

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL LADRILLO RAFÓN PRODUCIDO EN QUIMISTÁN, CHAMELECÓN Y FLORIDA, HONDURAS

Gabriela Sofía Soto¹ y Laura Patricia Sánchez²

Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Campus San Pedro Sula

(Recibido: Enero, 2017 / Aceptado: Julio, 2017)

Resumen

El presente estudio realiza una comparación de las principales propiedades físicas y mecánicas del ladrillo rafón, producido en la zona noroccidental de Honduras, específicamente en los municipios de Chamelecón, departamento de Cortés; Quimistán, departamento de Santa Bárbara; y Florida, departamento de Copán. Las propiedades analizadas incluyen dimensionamiento, porcentaje de absorción y resistencia a la compresión del ladrillo. Los ensayos necesarios para el análisis se encuentran estandarizados bajo la norma ASTM C 67. Para la prueba de compresión se sometieron los especímenes a cargas verticales de compresión con una velocidad de carga controlada; para obtener el porcentaje de absorción se realizó la prueba de inmersión a 5 y 24 horas y se midió la tasa inicial de absorción; para el dimensionamiento se midieron las variaciones en las dimensiones de los especímenes con respecto a los valores estándar. Los resultados obtenidos son comparados con los valores límite establecidos en la norma ASTM C 62. Adicionalmente, se presenta una breve caracterización de las arcillas extraídas de cada fábrica artesanal de ladrillos, obteniendo como resultado la relación de cada tipo de arcilla con el producto final y sus propiedades.

Palabras Claves: *Ladrillo Rafón, Resistencia a la Compresión, Absorción, Dimensiones.*

Abstract

The present study makes a comparison of the main physical and mechanical properties of clay brick produced in the northwestern region of Honduras, specifically in Chamelecón, Cortes; Quimistan, Santa Bárbara; and Florida, Copan. The properties analyzed include dimensions, percentage of absorption and compressive strength of the clay brick. The tests required for the analysis are regulated by standard test methods ASTM C 67. For the compression test, the specimens were submitted to vertical compressive loads with a controlled loading speed; to

¹ Autor para correspondencia. Email gabrielasoto308@gmail.com

² Autor para correspondencia. Email lsanchez9401@gmail.com

obtain the percentage of absorption, an immersion test was performed at 5 and 24 hours and the initial rate of absorption was measured; for the clay brick dimensions, their variations were measured and compared to the standard values. The results obtained are compared with the limit values established in ASTM standard C 62. Additionally, a brief characterization of the clay extracted from each brick factory is presented, obtaining as a result the relationship between the type of clay and the brick's properties.

Keywords: *Clay Brick, Compressive Strength, Absorption, Dimensions*

1. Introducción

El ladrillo es uno de los materiales de construcción más antiguos utilizados por el hombre. Su origen data a las civilizaciones de Medio Oriente, cuyos territorios hoy corresponden aproximadamente a Irak e Irán (Bianucci, 2009, p. 4). El ladrillo de arcilla ha sido utilizado como un material de construcción imprescindible debido a sus excelentes características. Muchas edificaciones de diferentes periodos históricos se beneficiaron de sus buenas propiedades mecánicas, su belleza arquitectónica y la facilidad de producción y transporte del material. El uso del ladrillo como mampostería también se ha mantenido como tradición constructiva en muchos países de América del Sur. “El estudio de su comportamiento estructural y resistencia continúa llamando la atención de muchos investigadores” (Silvia Monteagudo & Casati, 2015, p. 9).

A pesar del rápido avance tecnológico que ha traído la industrialización, la fabricación de ladrillos continúa siendo meramente artesanal en muchos países de la región. Debido a esto y a otras razones fundamentales como, por ejemplo, la alta comercialización del bloque de concreto, la escasez de materia prima para su producción en masa y su relevo a un material de uso ornamental. Existe poca información local acerca de las propiedades físicas, mecánicas y posibles ventajas constructivas que podría tener el ladrillo de arcilla o ladrillo rafón.

En Honduras existe una gran cantidad de planteles de fabricación de ladrillos artesanales en los cuales no se realizan ningún tipo de ensayos de calidad. Algunas fábricas que cuentan con procesos industrializados de producción realizan únicamente ciertas pruebas que mantienen como parámetros de calidad. En el año 2009, se realizó un estudio en la ciudad de Tegucigalpa en el que se pretendía determinar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo rafón fabricado en Tegucigalpa y la aldea Comayagüela. Dicho estudio concluyó que “ninguna de las fábricas de ladrillos estudiadas cumple con las características físicas y mecánicas requeridas” (Nolasco & Martínez, 2012, p. 51).

El objetivo de la presente investigación es identificar una muestra de productores para luego realizar un análisis comparativo de la calidad del ladrillo rafón producido en la zona delimitada. Dicho análisis se pretende realizar inicialmente a través de pruebas de laboratorio que proporcionen resultados cuantitativos para luego ser procesados con un programa estadístico.

2. Marco Teórico

2.1 Historia

Los ladrillos artesanales, también conocidos como ladrillos rafón, son un elemento constructivo hecho de arena, agua y arcilla. La elaboración de estos consiste en el moldeo a mano de la pasta con los materiales antes mencionados y la cocción del elemento con las dimensiones requeridas. El moldeo consiste en llenar cajones rectangulares de madera sin tapa y compactar la pasta procurando dejar una superficie lisa. Al momento de sacarlos del molde se dejan secar al aire libre un periodo de dos a tres días. Luego se procede a colocarlos al horno 24 horas.

En Honduras existen diversos lugares donde se fabrican los ladrillos, entre ellos Quimistán, Florida y Chamelecón, ubicados en los departamentos de Santa Bárbara, Copán y Cortés respectivamente. Ninguno de los lugares antes mencionados tiene un control industrial de fabricación ni un control de calidad. Es por lo anterior que se cuestiona si sus propiedades y características cumplen con las normas establecidas.

