso de elaboración. De hecho, el ciclo de cocción requiere un diseño específico para cada materia prima, con el fin de lograr los resultados esperados. Los efectos que producen los componentes mineralógicos de las arcillas (Tabla 1.2) suponen la necesidad de un diseño del ciclo de cocción o un control de dichos componentes para que el ciclo de cocción se desarrolle correctamente.

En esta etapa se utilizan, de acuerdo al tipo de fábrica o a la tecnología empleada, varios tipos de hornos que van desde los más rústicos hasta los más modernos y eficientes (Gordejuela, 2004). En general, se pueden identificar dos tipos de hornos para la cocción de ladrillos: los Hornos Intermitentes con suelo y muros laterales, y los Hornos de Fuego Continuo tipo Hoffman.

Los hornos intermitentes, son los más sencillos y consisten en un cuarto con planta cuadrada o rectangular, de altura de 5 a 6 metros. Sus muros deben tener bastante espesor para que retengan mejor el calor; por la parte superior está libre, disponiendo una cubierta separada lo suficiente para que los productos de combustión puedan salir libremente (ver Figura 1.7). En la parte baja de la pared de fachada se practican algunas puertas o bocas para la introducción del combustible y entrada de aire; en las paredes empezando desde 1.50 a 2 metros del suelo, se disponen de unas aberturas estrechas y altas que facilitan la carga y descarga del horno, cerrándose estas aberturas durante la cocción. En este tipo de

hornos el proceso de combustión es incompleto porque la falta de oxígeno provoca que el material no se queme completamente, generando piezas crudas y ahumadas (Moreno, 1981).



Figura 7: Horno Intermitente con suelo y muros laterales, típico de México (Jiménez y Salazar, 2005)

Fuente: <https://edoc.site/queue/fabricacion-de-ladrillos-pdf-free.html>

Otro tipo de horno que puede ser utilizado en la producción de ladrillos es el denominado Horno de Fuego Continuo tipo Hoffman (ver Figura 8).

El funcionamiento continuo de los hornos se caracteriza por el desarrollo ininterrumpido de la cocción y la posibilidad de efectuar las diferentes etapas sin variar el ritmo de la producción. Son hornos de alta producción, donde el fuego se mueve a través del horno

en dirección opuesta a las manecillas del reloj; esto permite obtener una alta eficiencia térmica y de producción, ya que el calor obtenido en la cámara de combustión se utiliza en el precalentamiento de las cámaras precedentes.

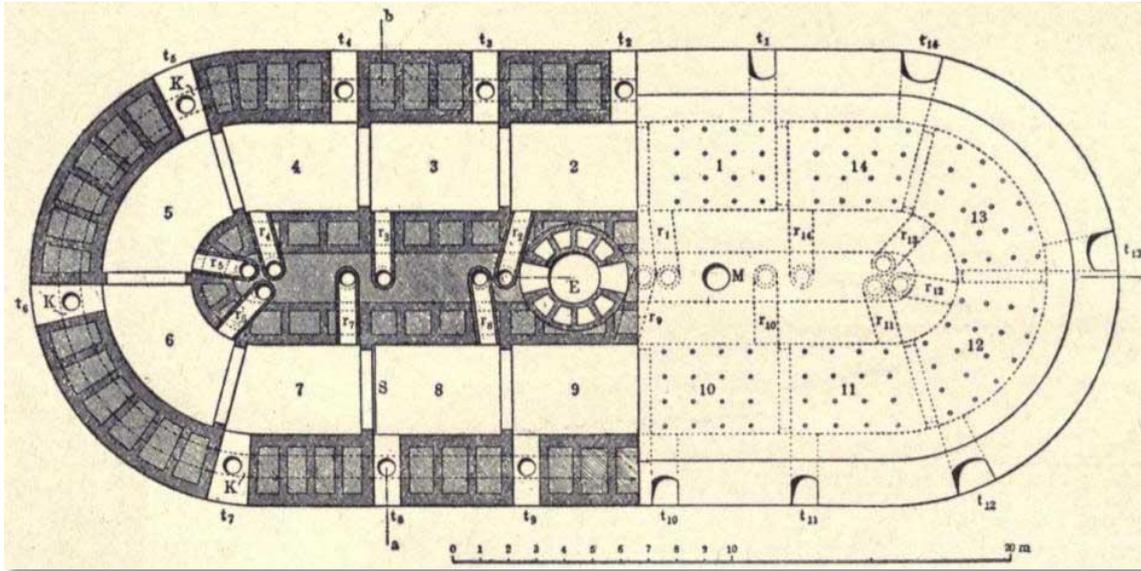


Figura 8: Horno tipo Hoffman

Fuente: <http://www.xtec.cat/~cgarci38/ceta/historia/cochura.htm>

Este horno puede ser de planta rectangular y consta de una galería anular rodeada por gruesos muros y cubierta por una bóveda recubierta superiormente por una capa de arena. Esta galería está dividida en varios compartimentos mediante unos tabiques de plancha de hierro que corren por unas rodaduras que sirven de guías. Cada compartimento tiene una boca o entrada de 0.80 por 1 metro practicada en el muro exterior del cerramiento, la que sirve para la carga y descarga del material, teniendo además en el muro interior un orificio que comunica con otra galería concéntrica y más pequeña que la primera, llamada galería de humo que, a su vez, está en comunicación con la chimenea que establece el tiraje necesario para la combustión mediante cuatro aberturas practicadas en el muro de la chimenea (Moreno, 1981).

Efectos del proceso de producción en la calidad final de las unidades

Las etapas del proceso de producción también influyen en las propiedades de las unidades de arcillas. De hecho, el proceso de producción (moldeo y cocción) debe adaptarse a las características de la materia prima. Como se ha visto en el punto 1.5.8, muchos componentes presentes en la materia prima de las unidades requieren condiciones especiales de secado y un determinado control de las temperaturas de cocción.

Durante la preparación de la mezcla, que incluye el proceso de extracción de la materia prima, debe cuidarse que se haya realizado una correcta eliminación de las raíces, piedras, restos de arbustos o cualquier otro residuo que podría aparecer en la superficie de la unidad de albañilería ya terminada. Asimismo, debe tenerse en cuenta el tipo de materia prima que se va a emplear, puesto que si posee sales solubles originaría eflorescencia en las unidades. Lo mismo ocurriría si no se cuida el tipo de agua a emplear en la mezcla, para ello se debería comprobar que esté libre de sales para evitar eflorescencias.

Por otro lado, en el proceso de moldeo se debe considerar realizar un buen amasado de la mezcla y una correcta colocación en los moldes. La mezcla debe prensarse adecuadamente dentro los moldes llenándolos en su totalidad, para evitar obtener unidades porosas o unidades con esquinas redondeadas.

De la misma forma debe considerarse utilizar arena en los moldes o asegurarse que estén suficientemente húmedos de lo contrario las esquinas quedarían pegadas al molde al momento de desmoldarse generándose esquinas levantadas en la unidad.

En el proceso de secado, las unidades deben estar lo suficientemente secas antes de apilarse, pues ocasionaría marcas por apilamiento. Además, si la superficie de secado está sucia o es accidentada, influiría en la textura pues se obtendrían productos con superficies irregulares o distorsionadas.

Por los cambios de temperatura que se presentan en el ambiente, en la etapa de secado se presentan cambios en las dimensiones originales al producirse el fenómeno de contracción. Y de realizarse un secado rápido, se produciría agrietamientos que disminuirían la resistencia de la unidad.

Finalmente se tiene el proceso de cocción, donde se determina muchas de las propiedades de las unidades de arcilla.

En esta etapa se produce el color final que tendrá la unidad. Con una subcocción se tendría una unidad amarillenta y cruda. Por otro lado, con una sobrecocción, podría llegarse a unidades negruzcas.

La subcocción también da lugar a unidades de baja resistencia que se reconocen por el sonido sordo al golpearlas entre sí.

De presentarse subcocción o sobrecocción, se modificaría el tamaño de unidad, al disminuir o aumentar sus dimensiones. Y por el cambio de temperaturas en el horno, que llevaría a variaciones en la forma de la unidad, se presentaría el alabeo.

En el proceso de cocción se puede diferenciar la intensidad de quemado y el enfriamiento. Con una cocción demasiado alta, se disminuiría la resistencia de la unidad. Asimismo si el enfriamiento es demasiado rápido, provocaría rotura o agrietamiento en la unidad, lo cual disminuiría su resistencia.

Una síntesis de los efectos de cada etapa en la calidad final de las unidades se muestra en la Tabla 3. Tomando en consideración los efectos de la composición mineralógica de la materia prima en la calidad final de las unidades (Tabla 2) y las etapas del proceso de producción (Tabla 3), se puede concluir que ambas se relacionan e influyen en el resultado final de las unidades, favoreciendo en mayor o menor medida su calidad. No se trata

únicamente de qué tipo de materia haya sido seleccionada para la elaboración de las unidades y si presenta mejores características, sino también la manera en que esta materia prima es tratada para la fabricación de los ladrillos, lo que llevará a un único resultado final.

Tabla 3: Cuadro resumen de los factores influyentes en las propiedades y características de las unidades de arcilla cocida (Elaboración propia)

EFECTOS PRODUCIDOS EN LAS UNIDADES	PROCESOS DE PRODUCCION				
	PREPARACION DE LA MEZCLA	MOLDEO	SECADO	COCCION	
				INTENSIDAD DE QUEMADO	ENFRIAMIENTO
ANGULOS Y BORDES		el mal amasado de la mezcla, así como la mala colocación en sus moldes lleva a obtener unidades deformadas los moldes deben llenarse correctamente y en su totalidad, evitando dejar vacíos que lleven a aumentar la porosidad del producto final	las unidades deben estar suficientemente secas antes de apilarse, pues ocasionaría marcas por apilamiento		
POROSIDAD					
COLOR				si se da una sobrecocción puede producirse una unidad negruzca o muy amarilla de estar subcocido	
TEXTURA	sin una correcta extracción de raíces, piedras, restos de arbustos, podrían aparecer en la unidad terminada, en su superficie	dependiendo del molde utilizado y su limpieza interna se presentara una textura mas o menos regular	con una superficie de secado sucia o accidentada, se obtendría productos con superficies irregulares o distorsionadas		

SONIDO				la subcoccion da lugar a unidades débiles que se reconocen por el sonido sordo al golpearlas entre si de presentarse una subcoccion o una sobrecocción, se modificarían las dimensiones de la unidad	
TAMAÑO				puede presentarse contracción por los cambios de temperatura, disminuyendo sus dimensiones originales	
EFLORESCENCIA	sí hay sales solubles ya sea en la materia prima o en el agua utilizada en la mezcla, se producirá eflorescencia				
ALABEO		la mala colocación en el molde y la mala manipulación en el desmoldeo o al trasladarlos incorrectamente al lugar de secado produce deformaciones		por los cambios de temperatura en el horno, se puede presentar variaciones en la forma de la unidad	
RESITENCIA A LA COMPRESION			agrietamiento de la unidad que disminuye su resistencia, si el secado es demasiado rápido	con una cocción muy alta se disminuiría su resistencia del producto final	el rápido enfriamiento ocasionaría rotura de la unidad

Ladrillos Ecológicos

Los ladrillos ecológicos son ladrillos construidos con materiales que no degradan el medio ambiente y cuya fabricación también es respetuosa con este, frente a los ladrillos habituales cuya fabricación y materiales no es tan inocua.

Los ladrillos ecológicos tienen cualidades similares a los tradicionalmente utilizados para la construcción de las casas. Por tanto, su uso no se deriva en pérdida de calidad puesto que, como la mayoría de productos ecológicos, sufren más pruebas de su viabilidad que los tradicionales. La bioconstrucción no está en absoluto reñida con una casa confortable, bonita y segura.

