

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Propuesta de reforzamiento estructural en casona de adobe de dos pisos

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Nicole Alexandra Herrera Campos

ASESOR

Carlos Rafael Tafur Jimenez

<https://orcid.org/0000-0003-0119-8234>

Chiclayo, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	informesdelaconstruccion.revistas.csic.es Fuente de Internet	3%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.scielo.cl Fuente de Internet	1%
7	www.researchsquare.com Fuente de Internet	1%
8	sipan.inictel.gob.pe Fuente de Internet	1%
9	1library.co Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	4
Abstract	5
Introducción.....	6
Comportamiento sísmico de las construcciones de adobe no reforzadas.....	8
Metodología.....	10
Identificación de fallas estructurales	10
Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del adobe.....	12
Modelamiento de la estructura de adobe sin reforzamiento	13
Modelamiento de la estructura de adobe con reforzamiento	14
Resultados y discusión	15
Evaluación del comportamiento sísmico de la estructura de adobe.....	15
Conclusiones	20
Referencias	23
Anexos	25
Anexo 1. Fichas de inspección visual	25
Anexo 2. Planos de la casona de adobe.....	29
Anexo 3. Resultados de ensayos de laboratorio	30

Resumen

Ante la importancia de preservar los patrimonios históricos y culturales de nuestro país, surge la necesidad de reforzar sus estructuras, para su mejor desempeño ante cualquier evento sísmico. A partir de esta problemática, este artículo tiene como objetivo general proponer el reforzamiento estructural para la restauración de una estructura de adobe, para ello se recopiló información mediante ensayos de laboratorio para determinar las propiedades del material; se realizó una inspección visual para determinar las fallas existentes; se realizó el modelo matemático en el programa SAP2000 para conocer los desplazamientos y esfuerzos más importantes, donde posteriormente se aplicó el reforzamiento en las zonas más críticas. El reforzamiento empleado fue de mallas con sogas sintéticas, las cuales fueron simuladas en el programa SAP 2000 mediante elementos “link”. Los resultados del modelo reforzado son efectivos y se corroboran en la disminución de desplazamientos y esfuerzos en más del 90%.

Palabras clave: adobe, reforzamiento estructural, reforzamiento en adobe, construcción en tierra.

Abstract

Given the importance of preserving the historical and cultural heritage of our country, the need arises to reinforce its structures, for its best performance in the face of any seismic event. Based on this problem, this article has the general objective of proposing structural reinforcement for the restoration of an adobe structure, for which information was collected through laboratory tests to determine the properties of the material; a visual inspection was carried out to determine the existing failures; The mathematical model was carried out in the SAP2000 program to know the most important displacements and efforts, where the reinforcement was later applied in the most critical areas. The reinforcement used was mesh with synthetic ropes, which were simulated in the SAP 2000 program through "link" elements. The results of the reinforced model are effective and are corroborated in the reduction of displacements and efforts by more than 90%.

Keywords: adobe, structural reinforcement, adobe reinforcement, construction on land.

Introducción

En la actualidad, mundialmente los patrimonios históricos de muros de adobe, están sujetos a sufrir daños severos y en muchos casos hasta el colapso parcial o total de la estructura ante un evento sísmico de considerable magnitud, ocasionando pérdidas económicas y lamentables pérdidas de vidas humanas, su vulnerabilidad enraíza en la carencia de refuerzos necesarios en los muros de adobe, que muchas veces son de baja calidad, inadecuadamente dimensionados y asentados de manera incorrecta y sobre suelos blandos, además de tener una débil conexión de muros entre muros o muros y techo [1], entre otras más causas por las que estas viviendas llegan a presentar fallas estructurales que comprometen a la estructura de manera grave ante un evento sísmico.

Los inmuebles de adobe se ven altamente vulnerables ante eventos sísmicos principalmente por la falta de tener un diafragma rígido y la poca capacidad que tienen los muros a flexión [2]. Es por eso la necesidad de implementar medidas de rehabilitación que mejoren significativamente el comportamiento estructural, permitiéndoles ser capaces de resistir las sollicitaciones laterales y de torsión de un sismo.

Lambayeque es uno de los distritos que posee una gran cantidad de casonas de adobe que son consideradas patrimonio por su valor histórico y cultural, de ahí parte la importancia de conservarlas a pesar de las fallas que estén presentes en su estructura.

La casona perteneciente a la sociedad de la beneficencia, declarada también como patrimonio cultural colonial, se encuentra en muy mal estado de conservación, presentando diversas fallas y daños severos en su estructura, causados por la falta de mantenimiento por parte de sus propietarios y la falta de su reforzamiento para resistir las fuerzas del sismo, por ello necesita del reforzamiento de su estructura, para su mejor desempeño estructural durante el tiempo y ante cualquier evento sísmico, debido a la importancia de preservar los patrimonios históricos y culturales de nuestro país.

Este artículo permite conocer y comparar el comportamiento de una edificación de adobe sin y con refuerzo estructural, independientemente de la técnica que se emplee, los reforzamientos proporcionan mayor resistencia ante eventos sísmicos, mayor estabilidad y rigidez en las edificaciones de adobe.

Este artículo pretende demostrar que el reforzamiento estructural en los muros de adobe mejora considerablemente su comportamiento sísmico, proporciona mayor rigidez a estas estructuras de adobe, volviéndolas menos vulnerables ante la acción de futuros eventos sísmicos, reduciendo así el nivel de riesgo que representan.

Se definió como objetivo general proponer el reforzamiento estructural para la restauración de una estructura de adobe, para ello la metodología se basa en: 1) identificación de las fallas estructurales 2) determinación de las propiedades físicas y mecánicas del adobe 3) modelamiento de la estructura de adobe sin reforzamiento 4) modelamiento de la estructura de adobe con reforzamiento 5) análisis de los resultados obtenidos del reforzamiento estructural.

Comportamiento sísmico de las construcciones de adobe no reforzadas

Es importante conocer el comportamiento sísmico de las viviendas de adobe, ya que permite conocer las zonas críticas que deben ser reforzadas.