“Una de las primeras referencias del uso de ladrillos a lo largo de la historia se encuentra en Palestina, donde ya elaboraban ladrillos de adobe, secados al sol, hace más de 9.000 años” (López-Arce, s. f., p. 75). Por otra parte, el origen del ladrillo cocido data a las civilizaciones más antiguas de Medio Oriente, las cuales tuvieron su auge aproximadamente dos mil quinientos años antes de nuestra era. Debido en gran parte a los movimientos de conquista y el establecimiento de rutas comerciales se logró extender el uso del ladrillo a diferentes culturas (Bianucci, 2009, p. 3).

Inicialmente, los ladrillos de arcilla eran moldeados manualmente y luego secados al sol. A este tipo de ladrillo se le conoció como ladrillo de adobe. Con el tiempo, se incorporó un tercer paso al proceso de producción: la cocción en horno de leña. En la actualidad, se mantienen muchas de las prácticas antiguas relacionadas a la fabricación de ladrillos, pero también han aparecido nuevos procesos tecnificados de producción que permiten su elaboración masiva.

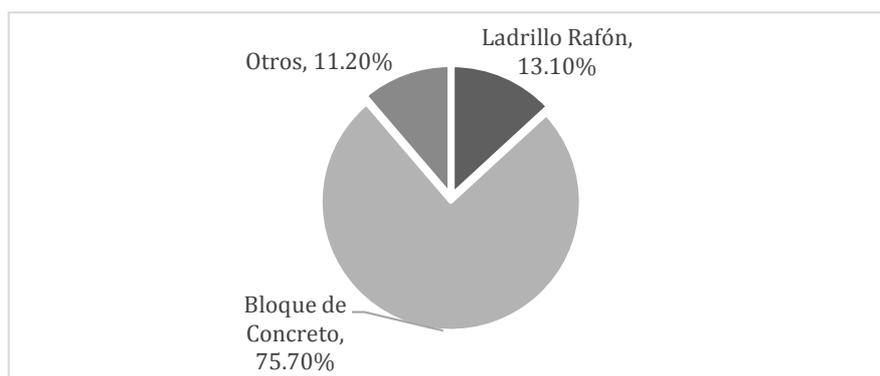


Figura 1: Principales materiales de construcción de paredes en Honduras

Fuente: Elaboración Propia

En Honduras, durante las últimas décadas, el ladrillo rafón había sido la materia prima más usada en la construcción de paredes de viviendas. Como tendencia actual, la utilización del ladrillo rafón ha disminuido significativamente, siendo remplazado por

materiales como el bloque de concreto, paneles prefabricados u otras novedosas alternativas. “De acuerdo a la Encuesta Trimestral de la Construcción Privada, en la estructuración de paredes, el 75.7% de las edificaciones emplean bloque de concreto. En contraste, el uso del ladrillo rafón representa un 13.1%” («El bloque de concreto desplaza ladrillo rafón», 2016), como se muestra en la Figura 1.

2.2 Clasificación

Los ladrillos se dividen en tres categorías principales:

1. Ladrillo de Adobe: El ladrillo de adobe “es simplemente el antecesor del ladrillo cocido. El adobe se seca y se endurece al sol” (Hornbostel, 1999, p. 421). Estos se caracterizan por su capacidad de aislación térmica.
2. Ladrillos Fabricados por Materiales Cementicios: Los fabricados utilizando materiales cementicios “o sea, de la naturaleza del cemento, que se endurecen por acción química. Este grupo incluye a los ladrillos de arena y cal, o tabicones, y a los ladrillos o bloques de cemento” (Hornbostel, 1999, p. 421).
3. Ladrillos Fabricados de Arcilla: Son aquellos que “se queman o cuecen hasta lograr endurecimiento del material. Este grupo representa una de las ramas principales de la industria cerámica, que es la de los productos de arcilla cocida para fines de construcción” (Hornbostel, 1999, p. 421).

Los ladrillos fabricados de arcilla se pueden dividir según su tipo. Estos se diferencian no solo físicamente sino también en su aplicación. Los ladrillos más populares, sobre todo en las poblaciones rurales, son los ladrillos artesanales. Es importante tener en cuenta la aplicación de cada tipo de ladrillo para poder saber al momento de utilizarlos en construcción. Entre estos se encuentran:

1. Cocido de tierra: Este es hecho de barro cocido y de forma artesanal. Tiene sus caras rústicas.
2. Macizo: También conocido como ladrillo prensado. Tiene un acabado mejor que el artesanal y sus dimensiones son exactas ya que se utiliza compresión mecánica para su elaboración.
3. Macizo con cazoleta: Estos ladrillos tienen un rebaje en el centro que sirve para albergar mortero y aumentar la resistencia a los esfuerzos transversales. Son útiles para tabiques ya sea con junta o sin junta.
4. Perforado: Como su nombre lo dice tiene perforaciones en las que al poner mortero ayuda a aumentar su resistencia. Se utilizan para tabiques que no vayan a soportar tanta carga.
5. Refractario: Ladrillos que soportan altas temperatura, su color varía de blanco a beige oscuro. Se diferencia del ladrillo cocido por que las proporciones de material son distintas.
6. Klinker: Estos se caracterizan por tener alta resistencia a la compresión y baja absorción de agua. Ya que en la etapa de cocción cuando la temperatura llega a 1200 °C, los poros se cierran y esto hace que la propiedad de absorción sea baja.
7. Hueco: Estos tienen perforaciones horizontales en el canto. Se utilizan en muros a los que no se le transmiten cargas, fachas, tabiques divisorios, etc.

Los ladrillos también se pueden dividir según su grado de resistencia a los daños causados por el congelamiento cuando se satura con un contenido de humedad no superior a la de 24 horas de absorción de agua fría. La norma ASTM C 62 los clasifica en tres grados de la siguiente manera:

1. Condición climática severa: estos ladrillos se aplican donde se requiera alta y uniforme resistencia por daños causados debido a la congelación cíclica y congelamiento de los ladrillos al saturarse de agua.
2. Condición climática moderada: estos ladrillos se aplican donde requiera resistencia moderada a daños causados por la congelación cíclica y cuando ocurre congelación, estando el ladrillo húmedo, pero no saturado de agua.
3. Condición climática normal: estos ladrillos se aplican cuando se requiere poca resistencia a los daños causados por la congelación cíclica, pero que son aceptables para aplicaciones protegidas de congelamiento y absorción de agua.