Tipos de ladrillos ecológicos

Diferenciaremos los ladrillos ecológicos por los materiales con que están contruidos ya que existen varias propuestas (en vía o ya en marcha) de ladrillos con diferentes componentes:

- **Cenizas de carbón:** Esta fue una idea de un ingeniero civil, Henry Liu, en 1999, con un doble beneficio ecológico. Con este material los ladrillos se obtienen a 212 grados en 10 horas y se aprovechan los 45 millones de toneladas de residuos del mismo que generan las centrales térmicas de carbón.
- **Cáñamo y paja:** Este ladrillo ecológico ya ha sido usado por empresas españolas. Pese a la aparente fragilidad de los materiales su dureza es semejante a los convencionales. Cuentan con la desventaja de ser más caros pero aíslan muy bien de la temperatura exterior. Ello supone un ahorro del gasto de energía en calefacción y aire acondicionado, por lo que se amortiza pronto su precio.
- **Plástico usado y cáscaras de cacahuete:** Los ladrillos ecológicos de este material son una creación del Centro Experimental de la Vivienda Económica de Argentina quien asegura que son duros, aislantes ligeros y económicos. Además de producir un ahorro energético posibilitan un reciclaje de residuos para su producción.

Ventajas de los ladrillos ecológicos

Ya hemos adelantado algunas ventajas del ladrillo ecológico en el apartado anterior y dependiendo del material con que se construya, unas estarán más potenciadas que otras.

Pero en general sus ventajas son:

- Menor perjuicio para la naturaleza, ya que su fabricación requiere menos energía y residuos, así como el reciclaje de otros materiales de desecho.
- Son mejores aislantes del frío y del calor exterior, con lo que se gasta menos energía en el hogar.
- En algún caso son más económicos que los convencionales, pero cuando no es así, al ser mejores aislantes, el ahorro de energía amortiza la diferencia.
- Los materiales de los ladrillos ecológicos hacen que éstos sean más ligeros y manejables para el trabajador agilizando el tiempo de construcción y disminuyendo los gastos.

Desventajas de los ladrillos ecológicos

La desventaja de los ladrillos ecológicos es que están empezando a entrar en el mercado y en algunas zonas aún no se consiguen y hay que pedirlos.

También tienen otra desventaja derivada de lo nuevo de este producto y es que, de momento, no existen variedades decorativas como los convencionales para decorar fachadas, muros, jardines, etc.

Filtro de cigarro

Muchos creen que las colillas de los cigarrillos son inofensivas, así que los fumadores las tiran al piso pensando que alguien las recogerá o desaparecerán tras varias pisoteadas.

Sin embargo, esto no es así. Un informe del Grupo de Trabajo Especial Inter-institucional sobre Lucha Antitabáquica de la ONU, publicado en el 2010, calcula que se arrojan 5 billones de colillas al año en todo el planeta.

Según los especialistas, los filtros de los cigarrillos están hechos de acetato de celulosa, un material que tarda mucho en biodegradarse, y las sustancias tóxicas que quedan en su interior acaban en mares y ríos, lo que resulta muy contaminante.

Una colilla de cigarro contamina hasta 50 litros de agua. Además, se considera que más de 50 por ciento de los incendios forestales del mundo son causados por colillas encendidas.

Peor aún, aves y animales marinos y terrestres se comen las colillas y mueren. Por ello representantes del referido grupo antitabáquico, recomiendan tirarlas en un bote de basura (no en el escusado) o guardarlas en una caja de metal para echarlas posteriormente a la basura.

Ese objeto que mide apenas dos centímetros tarda la friolera de diez años en desintegrarse. Su filtro es de acetato de celulosa, un material que las bacterias del suelo no pueden combatir. Además, su composición con trazos de toxinas como plomo, arsénico y cadmio pueden infiltrarse en el suelo y en aguas subterráneas. Cuando esto sucede, la descomposición acuática es mucho más rápida pero el grado de contaminación crece de forma exponencial.

En las playas es habitual encontrar colillas tanto en el mar como en la orilla, exportadas directamente de las aguas subterráneas, así como en la arena, ya que algunos tienen la mala costumbre de apagar el cigarrillo en ella. Para evitar este alto grado de contaminación que provocan los restos de tabaco, la mejor opción es tan fácil como arrojar las colillas en los ceniceros urbanos habilitados para ello en las ciudades o llevar un cenicero portátil donde depositarlas.

Ladrillo fabricado con filtro de cigarro

Investigadores del Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT) de Australia demostraron que incorporar colillas de cigarrillos a los ladrillos de barro cocido puede reducir significativamente los costos de producción, el uso de energía y el impacto ambiental que genera este desperdicio.



figura 9: abbas mohajerani, investigador del rmit.

fuelle: <https://blog.portinos.com/novedades/ciencia/ladrillos-creados-con-filtros-de-cigarillos>

Cada año se producen cerca de un trillón de cigarrillos a nivel global, lo que resulta en millones de toneladas de desperdicio tóxico arrojado al medio ambiente en forma de colillas.

Como las colillas poseen un nivel muy bajo de biodegradabilidad, cada una puede tardar años en descomponerse, mientras que sus componentes (arsénico, cromo, níquel y cadmio) se cuelan en la tierra y los canales acuíferos.

Un equipo de investigadores de la RMIT de Australia, liderado por el doctor Abbas Mohajerani, demostró que el agregado de colillas de cigarrillos a los ladrillos de barro cocido puede recortar su costo de producción, haciendo más sustentable el proceso y contribuyendo a resolver un problema inminente de contaminación.

Sólo en Australia la población consume entre 25 y 30 billones de cigarrillos industriales al año. La investigación liderada por Mohajerani muestra que si sólo el 2.5% de los ladrillos producidos mundialmente incorporaran un 1% de colillas en su fabricación, se podría compensar el desperdicio que el consumo de cigarrillos genera a nivel mundial en un año.

La investigación también demuestra que este agregado puede recortar en un 58% el gasto energético que demanda la cocción de los ladrillos.

Además, el resultado de esta incorporación es un ladrillo más liviano, con mejores propiedades aislantes que, a su vez, también representa un menor gasto energético a nivel doméstico. Por, sobre todo, estos ladrillos no pierden ninguna de las características de un ladrillo normal.

En el proceso de cocción, los metales pesados y otros componentes de los filtros de cigarrillos quedan atrapados e inmovilizados dentro del ladrillo, solucionando el problema de la filtración de estos contaminantes al medio ambiente.

Hipótesis

Los ladrillos sustituidos un 1 % de su volumen en el proceso de mezclado de material con filtro de cigarrillo deberían tener mejores propiedades físicas y mecánicas que un ladrillo patrón.

Objetivos Generales:

Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos con sustitución del 1 % de su volumen con filtro de cigarrillo, en la Ciudad de Caraz, Provincia de Huaylas, Región Ancash.

Objetivos Específicos:

- Determinar las propiedades de la materia prima para la fabricación de unidades de albañilería.
- Determinar la proporción de insumos usados para una unidad de ladrillo en la cantera de Yuracoto.
- Determinar la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería experimental y patrón.
- Determinar la resistencia a la flexión de las unidades de albañilería experimental y patrón.
- Determinar las dimensiones (largo, ancho y espesor) de las unidades de albañilería experimental y patrón.
- Determinar la succión de las unidades de albañilería experimental y patrón.
- Determinar la absorción de los ladrillos experimental y patrón.
- Determinar el peso específico de los ladrillos experimental y patrón.

II.METODOLOGIA DEL TRABAJO

Tipo y diseño

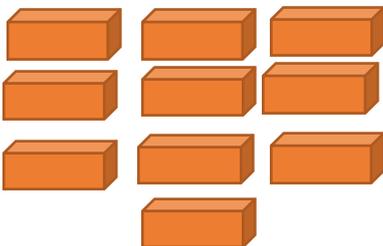
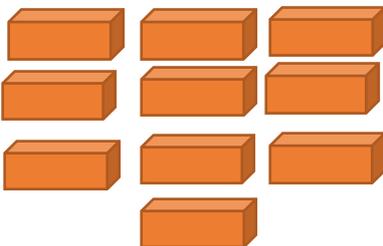
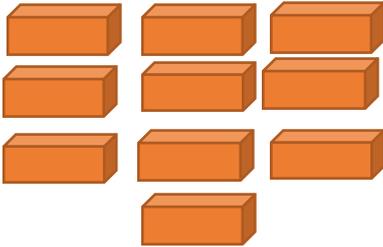
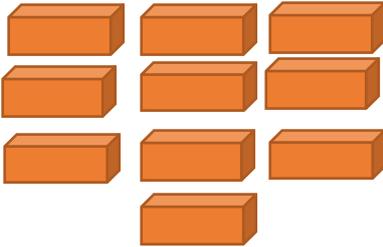
El estudio que se realizó en esta investigación fue del tipo explicativo.

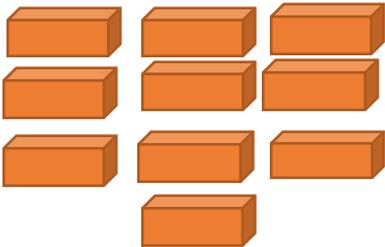
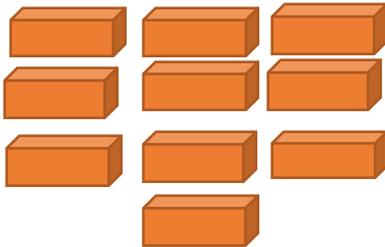
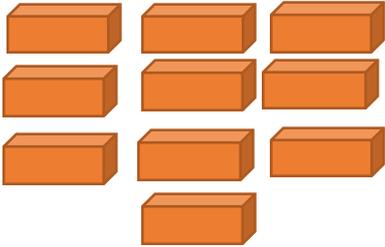
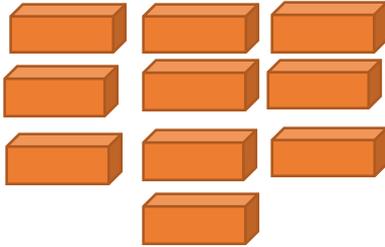
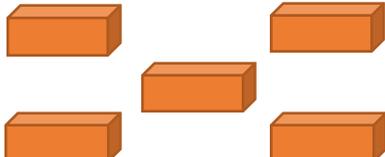
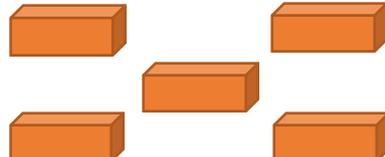
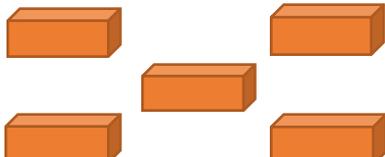
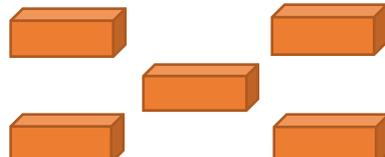
Explicativo: porque se explica cómo son las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales extraídos de la cantera de Yuracoto al ser adicionado en su composición un porcentaje de filtro de cigarrillo.

Diseño experimental:

Diseño simple completo al azar con 2 tratamientos y 10 repeticiones, donde se comparó las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales convencionales en comparación con ladrillos artesanales con sustitución del 1% de filtro de cigarrillo en su composición. El estudio en su mayor parte se concentró en las pruebas realizadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, donde el investigador estuvo en contacto con los ensayos realizados obteniendo resultados de acuerdo a lo planeado en los objetivos.

Tabla 4: Muestras por ensayo.

	MUESTRA	
ENSAYO	CON FILTRO	SIN FILTRO
RESITENCIA A LA COMPRESION SEGÚN TRATAMIENTO		
RESISTENCIA A LA FLEXION SEGÚN TRATAMIENTO		

VARIACION DIMENSIONAL SEGÚN TRATAMIENTO		
ALABEO SEGÚN TRATAMIENTO		
SUCCION SEGÚN TRATAMIENTO		
ABSORCION SEGÚN TRATAMIENTO		

Población y muestra

Población

Para este estudio la población fue dada por dos poblaciones:

Las unidades de ladrillo artesanal convencional de la ladrillera de “Yuracoto” en el Distrito de Caraz, Provincia de Huaylas, Ancash.

Las unidades de ladrillo artesanal con sustitución de filtro de cigarrillo en su composición de la ladrillera de “Yuracoto” en el Distrito de Caraz, Provincia de Huaylas, Ancash.

Muestra

La muestra fue constituida de la siguiente manera:

Para ladrillo artesanal convencional

10 para la resistencia a la compresión.

10 para la resistencia a la flexión.

5 para la absorción.