Los terremotos ocurridos en el Perú, demuestran que las viviendas de adobe tienen un mal comportamiento, resultando muchas veces en el colapso de las mismas, la razón principal de este mal comportamiento es que el adobe es un material frágil y vulnerable a la acción sísmica, especialmente si la vivienda carece de un refuerzo capaz de controlar el tamaño de grietas, las cuales reducen la rigidez lateral (K), haciendo que el sistema se convierta más flexible y con mayor masa (M) [3], generando de esta manera el colapso, por el incremento de las fuerzas sísmicas (f) Fig. 1. El comportamiento inicial de las casonas de adobe es rígido, sin embargo, cuando estas empiezan a agrietarse, su período natural de vibrar incrementa, sin sobrepasar al período predominante del sismo, por lo que la respuesta estructural también aumenta.

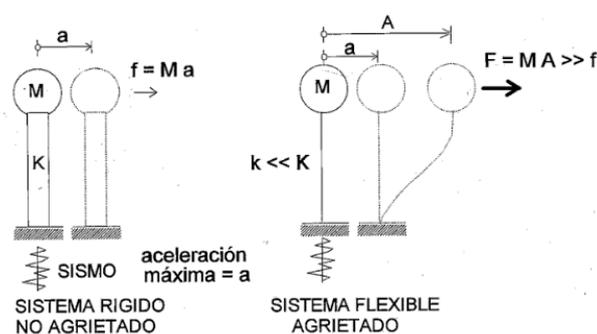


Fig. 1. Incremento de las fuerzas al agrietarse la vivienda.

Fuente: Manual técnico para el reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la Costa y la Sierra [3].

Las grietas G1 a G3 Fig. 2 son causadas por las fuerzas sísmicas que actúan en dirección perpendicular al plano de los muros.

Inicia la G1, bajando hacia la parte inferior del muro por acción del empuje que genera la viga cumbrera.

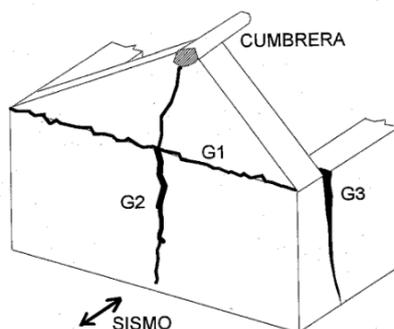


Fig. 2. Grietas en los muros por acciones sísmicas perpendiculares al plano.

Fuente: Manual técnico para el reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la Costa y la Sierra [3].

La G2 se forma por la ausencia de control del gran desplazamiento lateral en la zona superior central del muro y por la gran distancia que separa los muros de arriostre Fig. 3.

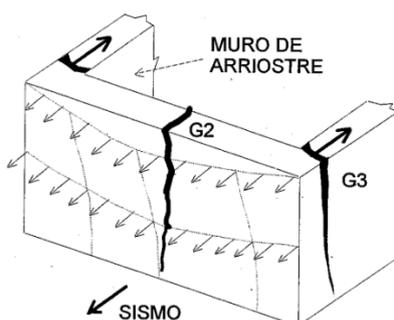


Fig. 3. Deformación de muro por carga sísmica transversal.

Fuente: Manual técnico para el reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la Costa y la Sierra [3].

La inadecuada transferencia de las fuerzas sísmicas produce que las paredes perpendiculares se desgarran verticalmente, porque no existen vigas soleras ni columnas que confinen y que sean capaces de absorber las fuerzas de tracción que se generan en el encuentro entre muro y muro Fig. 3.

El agrietamiento vertical es sumamente peligroso, ya que disminuye la acción de arriostramiento, lo que hace que la pared quede como un elemento en voladizo, es decir, en una situación isostática. Si continúa el movimiento sísmico, la pared puede terminar volcándose,

principalmente hacia el exterior, debido al rebote que experimenta al chocar contra la pared transversal que funciona como arriostre [3].

Después de originarse las grietas G2 y G3, usualmente ocurre la falla por corte. Este tipo de falla se genera por la poca adherencia entre el mortero y el adobe [3].

Por otro lado, las grietas horizontales G5 sobre el sobrecimiento Fig. 4, son ocasionadas por acciones sísmicas perpendiculares al plano del muro.

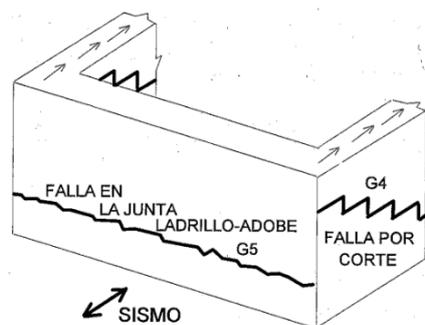


Fig. 4. Otras fallas en los muros de adobe.

Fuente: Manual técnico para el reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la Costa y la Sierra [3].

Metodología

Identificación de fallas estructurales

La identificación de las fallas estructurales comienza con la inspección visual de la casona, el cual es el proceso que se necesita para determinar las causas que han llevado a la casona a su deterioro [4]. Para ello se emplearon fichas técnicas en las cuales se pudieron anotar todas las fallas presentes en la estructura, anotando el tipo de grietas que se encontraban, así como también su tamaño y ubicación, ya que a partir de la ubicación de las grietas se puede determinar si el muro está fallando por corte o flexión.

Dentro de las fallas que más se presenciaron en la casona son las grietas en el techo Fotografía 1, grietas en los muros Fotografía 2, pandeo de la losa Fotografía 3, así como también la presencia de humedad en la parte inferior de los muros Fotografía 4.



Fotografía 1. Grietas de 4mm de espesor en viguetas, losa y muro

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 2. Grietas de 4mm de espesor en muros

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 4. Pandeo de la losa y grieta vertical de 2 mm de espesor

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 3. Presencia de humedad en la parte inferior del muro

Fuente: Elaboración propia

La mayor parte de grietas sobre los muros son verticales, lo que indican que son causadas por el punzonamiento generado por el sobrepeso del piso superior y el techo, también ocurre cuando las vigas están apoyadas sobre el muro.