2.3 Propiedades

Hornbostel (1999), refiere que el ladrillo cocido es un producto de la arcilla que al ser cocido a temperaturas elevadas produce una baja absorción y una alta resistencia a la compresión. La densidad del ladrillo cocido varía de 2.6 a 2.8 y su peso por unidad de volumen varía entre 1.661 a 2.240 g/cm³, dando un promedio de 1.965 g/cm³. Las propiedades físicas de los ladrillos, según la norma ASTM C 62, son las siguientes:

1. Apariencia: los ladrillos pueden tener colores distintos dependiendo de la arcilla utilizada para elaborarlos, también influye la temperatura de cocción. Se pueden encontrar negros, cafés, rojos y amarillos. Su forma depende del molde utilizado para su fabricación y su textura del acabado.
2. Durabilidad: esta se refiere a la resistencia. Al no ser especificado el grado se rigen de acuerdo de los requerimientos del grado para condición de clima severo. Esta se puede ver afectada por el tiempo, el clima y también por la proporción de los materiales utilizados para su elaboración.
3. Fuerza: cuando se requiere que el ladrillo tenga una fuerza mayor indicada por esta especificación, el comprador debe detallar la fuerza mínima solicitada.
4. Rango Inicial de Absorción: esta proporciona información acerca de cuánta agua puede absorber en un minuto.

La resistencia de los ladrillos se puede ver afectada por su composición, esto se refiere a los materiales que necesitan para su fabricación, también por la preparación del barro y el proceso de mezclar todos los ingredientes necesarios. Otras de las razones que puede tener influencia en la resistencia de los ladrillos es la manera de moldeo y cuidado que se toma al secar los ladrillos crudos. El tipo de horno y el combustible utilizado, el proceso de quemado y enfriamiento tanto como el cuidado al momento de cargarlos o descargarlos también afectan su resistencia.

2.4 Proceso de Fabricación

La fabricación del ladrillo de arcilla es una práctica relativamente sencilla. Debido a tal sencillez es muy importante garantizar que se cuiden todos los detalles que pueden afectar la calidad final del ladrillo, desde la obtención de la arcilla a utilizar hasta el horneado del producto terminado. A continuación, se presenta una breve reseña del

proceso productivo del ladrillo artesanal tal y como se realiza en la región latinoamericana.

1. Extracción de Materia Prima. Las arcillas generalmente se encuentran en sitios en los que las crecientes de ríos han dejado depósitos de sedimentos. Las tierras a utilizar pueden ser extraídas de excavaciones también conocidas como cavas o pueden encontrarse fácilmente en la superficie. Las arcillas provenientes de excavaciones son generalmente arcillas rojas, mientras que las que se encuentran en la superficie, son de color negro.
2. Preparación del Barro. Al extraer la arcilla y la arena necesaria, se procede a agregar agua a la mezcla. Estos materiales se mezclan hasta formar una pasta homogénea. La dosificación depende del tipo de barro y de la cantidad de ladrillos a elaborar.



Figura 2: Preparación de barro en la fábrica de Chamelecón



Figura 3: Moldeo de ladrillos en adoberas o moldes

3. Moldeo de Ladrillos. Este se efectúa a mano utilizando moldes dobles o triples. Los moldes, conocidos como adoberas, están hechos de madera y están formados por cuatro caras exteriores y una división central entre los dos ladrillos, estos no tienen tapa ni fondo. Durante el moldeo se coloca suficiente barro dentro del cajón de madera hasta que esta se encuentre completamente llena y esté bien compactada. Utilizando una tablilla o las manos se retira el exceso de barro en la parte superior. Una vez que el molde tiene el barro suficiente para el ladrillo deseado, se retira.
4. Secado. Los adobes crudos se dejan reposar a temperatura ambiente por un día. Luego se procede a apilar los adobes para dejarlos secar durante tres a cuatro días más, dependiendo del clima de la región. Muchas veces, se intenta evitar las lluvias cubriendo las pilas de ladrillos con algún material protector. Al no haber amenaza de lluvias, los ladrillos se dejan secar al aire libre durante el tiempo antes mencionado.



Figura 4: *Secado de ladrillos al aire libre*

5. Horneado. El tiempo en el horno depende del tiempo de encendido y de quema establecido por el encargado. De acuerdo a la necesidad observada a lo largo del proceso, se ajustan los tiempos en el horno para cada lote de ladrillos. Se estima que el proceso de encendido en los hornos tradicionales dura entre ocho a 24 horas, pudiéndose extender en ciertas ocasiones hasta las 48 horas. Una vez que se ha terminado el proceso de cocción, se abren las ventilaciones del horno para iniciar el enfriamiento. Antes de iniciar el desmontaje y la descarga del horno, se deja que, el mismo, enfríe.

3. Metodología

3.1 Enfoque y Alcance

La norma ASTM C 67, la cual establece los procedimientos a seguir para el muestreo y ensayo de especímenes de ladrillo indica que los datos obtenidos de las pruebas a realizar deben reportarse de manera cuantitativa. Por lo tanto, la presente investigación utiliza el enfoque cuantitativo como punto de partida para el sustento de la hipótesis planteada.