10 para las dimensiones

10 para alabeo

5 para succión

Para ladrillo artesanal con sustitución con filtro de cigarrillo

10 para la resistencia a la compresión.

10 para la resistencia a la flexión.

5 para la absorción.

10 para las dimensiones

10 para alabeo

5 para succión

Fueron analizados en el Laboratorio de la Universidad Privada San Pedro SAD-Huaraz.

Técnica e instrumento

La Técnica será la observación y los instrumentos las serán fichas o guías de observación utilizados que estarán orientados para conocer las propiedades físicas y mecánicas mediante las pruebas en el Laboratorio de la Universidad Privada San Pedro SAD-Huaraz (ver anexo).

Los ensayos serán los siguientes:

- Variación dimensional
- Alabeo
- Densidad
- Absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación
- Succión

- Resistencia a la compresión
- Módulo de rotura

Proceso y análisis de datos

- ✓ Los datos fueron procesados en Microsoft Excel.
- ✓ Los datos fueron analizados a través de tablas, gráficos, porcentajes, promedios, varianzas, prueba de hipótesis, T-student.
- ✓ Representación con cuadros estadísticos y sus respectivos gráficos procesado con Excel y analizado con tablas, gráficos.

Descripción de ensayos

Para la realización de los ensayos, se han seleccionado unidades enteras representativas de un determinado lote como está especificado en la Norma Técnica Peruana 399.613 (2005).

La norma indica los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla destinados para uso en albañilería estructural y no estructural, estableciendo los métodos de ensayo para determinar la variación de dimensiones, alabeo, resistencia a la compresión, densidad, absorción máxima, coeficiente de saturación, succión de los ladrillos de arcilla usados en albañilería.

Medida de la dimensión:

Para este ensayo se seleccionaron 10 unidades enteras y secas para ladrillo patrón y ladrillo sustituido con filtro de cigarro.

Las unidades han sido medidas individualmente con una regla de acero graduada de 30cm, con divisiones de un milímetro (ver foto n°14). La medición se hizo siguiendo lo

establecido en la norma NTP 399.613, haciendo mediciones individuales de ancho, longitud y altura.

La medición de las dimensiones nos permitió conocer la variación dimensional de las muestras con respecto a las dimensiones de la unidad nominal. De acuerdo a Gallegos (2005), esta variación dimensional se manifiesta en la necesidad de hacer juntas de mortero mayores que las convenientes que son de 10mm a 12mm, lo cual conduciría a una albañilería menos resistente en compresión.

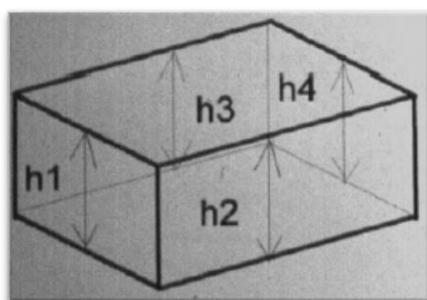
Las dimensiones Largo x Ancho x Altura se tomaron como el promedio de 4 medidas (en milímetros) hechas en la parte intermedia de las superficies correspondientes, como se muestra en la foto n°14 para el ancho.

Según el proyecto de norma E.070 (SENCICO 2004), la variación dimensional (en porcentaje) de cada arista de la unidad de albañilería se obtendrá como el cociente entre la desviación estándar y el valor promedio de la muestra, multiplicado por 100 (coeficiente de variación), como se muestra en la figura N° 10, Este tipo de ensayo se efectuó en una muestra representativa de 10 unidades de ladrillo patrón y 10 unidades de ladrillo con filtro de cigarro.

Donde:

σ = desviación estándar

x = dimensión promedio



altura de una unidad

$$h = \frac{h1 + h2 + h3 + h4}{4}$$

Figura N° 10. Determinación de la altura de la unidad.

Como se muestran en las Tablas 5 @ 12, los resultados de los ensayos.

Medida del alabeo:

Siguiendo lo establecido en la NTP 399.613, para la medición del alabeo se empleó una cuña de madera con divisiones de 1mm, de 60mm de longitud por 12.5mm de espesor en un extremo, el cual va reduciéndose hasta llegar a cero en el otro extremo (ver foto N° 13).

Esta medida se efectuó sobre las 10 unidades utilizadas en el ensayo anterior. Cada unidad colocada sobre una superficie de vidrio plana rectangular de 400mm x 450mm y se eliminó el polvo adherido a las superficies con una brocha.

Para la medición del alabeo en superficies cóncavas, se hizo uso de una regla de acero de 30cm, la cual se colocó diagonalmente a lo largo de la superficie a ser medida, y se escogió la distancia mayor de la superficie del espécimen al borde recto de la regla de acero, esta distancia se registró usando la cuña de madera (ver foto N°15)

Para el caso de las superficies convexas, la norma establece colocar el espécimen en contacto con una superficie plana y con las esquinas aproximadamente equidistantes a dicha superficie. Para este caso se hizo uso de la regla de acero posicionándola sobre la superficie convexa y midiendo directamente el alabeo en los extremos diagonales con la cuña de madera. El resultado indica si la unidad es cóncava, convexa, u horizontal (Tablas 13 @ 15).

Absorción

Se ensayaron cinco especímenes que se secaron previamente de la forma especificada en el ensayo de compresión. Los especímenes ya preparados fueron pesados en una balanza con una capacidad no menor a 2000g y con una aproximación de 0.5g (ver foto N°16)

Se realizaron pruebas de sumersión tanto en frío como en caliente. Las unidades fueron sumergidas en agua fría durante un periodo de 5 y 24 horas en agua potable (ver foto N°17). Cumplido este periodo, cada una de las unidades fue retirada y se limpió el agua superficial con un paño, pesándola a continuación siempre dentro de los cinco minutos siguientes luego de haber sido retirados. Estos mismos especímenes en el estado de saturación en el que fueron retirados, son utilizados para la prueba de sumersión en agua caliente.

Los especímenes se sumergieron en agua limpia potable cuidando que el agua circulara libremente por todos los especímenes. Se calentó hasta el punto de ebullición en una hora y se hirvió por el tiempo especificado de 5 horas, dejando enfriar posteriormente a temperatura ambiente. Cada espécimen fue retirado y se limpió el agua superficial de cada uno de ellos, pesándolos dentro de los cinco minutos después de retirarlos del agua.

La absorción es una medida de la permeabilidad de la unidad de albañilería; la absorción máxima, es la medida de la cantidad de agua que puede contener una unidad saturada; finalmente, el coeficiente de saturación es una medida de la facilidad con que una unidad puede saturarse con agua.

El ensayo se realiza pesando medias unidades en estado seco, luego en estado saturado durante 24 horas con las superficies secadas previamente (ver foto N° 18), a esta diferencia de pesos se le conoce como absorción, y cuando las unidades hierven durante 5 horas antes de pesarlas en estado saturado, recibe el nombre de absorción máxima,

ambas se expresan en porcentaje, el coeficiente de saturación es la razón entre dichos porcentajes (NTP 399.604).

Succión

En este ensayo se utilizaron dos barras de acero no corrosible de sección rectangular como se indica en la NTP 399.613, que sirvieron de soporte para los ladrillos y una bandeja de 300mm x 200mm (ver foto N° 19)

Antes de proceder al ensayo de succión, se realizó un método recomendado en la norma para controlar el agua que se agregará a la bandeja. Éste se hizo controlando que una unidad previamente sumergida en agua por un periodo de 3 horas, proporcionara un desplazamiento de 3mm de agua. Se ensayaron 5 medias de ladrillo patrón y 5 de ladrillo con filtro de cigarro.

La posición en la bandeja se ajustó fijando una unidad referencial saturada encima de los soportes y agregando agua hasta que el nivel fuera 3mm. Hecho esto se procede a colocar el espécimen de ensayo sobre los soportes contando como tiempo cero el momento de contacto del ladrillo con el agua. Durante el periodo de contacto de 1min el nivel del agua se mantenía agregando agua con una botella si era necesario. Finalizado el tiempo de 1 minuto, el espécimen es retirado y se seca el agua superficial con un paño húmedo, volviéndolo a pesar dentro de los siguientes 2 minutos (ver foto N°20).

La succión es una propiedad importante en las unidades de arcilla calcinada, debido a que una succión excesiva producirá uniones entre mortero y ladrillo inadecuadas. El mortero, debido a la rápida pérdida de parte del agua que es absorbida por el ladrillo, se deforma y endurece, no logrando un contacto completo con la cara del ladrillo superior. El

resultado es que se tendrá un muro con una adhesión pobre e incompleta de sus unidades, dejando uniones de baja resistencia y muros permeables al agua.

El ensayo para fines de investigación se realiza con muestras secadas al horno, y para su evaluación se hace con muestras en estado natural. Debido a la importancia de sus resultados se ensayaron 05 unidades de ladrillo patrón y 05 unidades de ladrillo con sustitución de filtro de cigarro.

Después de pesar la muestra seca (P_s) se la coloca en una bandeja con agua sobre unos soportes durante un minuto, luego se retira y se vuelve a pesar, secándola previamente con un paño (P_m), esta succión se evalúa sobre una superficie de contacto de 200 cm² [Norma ITINTEC, 2002].

La succión es expresada por la ecuación.

$$\text{Succión}(\text{gr} / 200 - \text{cm}^2 - \text{min}) = \frac{200 \cdot (P_m - P_s)}{A}$$

Donde:

A: Área de contacto.

P_s = peso seco de la muestra

P_m = peso de la muestra húmeda, después de la succión.

Resistencia a la compresión

Se usó el horno del laboratorio de Suelos que es un horno cerrado y que se mantiene a una temperatura constante de 100°C a 110°C. Se ensayaron 10 unidades de ladrillo patrón y 10 de ladrillo con filtro de cigarro, previamente secadas en el horno, por más de 24

horas y después de dos pesadas sucesivas en un intervalo de 4hrs sin incremento o pérdida de peso. El enfriamiento se dio en un periodo aproximadamente de 4 horas como mínimo en un ambiente libre de corrientes de aire, y sin apilar las unidades.

El ensayo de compresión se hizo sobre unidades medias refrentadas con yeso. Para el refrentado con yeso, se utilizó una superficie de madera, sobre la cual se colocó una membrana de plástico. Encima de esta membrana de plástico se distribuyó la capa de yeso con un espesor tal que nivelara la superficie de la unidad. Este procedimiento se hizo para ambas caras de la unidad. Terminado el refrentado se dejaron reposando las unidades durante 24 horas antes de los ensayos (ver foto N° 21).

El ensayo de compresión de la unidad, se desarrolló en base a las especificaciones de la norma. Donde se recomienda ensayar 10 especímenes por lote, por tanto se ensayó un total de 20 especímenes (10 de ladrillo patrón y 10 con sustitución con filtro de cigarro).

La resistencia a la compresión ($f'_{cb} = f'_b$) se determina dividiendo la carga de rotura (P_u), entre el área bruta (A) de la unidad.

$$f'_{cb} = \frac{P_u}{A}$$

La resistencia característica se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

En las Tablas 16 @ 17, se determina la resistencia a compresión (f'_{cb}) y así mismo, se determina el módulo de elasticidad de la unidad E_b , según Sahlin (1971), ello con el afán de comparar posteriormente con el módulo de elasticidad de la albañilería.

$$E_b = 300 \cdot f'_{cb}$$

Peso específico y humedad natural

Para determinar el peso específico se aplica la ecuación:

$$\gamma = \frac{P_{SECO}}{V}$$

Además: $V = P_1 - P_2$

Donde:

V = volumen en centímetros cúbicos.

γ = peso específico en gramos por centímetro cúbico.

La humedad natural, se calcula con la ecuación:

$$H\% = \frac{P_0 - P_1}{P_1}$$

Dónde: P_0 = peso en estado natural, en gramos.

P_1 = peso del espécimen seco, en gramos, después de haber sido secado en el horno.

Los valores finales considerados, son los promedios de 5 ensayo realizados de ladrillo patrón y ladrillo con sustitución con filtro. Las Tablas 22 @ 24 muestran los resultados en las dos últimas filas de densidad y humedad natural.