Este tipo de grietas en los muros son causadas también por la acción de fuerzas sísmicas perpendiculares al muro y que ocurren en la parte alta y central de muros largos. Estas grietas son el resultado de la gran esbeltez horizontal del muro, lo que causa que la parte superior del muro sufra mayores desplazamientos transversales y esfuerzos de tracción por flexión, lo que finalmente resulta en la formación de grietas [5].

Es importante mencionar que estas grietas son un indicio de que la estructura del muro ha sufrido daños significativos y que, en caso de otro evento sísmico, la parte superior del muro podría colapsar.

A partir de los daños observados, se realiza la clasificación de daño [6] del uno al cinco en números romanos y de menor a mayor daño respectivamente Fig. 5. Entonces, se clasifica en tipo IV, ya que, en su mayoría, las grietas son mayores a 3mm y de forma diagonal y vertical.

Clasificación	Daño observable en elementos estructurales
I	Grietas pequeñas en muros o en castillos < 0.2 mm
II	Grietas de 0.2 a 1 mm
III	Agrietamiento diagonal en muro confinado, 1 a 3 mm
IV	Mucho agrietamiento diagonal en muro confinado, grietas \geq 3 mm Inicio de grieta en muro con refuerzo interior
V	Aplastamiento local de mampostería. Desprendimiento de piezas Agrietamiento diagonal > 5 mm La grieta inclinada penetra castillos, ancho > 1 mm. Agrietamiento diagonal en muros con refuerzo interior. Deformación o inclinación del muro

Fig. 5. Clasificación del daño observable en elementos estructurales.

Fuente: Fichas para la reparación de viviendas de adobe [5].

Además, se clasifica el daño Fig. 6 como medio y en un nivel III con más del 50% de daño medio y alto, sin embargo, el acceso no es restringido, ya que los daños son reparables y no representan un riesgo en la vida de los ocupantes, y la casona aún contiene una resistencia que le permite permanecer en pie.

Daño medio	
Daño nivel III en menos del 50%	Edificación habitable con acceso con restricción en las zonas de la vecindad de los elementos dañados
Daño nivel III en más del 50%	Edificación con daño entre medio y alto, acceso con restricción
Daño nivel IV en menos del 25%	Edificación con daño entre medio y alto, acceso con restricción

Fig. 6. Clasificación del daño medio.

Fuente: Fichas para la reparación de viviendas de adobe [5].

Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del adobe

Para la caracterización del adobe, se extrajo una muestra representativa de un muro, con la finalidad de evitar la afectación del inmueble ya que es un patrimonio y no puede ser destruido. Se realizaron los ensayos físicos de humedad, absorción y peso específico, y el ensayo mecánico

para determinar su resistencia a la compresión, para ello se cortó la unidad de adobe de 29x54x9cm en 3 bloques, obteniendo de esta manera, 3 muestras de unidades de adobe que fueron ensayadas. Los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la unidad de adobe se muestran en la **Tabla 1**.

Ensayos	Unidad de adobe		
Propiedades físicas			
% de Humedad	3.13 %		
% de Absorción	4.5 %		
Peso específico	2.32 g/cm ³		
Propiedades mecánicas			
	Bloque 01	Bloque 02	Bloque 03
Área	404.7 cm ²	388.6 cm ²	419.3 cm ²
Carga	6550 kg	6430 kg	5120 kg
Resistencia a la compresión	16.18 kg/cm ²	16.55 kg/cm ²	12.21 kg/cm ²
Resistencia a la compresión promedio	14.98 kg/cm ²		

Tabla 1. Resultados de los ensayos físicos y mecánicos a la unidad de adobe

Modelamiento de la estructura de adobe sin reforzamiento

Para obtener los valores de desplazamientos y esfuerzos en los muros de adobe, se realizó el modelo matemático en el programa SAP 2000, con la finalidad de determinar las zonas más críticas para posteriormente reforzarlas.

Los muros, están compuestos por bloques de adobe, los cuales fueron modelados como membranas tipo “Shell Thin”, con los espesores de muro correspondientes de 0.25 m, 0.40 m, 0.45 m, 0.55 m, 0.60 m y 1 m. Además, el área que representa a los muros fueron discretizados en 10 cm para obtener valores de esfuerzos más reales.

Las propiedades del material fueron los mismos tanto para los muros como para el entrepiso, el módulo de elasticidad empleado del material de adobe fue de 20387.36 Tn/m², de acuerdo con lo establecido en la Norma E080 [7], para el coeficiente de Poisson se tomó el valor de 0.20 [8].

Para el caso de la losa, se emplearon las mismas propiedades del material de adobe que se empleó para los muros, con la diferencia que el peso unitario fue 0, ya que luego se realizó el metrado de cargas donde se consideró el material de la madera empleada en las viguetas. La losa luego fue cargada según la carga obtenida del metrado de cargas. La losa fue modelada en el programa como elemento Shell Thick, con un espesor de 0.40m.

Modelamiento de la estructura de adobe con reforzamiento

Para implementar el reforzamiento en la estructura de adobe, primero se evaluó su comportamiento ante el diseño de sismo aplicado según la norma E030 [9].

La propuesta de reforzamiento se basa en la técnica de sogas sintéticas, este tipo de reforzamiento ya ha sido verificado, donde se observó que el reforzamiento con sogas en las viviendas de 1 y 2 pisos permite tener un mejor comportamiento frente a la simulación de un sismo, a partir de ensayos de laboratorio en la mesa vibratoria, se obtuvieron como resultados que no hubo colapso parcial ni total de la estructura [10].

Para el modelo de la estructura reforzada, se utilizaron elementos “link”, los cuales simularon el reforzamiento con sogas sintéticas.

Se emplearon elementos “link” del tipo “friction isolator”, se optó por este tipo de link ya que se puede colocar distintas rigideces para cada grado de libertad, ya que estos elementos trabajan a tracción y no a compresión. La rigidez a emplearse fue la misma que la de la soga, además se multiplicó por 2, ya que el refuerzo es por ambas caras del muro. En este caso, el valor de la rigidez fue de 5.32 Tn/m² para ambas caras de muro [11].

El modelo que se realizó presenta en los muros las configuraciones de los patrones de agrietamiento que se observaron en la inspección visual de la casona de adobe, que son iguales a los que usualmente se presentan en diversas investigaciones.