Previamente se estableció que los objetivos del estudio incluían medir ciertos indicadores de calidad del ladrillo. Para los fines de esta investigación se han identificado las siguientes variables:

1. Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión de los ladrillos se define como la carga de rotura dividida entre el área de contacto de los mismos. Este indicador sirve para determinar el grado del ladrillo de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 62.
2. Valores de absorción: Las normas NTC 4017 y ASTM C 67 describen los siguientes ensayos como métodos para obtener los indicadores de absorción de un elemento de arcilla:
 - a. Ensayo de inmersión durante 24 horas
 - b. Ensayo de absorción por ebullición
 - c. Ensayo de tasa inicial de absorción

Los resultados de los primeros dos ensayos se utilizan para calcular los porcentajes de absorción de los ladrillos en un tiempo determinado. De la misma manera, dichos porcentajes de absorción sirven para obtener el coeficiente de saturación. La tasa inicial de absorción es “la diferencia en gramos entre la determinación inicial y final de la masa, es la masa en gramos del agua absorbida por el espécimen durante 60 segundos en contacto con el agua” («NTC 4017», 2005, p. 15).

3. Dimensiones: El tamaño del ladrillo sirve como indicador de la uniformidad de los lotes fabricados. Las mediciones obtenidas a través de los ensayos son comparadas con las variaciones permitidas especificadas en la norma ASTM C 62.

De acuerdo a las variables estudiadas, se establecieron las tres siguientes hipótesis de investigación:

1. Que la media de los valores de resistencia a la compresión será igual para todos los sitios.
2. Que la media de los valores de absorción será igual para todos los sitios.
3. Que la media de los valores de variación de dimensiones será igual para todos los sitios.

La población de estudio está constituida por todas las fábricas artesanales de ladrillo rafón, localizadas en la región noroccidental de Honduras. Esta región está formada por los departamentos de Cortés, Santa Bárbara, Copán, Ocotepeque y Yoro. De esa población se tomaron como muestra tres ladrilleras para cumplir con el número mínimo de fuentes a estudiar.

La muestra es un subgrupo de la población. En el caso del presente estudio se trata de una muestra no probabilística, en la cual, “la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra” (Hernández et al., 2010, p. 176). La selección de las muestras ha sido realizada con base en los criterios establecidos en los objetivos de la investigación, ya que estas deben cumplir con ciertos requisitos físicos y de fabricación. Los criterios utilizados para la selección de los puntos de muestreo son:

1. el tamaño del ladrillo producido en el lugar,
2. el proceso de producción,

3. la disponibilidad inmediata de especímenes para el muestreo,
4. la ubicación geográfica del lugar dentro de la región noroccidental.

3.2 Procedimientos

De acuerdo a la norma ASTM C 67, los especímenes a tomar como muestras deben ser seleccionados de manera que sean representativos del lote entero de unidades del que se toman, de la variedad de colores, texturas y tamaños del envío. Deben estar limpios sin materiales extraños, no asociados con su fabricación.

Las muestras de ladrillos y bloques deben ser escogidas aleatoriamente de cada lote de producción que estará constituido de hasta 100,000 unidades o remanentes superiores a 50,000 unidades, o por la totalidad del despacho o producción cuando esta sea inferior a 50,000 unidades. De cada lote se deben extraer diez muestras para la evaluación de medidas, color y defectos superficiales, las mismas que luego deben usarse en dos grupos de cinco unidades para los ensayos de absorción y resistencia a la compresión (American Society for Testing and Materials, 2002).

A continuación, se detallan los procedimientos utilizados para el análisis de las propiedades de los ladrillos muestreados.

Determinación de la Masa

La masa indica la cantidad de materia contenida en un cuerpo. Para los ladrillos, se toma el peso seco en la balanza digital, después de secarlos al horno 24 horas. Se limpian los ladrillos con una brocha y luego se colocan en el horno por 24 horas. Posteriormente se dejan enfriar por 4 horas y se pesa cada uno en la balanza digital.

Medición del Tamaño

La medición de tamaño se refiere a la obtención de dimensiones del ladrillo, lo que incluye largo, ancho y alto.

Se limpian los ladrillos con una brocha y se colocan en el horno por 24 horas. Posteriormente se dejan enfriar por 4 horas. Luego se mide la longitud a través de ambos lechos y a lo largo de las dos caras, desde los puntos medios de los bordes que limitan los extremos con el pie de rey. Se mide también la altura en el punto medio de ambos extremos y del borde central de cada lecho del ladrillo con el pie de rey.

Resistencia a la Compresión

Esta se define como el esfuerzo máximo que soporta un material bajo una carga de aplastamiento. Para realizar esta prueba se cubren las dos caras horizontales de los ladrillos con mortero en una proporción de 1:2, para nivelar dichas caras de los ladrillos. Los ladrillos se analizan a una misma edad. En este caso la edad de ensayo fue 15 días desde su fabricación.

Se limpian los ladrillos con una brocha y se colocan en el horno por 24 horas. Posteriormente se dejan enfriar por 4 horas. Se cortan los ladrillos por la mitad con la pulidora, se miden ambas caras del ladrillo con el pie de rey. Se pasa por el tamiz #4 la arena a utilizar en la mezcla de mortero, cuya dosificación es de 1:2. Se aplica el mortero con la espátula en ambas caras horizontales del ladrillo, utilizando el nivel, se verifica que las superficies estén totalmente regulares. Se deja secar el ladrillo con

mortero por 48 horas, al aire libre, luego se colocan en la máquina de compresión y se aplica carga hasta que lleguen a su punto de rotura.



Figura 5: *Ensayo de Resistencia a la Compresión*

Absorción de Agua

La capacidad de absorción de un espécimen se define como la diferencia de peso entre el ladrillo saturado y el peso del ladrillo seco, la cual se expresa en porcentaje.

Se limpian los ladrillos con una brocha y se colocan en el horno por 24 horas. Posteriormente se dejan enfriar por 4 horas. Se colocan los ladrillos en una pila con agua a temperatura entre 15.5 y 30°C por 24 horas. Se seca su superficie con una toalla húmeda y se pesa cada uno en la balanza digital, obteniendo así el peso saturado con superficie seca.