Ensayo de tracción por flexión (ftb)

Constituye una medida de la calidad de la unidad. Su evaluación debería realizarse cuando se tenga un alto alabeo que pueda conducir a la unidad a una falla de tracción por flexión.

Para que exista una distribución uniforme de carga se debe colocar capping de yeso (ver foto N° 22).

El ensayo consiste en someter a la unidad a la acción de una carga concentrada creciente (en el centro de la unidad), a una velocidad de desplazamiento entre los cabezales de la máquina de ensayos de 1.25 mm/min; luego se calcula f_{tb} utilizando la ecuación.

$$f_{tb} = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

Donde:

P = Es la carga máxima aplicada al espécimen.

L = Longitud de los apoyos.

b = ancho de la unidad.

h = altura de la unidad.

III.RESULTADOS

Los datos obtenidos en campo y en laboratorios son los siguientes:

Ensayo de la variación dimensional

Tabla 5: Variación dimensional del largo de la unidad – sin filtro.

VARIACION DIMENSIONAL DEL LARGO DE LA UNIDAD					
MUESTRA SIN FILTRO	LARGO (mm)				
N°	L1	L2	L3	L4	L prom
M1	235	235	235	235	235.00
M2	235	234	236	236	235.25
M3	235	235	235	235	235.00
M4	235	234	235	235	234.75
M5	235	235	236	235	235.25
M6	235	233	236	236	235.00
M7	235	235	235	235	235.00
M8	235	235	235	235	235.00
M9	235	234	235	235	234.75
M10	235	234	235	235	234.75
PROMEDIO					234.98
σ					0.18
V %=					0.077

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 6: Variación dimensional del largo de la unidad – con filtro.

VARIACION DIMENSIONAL DEL LARGO DE LA UNIDAD					
MUESTRA CON FILTRO	LARGO (mm)				
N°	L1	L2	L3	L4	L prom
M1	235	234	235	235	234.75
M2	236	235	235	236	235.50
M3	235	235	235	235	235.00
M4	235	234	235	235	234.75
M5	234	235	236	235	235.00
M6	235	233	236	236	235.00
M7	235	235	236	235	235.25
M8	234	235	235	235	234.75
M9	235	234	235	235	234.75
M10	235	234	235	235	234.75
PROMEDIO					234.95
σ					0.18
V=					0.077

Fuente: tabla de elaboración propia

Tabla 6: Variación dimensional del ancho de la unidad – sin filtro.

VARIACION DIMENSIONAL DEL ANCHO DE LA UNIDAD					
MUESTRA SIN FILTRO	ANCHO (mm)				
N°	A1	A2	A3	A4	A prom
M1	131	131	135	133	132.50
M2	132	133	130	133	132.00
M3	130	130	133	135	132.00
M4	132	133	130	133	132.00
M5	130	130	133	135	132.00
M6	131	131	135	133	132.50
M7	132	133	130	133	132.00
M8	130	130	133	135	132.00
M9	132	133	130	133	132.00
M10	130	130	133	135	132.00
PROMEDIO					132.10
σ					0.21
V=					0.160

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 9: Variación dimensional del ancho de la unidad – con filtro.

VARIACION DIMENSIONAL DEL ANCHO DE LA UNIDAD					
MUESTRA CON FILTRO	ANCHO (mm)				
N°	A1	A2	A3	A4	A prom
M1	130	130	135	133	132.00
M2	132	133	130	133	132.00
M3	134	133	133	135	133.75
M4	132	131	130	133	131.50
M5	130	133	133	135	132.75
M6	131	131	135	133	132.50
M7	132	133	130	133	132.00
M8	134	133	130	135	133.00
M9	132	133	130	133	132.00
M10	130	130	133	135	132.00
PROMEDIO					132.35
σ					0.66
V=					0.497

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 7: Variación dimensional del alto de la unidad – sin filtro.

VARIACION DIMENSIONAL DEL ALTO DE LA UNIDAD					
MUESTRA SIN FILTRO	ALTO (mm)				
N°	H1	H2	H3	H4	H prom
M1	71	70	67	70	69.50
M2	68	69	69	70	69.00
M3	71	69	69	69	69.50
M4	68	69	69	70	69.00
M5	71	69	69	69	69.50
M6	70	70	67	70	69.25
M7	68	69	69	70	69.00
M8	68	69	69	70	69.00
M9	71	69	69	69	69.50
M10	71	70	67	70	69.50
PROMEDIO					69.28
σ					0.25
V=					0.359

Fuente: tabla de elaboración propia.

elaboración propia.

Tabla 10: Variación dimensional del alto de la unidad – con filtro.

VARIACION DIMENSIONAL DEL ALTO DE LA UNIDAD					
MUESTRA CON FILTRO	ALTO (mm)				
N°	H1	H2	H3	H4	H prom
M1	65	70	69	70	68.50
M2	68	69	69	70	69.00
M3	69	69	70	69	69.25
M4	68	69	69	70	69.00
M5	71	69	69	69	69.50
M6	69	70	67	70	69.00
M7	68	69	69	70	69.00
M8	68	69	69	70	69.00
M9	71	69	69	69	69.50
M10	71	70	68	70	69.75
PROMEDIO					69.15
σ					0.36
V%=					0.517

Fuente: tabla de elaboración propia.

A continuación, se muestra la Tabla 11 que resume los resultados de la variabilidad dimensional y se compara con la clasificación del proyecto de norma E.070 [SENCICO, 2004].

Tabla 11: comparación de la variabilidad dimensional

VARIACION DIMENSIONAL							CLASIFICACION DE NORMA
ESPECIMEN	L(mm)	L (%)	A(mm)	A (%)	H(mm)	H(%)	
SIN FILTRO	234.98	0.077	132.10	0.160	69.28	0.359	TIPO V
CON FILTRO	234.95	0.077	132.35	0.497	69.15	0.517	TIPO V

Fuente: tabla de elaboración propia.

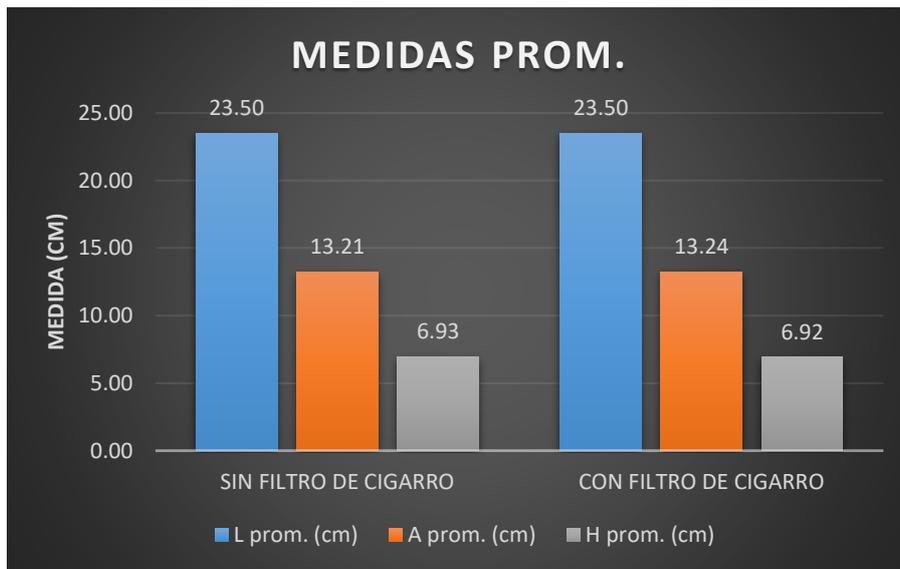


Figura 11: Valores promedio de las unidades (variación dimensional)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Espesores de junta horizontal.

ESPECIMEN	DESVIACION ESTANDAR (mm)	JUNTA CAL. = $4\text{mm}+2.\sigma$ (mm)
SIN FILTRO	0.25	4.50
CON FILTRO	0.36	4.71

Fuente: tabla de elaboración propia.

Alabeo

Tabla 13: Alabeo de la unidad sin sustitución de su volumen sin filtro de cigarro.

ESPECIMEN SIN FILTRO	CARA A		CARA B		ALABEO	
	1 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	2 (mm)
1	CC-0.00	CC-0.00	CC-1.00	CC-1.00	0.00	1.00
2	CC-0.00	CC-1.00	CC-1.50	CC-1.00	1.00	1.50
3	CC-1.50	CC-1.00	CC-1.25	CC-1.50	1.50	1.50
4	CC-0.00	CC-0.50	CV-1.00	CC-1.00	0.50	1.00
5	CC-1.00	CC-1.00	CV-1.50	CV-2.00	1.00	2.00
6	CC-0.00	CC-0.00	CC-1.00	CC-0.50	0.00	1.00
7	CC-1.00	CC-1.00	CC-1.50	CC-1.50	1.00	1.50
8	CC-0.00	CV-0.00	CC-0.00	CV-1.30	0.00	1.50
9	CC-0.00	CC-1.00	CC-1.75	CC-1.30	1.00	1.75
10	CC-1.00	CC-0.50	CC-2.50	CV-1.50	1.00	2.50
				PROMEDIO	0.70	1.53

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 14: Alabeo de la unidad con sustitución de su volumen con filtro de cigarro.

ESPECIMEN CON FILTRO	CARA A		CARA B		ALABEO	
	1 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	2 (mm)	1 (mm)	2 (mm)
1	CC-0.00	CV-1.00	CC-1.00	CC-1.00	1.00	1.00
2	CC-1.50	CC-2.00	CV-0.00	CV-1.00	2.00	1.00
3	CC-0.00	CC-0.00	CC-1.50	CC-1.50	0.00	1.50
4	CC-1.50	CC-2.00	CV-1.50	CV-1.75	2.00	1.75
5	CC-0.00	CC-1.00	CC-1.00	CC-1.50	1.00	1.50
6	CV-0.50	CC-0.00	CC-1.00	CC-0.00	0.00	1.00
7	CC-0.00	CC-0.00	CC-1.00	CC-1.50	0.00	1.50
8	CV-0.50	CV-0.00	CV-1.50	CV-1.00	0.50	1.50
9	CC-1.00	CC-2.00	CV-1.00	CC-0.00	2.00	1.00
10	CC-0.00	CC-0.00	CC-0.00	CV-1.50	0.00	1.50
PROMEDIO					0.85	1.33

Fuente: tabla de elaboración propia.

A continuación, se muestra la Tabla 15 que resume los resultados de alabeo de la unidad de arcilla patrón y resultados de alabeo de la unidad de arcilla con sustitución de su volumen con filtro de cigarro y se compara con el proyecto de norma E.070. La Norma INDECOPI 331.017 no incluye el alabeo como parámetro de clasificación.

Tabla 15: Comparación de alabeo de las unidades patrón y unidades sustituidas con filtro de cigarro.

ESPECIMEN	ALABEO DE LA UNIDAD		CALSIFICACION NORMA E.070
	CARA 1(mm)	CARA 2(mm)	
ESPECIMEN SIN FILTRO	0.70	1.53	TIPO V
ESPECIMEN CON FILTRO	0.85	1.33	TIPO V

Fuente: tabla de elaboración propia.



Figura 12: Valores de alabeo para concavidad y convexidad.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de compresión de la unidad ($f'b=f'cb$)

Tabla 16: Resistencia a la compresión de la unidad y su módulo de elasticidad – ladrillo patrón.

ESPECIMEN SIN FILTRO	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm ²)	P MAX. (Kg)	f'b (Kg/Cm ²)	Eb
N°						
1	11.75	13.5	158.63	11940	75.27	22581.5603
2	11.75	13.5	158.63	10570	66.64	19990.5437
3	11.75	13.5	158.63	10100	63.67	19101.6548
4	11.75	13.5	158.63	11980	75.52	22657.2104
5	11.75	13.5	158.63	11540	72.75	21825.0591
6	11.75	13.5	158.63	10990	69.28	20784.87
7	11.75	13.5	158.63	11530	72.69	21806.1466
8	11.75	13.5	158.63	11850	74.70	22411.3475
9	11.75	13.5	158.63	10960	69.09	20728.1324
10	11.75	13.5	158.63	10980	69.22	20765.9574
				σ	3.95	1185
				PROMEDIO	70.88	21265.25

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 17: Resistencia a la compresión de la unidad y su módulo de elasticidad – unidad con sustitución de su volumen con filtro de cigarro.