Al crear estas grietas en el modelo, significa que los muros se comportarán como bloques, según la grieta que los separe, es ahí donde los elementos “Shell”, que simulan los bloques rígidos, se unen entre sí a través de los extremos de los elementos “link” Fig. 7.

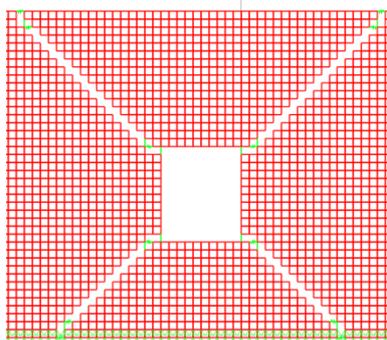


Fig. 7. Modelo en Sap2000 con elementos link

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Sap2000.

Deben también tenerse algunas consideraciones del modelo, las sogas trabajan en conjunto como una malla, sin embargo, este efecto no ha sido considerado en el modelo, al igual que la carga inicial de tensado que se genera antes de colocar la malla, tampoco fue considerada, ya que se obtienen fuerzas mayores cuando se consideran las sogas con fases previas, por lo tanto es más adecuado considerar la condición más crítica que sería sin la carga inicial de tensado [11].

Otros valores importantes que deben tenerse en cuenta en las propiedades de los elementos link, y han sido tomados de investigaciones que obtuvieron resultados confiables [11]: la longitud de la soga de 0.675 m, el módulo de elasticidad de la soga $E=610 \text{ N/mm}^2$, área de cada soga $A=7.37 \text{ mm}^2$.

Resultados y discusión

Evaluación del comportamiento sísmico de la estructura de adobe

Para el estudio de la vulnerabilidad sísmica de la estructura, se evaluaron los parámetros de esfuerzos y desplazamientos de los muros.

La distribución de esfuerzos sobre los muros de adobe, ante las cargas de sismo dinámico en dirección X, se observan en la Fig. 8, en la mayoría de muros se excede la capacidad de esfuerzos admisibles a corte del adobe, el cual es 2.5 Tn/m^2 [7], teniendo como mayor valor de esfuerzo de 17.06 Tn/m^2 . Lo que indica que en varios muros existe falla y colapso parcial de algunos muros, los cuales superan bastante el valor admisible. Aproximadamente existe falla

en el 80% de los muros, ya que el valor máximo de esfuerzo no está presente en todos los muros, existiendo los esfuerzos promedio de entre 3.5Tn/m² y 4.5Tn/m².

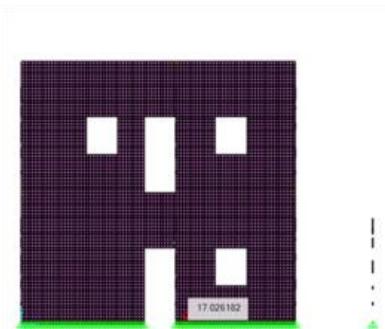


Fig. 8. Distribución de esfuerzos ante sismo dinámico en dirección X, en estructura sin reforzamiento. Esfuerzo S23(Tn/m²) SAP2000

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Sap2000.

Por otro lado, respecto a los esfuerzos en los muros ante el sismo dinámico en dirección Y, se observan en la Fig. 9 valores superiores a los admisibles, teniendo como valor máximo de esfuerzo a corte de 12.34 Tn/m², lo que indica que la mayoría de muros están fallando a corte y que existe el probable colapso parcial y total en la mayoría de los muros.

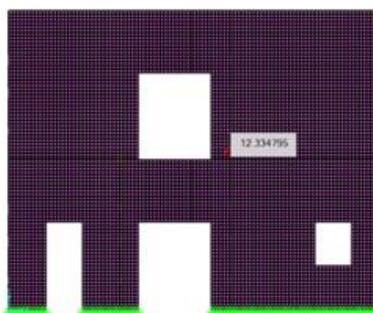


Fig. 9. Distribución de esfuerzos ante sismo dinámico en dirección Y, en estructura sin reforzamiento. Esfuerzo S23(Tn/m²) SAP2000

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Sap2000.

Debido a que la norma peruana de adobe no especifica el desplazamiento máximo que deben tener las estructuras de adobe, se ha optado por tomar como referencia el desplazamiento de un sistema de mampostería, el cual es, según la norma ecuatoriana [12] $\Delta_{\text{máx}} = 0.01$, el cual está expresado como fracción de la altura de piso, dividiendo entre la altura de piso el cual es

4.10m, se obtiene un desplazamiento máximo de 0.0024 m. Observando la Fig. 10, se observa que los desplazamientos son superiores al admisible, teniendo como desplazamiento máximo en X 0.1167 m y en Y de 0.0082 m, resultados del sismo dinámico en dirección X, para los desplazamientos máximos con sismo dinámico en dirección Y, como se observa en la Fig. 11, en x y y se tienen los desplazamientos máximos de 0.0054 m y 0.0305 m, respectivamente.

Sin embargo, los desplazamientos más presentes en los mu-ros se encuentran en el rango de 0.02m y 0.04m.

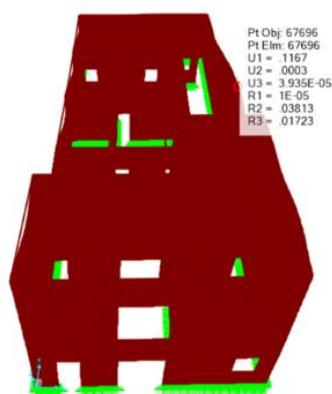


Fig. 11. Desplazamientos con sismo dinámico en dirección X, estructura sin reforzamiento.

Desplazamiento U1 y U2 (m) SAP2000

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Sap2000.



Fig. 10. Desplazamientos con sismo dinámico en dirección Y, estructura sin reforzamiento.

Desplazamiento U1 y U2 (m) SAP2000

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Sap2000.

Propuesta de reforzamiento estructural

Usualmente las fallas se producen cuando los esfuerzos de corte por cargas en el plano igualan y sobrepasan los esfuerzos verticales promedio [13].