Se amarra una cuerda a una canasta y su otro extremo a la balanza para así poder registrar el peso de la canasta vacía. Luego, se llena la cubeta con agua, se introduce la canasta dentro de la misma y se coloca el ladrillo dentro de la canasta para obtener el peso del ladrillo sumergido. Se llena el recipiente calentador de agua y se espera a que esté en ebullición (100°C). Se colocan los ladrillos por cinco horas dentro del recipiente. Al pasar las cinco horas se deja que se enfríe el agua, esperando que su temperatura regrese a estar entre 15.5 y 30°C. Se seca la superficie de cada ladrillo con una toalla húmeda y se pesa.



Figura 6.: Realización de prueba de absorción de agua

Tasa Inicial de Absorción

La tasa inicial de absorción indica la cantidad de agua que el espécimen absorbe en un minuto. Se limpian los ladrillos con una brocha y se colocan en el horno por 24 horas. Posteriormente se dejan enfriar por 4 horas. Se colocan dentro del contenedor de vidrio, dos barras de metal y se llena de agua hasta 3 milímetros arriba de la parte superior de las barras. Luego se coloca el ladrillo dentro de dicho contenedor sobre las barras metálicas durante un minuto. Se procura que el nivel de agua se mantenga a tres milímetros sobre la parte superior de las barras, agregando agua, si es necesario. Pasado el minuto, se retira el ladrillo del contenedor, se seca la superficie que estuvo en contacto con el agua con una toalla húmeda y se pesa. Lo anterior se debe hacer en menos de 10 segundos.



Figura 7: Ensayo de Tasa Inicial de Absorción

Resistencia a la Compresión de los Ladrillos Ligados

Esta se define como el esfuerzo máximo que soporta un tabique de ladrillo bajo una carga de aplastamiento. Para realizar esta prueba se ligan los ladrillos de la misma

manera que se colocan cuando se construye. Para ligar los ladrillos el mortero utilizado deberá tener una proporción de 1:4. Se cubren las caras horizontales de la parte superior e inferior del tabique de ladrillos con mortero en una proporción de 1:2 para nivelar dichas caras. Los ladrillos se analizan a una misma edad. En este caso la edad de ensayo fue 25 días desde su fabricación.



Figura 8: Prueba de resistencia a la compresión de los ladrillos ligados

Se limpian los ladrillos con una brocha y se colocan en el horno por 24 horas. Posteriormente se dejan enfriar por 4 horas. Se corta el ladrillo por la mitad con la pulidora. Se pasa la arena a utilizar para la mezcla de mortero por el tamiz #4. Se prepara la mezcla con una dosificación 1:4 y se utiliza para ligar los ladrillos de la misma manera que se sitúan al momento de construir. También se prepara una mezcla con una dosificación 1:2 para ser aplicada en ambas caras del tabique de ladrillo. Se utiliza el nivel para verificar que la superficie esté totalmente regular. Se dejan secar por 48 horas y luego se mide con un pie de rey la cara inferior y superior del tabique. A los diez días de haber sido ligados se colocan en la máquina de compresión y se aplica carga hasta que cada tabique llegue a su punto de rotura.

Resistencia a la Compresión del Mortero

El ensayo de resistencia a la compresión del mortero sirve para determinar el esfuerzo compresivo de los morteros de cemento hidráulico, usando especímenes de forma cúbica con dimensiones de 2" (50 mm).

Al hacer la mezcla de mortero, se coloca el molde de flujo, sobre la mesa de flujo y se llena con ella dos pulgadas el molde de flujo y se dan 20 golpes. Luego se llena hasta rebalsar, se dan 20 golpes más y se enraza. Se deja reposar por 1 minuto y se retira el molde de flujo. Retirado el molde, se dan 25 golpes en 15 segundos con la mesa de flujo y se mide con el pie de rey. Se engrasan los moldes cubos con una brocha, y se agrega una pulgada de material. Con el apisonador se da 32 golpes. Se agrega una

pulgada de material más, se dan 32 golpes con el apisonador y se enraza. Se dejan secar al aire un día y seis en agua.



Figura 9: Cubo de mortero luego de ser sometido a compresión

Gravedad Específica de los Suelos

La gravedad específica de los suelos indica la relación del peso en el aire, de un volumen dado de partículas sólidas, al peso en el aire de un volumen igual de agua destilada a una temperatura de 4°C. Dicho valor sirve para fines de clasificación.

En una bandeja metálica, utilizando un mazo de hule, se deshacen los grumos de la arcilla y se pasa por el tamiz #10. Se pesa el matraz vacío y después lleno de agua destilada hasta la línea de aforo. Se toma la temperatura del agua inicial en el matraz. Se saca un poco de agua del matraz y se agregan 60 g de muestra. Se pone a calentar la muestra en una estufa eléctrica por 15 minutos a partir del punto de ebullición. Luego se toma la temperatura final del suelo. Se vierte una pequeña cantidad de agua en las paredes del matraz hasta que llegue a la línea de aforo y se pesa. Se pone la muestra en un recipiente y se pesa. Esta se coloca en el horno por 24 horas, pasado el tiempo, se pesa de nuevo.

Límites de Atterberg

El ensayo de límites de un suelo permite identificar los valores de límite líquido e índice de plasticidad del mismo. El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando este se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido. Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3.2 mm sin que dichas barritas se desmoronen.

Para realizar el ensayo de límites de Atterberg, se debe secar una muestra de arcilla al horno por 24 horas, para luego deshacer los grumos de material con un martillo de goma

y pasarlo por el tamiz No. 40. Se debe registrar el peso del material a utilizar y agregarle agua para crear una pasta homogénea. Para este ensayo se utiliza la copa de Casagrande, en la cual se coloca la mezcla, se ranura y se determina el número de golpes requeridos para que el material se una nuevamente en tres iteraciones. La primera debe indicar un número de golpes entre 30 y 40, la segunda entre 20 y 30 y la tercera entre 10 y 20. Para cada iteración se toma una pequeña cantidad de material y se coloca en el horno. Para la segunda iteración también se formarán rollitos de alrededor de 3.2 mm de grosor para la determinación del límite plástico del suelo. Después de 24 horas se obtienen los pesos secos del material.