ESPECIMEN CON FILTRO	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm ²)	P MAX. (Kg)	f' b (Kg/Cm ²)	Eb
N°						
1	11.75	13.5	158.63	15120	95.32	28595.7447
2	11.75	13.5	158.63	15720	99.10	29730.4965
3	11.75	13.5	158.63	15810	99.67	29900.7092
4	11.75	13.5	158.63	15020	94.69	28406.6194
5	11.75	13.5	158.63	14980	94.44	28330.9693
6	11.75	13.5	158.63	15220	95.95	28784.87
7	11.75	13.5	158.63	14990	94.50	28349.8818
8	11.75	13.5	158.63	14560	91.79	27536.643
9	11.75	13.5	158.63	15180	95.70	28709.2199
10	11.75	13.5	158.63	15200	95.82	28747.0449
				σ	2.28	684
				PROMEDIO	95.70	26161.47

Fuente: tabla de elaboración propia.

A continuación, se muestra la Tabla 18, donde se presenta el resumen de resistencia a la compresión de las unidades de arcilla cocida patrón y con sustitución de filtro de cigarro y se compara con la Norma E.070.

Tabla 18: Comparación de la resistencia a la compresión según la norma E.070.

RESISTENCIA A LA COMPRESION		CALIFICACION NORMA E.070
ESPECIMEN	f' b (Kg/Cm ²)	
ESPECIMEN SIN FILTRO	70.88	TIPO II
ESPECIMEN CON FILTRO	95.70	TIPO III

Fuente: tabla de elaboración propia.



Figura 13: Valores promedio de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de tracción por flexión (ftb)

En las Tablas 19 @ 20, se muestran los resultados del ensayo de tracción por flexión de las cuatro zonas estudiadas.

Tabla 19: Resistencia a la tracción por flexión (ftb)- ladrillo patrón.

ESPECIMEN SIN FILTRO	LARGO	ANCHO	ESPEJOR	Lo	CARGA	Ftb
N°	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kn)	(kg/cm2)
1	23.5	13.5	7.0	18	610	24.90
2	23.5	13.5	7.0	18	590	24.08
3	23.5	13.5	7.0	18	560	22.86
4	23.5	13.5	7.0	18	580	23.67
5	23.5	13.5	7.0	18	590	24.08
6	23.5	13.5	7.0	18	560	22.86
7	23.5	13.5	7.0	18	580	23.67
8	23.5	13.5	7.0	18	590	24.08
9	23.5	13.5	7.0	18	590	24.08
10	23.5	13.5	7.0	18	580	23.67
PROMEDIO						23.80
Σ						0.610

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 20: Resistencia a la tracción por flexión (ftb)- ladrillo con sustitución de su volumen con filtro de cigarro.

ESPECIMEN CON FILTRO	LARGO	ANCHO	ESPESOR	Lo	CARGA	Ftb
N°	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg/cm ²)
1	23.5	13.5	7.0	18	730	29.80
2	23.5	13.5	7.0	18	710	28.98
3	23.5	13.5	7.0	18	690	28.16
4	23.5	13.5	7.0	18	720	29.39
5	23.5	13.5	7.0	18	680	27.76
6	23.5	13.5	7.0	18	690	28.16
7	23.5	13.5	7.0	18	710	28.98
8	23.5	13.5	7.0	18	720	29.39
9	23.5	13.5	7.0	18	690	28.16
10	23.5	13.5	7.0	18	690	28.16
PROMEDIO						28.69
Σ						0.695

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 21: Resumen de valores promedios de la resistencia a la flexión.

RESISTENCIA A LA FLEXION		CALSIFICACION NORMA E.070
ESPECIMEN	f' b (Kg/Cm ²)	
ESPECIMEN SIN FILTRO	23.80	TIPO V
ESPECIMEN CON FILTRO	28.69	TIPO V

Fuente: tabla de elaboración propia.

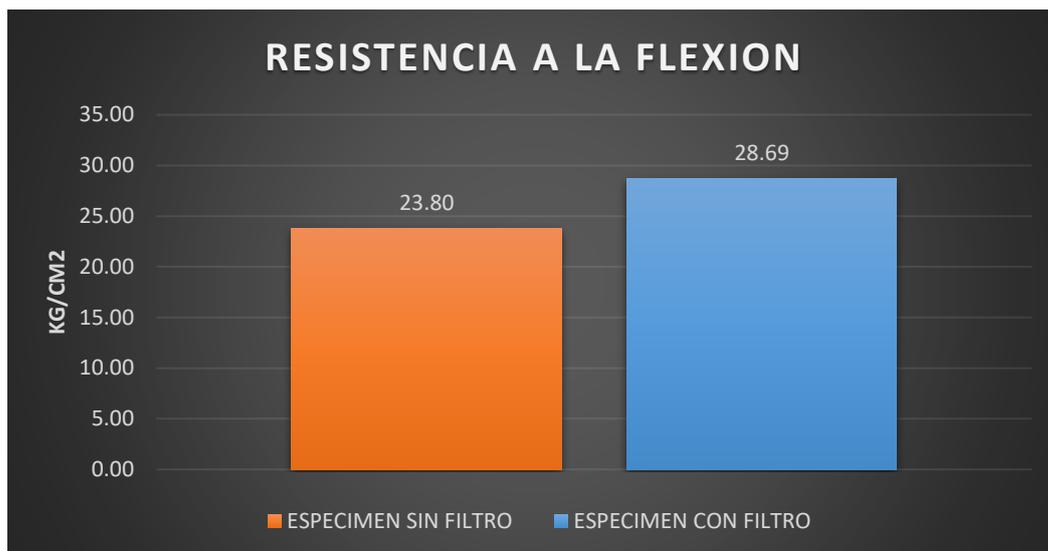


Figura 14: Resumen de valores – resistencia a la flexión.

Fuente: Elaboración propia.

Peso específico y humedad natural

Tabla 22: Peso específico y humedad natural – ladrillo con filtro de cigarro.

ESPECIMEN CON FILTRO	PESO (kg)			VOL. (cm3)	DENSIDAD (gr/cm3) NAT.	DENSIDAD (gr/cm3) SEC.	DENSIDAD (gr/cm3) INM	% HUMEDAD
	NATURAL	SECO	24H INM.					
1	1846.25	1826.05	2071.35	1110.38	1.66	1.64	1.87	1.11%
2	1835.25	1809.65	2030.95	1110.38	1.65	1.63	1.83	1.41%
3	1825.00	1802.80	2018.10	1110.38	1.64	1.62	1.82	1.23%
4	1822.75	1795.95	2047.25	1110.38	1.64	1.62	1.84	1.49%
5	1836.00	1808.40	2040.70	1110.38	1.65	1.63	1.84	1.53%
Promedio					1.65	1.63	1.84	1.35%

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 23: Peso específico y humedad natural – ladrillo patrón.

ESPECIMEN SIN FILTRO	PESO (kg)			VOL. (cm ³)	DENSIDAD (gr/cm ³) NAT.	DENSIDAD (gr/cm ³) SEC.	DENSIDAD (gr/cm ³) INM	% HUMEDAD
	NATURAL	SECO	24H INM.					
1	1912.75	1892.55	2157.85	1110.38	1.72	1.70	1.94	1.07%
2	1946.25	1920.65	2141.95	1110.38	1.75	1.73	1.93	1.33%
3	1997.25	1975.05	2190.35	1110.38	1.80	1.78	1.97	1.12%
4	1939.75	1912.95	2138.85	1110.38	1.75	1.72	1.93	1.40%
5	1949.75	1922.15	2154.45	1110.38	1.76	1.73	1.94	1.44%
Promedio					1.76	1.73	1.94	1.27%

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 24: Resumen de valores

ESPECIMEN	DENSIDAD	HUMEDAD %
	D (gr/cm ³)	
ESPECIMEN SIN FILTRO	1.73	1.27%
ESPECIMEN CON FILTRO	1.63	1.35%

Fuente: tabla de elaboración propia.



Figura 15: Valores promedio de densidad.

Fuente: elaboración propia.

Succión

Tabla 25: Resultados de succión de ladrillo patrón.

ESPECIMEN SIN FILTRO	LARGO	ANCHO	ALTURA	PESO (gr)		AREA DE ASIENTO (cm ²)	Pm-Ps (gr)	SUCCION (gr/200 cm ² /min)
				Ps	Pm			
1	235	135	70	3825.50	3868.00	317.25	42.50	26.793
2	235	135	69	3892.50	3941.50	317.25	49.00	30.890
3	235	132	70	3994.50	4035.80	310.20	41.30	26.628
4	235	132	69	3879.50	3928.10	310.20	48.60	31.335
5	235	135	69	3899.50	3948.50	317.25	49.00	30.890
6	235	135	70	3910.50	3951.80	317.25	41.30	26.036
7	235	135	69	3962.30	4010.90	317.25	48.60	30.638
8	235	132	69	3826.00	3875.00	310.20	49.00	31.593
9	235	135	70	3874.00	3915.30	317.25	41.30	26.036
10	235	134	70	3869.50	3918.10	314.90	48.60	30.867
							PROMEDIO	29.171

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 26: Resultados de succión de ladrillo con sustitución de filtro de cigarro.

ESPECIMEN CON FILTRO	LARGO	ANCHO	ALTURA	PESO (gr)		AREA DE ASIENTO (cm ²)	Pm-Ps (gr)	SUCCION (gr/200 cm ² /min)
				Ps	Pm			
1	235	130	70	3692.50	3744.00	305.50	51.50	33.715
2	235	132	69	3670.50	3731.80	310.20	61.30	39.523
3	235	133	70	3650.00	3709.30	312.55	59.30	37.946
4	235	135	69	3645.50	3699.70	317.25	54.20	34.169
5	235	135	69	3672.00	3726.20	317.25	54.20	34.169
6	235	132	70	3685.50	3746.80	310.20	61.30	39.523
7	235	134	69	3660.00	3719.30	314.90	59.30	37.663
8	235	135	69	3690.50	3744.70	317.25	54.20	34.169
9	235	135	70	3645.50	3699.70	317.25	54.20	34.169
10	235	134	70	3655.50	3716.80	314.90	61.30	38.933
							PROMEDIO	36.398

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 27: Resultados de clasificación según norma.

ESPECIMEN	SUCCION (gr/min)	CLASIFICACION DE NORMA
SIN FILTRO	29.171	TIPO V
CON FILTRO	36.398	TIPO V

Fuente: tabla de elaboración propia.



Figura 16: Comparación de resultados (succión)

Ensayo de absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación

En las Tablas 28 @ 29, se muestran los resultados.

Tabla 28: Resultados de Absorción, absorción máxima y coeficiente de saturación de ladrillo patrón.

ESPECIMEN SIN FILTRO	PESO (kg)				ABSORCION %	ABS. MAX. %	COEF. SATURAC.
	N°	NATURAL	SECO	24H INM.			
1	1912.75	1892.55	2157.85	2292.45	14.02	21.13	0.66
2	1946.25	1920.65	2141.95	2245.45	11.52	16.91	0.68
3	1997.25	1975.05	2190.35	2321.95	10.90	17.56	0.62
4	1939.75	1912.95	2138.85	2284.45	11.81	19.42	0.61
5	1949.75	1922.15	2154.45	2290.05	12.09	19.14	0.63
PROM.					12.07	18.83	0.64

Fuente: tabla de elaboración propia.

Tabla 29: Resultados de Absorción, absorción máxima y coeficiente de ladrillo con filtro de cigarro.

ESPECIMEN CON FILTRO	PESO (kg)				ABSORCION	ABS. MAX.	COEF. SATURAC.
	N°	NATURAL	SECO	24H INM.	5H EBULL.	%	
1	1846.25	1826.05	2071.35	2182.65	13.43	19.53	0.69
2	1835.25	1809.65	2030.95	2134.45	12.23	17.95	0.68
3	1825.00	1802.80	2018.10	2139.70	11.94	18.69	0.64
4	1822.75	1795.95	2047.25	2192.85	13.99	22.10	0.63
5	1836.00	1808.40	2040.70	2176.30	12.85	20.34	0.63
				PROM.	12.89	19.72	0.65

Fuente: tabla de elaboración propia.