Ante este tipo de fallas, se optó por el reforzamiento con mal-las de sogas sintéticas, debido a que existen investigaciones que evidencian con resultados confiables que esta técnica disminuye los esfuerzos cortantes y los desplazamientos en los muros.

Como se observa en la Fig. 12 y Fig. 13, los esfuerzos ante sismo dinámico en dirección X y Y, disminuyen notablemente en más del 90%, obteniendo valores de esfuerzos máximos en

los muros de 1.05 Tn/m² con sismo dinámico en dirección X y 0.006 Tn/m² con sismo dinámico en dirección Y.

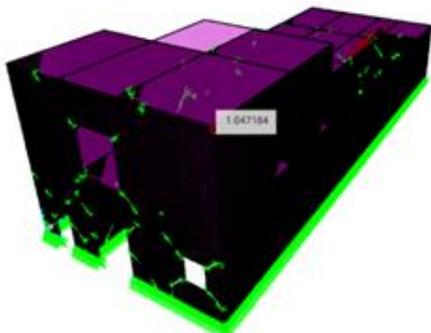


Fig. 13. Distribución de esfuerzos ante sismo dinámico en dirección X, en estructura con reforzamiento. Esfuerzo S23(Tn/m²) SAP2000

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Sap2000.

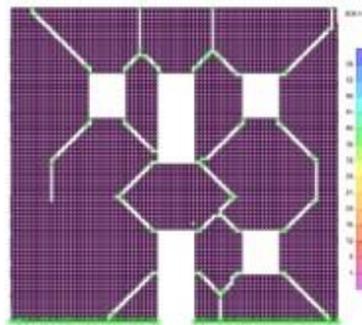


Fig. 12. Distribución de esfuerzos ante sismo dinámico en dirección Y, en estructura con reforzamiento. Esfuerzo S23(Tn/m²) SAP2000

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Sap2000.

Así como se observa la disminución de esfuerzos, también disminuyeron los desplazamientos tanto con sismo dinámico en X, como con sismo dinámico en Y.

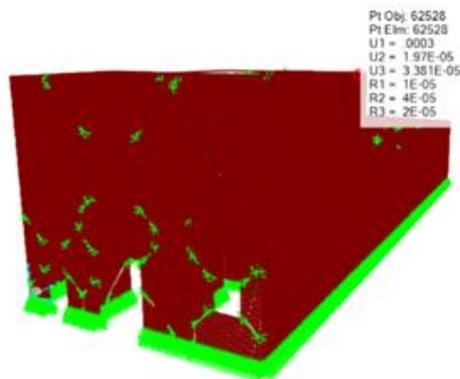


Fig. 14. Desplazamientos con sismo dinámico en dirección X, estructura con reforzamiento. Desplazamiento U1 y U2 (m) SAP2000

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Sap2000.

En la Fig. 14 y Fig. 15, se observa que los desplazamientos ya no son superiores al admisible, ahora se tienen valores de desplazamiento máximo con sismo dinámico en dirección X, desplazamientos en X de 0.003 m y en Y de 1.97E-05 m. Para los desplazamientos máximos

con sismo dinámico en dirección Y, en x y y se tienen los desplazamientos máximos de 0.0003 m y 2.27E-07 m, respectivamente.

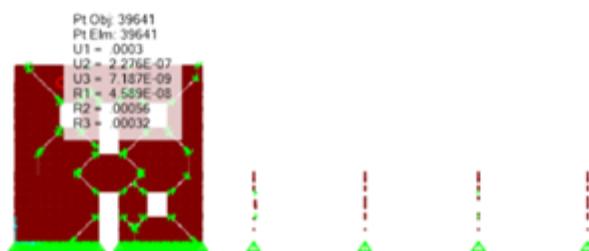


Fig. 15. Desplazamientos con sismo dinámico en dirección Y, estructura con reforzamiento. Desplazamiento U1 y U2 (m) SAP2000

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Sap2000.

La gran diversidad de técnicas de reforzamiento en adobe ha ido incrementando con el transcurrir de los años y los avances tecnológicos, siendo hoy en día importantes en la conservación de los patrimonios históricos de construcciones de adobe que no solo son importantes por su valor histórico, sino también por el valor inmaterial que representa para cada uno de la población.

Como se conoce, las principales fallas que se presentan en las estructuras de adobe se deben a la poca resistencia que tienen el adobe para resistir los esfuerzos de corte y tracción, que se generan cuando son sometidas ante un evento sísmico. Es por ello, que las estructuras son reforzadas, para que su comportamiento mejore frente a este tipo de esfuerzos.

El reforzamiento en adobe debe cumplir ciertos requisitos como lo son conservar la configuración arquitectónica y estructural, es por ello que las intervenciones deben ser como las establecidas en la Norma Peruana de Adobe.

Según investigaciones [11, 14] y los resultados obtenidos de ellas a partir de los ensayos en laboratorio, sometiendo las estructuras reforzadas en la mesa vibratoria, la propuesta de reforzamiento con malla de sogas sintéticas es una alternativa efectiva y confiable, ya que permite controlar los desplazamientos durante un evento sísmico de gran magnitud.

Además, este tipo de reforzamiento es de bajo costo, fácil implementación, es muy eficiente, de material compatible con el adobe, y es de fácil accesibilidad a este, ya que se puede encontrar en cualquier parte de la localidad en la que se encuentre.

A pesar de que existen diversidad de técnicas de reforzamiento actualmente como el confinamiento de los muros de adobe con marcos de madera, refuerzos con mallas electro-soldadas o geomallas, exoesqueletos de madera, entre otras más [15], muchas de ellas son de materiales incompatibles con el material de adobe o son de intervención invasiva, o requieren de mayores investigaciones y pruebas a escala real [16], o requieren de acciones que pueden comprometer el inmueble en la colocación del reforzamiento.

A partir de los resultados obtenidos de ambos modelamientos, el no reforzado y el reforzado con malla de sogas sintéticas, demuestran la obtención de resultados confiables y una mejora notable respecto al comportamiento de la estructura frente a un evento sísmico, reduciéndose en más del 90% los desplazamientos y esfuerzos sobre los muros. Por lo tanto, se evidencia cualitativamente que el tipo de reforzamiento mejora el comportamiento sísmico de la estructura de adobe.