3.3 Resultados

Habiendo completado la realización de observaciones, ensayos y toma de datos, se presenta, a continuación, toda la información obtenida a través de dichos procedimientos. Los datos presentados corresponden a especímenes de ladrillo rafón provenientes de tres fuentes distintas, todas localizadas en la región noroccidental de Honduras. Al contabilizar la cantidad final de especímenes utilizados para completar todos los ensayos, se estima que se necesitaron aproximadamente 60 especímenes por municipio, totalizando alrededor de 180 ladrillos analizados.

Siguiendo lo establecido en la normativa ASTM C 67, en la que se especifica el procedimiento para la medición del tamaño de los ladrillos, a continuación, se presentan los datos de las dimensiones correspondientes al alto, ancho y largo de diez especímenes por cada municipio. La norma ASTM C 62, especifica las variaciones máximas permisibles en las dimensiones de los ladrillos rafón (Tabla 1).

Tabla 1: *Variaciones permisibles de dimensiones*

Dimensión especificada, pulg. (mm)	Variaciones Máximas Permitidas de la Dimensión Especificada, más o menos, pulg. (mm)
Hasta 3 (76), incl.	3/32 (2.4)
Más de 3 hasta 4 (76 a 102), incl.	1/8 (3.2)
Más de 4 hasta 6 (102 a 152), incl.	3/16 (4.8)
Más de 6 hasta 8 (152 a 203), incl.	1/4 (6.4)
Más de 8 hasta 12 (203 a 305), incl.	5/16 (7.9)
Más de 12 hasta 16 (305 a 406), incl.	3/8 (9.5)

Fuente: Norma ASTM C 62.

La Figura 5 muestra los promedios de variación de dimensiones analizadas para cada sitio y su comparación con la variación máxima permisible por la norma ASTM C 62.

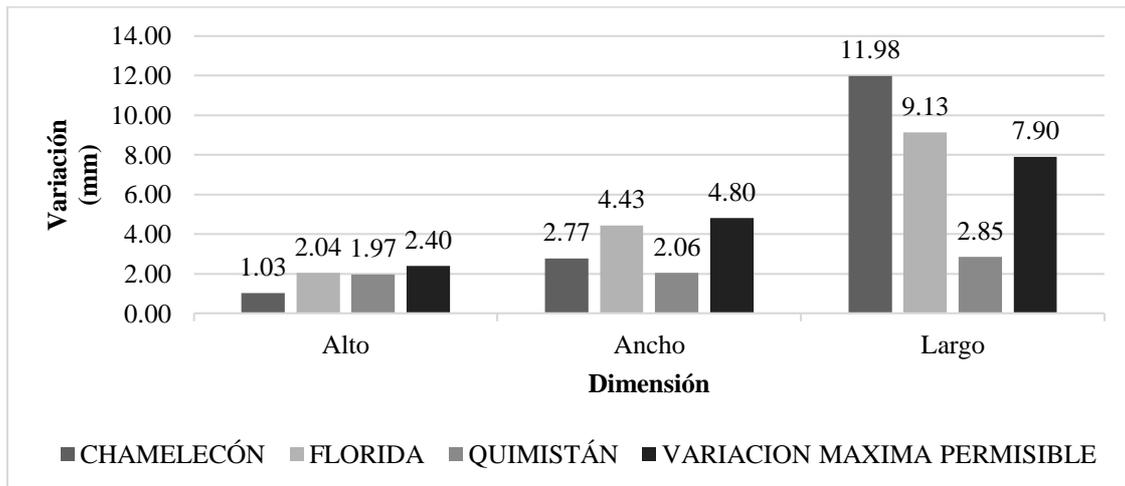


Figura 5: Gráfico de variación de dimensiones.

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico anterior se puede observar que para las variaciones de alto y ancho, los tres sitios de muestreo indicaron valores por debajo de los máximos permisibles; para las variaciones de largo, por otro lado, únicamente los ladrillos provenientes de Quimistán cumplen con las variaciones máximas permisibles con una variación promedio de 2.85 mm.

Respecto a los indicadores de absorción para cada punto de muestreo: para los ladrillos rafón de Quimistán, el porcentaje de absorción a 24 horas resultó ser de 13.21%. El porcentaje de absorción obtenido mediante la prueba por ebullición a cinco horas fue de 18.24%. Con estos dos datos se obtuvo un coeficiente de saturación de 0.72. Mediante el ensayo de tasa inicial de absorción se determinó que esta es de 0.17 g/min/cm².

Para los especímenes de Chamelecón el porcentaje de absorción promedio a 24 horas, el porcentaje de absorción por ebullición a cinco horas, el coeficiente de saturación y la tasa inicial de absorción fueron de 19.42%, 23.94%, 0.81, y 0.23 g/min/cm², respectivamente.

Para los ladrillos de Florida el porcentaje de absorción obtenido en la prueba a 24 horas fue de 19.51%, el obtenido a cinco horas fue de 29.99%, con un coeficiente de saturación de 0.65 y una tasa inicial de absorción de 0.41 g/min/cm².

La Tabla 2 indica los requerimientos físicos necesarios para categorizar los ladrillos dentro de cierta designación. La designación del ladrillo depende de su resistencia a la compresión, absorción de agua en 5 horas y coeficiente de saturación. Las designaciones dictaminan de cierta forma la calidad del ladrillo a utilizar y el clima para el cual es adecuado.

Tabla 2: Requerimientos Físicos

Designación	Resistencia Mínima a la Compresión, psi (Mpa)		Absorción Máxima en 5 horas (Agua hirviendo) %		Máximo Coeficiente de Saturación	
	Promedio de 5 ladrillos	Individual	Promedio de 5 ladrillos	Individual	Promedio de 5 ladrillos	Individual
Grado SW	3000(20.7)	2500(17.2)	17.0	20.0	0.78	0.80
Grado MW	2500(17.2)	2200(15.2)	22.0	25.0	0.88	0.90
Grado NW	1500(10.3)	1250(6.6)	sin límite	sin límite	sin límite	sin límite

Fuente: Norma ASTM C 62.