ESPECIMEN	ABS. MAX	COEF. SAT.	CALSIFICACION DE NORMA
SIN FILTRO	18.83	0.64	TIPO V
CON FILTRO	19.72	0.65	TIPO V

Granulometría y límites consistencia

Tabla 30: Resultados de granulometría del material extraído en la cantera de Yuracoto.

TAMIZ		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
76.2	3"		0	0	100
63.5	2 1/2"	0	0	0	100
50.8	2"	0.00	0.00	0	100.00
38.1	1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
25.4	1"	0.00	0.00	0.00	100.00
19.1	3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
12.7	1/2"	13.50	0.29	0.29	99.71
9.525	3/8"	26	0.56	0.85	99.15
6.35	1/4"	44.00	0.94	1.79	98.21
4.76	Nº 4	37.50	0.80	2.59	97.41
2	Nº10	285.50	6.11	8.70	91.30
0.84	Nº20	349.00	7.47	16.17	83.83
0.59	Nº30	406.00	8.69	24.87	75.13
0.42	Nº40	649.5	13.90	38.77	61.23
0.25	Nº60	172.50	3.69	42.46	57.54
0.149	Nº100	248.50	5.32	47.78	52.22
0.074	Nº200	143.50	3.07	50.86	49.14
	PLATO	2295.50	49.14	100.00	0.00
MASA TOTAL		4671			

Fuente: elaboración propia

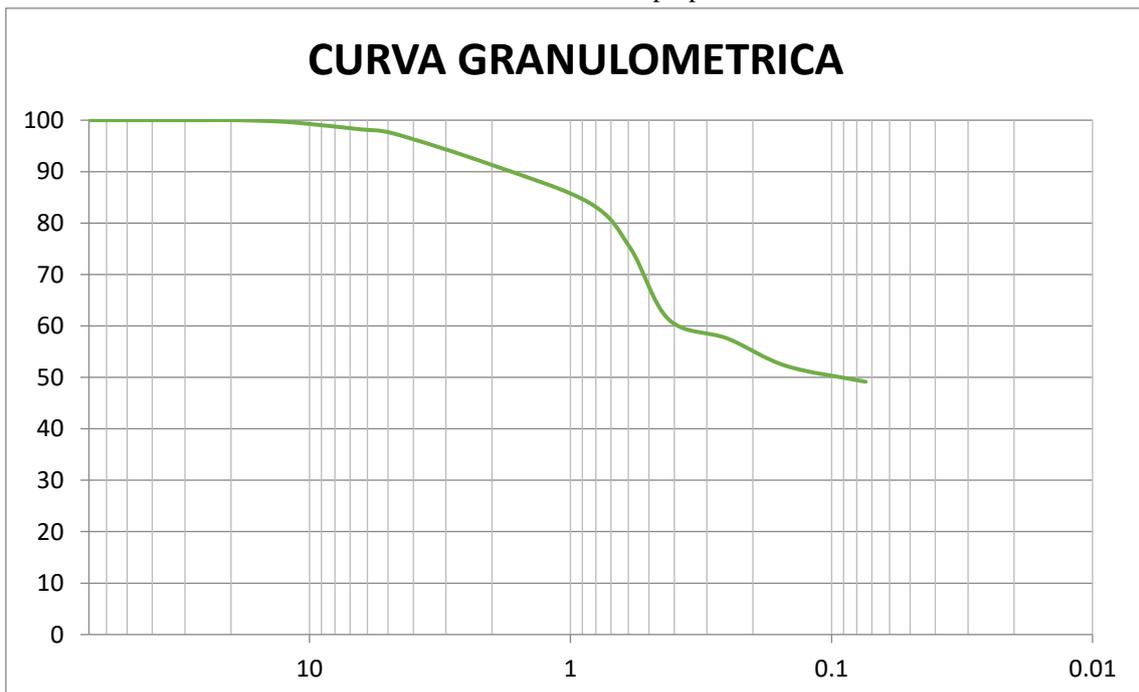


Figura 17. Curva granulométrica

Fuente: elaboración propia

Tabla 31: Resultados de límites de consistencia

Nº de ensayo	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	1	2	3	1	2
Nº tara	12	28	21	33	29
peso de tara + suelo humedo (g)	58.36	60.3	56.46	29.03	30
peso de tara + suelo seco (g)	52.05	53.36	49.97	28.55	29.45
peso del agua (g)	6.31	6.94	6.49	0.48	0.55
peso de la tara (g)	27.21	27.14	26.98	26.03	26.72
peso suelo seco (g)	24.84	26.22	22.99	2.52	2.73
contenido de humedad %	25.40	26.47	28.23	19.05	20.15
Nº golpes	18	24	33		

Fuente: elaboración propia

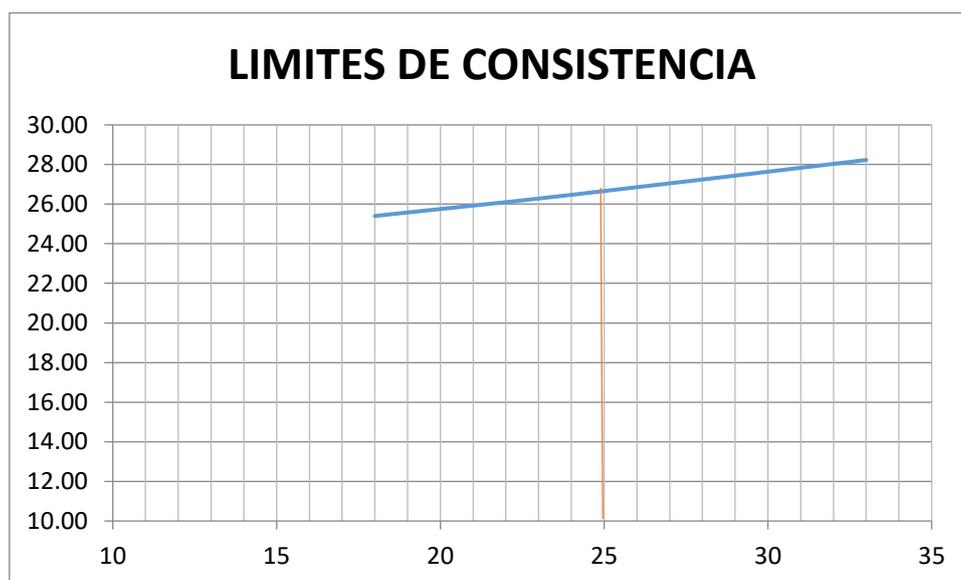


Figura 18. resultado índice de plasticidad

Fuente: elaboración propia

Tabla 32: Resumen limites consistencia

LIMITE LIQUIDO	26.90%
LIMITE PLASTICO	19.60%
INDICE DE PLASTICIDAD	7.30%
CLASIFICACION SUCS Y AASHTO	(SC) -(A4)

Fuente: elaboración propia

Pruebas estadísticas para las diferencias de los grupos de ladrillo con y sin filtro de cigarro.

Tabla 33 : Variación dimensional del Largo en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tratamiento	Variación dimensional: Largo	
	Sin Filtro	Con Filtro
M 1	235,00	234,75
M 2	235,25	235,50
M 3	235,00	235,00
M 4	234,75	234,75
M 5	235,25	235,00
M 6	235,00	235,00
M 7	235,00	235,25
M 8	235,00	234,75
M 9	234,75	234,75
M 10	234,75	234,75
Media	235.05	235.00
Desviación estándar	0.20917	0.30619

Fuente: Elaboración propia

$$t = 0.249 \quad p=0.806 \quad p>0.05$$

Después de verificar que los datos tienen una distribución normal ($P>0$) y existiendo varianzas significativamente iguales ($p>0$), y después de aplicar la prueba t- Student para muestras independientes ($t=0.249$, $p=0.806$ y $p>0.05$) podemos decir que no existe una diferencia significativa entre la media del largo de los ladrillo con y sin filtro de cigarrillo. por lo que podemos indicar que la sustitución de 1% del volumen de arcilla por filtro de cigarrillo no genera ladrillos con diferentes medias de longitud.

Tabla 34: Variación dimensional del Ancho en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tratamiento	Variación dimensional: Ancho	
	Sin Filtro	Con Filtro
M 1	132.50	132.00
M 2	132.00	132.00
M 3	132.00	133.75
M 4	132.00	131.50
M 5	132.00	132.75
M 6	132.50	132.50
M 7	132.00	132.00
M 8	132.00	133.00
M 9	132.00	132.00
M 10	132.00	132.00
Media	132.10	132.40
Desviación estándar	0.22361	0.87678

Fuente: Elaboración propia

$$U \text{ de Mann Whitney} = 41.00 \quad p = 0.424 \quad p > 0.05$$

Después de verificar que los datos no tienen una distribución normal ($P < 0$) y después de aplicar la prueba U de Mann Whitney para muestras independientes ($p = 0.424$ y $p > 0.05$) podemos decir que no existe una diferencia significativa entre el Ancho del ladrillo con y sin filtro de cigarrillo. por lo que podemos indicar que la sustitución de 1% del volumen de arcilla por filtro de cigarrillo no genera ladrillos con diferentes medidas de ancho.

Tabla 35: Variación dimensional del Alto en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tratamiento	Variación dimensional: Alto	
	Sin Filtro	Con Filtro
M 1	69.50	68.50
M 2	69.00	69.00
M 3	69.50	69.25
M 4	69.00	69.00
M 5	69.50	69.50
M 6	69.25	69.00
M 7	69.00	69.00
M 8	69.00	69.00
M 9	69.50	69.50
M 10	69.50	69.75
Media	69.30	69.05
Desviación estándar	0.27386	0.37081

Fuente: Elaboración propia

$$U \text{ de Mann Whitney} = 39.50 \quad p=0.394 \quad p>0.05$$

Después de verificar que los datos no tienen una distribución normal ($P<0$) y después de aplicar la prueba U de Mann Whitney para muestras independientes ($p=0.394$ y $p>0.05$) podemos decir que no existe una diferencia significativa entre el Alto del ladrillo con y sin filtro de cigarrillo. por lo que podemos indicar que la sustitución de 1% del volumen de arcilla por filtro de cigarrillo no genera ladrillos con diferentes medidas de alto.

Tabla 36: Alabeo – Lado superior del ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tratamiento	Alabeo – Lado superior	
	Sin Filtro	Con Filtro
M 1	1.00	0.00
M 2	2.00	1.00
M 3	0.00	1.50
M 4	2.00	0.50
M 5	1.00	1.00
M 6	0.00	0.00
M 7	0.00	1.00
M 8	0.50	0.00
M 9	2.00	1.00
M 10	0.00	1.00
Media	1.20	0.80
Desviación estándar	0.83666	0.57009

Fuente: Elaboración propia

$$t = 0.459 \quad p=0.652 \quad p>0.05$$

Después de verificar que los datos tienen una distribución normal ($P>0$) y existiendo varianzas significativamente iguales ($p>0$), y después de aplicar la prueba t- Student para muestras independientes ($t=0.459$, $p=0.652$ y $p>0.05$) podemos decir que no existe una diferencia significativa entre la media de Alabeo del lado superior de los ladrillo con y sin filtro de cigarrillo. por lo que podemos indicar que la sustitución de 1% del volumen de arcilla por filtro de cigarrillo no genera ladrillos con diferentes alabeos del lados superior.

Tabla 37: Alabeo – Lado inferior del ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tratamiento	Alabeo – Lado inferior	
	Sin Filtro	Con Filtro
M 1	1.00	1.00
M 2	1.00	1.50
M 3	1.50	1.50
M 4	1.75	1.00
M 5	1.50	2.00
M 6	1.00	1.00
M 7	1.50	1.50
M 8	1.50	1.50
M 9	1.00	1.75
M 10	1.50	2.50
Media	1.35	1.40
Desviación estándar	0.33541	0.41833

Fuente: Elaboración propia

$$t = -1.131 \quad p=0.273 \quad p>0.05$$

Después de verificar que los datos tienen una distribución normal ($P>0$) y existiendo varianzas significativamente iguales ($p>0$), y después de aplicar la prueba t- Student para muestras independientes ($t=-1.131$, $p=0.273$ y $p>0.05$) podemos decir que no existe una diferencia significativa entre la media de Alabeo del lado inferior de los ladrillo con y sin filtro de cigarrillo. por lo que podemos indicar que la sustitución de 1% del volumen de arcilla por filtro de cigarrillo no genera ladrillos con diferentes alabeos del lados inferior.