Conclusiones

Se demostró que el reforzamiento estructural con sogas sintéticas simuladas como elementos “link” en el programa Sap2000, mejora considerablemente el comportamiento sísmico de los muros de adobe, comprobándose con los resultados obtenidos de desplazamientos y esfuerzos, los cuales se redujeron notablemente.

Se propuso el reforzamiento estructural para la restauración de una estructura de adobe, con el uso de sogas sintéticas, simuladas en el programa Sap2000 con elementos “link”.

Se identificaron las fallas estructurales en la estructura de adobe, las cuales fueron grietas verticales y diagonales de 4mm, clasificando la estructura en daño medio tipo IV.

Se determinaron las propiedades físicas del adobe obteniéndose resultados de 3.13% de humedad, 4.5% de absorción, el peso específico de 2.32 g/cm³; y las propiedades mecánicas del adobe obteniéndose resultados de resistencia a la compresión promedio de 14.98 kg/cm².

Se modeló la estructura de adobe sin reforzamiento, en el programa Sap2000, a partir de elementos Shell-thin que simularon los muros de adobe y elementos Shell-thick para la losa.

Se modeló la estructura de adobe con reforzamiento, en el programa Sap2000, a partir de elementos "link" que simularon el comportamiento del refuerzo con sogas sintéticas.

La comparación que existe cuando la estructura de adobe está sin reforzar y después de aplicarse el reforzamiento es notable y se observa en los resultados, obteniéndose desplazamientos máximos de 0.1167 m en X y 0.0082 m en Y, cuando la estructura está sin reforzamiento, mientras que cuando se aplica el reforzamiento se reducen en más del 90%, obteniendo valores de desplazamientos de 0.003 m en X y en Y de 1.97E-05 m, esto cuando se aplica sismo dinámico en X.

La comparación que existe cuando la estructura de adobe está sin reforzar y después de aplicarse el reforzamiento es notable y se observa en los resultados de desplazamientos, obteniéndose desplazamientos máximos de 0.0054 m en X y 0.0305 m en Y, cuando la estructura está sin reforzamiento, mientras que cuando se aplica el reforzamiento se reducen en más del 90%, obteniendo valores de desplazamiento de 0.0003 m en X y 2.27E-07 m en Y, esto cuando se aplica sismo dinámico en Y.

El esfuerzo máximo en la estructura sin reforzar, aplicando sismo dinámico en X, es de 17.06 Tn/m².

El esfuerzo máximo en la estructura reforzada con sogas sintéticas, aplicando sismo dinámico en X, es de 1.05 Tn/m².

El esfuerzo máximo en la estructura sin reforzar, aplicando sismo dinámico en Y, es de 12.34 Tn/m².

El esfuerzo máximo en la estructura reforzada con sogas sintéticas, aplicando sismo dinámico en Y, es de 0.006 Tn/m².

El adobe es un material frágil que durante un sismo su agrietamiento es inmediato y se forman bloques rígidos, los cuales tienden a desprenderse ocasionando el colapso parcial o total de la estructura, para evitar ello se refuerza la estructura con una malla de sogas sintéticas.

Esta investigación propone un tipo de reforzamiento que complementa otras existentes donde también se emplea el programa Sap2000 para el modelamiento numérico de la estructura.

Referencias

[1] M. Blondet, J. Vargas, N. Tarque y C. Iwaki, “Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú”, *Informes de la construcción*, vol. 63, n° 523, pp. 41-50, septiembre 2011. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.10.017>. Acceso: mayo 2023.

[2] D. Ruiz, C. López y J.C. Rivera, “Propuesta de normativa para la rehabilitación símica de edificaciones patrimoniales”, *Apuntes*, vol. 25, n° 2, pp. 226-239, diciembre 2012. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-97632012000200006. Acceso: mayo 2023.

[3] L. Zegarra, A. San Bartolomé, D. Quiun y A. Giesecke, “Manual técnico para el reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la Costa y la Sierra”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, Manual técnico, 1997. [En línea]. Disponible en: https://www.preventionweb.net/files/7630_manualtecnico.pdf

[4] ICCROM, “El adobe: Simposio Internacional y curso-taller sobre conservación del adobe”, Proyecto Regional de Patrimonio Cultural y Desarrollo PNUD/UNESCO, Perú, Informe, 1983. [En línea]. Disponible en: https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-02/1983_mutal_adobe_spa_32420_light.pdf.

[5] Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, “Fichas para la reparación de viviendas de adobe”, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú, Informe, 2014. [En línea]. Disponible en: http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/FICHAS-PARA-REPARACION-DE-VIVIENDAS-DE-ADOBE.pdf.

[6] J. Díaz, L. Flores, J. Aragón y O. López, “Manual del formato breve de captura de datos para evaluación estructural”, Sistema Nacional de Protección Civil Centro Nacional de Prevención de Desastres, Perú, Manual, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/687467/210913_VE_Manual_Formato_Breve_Captura_de_Datos_N1.pdf.

[7] *Diseño y construcción con tierra reforzada*, Reglamento Nacional de Edificaciones Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento Norma E.080-2017.

[8] M. Blondet, J. Vargas, N. Tarque, J. Soto, C. Sosa y J. Sarmiento, “Refuerzo sísmico de mallas de sogas sintéticas para construcciones de adobe”, *Tierra, sociedad, comunidad: 15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, pp.67-80, 2015. [En línea]. Disponible en:

https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7016/SARMIENTO_JAVIER_REFORZAMIENTO_SISMICO_MUROS_ADOBE_MALLA_ANEXOS.pdf?sequence=2&isAllowed=y

[9] *Diseño Sismorresistente*, Reglamento Nacional de Edificaciones Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento Norma E.030-2017.

[10] M. Blondet, J. Vargas, N. Tarque, J. Soto, C. Sosa y J. Sarmiento, “Seismic protection of earthen vernacular and historical constructions”, en *Structural Analysis of Historical Constructions*, London: Taylor & Francis Group, 2016, 3-14.

[11] J. Romero Leceta, “Análisis sísmico utilizando bloques rígidos de modelos de vivienda de adobe de 2 pisos”, Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. 2019. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/14624>.

[12] *Cargas sísmicas diseño sismorresistente*, Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS-2017.

[13] C. López, D. Ruiz, S. Jérez, P. Quiroga, J. Uribe y E. Muñoz, “Rehabilitación sísmica de muros de adobe de edificaciones monumentales mediante tensores de acero”, *Apuntes*, vol. 20, n° 2, pp. 304-317, 2007. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v20n2/v20n2a10.pdf>.

[14] M. Blondet, J. Vargas, N. Tarque, J. Soto, C. Sosa y J. Sarmiento, “Refuerzo sísmico de mallas de sogas sintéticas para construcciones de adobe”, *Tierra, sociedad, comunidad: 15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, pp.67-80, 2015. [En línea]. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7016/SARMIENTO_JAVIER_REFORZAMIENTO_SISMICO_MUROS_ADOBE_MALLA_ANEXOS.pdf?sequence=2&isAllowed=y

[15] C. Torres y N. Jorquera, “Técnicas de refuerzo sísmico para la recuperación estructural del patrimonio arquitectónico chileno construido en adobe”, *Informes de la construcción*, vol. 70, n° 550, e252, mayo 2018. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.3989/ic.16.128>.

[16] J. Reyes, F. Galvis, L. Yamin, C. Gonzalez, J. Sandoval y P. Heresi, “Out-of-plane shaking table tests of full-scale historic adobe corner walls retrofitted with timber elements”, *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, vol. 48, n° 8, pp. 888-909, abril 2019. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1002/eqe.3168>. Acceso: mayo 2023.

Anexos

Anexo 1. Fichas de inspección visual

FORMATO DE CAPTURA DE DATOS PARA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE VIVIENDA

Nombre del evaluador: Nicole Herrera Campos

<input type="checkbox"/>	Ingeniero civil o arquitecto
<input checked="" type="checkbox"/>	Estudiante Ing/Arq
<input type="checkbox"/>	Otro

Fecha: 09/09/2022

INFORMACIÓN GENERAL

Propietario: Sociedad de la Beneficencia Pública de LombayqueCalle y número: 9 de Octubre #460Ciudad: LCNúmero total de niveles, n: 2Número de ocupantes: 4

Dimensiones:

Frente X = 10.30 mFondo Y = 26.84 mAltura Planta Baja = 4.10 mAltura Planta Alta = 3.30 m

Año de

construcción: 1800-1816daño severo: 1992rehabilitación: 2017

SISTEMA ESTRUCTURAL

MUROS

Adobe

<input checked="" type="checkbox"/>	Simple (sin elementos de refuerzo)
<input type="checkbox"/>	Confinado con malla y mortero

Dimensiones

t = 40 cm t = _____ cmt = 25 cm t = _____ cmt = 60 cm t = _____ cmt = 100 cm t = _____ cm

TECHOS

Flexible

<input type="checkbox"/>	Material de desecho
<input type="checkbox"/>	Enramado cubierto de palma
<input checked="" type="checkbox"/>	Madera
<input type="checkbox"/>	Lámina de cartón asfáltico
<input type="checkbox"/>	Lámina de plásticos o fibra de vidrio
<input type="checkbox"/>	Lámina metálica (zinc)
<input type="checkbox"/>	Lámina de asbesto
<input type="checkbox"/>	Teja de barro

Rígido

<input type="checkbox"/>	Vigas de acero con bóveda de tabique
<input type="checkbox"/>	Vigas con capa delgada de tabique (bóveda catalana)
<input type="checkbox"/>	Losa de concreto reforzado
<input type="checkbox"/>	Prefabricados (vigueta-bovedilla u otros)

Geometría

<input checked="" type="checkbox"/>	Plano (Horizontal)
<input type="checkbox"/>	A una agua
<input type="checkbox"/>	A dos aguas
<input type="checkbox"/>	Otro: _____

SISTEMA DE PISO

<input type="checkbox"/>	Losa maciza
<input type="checkbox"/>	Losa reticular
<input type="checkbox"/>	Vigueta y bovedilla
<input checked="" type="checkbox"/>	No se sabe

CIMENTACIÓN

<input type="checkbox"/>	Zapatas aisladas
<input type="checkbox"/>	Zapatas corridas
<input type="checkbox"/>	Cimiento de piedra
<input type="checkbox"/>	Losa de cimentación
<input checked="" type="checkbox"/>	No se sabe

FORMATO DE CAPTURA DE DATOS PARA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE VIVIENDA

Nombre del evaluador: Nicole Herrera Campos
 Fecha: 09/04/2022

<input checked="" type="checkbox"/>	Ingeniero civil o arquitecto
<input type="checkbox"/>	Estudiante Ing/Arq
<input type="checkbox"/>	Otro

EVALUACIÓN DE DAÑOS

GEOTÉCNICOS

<input type="checkbox"/>	Grietas en el terreno
<input type="checkbox"/>	Hundimientos _____ cm
<input checked="" type="checkbox"/>	No presenta

TECHOS/LOSAS

Eje	Nivel de daño	Tipo de grieta	Ubicación	Unión	Ancho de grieta (mm)	Flèche máxima (cm)
entre 1-2 y H y G	Daño leve	• Vertical	• Grieta rayo ubicada en el baño del 1er piso • debajo de la escalera	losa - muro	3	
entre G y H	Daño leve	• horizontal	• grietas que siguen el contorno de la viga, sobre el muro o viga.	losa - viga muro - vigetas	3	
entre 4-G y F, G, H	Daño leve	• Vertical	• grietas que siguen todo el largo de las vigetas	losa - muro losa - vigetas	5	
		• Vertical, también en obra pando de la losa	• losa debajo de la escalera	losa - muro	3	

Nivel de daño
 Colapso total
 Colapso parcial
 Daño severo
 Daño medio
 Daño ligero

Tipo de grieta
 Grietas cortas
 Grietas flexión
 Grietas horizontales
 Grietas diagonales
 Grietas verticales

Otros daños: _____

FORMATO DE CAPTURA DE DATOS PARA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE VIVIENDA

Nombre del evaluador: Nicolé Herrera Campos
 Fecha: 09/09/2022

Ingeniero civil o arquitecto
 Estudiante Ing/Arq
 Otro

EVALUACIÓN DE DAÑOS

GEOTÉCNICOS

Grietas en el terreno
 Hundimientos: _____ cm
 No presenta

MUROS - ADOBE

Eje	Nivel de daño	Tipo de grieta	Ubicación	Unión	Ancho de grieta (mm)	Fisuras
	daño xtro	• Grietas a lo largo • Forman un ángulo de 45°	• Se presentan este tipo de grietas en la mayoría de muros.	viga - muro	3-5	
	daño xtro	• Verticales	• Debajo de la techara	uniones de muro	4	
X	daño medio	• Verticales	• En la mayoría de muros • la grieta empieza en la viga y se	viga - muro	5	
	daño xtro	• Verticales	• va al vano de la ventana	unión de muros	8	
	daño ligero	• diagonales	sobre muros		1	
2 y 3	daño medio	• Verticales	• se ubican al borde del arco que se encuentra en la entrada principal	muros	3	
	daño medio	• Verticales y diagonales	• se ubican sobre los muros y se unen con los vanos de las ventanas	muros	4	
4	daño xtro	horizontal por flexión	• se ubican en la parte inferior de los muros	muros	4	
X	daño xtro	verticales y diagonales	• inicia en las vigas y se separa en los muros, incrementando el tamaño de la grieta	viga - muro	2 a 4	

Nivel de daño
 Colapso total
 Colapso parcial
 Daño severo
 Daño medio
 Daño ligero

Tipo de grieta
 Grietas cortantes
 Grietas flexión
 Grietas horizontales
 Grietas diagonales
 Grietas verticales

Otros daños: _____

FORMATO DE CAPTURA DE DATOS PARA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE VIVIENDA

Nombre del evaluador: Nicol Herrera Campos
 Fecha: 09/09/2012

Ingeniero civil o arquitecto
 Estudiante Ing/Arq
 Otro

EVALUACIÓN DE DAÑOS

GEOTÉCNICOS

Grietas en el terreno
 Hundimientos: _____ cm
 No presenta

MUROS - ADobe

Eje	Nivel de daño	Tipo de grieta	Ubicación	Unión	Ancho de grieta (mm)	Figuras
D	Daño medio	diagonal	inician en la parte superior del muro y terminan en el vacío de la	muro	2	
D-4 y D-5	Daño ligero	vertical	ventana • sobre alféizar		7	
	Daño ligero	diagonales	• son varias figuras que empiezan desde el mismo punto y se separan	muro	2	
	Daño medio	verticales y horizontales		muro	4	
	Daño ligero	diagonales	Fachada, muro	muro	8	

Nivel de daño
 Colapso total
 Colapso parcial
 Daño severo
 Daño medio
 Daño ligero

Tipo de grieta
 Grietas cortante
 Grietas flexión
 Grieta horizontal
 Grieta diagonal
 Grieta vertical

Otros datos: Presencia de humedad en la parte inferior de los muros
Desprendimiento de revestimiento de cemento sobre muro de fachada.

Anexo 3. Resultados de ensayos de laboratorio



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Herrera Campos Nicole Alexandra
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación y propuesta de reforzamiento estructural para la restauración de la casona de la sociedad de beneficencia, distrito de Lambayeque"
Lugar : Distrito Lambayeque, Región Lambayeque.
Fecha de emisión : 20/05/2023

ENSAYO : Peso específico y Absorción del agregado fino
REFERENCIA : NTP 400.022 o ASTM C-128

			Bloque de adobe
1. N° de fiola			F-1
2. Peso de la fiola	g.		192.2
3. Peso de la muestra de suelo - seco	g.		100.0
4. Peso de la muestra de suelo saturado - seco	g.		554.5
5. Peso de la muestra de suelo seco + peso de la	(2+3) g.		292.2
6. Peso de la muestra + Fiola + agua	g.		746.7
7. Peso de la fiola + peso de agua	g.		689.7
8. Peso específico o gravedad específica	(3)/((3+6)-5) g/cm ³		2.32
9. Porcentaje de absorción	((4-3)/3)*100 %		4.5

OBSERVACIONES :

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Herrera Campos Nicole Alexandra
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación y propuesta de reforzamiento estructural para la restauración de la casona de la sociedad de beneficencia, distrito de Lambayeque"
Lugar : Distrito Lambayeque, Región Lambayeque.
Fecha de emisión : 20/05/2023

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Contenido de humedad del bloque de adobe

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda + tara	(gr.)	1666
B.- Peso de muestra seca + tara	(gr.)	1620
C.- Peso de tara	(gr.)	152
D.- Contenido de humedad	(%)	3.13

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Contenido de humedad de muestras de suelo extraídas de calicata

I.- Datos

	C-1	C-2	C-3	C-4	
A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	500.8	500.69	500.73	500.34
B.- Peso de muestra seca + tara	(gr.)	543.82	553.45	532.25	554.19
C.- Peso de tara	(gr.)	81.9	84.91	87.36	99.65
D.- Contenido de humedad	(%)	8.4	6.9	12.6	10.1
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	9.48			

Observaciones :



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Herrera Campos Nicole Alexandra
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Evaluación y propuesta de reforzamiento estructural para la restauración de la casa de la sociedad de beneficencia, distrito de Lambayeque"
Lugar : Distrito Lambayeque, Región Lambayeque.
Fecha de emisión : 20/05/2023

Ensayo : Resistencia a la compresión de unidad de adobe
 Código : ASTM C-39/39M - 2004

Muestra	Dimensiones (cm)		Área (cm ²)	Carga (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)
	ancho	largo			
Bloque 01	14.20	28.50	404.7	6550	16.18
Bloque 02	13.40	29.00	388.6	6430	16.55
Bloque 03	15.50	27.05	419.3	5120	12.21
Resistencia promedio					14.98

OBSERVACIONES :

Se ha adaptado el ensayo de resistencia a la compresión de una muestra de concreto a una unidad de adobe.