El grado SW (Desgaste Severo por sus siglas en inglés), se refiere a un ladrillo destinado a ser utilizado en ambientes donde se requiere resistencia alta y uniforme a daños causados por congelamiento cíclico y donde el ladrillo puede encontrarse saturado con agua.

El grado MW (Desgaste Moderado por sus siglas en inglés), se refiere a un ladrillo destinado a ser utilizado en situaciones donde se requiere una resistencia moderada a daños o donde el ladrillo permanezca mojado, más no saturado.

El grado NW (Desgaste Despreciable por sus siglas en inglés), se refiere a un ladrillo con poca resistencia a daños pero que es aceptable para ser usado en ambientes donde se encuentre protegido de absorción de agua y congelamiento.

La Figura 6 muestra los valores de absorción obtenidos de las pruebas realizadas a los especímenes. El gráfico compara los resultados de los tres sitios de muestreo en la prueba de porcentaje de absorción a 24 horas, porcentaje de absorción a 5 horas y coeficiente de saturación.

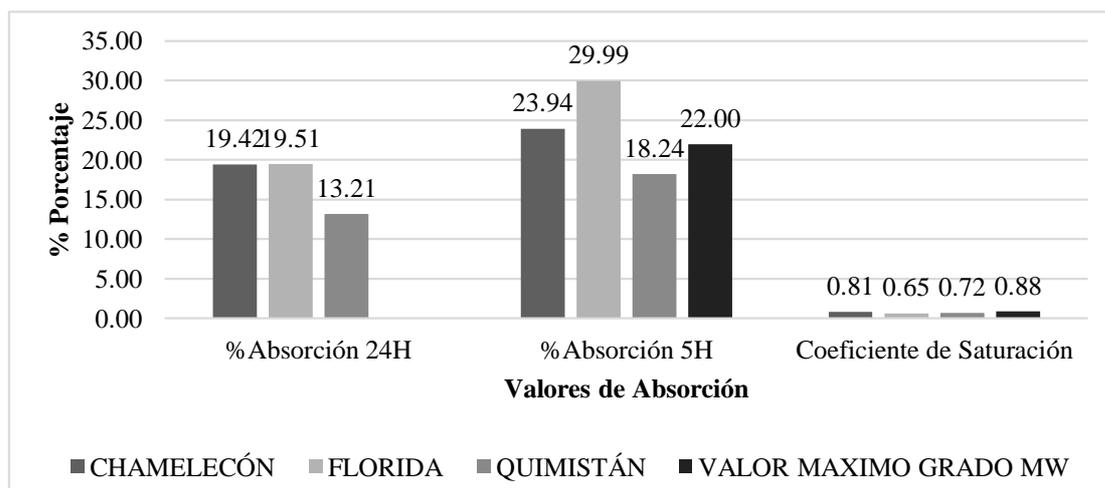


Figura 6. Gráfico de resultados de valores absorción

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, los ladrillos obtenidos en Quimistán presentan los valores de absorción más bajos tanto en el ensayo de absorción a 24 horas, como en el de 5 horas. Además, su coeficiente de saturación es más bajo que el de las otras muestras. El valor indicado en color rojo, se refiere a los valores máximos establecidos en la norma ASTM C 62 para la designación del grado del ladrillo. Para los valores de absorción el Grado MW es el grado más bajo que establece límites máximos.

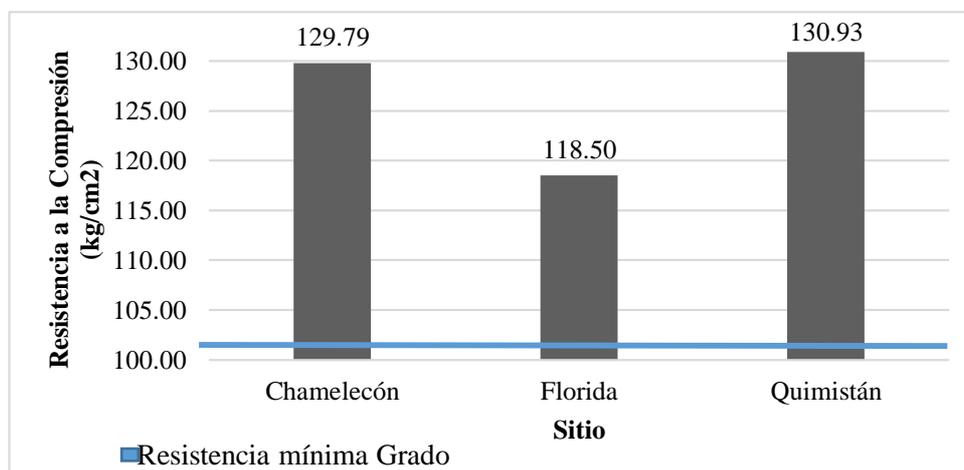


Figura 7. Gráfica de los valores de la resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 7 indica los valores promedio obtenidos a través de las pruebas de resistencia a la compresión realizadas a los ladrillos. Para cada sitio se muestra el valor promedio en kg/cm² y además se indica con una línea azul, la resistencia mínima permitida por la norma para el Grado NW. La resistencia a la compresión promedio obtenida de los puntos de muestreo son las siguientes:

1. Para la ladrillera ubicada en Quimistán, la resistencia promedio de los diez especímenes ensayados fue de 130.93 kg/cm².
2. Para la ladrillera ubicada en Chamelecón, la resistencia promedio de los especímenes fue de 129.79 kg/cm².
3. Para la ladrillera ubicada en Florida, la resistencia promedio de los especímenes fue de 118.50 kg/cm².

El valor mínimo establecido por la norma, en la Tabla 2, de 1500 psi, es equivalente a 105.46 kg/cm². Como se puede apreciar en el gráfico todos los especímenes analizados indicaron resultados muy por encima del valor mínimo, sin embargo, no llegan al valor mínimo de 175 kg/cm² establecido para el Grado MW.

La resistencia a la compresión promedio de los ladrillos ligados con mortero resultó ser de 41.98 kg/cm², para Quimistán, 36.19 kg/cm², para Chamelecón y 34.41 kg/cm² para Florida. Esto indica que los especímenes de Quimistán, al igual que en las pruebas individuales presentan una mayor resistencia.

La Tabla 3 indica los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión realizadas al mortero. El resultado promedio para un ensayo de cuatro iteraciones fue de 69.75 kg/cm².

Tabla 3: Resistencia a la compresión de mortero

N	Carga (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
1	1470	25.81	56.96
2	1740	25.81	67.43
3	2010	25.81	77.89
4	1980	25.81	76.73
Promedio			69.75

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 8 muestra una comparación entre los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión de los tabiques y las pruebas de resistencia del mortero. Se observa que la resistencia del mortero por si solo es más alta que la resistencia de los ladrillos ligados con el mismo. Esto se puede deber a que el comportamiento del mortero es diferente al encontrarse ligado a los ladrillos cuando se realiza la prueba.

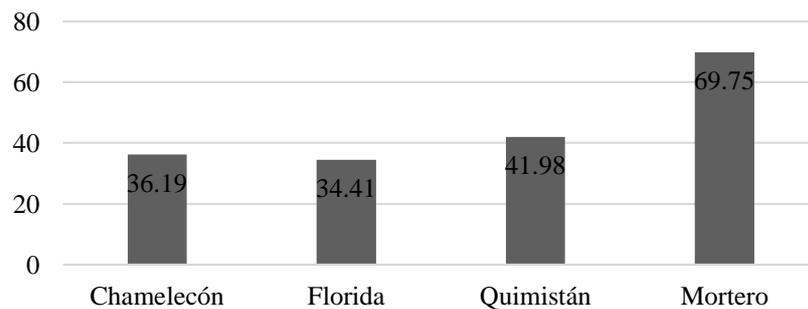


Figura 8: Resistencia a la compresión de los tabiques en comparación a la resistencia del mortero

Fuente: Elaboración Propia

Las pruebas de los suelos resultaron de gran utilidad para determinar el tipo de arcilla con la que se fabrican los ladrillos usados en el estudio. La Tabla 4 muestra la clasificación del suelo ensayado de acuerdo a su gravedad específica.

Tabla 4: Clasificación de suelo de acuerdo a su gravedad específica

Sitio	Gravedad Específica	Tipo de Suelo
Chamelecón	2.29	Arcilla Esquitosa
Florida	2.05	Arcilla Esquitosa
Quimistán	2.22	Arcilla Esquitosa

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 5 muestra los resultados de las pruebas de Límites de Atterberg con los cuales es posible obtener una clasificación del tipo de suelo utilizado presente en la composición de la arcilla.

Tabla 5: *Límites Líquido, Plástico, Índice de Plasticidad y Clasificación de Arcillas*

Sitio	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	Clasificación
Chamelecón	44	22	22	Arcilla Inorgánica de Mediana Plasticidad
Florida	61	52	10	Arcilla Orgánica
Quimistán	38	22	16	Arcilla Inorgánica de Mediana Plasticidad

Fuente: *Elaboración Propia*

4. Conclusiones

De acuerdo a los resultados anteriores se determina que los ladrillos de Quimistán presentan la resistencia promedio más alta de los tres puntos de muestreo, cumpliendo además con la resistencia mínima indicada en la norma ASTM C 62.

La variación promedio de las dimensiones de Quimistán se encuentra dentro de las variaciones máximas permisibles establecidas por la norma ASTM C 62. Las variaciones de alto son menores a 2.4 mm, de ancho, menores a 4.8 mm y de largo menores a 7.9 mm. La variación promedio de las dimensiones de Florida y Chamelecón cumple parcialmente con los rangos permisibles. En ambos casos la variación del largo de los especímenes se encuentra por encima de los 7.9 mm permitidos, a pesar de que los valores de alto y de ancho son normales.

Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que los ladrillos de Quimistán presentan mejores indicadores de calidad que los producidos en Florida y Chamelecón, además, los valores de resistencia a la compresión se encuentran por encima de los mínimos aceptados por la norma ASTM C 62, la cual lo clasifica como un ladrillo grado NW de acuerdo a su resistencia. Tomando como referencia sus indicadores de absorción, este está clasificado como un ladrillo grado MW, apto para ser utilizado en entornos en los que esté expuesto a humedad continua. De la misma manera, la media de la variación de sus dimensiones se encuentra dentro de las permitidas por la norma, indicando que es un producto de calidad uniforme.

Con respecto a las hipótesis de investigación presentadas, se puede concluir que:

1. La media de los valores de resistencia a la compresión es igual para todos los sitios, por lo cual se acepta la hipótesis 1.
2. La media de los valores de absorción no es igual para todos los sitios, por lo cual se rechaza la hipótesis 2.
3. La media de los valores de variación de dimensionamiento no es igual para todos los sitios, por lo cual se rechaza la hipótesis 3.

5. Bibliografía

- American Society for Testing and Materials. (1999). Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale). (ASTM C 62)
- American Society for Testing and Materials. (2002). Standard Test Methods for Brick Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. (ASTM C 67).
- Bianucci, M. (2009). *El Ladrillo: Orígenes y Desarrollo*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (Quinta). México: McGraw Hill.
- Hornbostel, C. (1999). *Materiales Modernos para Construcción: Usos y Aplicaciones* (Primera Edición). México, D.F., MX: Editorial Limusa.
- López-Arce, P. (s. f.). *Caracterización de Ladrillos Históricos*.
- Nolasco, F., & Martínez, M. (2012). *Análisis comparativo de propiedades físicas y mecánicas del ladrillo rafón rústico, proveniente de fábricas cercanas a las ciudades de Tegucigalpa y Comayagüela*. UNITEC, Tegucigalpa, Honduras.
- Norma Técnica Colombiana: Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla. (2005, diciembre 13). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (NTC 4017).