Tabla 38: Resistencia a la compresión en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tratamiento	Resistencia a la compresión	
	Sin Filtro	Con Filtro
M 1	75.27	95.32
M 2	66.64	99.10
M 3	63.67	99.67
M 4	75.52	94.69
M 5	72.75	94.44
M 6	69.28	95.95
M 7	72.69	94.50
M 8	74.70	91.79
M 9	69.09	95.70
M 10	69.22	95.82
Media	70.77	96.64
Desviación estándar	5.34322	2.53068

Fuente: Elaboración propia

$$t = -17.191 \quad p=0.000 \quad p<0.05$$

Después de verificar que los datos tienen una distribución normal ($P>0$) y no existiendo varianzas significativamente iguales ($p<0$), y después de aplicar la prueba t- Student para muestras independientes ($t=-17.191$, $p=0.000$ y $p<0.05$) podemos decir que existe una diferencia significativa entre la media de la resistencia a la compresión de los ladrillo con y sin filtro de cigarrillo. por lo que podemos indicar que la sustitución de 1% del volumen de arcilla por filtro de cigarrillo nos genera ladrillos con diferentes resistencias a la compresión. Siendo mayor en el caso de cuando se sustituye el 1% de arcilla por filtro de cigarrillo.

Tabla 39: Resistencia a la flexión en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tratamiento	Resistencia a la flexión	
	Sin Filtro	Con Filtro
M 1	24.90	29.80
M 2	24.08	28.98
M 3	22.86	28.16
M 4	23.67	29.39
M 5	24.08	27.76
M 6	22.86	28.16
M 7	23.67	28.98
M 8	24.08	29.39
M 9	24.08	28.16
M 10	23.67	28.16
Media	23.92	28.82
Desviación estándar	0.74123	0.84707

Fuente: Elaboración propia

$$t = -16.738 \quad p=0.000 \quad p<0.05$$

Después de verificar que los datos tienen una distribución normal ($P>0$) y existiendo varianzas significativamente iguales ($p<0$), y después de aplicar la prueba t- Student para muestras independientes ($t=-16.738$, $p=0.000$ y $p<0.05$) podemos decir que existe una diferencia significativa entre la media de la resistencia a la flexión de los ladrillo con y sin filtro de cigarrillo. por lo que podemos indicar que la sustitución de 1% del volumen de arcilla por filtro de cigarrillo nos genera ladrillos con diferentes resistencias a la flexión. Siendo mayor en el caso de cuando se sustituye el 1% de arcilla por filtro de cigarrillo.

Tabla 40: Prueba de succión en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tratamiento	Prueba de succión	
	Sin Filtro	Con Filtro
M 1	26.79	33.72
M 2	30.89	39.52
M 3	26.63	37.95
M 4	31.33	34.17
M 5	30.89	34.17
M 6	26.04	39.52
M 7	30.64	37.66
M 8	31.59	34.17
M 9	26.04	34.17
M 10	30.87	38.93
Media	29.31	35.91
Desviación estándar	2.37728	2.64787

Fuente: Elaboración propia

$$U \text{ de Mann Whitney} = 0.000 \quad p = 0.000 \quad p < 0.05$$

Después de verificar que los datos no tienen una distribución normal ($P < 0$) y después de aplicar la prueba U de Mann Whitney para muestras independientes ($p = 0.000$ y $p < 0.05$) podemos decir que existe una diferencia significativa entre la prueba de succión del ladrillo con y sin filtro de cigarrillo, por lo que podemos indicar que la sustitución de 1% del volumen de arcilla por filtro de cigarrillo nos genera ladrillos con diferentes valores de succión.

Tabla 41: Prueba de absorción en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tratamiento	Prueba de absorción	
	Sin Filtro	Con Filtro
M 1	21.13	19.53
M 2	16.91	17.95
M 3	17.56	18.69
M 4	19.42	22.10
M 5	19.14	20.34
Media	18.8320	19.7220
Desviación estándar	1.66083	1.60302

Fuente: Elaboración propia

$$t = -0.862 \quad p=0.414 \quad p>0.05$$

Después de verificar que los datos tienen una distribución normal ($P>0$) y existiendo varianzas significativamente iguales ($p<0$), y después de aplicar la prueba t- Student para muestras independientes ($t=-0.862$, $p=0.414$ y $p>0.05$) podemos decir que no existe una diferencia significativa entre la media de la absorción de los ladrillo con y sin filtro de cigarrillo. por lo que podemos indicar que la sustitución de 1% del volumen de arcilla por filtro de cigarrillo no genera ladrillos con diferentes valores de absorción.

Tabla 42: Peso específico en ladrillo con y sin sustitución de 1% de arcilla por filtro de cigarro.

Tratamiento	Peso específico	
	Sin Filtro	Con Filtro
M 1	1.94	1.87
M 2	1.93	1.83
M 3	1.97	1.82
M 4	1.93	1.84
M 5	1.94	1.84
Media	1.94	1.84
Desviación estándar	0.01643	0.01871

Fuente: Elaboración propia

$$t = 9.160 \quad p=0.000 \quad p<0.05$$

Después de verificar que los datos tienen una distribución normal ($P>0$) y existiendo varianzas significativamente iguales ($p<0$), y después de aplicar la prueba t- Student para muestras independientes ($t=9.160$, $p=0.000$ y $p<0.05$) podemos decir que existe una diferencia significativa entre la media del peso específico de los ladrillo con y sin filtro de cigarrillo. por lo que podemos indicar que la sustitución de 1% del volumen de arcilla por filtro de cigarrillo nos genera ladrillos con diferentes valores de peso específico, Siendo mayor en el caso de cuando no se sustituye el 1% de arcilla por filtro de cigarrillo

IV. ANALISIS Y DISCUSION

3.1. Ensayo de variación dimensional

Se muestra en la Tabla 11, que las unidades sustituidas con filtro de cigarro en su volumen no varían en grandes proporciones en la medida de sus dimensiones en comparación al modelo patrón, manteniendo así un rango promedio entre ambas muestras.

Además, en ambos casos las unidades de albañilería se clasifican en Tipo V según la Norma E.070, mostrando así una homogeneidad en sus dimensiones y una buena calidad de las unidades, tal es el caso de Yanac G. C. (2014) que en sus 4 zonas de estudio en la Ciudad de Huaraz clasifica como Tipo V, por otro lado, Mendoza G. J. (1997) también clasifica como Tipo IV a sus ladrillos mejorados. Esto se debe al correcto trabajo de amasado de la mezcla y buen colocado de la masa en sus moldes.

El ensayo de variación dimensional determina el espesor de las juntas de la albañilería.

Se debe mencionar que, por cada incremento de 3 mm en el espesor de las juntas horizontales adicionales al mínimo requerido de 10 mm, la resistencia a compresión y al corte de la albañilería disminuye en 15% aproximadamente [San Bartolomé, 1998].

Según la norma E.070, el espesor de las juntas horizontales debe ser 4mm más dos veces la desviación estándar de la altura de la unidad (Tabla 12).

Por inspección de la Tabla 11 y 12; se deduce que, las unidades con sustitución de filtro de cigarro en su volumen, no tendrán una reducción significativa de la resistencia, siempre y cuando se cumpla con el requerimiento mínimo de 10 mm de junta horizontal y como máximo de 15 mm.

3.2. Alabeo

Como se mencionó en la variación dimensional si las juntas de mortero son mayores de 15 mm, reducirán la resistencia de la albañilería, el alabeo también determina esta

característica; así mismo, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos como especie de cangrejas en las zonas más alabeadas; o incluso puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad, San Bartolomé, 1998.

Por inspección de la Tabla 15, se puede interpretar, que tanto las unidades patrón y las unidades sustituidas con filtro de cigarro en su volumen, no tendrán este tipo de problema, porque el alabeo máximo obtenido de los ensayos es de 1.53 mm, menor a lo especificado en la norma E.070, que indica 4 mm para el ladrillo tipo IV y 2 mm para el tipo V.

Mendoza G. J. (1997) no presenta mayor detalle de este ensayo, mientras que Yanac G. C. (2014) clasifica sus 4 zonas de estudio en la ciudad de Huaraz como Tipo V, mostrando semejanza a los resultados de esta investigación. Estos buenos resultados son muestran el buen trabajo de amasado de la mezcla y moldeo de las unidades, además la buena calidad del material con presencia de feldespato y calcio mayor al 10 % (ver tabla 2)

3.3. Resistencia a la compresión

La Norma E.070 nos dice que la resistencia mínima es de 50 kg/cm² para la unidad tipo I.

Se muestra en la Tabla 18 que en ambos casos tanto como ladrillo artesanal patrón y ladrillo artesanal con filtro de cigarro se presenta una resistencia a la compresión intermedia concluyendo que las unidades de ladrillo patrón cumplen con lo establecido en la Norma E. 0.70 clasificándose, así como Tipo II según el promedio resultante de los ensayos realizados.

Por otro lado, las unidades de ladrillo con sustitución en su volumen con filtro de cigarro presentaron un incremento notable en su resistencia a la compresión en comparación con los resultados obtenidos en las unidades patrón, clasificándose así según la Norma E.070

como Tipo III, subiendo un rango en la clasificación de la Norma según el promedio resultante de los ensayos realizados.

Este fenómeno se debe al material usado en esta investigación (filtro de cigarro), que al ser un material fabricado de acetato de celulosa el cual es un material termoplástico relativamente duro mejora la propiedad de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería en dos procesos de su fabricación, en el proceso de mezclado y amasado porque sin quitar plasticidad a la arcilla, ni modificar sus características, evita que al contraerse el ladrillo se produzca esfuerzos violentos al comprimirse la pasta, lo que ocasionan las fisuras, Arquíñigo T.W.N (2011). además, en el proceso de cocción, este material al producir pequeños vacíos distribuidos en todo el volumen del ladrillo genera que el calor del horno se distribuya mejor realizando así una cocción homogénea obteniendo así una mejora en su resistencia a la compresión (ver tabla 3).

Mendoza G. J. (1997) generaliza su resultado de su investigación clasificando sus unidades como Tipo IV, mientras que Yanac G. C. (2014) obtiene resultados por debajo de lo recomendado por la norma E.070 que es de 50 kg/cm², debiéndose al poco cuidado en el secado, quemado y enfriamiento del material y la falta y/o exceso de elementos necesarios para adoptar una buena resistencia (ver tablas 2 y 3)

3.4. Flexión

Según los resultados obtenidos tanto en el ladrillo patrón y el ladrillo con sustitución de su volumen con filtro de cigarro se obtuvo resultados de resistencia a la flexión muy buenos.

Se demostró que la sustitución de filtro de cigarro al ladrillo patrón no perjudica negativamente, sino que, al contrario, presenta una mejora en su capacidad de resistencia a la flexión, debido a que la incorporación del filtro de cigarro por ser un material fibroso y relativamente flexible permite una mejor adherencia entre las partículas de la pasta mejorando esta propiedad.

3.5. Peso específico y humedad natural

Como se puede notar en la Tabla 24, el rango de valores se encuentra entre 1.6 gr/cm³ y 1.8 gr/cm³, rango en el que se encuentra la gran mayoría de unidades de arcilla cocida artesanal con escaso control de calidad [Gallegos, 1989].

En la Tabla 24 se puede observar además que la densidad del ladrillo patrón cumple con los estándares, mientras que los ladrillos con sustitución de filtro de cigarro bajan un mínimo, esto debido al material (filtro de cigarro) que por ser poroso y sintético tiene baja densidad, pero cumple con los estándares requeridos.

Además, el espécimen con filtro de cigarro presenta un porcentaje adicional referente al contenido de humedad.

Mendoza G. J. (1997) y Yanac G. C. (2014) no especifican los detalles de este ensayo en sus investigaciones.

3.6. Succión

La succión más aceptable la tienen las unidades de ladrillo patrón, esto debido a que una humedad natural alta, clasificando así en un ladrillo Tipo V según la norma ITINTEC, 1978.

Por otro lado, los ladrillos con sustitución de su volumen con filtro de cigarro presentan una succión más alta que el ladrillo patrón, esto se debe a que el ladrillo con filtro de cigarro tiene menos densidad debido al material añadido objeto del presente estudio.

En la Tabla 27 se presenta el resume de los resultados.

Según Ángel San Bartolomé (1998), la succión debería tener un valor comprendido entre 10 y 20 gr/200cm²-min. Si aplicamos ese criterio, ninguna unidad está en este rango, por lo que las unidades deben tratarse antes de su asentado para reducir la succión.

3.7. Absorción

Se aconseja que la absorción máxima no sobrepase el 22% (San Bartolomé, 1998).

Para los ladrillos patrón esta condición se cumple y es satisfactoria; lo que indica que no contiene demasiada humedad.

Por otro lado, el ladrillo con sustitución de filtro de cigarro es un punto más elevado, pero se mantiene al rango (menos del 22%), indica que el material aumenta la propiedad de absorción, pero se mantiene en el rango cumpliendo las expectativas.

V. CONCLUSIONES

- Las propiedades de la materia prima, de acuerdo a los ensayos realizados son las siguientes: clasificación SUCS (SC) y AASHTO (A4), contenido de agua en relación a la materia prima seca es 26.90 %, y contenido mínimo de 19.60%.
- La proporción para la elaboración de una unidad de ladrillo en la cantera de Yuracoto es: 0.16 baldes (18 lt), 2 lt de agua y 0.002 costal de aserrín.
- El valor promedio de la resistencia a la compresión de las unidades patrón es 70.88 Kg/cm²(C-Tipo II) y para el ladrillo experimental es 95.70 Kg/cm² (C-Tipo III).
- El valor promedio de la resistencia a la flexión de las unidades patrón es 23.80 Kg/cm²(C-Tipo V) y para el ladrillo experimental es 95.70 Kg/cm² (C-Tipo V).
- El promedio de las medidas de las dimensiones (largo, ancho, alto) con respecto al molde de 23x14x7 cm (230x140x70mm) son: 234.98x132.10x69.28 mm para las unidades patrón, y 234.95x132.35x69.15 mm para las unidades experimentales, con clasificación Tipo V.
- El valor promedio de la succión de las unidades patrón es 29.17 gr/min (C-Tipo V), y para el ladrillo experimental es 36.398 gr/min (C-Tipo V).
- El valor promedio de la absorción de las unidades patrón es 18.83 % (C-Tipo V) y para el ladrillo experimental es 19.72 % (C-Tipo V).
- El valor promedio de la densidad del ladrillo patrón es 1.73 gr/cm³ y para el ladrillo experimental es 1.63 gr/cm³.

VI.RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar pruebas a mayor magnitud, puesto que se está cumpliendo con las metas propuestas según los resultados de los ensayos de laboratorio, y de esta manera disminuir indirectamente la contaminación que se genera en el medio ambiente (agua, suelo, vegetación, aire), a la vez de obtener un ladrillo más liviano, con propiedades térmicas, de resistencia igual o mejor al ladrillo artesanal.
- Se recomienda para próximos estudios realizar los ensayos con canteras de otras ciudades y/o Provincias en la Región Ancash, para así poder tener un dato más amplio sobre el comportamiento de las unidades de albañilería con la sustitución de su volumen con filtro de cigarro.
- Se recomienda, para obtener la materia objeto de este estudio (filtro de cigarro), realizar un proyecto conjunto con las entidades públicas para implementar un contenedor especial para dicha materia en lugares estratégicos como son las plazas, parques, Av. y/o calles principales, etc. Además, concientizar a la población sobre la contaminación que se genera en el medio ambiente y así inducir a reciclar estos desechos.

VII.AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad San Pedro por la formación académica en mi etapa de universitario.

Agradezco a los profesionales de la Universidad San Pedro por sus esfuerzos para que finalmente pudiera terminar la carrera y presentar mi proyecto.

Al asesor Ing. Miguel Solar Jara por su tiempo, consejos, comprensión y apoyo incondicional. Su guía y aporte fueron indispensables para la realización de este trabajo.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anfalit. (2002). *Diagnóstico de la industria ladrillera nacional*. Bogotá: Camargo y Asociados ingenieros Consultores.
- Arquiñigo, T.W.N. (2011). *Propuesta para mejorar la calidad estructural de los ladrillos artesanales de arcilla cocida de Huánuco* (tesis para optar el grado de magister en ingeniería civil). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cabo, M. (2011). *Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción (titulación)*. Universidad Pública de Navarra, Ekaina.
- Barranzuela, J. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura*. (tesis pregrado). Universidad de Piura, Perú.
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de arcillas de suelos*. Costa Rica: IICA
- Del Rio, J. (1975). *Materiales de construcción (4º)*. Barcelona: Juan Bruger.
- Gallegos, H. (2005). *Albañilería estructural*. Perú: Fondo editorial PUCP.
- Hamilton, D. (1989). *Alfarería y Cerámica*. España: Ediciones CEAC.
- Hendry, AW, Sinha, BP, & Davies, SR. (1997). *Diseño de estructuras de albañilería*. Reino Unido: E&FN Spon.
- Huntington, WC, Ellison, DC, & Mickadeit, RE. (1987). *Construcción de edificios: Materiales y tipos de construcción (3ª)*. Australia: John Wiley & Sons.
- Jiménez, A., & Salazar, O. (2005). *Transferencia de tecnología a ladrilleras en Cholula elaborando un manual de capacitación y diseñando un horno para pruebas de laboratorio con capacidad para cocer veinte ladrillos de arcilla, para analizar y mejorar el proceso de producción*. Tesis de Título. Universidad de Las Américas, Puebla, México.
- Kohl, A., & Bastian, K. (1975). *Tratado moderno de albañilería (2ª)*. Barcelona: José Montesó.
- Mendoza G. J. (1997). *Ladrillo mejorado de arcilla cruda*. Tesis para optar al grado de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

- Mohajerani A. (2016). *Estudio del comportamiento del ladrillo artesanal con la incorporación de filtro de cigarrillo en su composición*. Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT) de Australia
- M, S. A. (2070). *Estudio de las características Físico - Mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el Municipio de Acacias (titulación)*. Universidad de la Salle, Colombia.
- Moreno, F. (1981). *El ladrillo en la construcción*. España: ediciones CEAC.
- Norma Técnica Peruana. (2003). *Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos*. (NTP 331.017:2003). Lima: INDECOPI
- Norma Técnica Peruana E.070. “Albañilería”.
- Rhodes, D. (1990). *Arcilla y vidriado para el ceramista*. España: Ediciones CEAC.
- Robusté, E. (1969). *Técnica y práctica de la industria ladrillera (5ª)*. Barcelona: CEAC.
- San Bartolomé A. (1998). *Construcciones de Albañilería*. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Schneider, R., & Dickey, W. (1980). *Diseño de Mampostería reforzada*. Englewood Cliffs: Prentice Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series.
- SENCICO (2004) “*Proyecto de Normas Técnicas de Edificación E-070 Albañilería*”
- Somayaji, S. (2001). *Materiales de Ingeniería Civil (2ª)*. New Jersey: Prentice Hall.
- Yanac G. C. (2014). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería fabricadas artesanalmente en la Provincia de Huaraz*. Tesis para optar al grado de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

IX. ANEXO

ANEXO N° 01. PANEL FOTOGRAFICO



Foto N° 01: Contaminación con residuos de filtro de cigarro, de la Plaza San Martín del Distrito de Caraz.



Foto N°02: Imagen de la contaminación que se muestra con filtro de cigarrillo en los parques y jardines del Distrito de Caraz.



Foto N°03: Imagen de la recolección de unidades de filtros de cigarro para la elaboración de las muestras.



Foto N°04: Toma de muestras del material de la cantera de Yuracoto para ensayos de laboratorio.



Foto N°05: Se muestra el proceso de amasado con la incorporación de los filtros de cigarro a la mezcla.



Foto N°06: Se muestra el proceso de moldeado de las unidades de albañilería con un molde de madera, de manera artesanal.



Foto N°07: Se muestra el proceso de secado y volteo de las unidades de albañilería para uniformizar el proceso.



Foto N°08: Se muestra el proceso de apilamiento de 50 unidades de albañilería en el horno artesanal para su cocción.



Foto N°09: Se muestra el proceso de cocción de 50 unidades de ladrillo en un horno artesanal.



Foto N°10: Se muestra las unidades de albañilería luego de su cocción, en el proceso de enfriamiento para ser retirados del horno.



Foto N°11: Se muestra las unidades de albañilería luego de su cocción en el horno, listo para su transporte al laboratorio.



Foto N°12: Se muestra el material extraído de la cantera de Yuracoto, para realizar ensayo de granulometría y límites de consistencia.



Foto N°13: En la imagen se muestra el modelo de la cuña de madera para los ensayos de alabeo

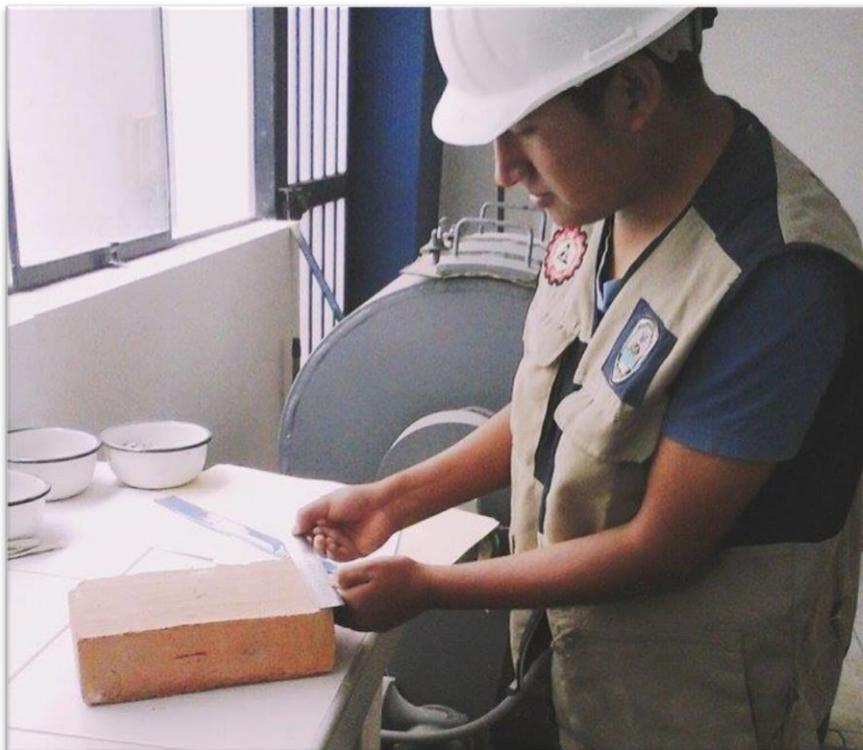


Foto N°14: En la imagen se muestra la toma de medidas del ancho del ladrillo en el ensayo de variación dimensional.



Foto N°15: En la imagen se muestra la toma de medidas de la concavidad del ladrillo en el ensayo de alabeo.



Foto N°16: En la imagen se muestra el peso de una media mitad del ladrillo.



Foto N°17: En la imagen se muestra la saturación de las muestras, en el ensayo de absorción en agua fría.



Foto N°18: En la imagen se muestra el peso de la muestra saturada, previamente secada con un trapo superficialmente.



Foto N°19: En la imagen se muestra el recipiente de metal con agua, bases de aluminio para los ensayos de succión.



Foto N°20: En la imagen se muestra la realización de la prueba de succión del ladrillo al entrar en contacto con el agua.



Foto N°21: En la imagen se muestra la media mitad del ladrillo en la máquina de compresión, previa aplicación de una capa de yeso según norma.



Foto N°22: En la imagen se muestra el ladrillo sometido al esfuerzo de flexión, con una capa de yeso tipo cinta en su base según la norma.

ANEXOS N°2: RESULTADOS DE ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA

ANEXOS N°3: RESULTADOS DE MATERIAL DE CANTERA

ANEXO N°4: RESULTADOS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS