

**Characterization of damage to adobe masonry affected by landslides-
Nabón-Ecuador case**

**Caracterización del daño en mamposterías de adobe afectadas por
deslizamientos - Caso Nabón-Ecuador**

Autores:

Labanda-Pineda, Wilson Raúl
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Posgradista de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras
Sismorresistentes
Cuenca – Ecuador



wilson.labanda.28@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-1594-072X>

Ortiz-Abril, Claudia Alexandra
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente Tutor del área
Cuenca – Ecuador



cortiza@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-0341-5466>

Sichiqui-Zarate, Ana Cecilia
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Egresado de la carrera de Ingeniería Civil
Cuenca – Ecuador



ana.sichiqui.95@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0000-5871-8937>

Fechas de recepción: 15-AGO-2024 aceptación: 07-SEP-2024 publicación: 15-SEP-2024



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

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

En los últimos años, el cantón Nabón ha sido afectado por una serie de movimientos de masa que han evidenciado la vulnerabilidad de las mamposterías de adobe, manifestada en deformaciones, fisuras e incluso colapsos. El objetivo de esta investigación es caracterizar la mecánica de fractura en mamposterías de adobe afectadas por deslizamientos. Para ello, se emplea un modelo de elementos finitos en el software Abaqus. El análisis se lleva a cabo mediante la idealización de la mampostería a través de un micromodelo estructural, que incluye la caracterización de las propiedades de sus componentes, como el adobe, el mortero y las vigas de madera, de manera individual. Los resultados mostraron que las mamposterías de adobe presentan un comportamiento frágil frente a cargas laterales, resistiendo solo 388.13 N con una deformación de 0.95 mm antes de que se inicie el daño. Esto permitió concluir que las mamposterías de adobe deben ser reforzadas para mejorar su resistencia ante cargas horizontales, como las inducidas por sismos o movimientos de masa.

Palabras clave: Mampostería; Adobe; Mortero; Daño; Resistencia; Movimiento de masa



Abstract

In recent years, the Nabón canton has been affected by a series of mass movements that have highlighted the vulnerability of adobe masonry, manifested in deformations, cracks and even collapses. The objective of this research is to characterize the fracture mechanics in adobe masonry affected by landslides. To do so, a finite element model is used in the Abaqus software. The analysis is carried out by idealizing the masonry through a structural micromodel, which includes the characterization of the properties of its components, such as adobe, mortar and wooden beams, individually. The results showed that adobe masonry exhibits fragile behavior under lateral loads, resisting only 388.13 N with a deformation of 0.95 mm before damage begins. This led to the conclusion that adobe masonry must be reinforced to improve its resistance to horizontal loads, such as those induced by earthquakes or mass movements.

Keywords: Masonry; Adobe; Mortar; Damage; Resistance; Mass movement



Introducción

Ecuador, un país andino situado en una región geodinámicamente activa, ha sido escenario de numerosos deslizamientos de tierra que han impactado de manera significativa tanto a la sociedad como a la economía del país (Cordero & Peñafiel, 2017). La compleja morfología montañosa de Ecuador genera una alta inestabilidad en muchas de sus laderas, haciéndolas propensas a deslizamientos. Las áreas más afectadas por este fenómeno se concentran principalmente en las regiones andinas y subandinas (Cevallos, 2010).

En la provincia de Azuay, según el Gobierno Provincial del Azuay (2019) en su Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT), existen múltiples zonas con un riesgo elevado debido a amenazas persistentes como deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas, lo que pone en peligro tanto a la infraestructura como a la población, convirtiendo a estas áreas en zonas de riesgo inminente para la vida de los habitantes. En particular, el cantón Nabón enfrenta serios riesgos derivados de hundimientos y deslizamientos de tierra provocados, en gran parte, por movimientos de masa inducidos por la acumulación de agua. El barrio Las Rosas, que alberga alrededor de 110 viviendas, es la zona más afectada, con casas que presentan grietas y carreteras con fisuras (Perez, 2021).

La Unidad de Monitoreo de Eventos Adversos Azuay – Cañar (2022), en su Informe de Situación No. 03, clasifica como “situación peligrosa” los movimientos de masa ocasionados por la filtración de agua de riego y las lluvias, que afectan a las comunidades de Rosas, Bellavista, Tamboloma y Chunazana desde el 14 de marzo de 2021. Desde esa fecha, el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nabón ha reportado grietas en varias viviendas de estas localidades.

Las viviendas del barrio Las Rosas, al estar ubicadas en un entorno rural, carecen de un patrón de planificación adecuado. La mayoría de estas construcciones no siguen un diseño arquitectónico ni estructural, y se han utilizado materiales diversos como madera, tejas, latas, lonas y piezas de demolición, lo que contribuye a su vulnerabilidad.

Una de las tipologías constructivas más comunes en el cantón Nabón es la vivienda de adobe. No obstante, los fenómenos de remoción de masas han puesto en evidencia la fragilidad de estas estructuras frente a desplazamientos y cargas. A pesar de ello, la investigación sobre la falla estructural en mamposterías de adobe es limitada en comparación con los estudios realizados en estructuras de hormigón armado y acero (García et al., 2024). Por esta razón,



es crucial desarrollar investigaciones que permitan entender y predecir la respuesta estructural de las mamposterías de adobe ante estos fenómenos.

Este estudio tiene como objetivo caracterizar el daño progresivo en mamposterías de adobe afectadas por deslizamientos de tierra. Para ello, se ha tomado como referencia una de las viviendas más afectadas del barrio Las Rosas, realizando un análisis a través de la idealización de la mampostería mediante un micromodelo estructural. Este modelo incluye la caracterización individual de los componentes de la mampostería, como el adobe, el mortero y las vigas de madera, con el fin de evaluar el comportamiento inelástico y el daño causado por las deformaciones plásticas.

El presente trabajo busca contribuir al entendimiento de la vulnerabilidad de las estructuras de adobe frente a cargas laterales y sentar las bases para el desarrollo de técnicas de reforzamiento estructural que mejoren su capacidad resistente.

Material y métodos

La metodología empleada para el desarrollo de la investigación se fundamentó en dos formas de recolección de información: la observación y la revisión de registros existentes, y el análisis de un modelo computacional de elementos finitos en el software Abaqus.

Caracterización de los daños en la zona de estudio

El primer paso en el desarrollo de la investigación fue la recopilación de información mediante consultas bibliográficas y visitas de campo, enfocadas en los daños producidos por movimientos de masa en las viviendas del barrio Las Rosas, en el cantón Nabón. La principal herramienta utilizada fue un registro fotográfico, con el objetivo de documentar visualmente el estado actual de las viviendas. Se inspeccionaron un total de cinco viviendas afectadas, seleccionadas según el nivel de afectación que presentaban, y se describieron las patologías observadas en cada una de ellas.

Micromodelo estructural

La modelización se llevó a cabo a escala micro, considerando los modelos constitutivos de los materiales que componen la mampostería, como el adobe y el mortero. Este enfoque permitió simular la mecánica de daño continuo y analizar la respuesta estructural de la mampostería de adobe.



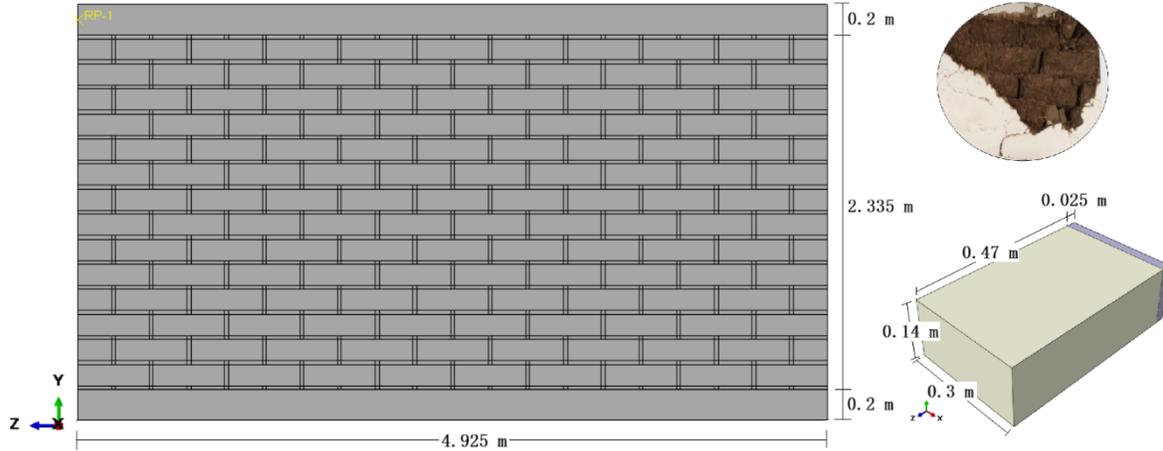
El muro está compuesto por bloques de adobe, juntas horizontales y verticales de mortero, y vigas de confinamiento. La geometría de la mampostería y sus materiales corresponden a las dimensiones tomadas de una de las viviendas más afectadas en el barrio Rosas del cantón Nabón (Figura 1). La pared tiene una longitud de 4.925 m, una altura de 2.335 m y un espesor de 0.3 m, y está formada por 14 hiladas de bloques de adobe y mortero (Figura 2). Las hiladas superior e inferior están fijadas en vigas de madera con una sección de 0.20 m x 0.20 m. Los ladrillos miden 0.470 m de longitud, 0.140 m de altura y 0.300 m de espesor. El mortero tiene un espesor de 0.025 m y está compuesto de tierra arcillosa, paja y agua, al igual que el adobe.

Figura 1
Mampostería de adobe afectada por movimientos de masa
en el barrio Rosas, cantón Nabón



Fuente: Elaboración propia

Figura 2
Geometría del modelo computacional en Abaqus

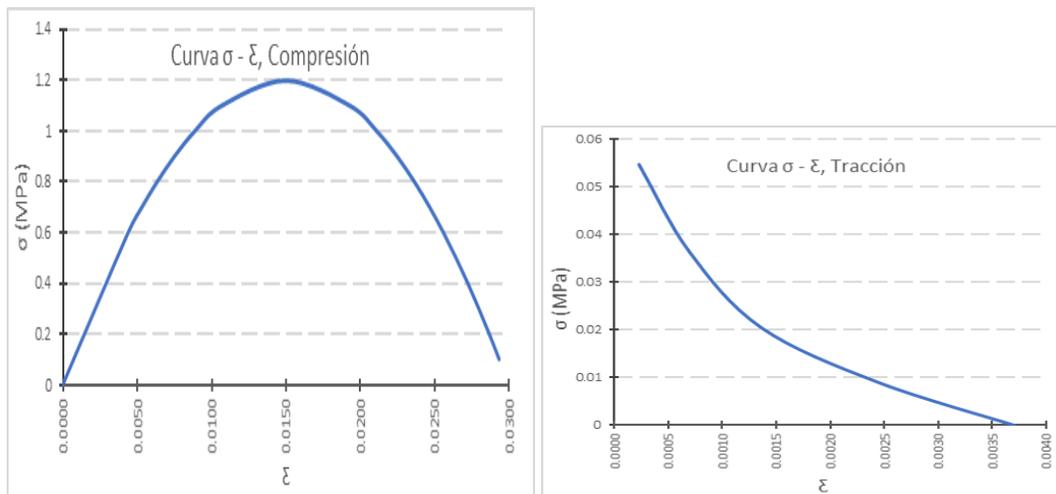


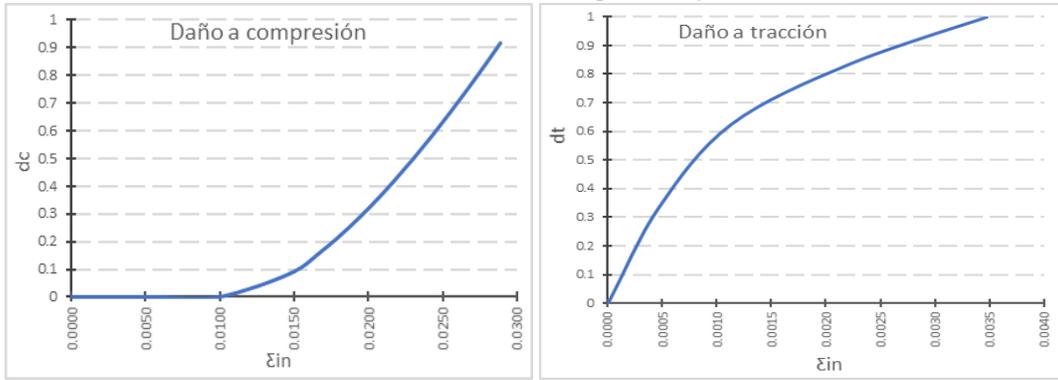
Fuente: Elaboración propia

Configuración de los materiales

Las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la micromodelización se obtuvieron de la investigación de Quiroz et al. (2019), en la cual se determinaron mediante ensayos de laboratorio las propiedades de la mampostería de adobe. Para caracterizar la curva esfuerzo-deformación de los materiales, se empleó el modelo constitutivo propuesto por Kent & Park (1971) y el modelo de Daño Plástico del Concreto (Concrete Damage Plasticity, CDP) para la calibración del material en el software Abaqus.

Figura 3
Caracterización mecánica del adobe

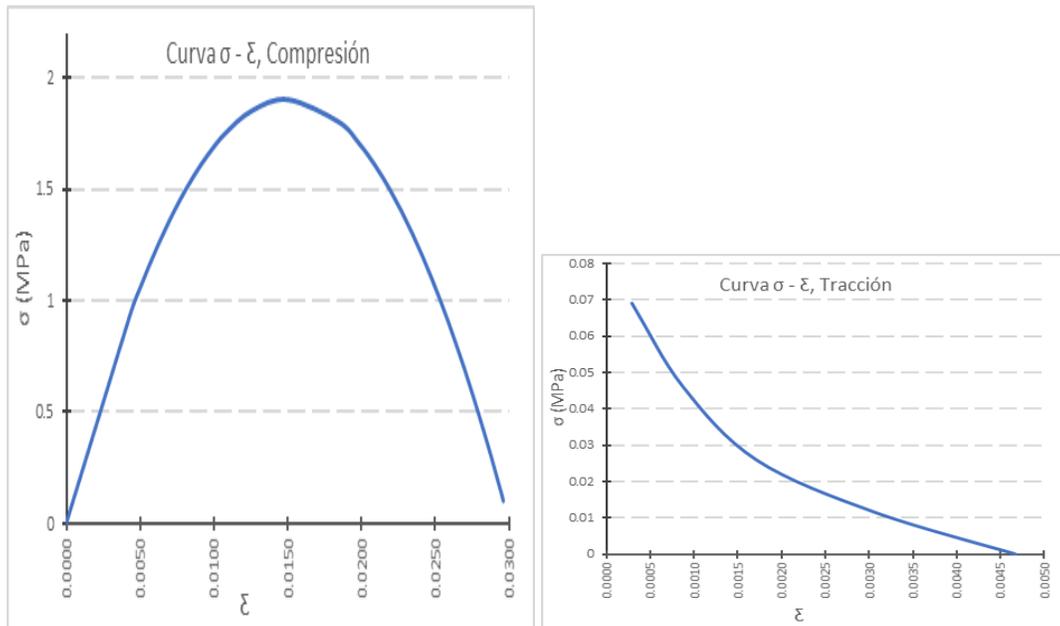


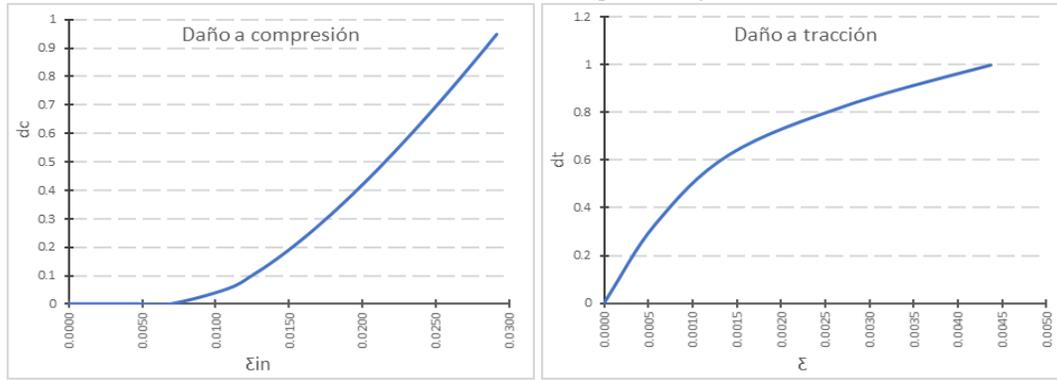


Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 3 y 4 se presenta el comportamiento mecánico de los materiales. Según el estudio de Quiroz et al. (2019), el esfuerzo máximo a compresión de un bloque de adobe es de 1.2 MPa y el del mortero es de 1.9 MPa. Asimismo, se determinó que el módulo de elasticidad para ambos materiales es de 236.2 MPa, mientras que el esfuerzo máximo a tracción es de 0.053 MPa para el adobe y de 0.068 MPa para el mortero.

Figura 4
Caracterización mecánica del mortero





Fuente: Elaboración propia

La madera se modeló únicamente como un material elástico, con un esfuerzo de fluencia de 15 MPa y un módulo de elasticidad de 7500 MPa, valores referenciales tomados de la NEC (2015) para madera estructural del grupo B. Esto se debe a que las vigas de madera se utilizan únicamente como medio para la aplicación y transmisión de carga, por lo que no se considera el daño en este material.

Modelo computacional en Abaqus

El modelo computacional se desarrolló en la serie Abaqus Explicit, que permite resolver problemas con alta no linealidad. En el espacio de trabajo de Abaqus, se introdujeron las propiedades de los materiales, la geometría de los elementos, y las condiciones de contorno necesarias para ensamblar el micromodelo estructural.

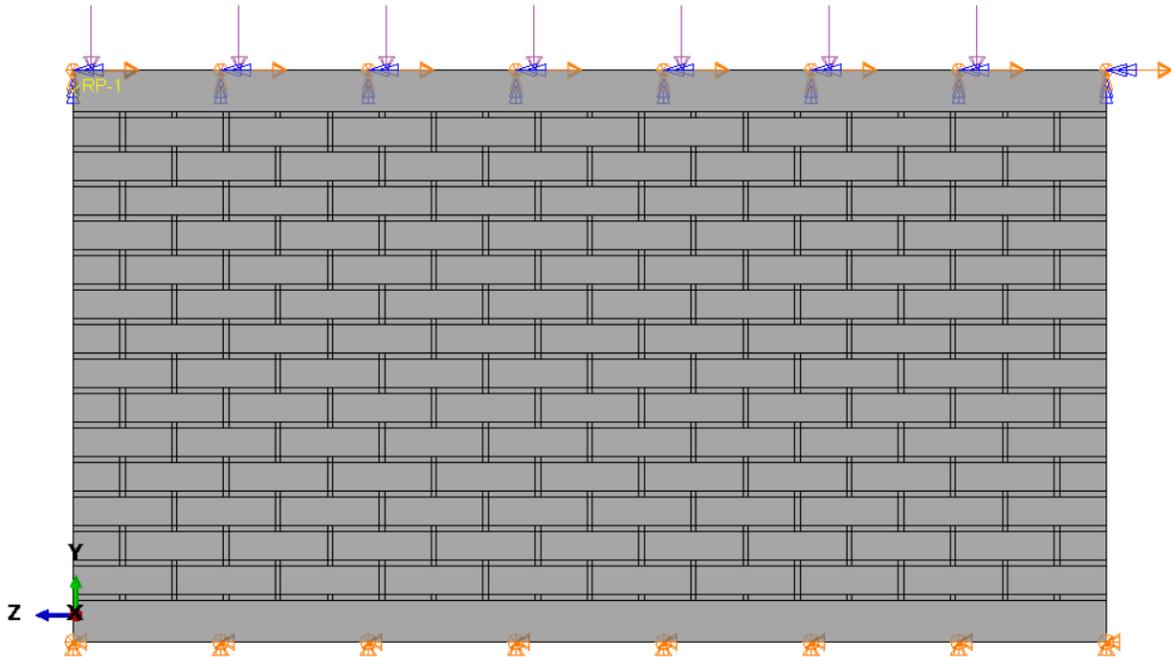
Uno de los aspectos más importantes en la simulación es la representación correcta del contacto entre el adobe y el mortero. En este estudio, se utilizó la metodología de Marín & Morocho (2022), en la cual se emplean los modelos de interacción disponibles en Abaqus, denominados "fricción" y "hard contact," a través de la opción "General Contact," que permite relacionar las superficies de contacto con las propiedades específicas de cada interacción.

Para simular la mecánica de daño en mamposterías de adobe afectadas por deslizamientos, se incluyeron las condiciones de contorno y las cargas observadas en la Figura 5. La condición inicial consistió en la restricción del movimiento en la viga base de madera, simulando la superficie de apoyo de la mampostería. Posteriormente, se aplicó una carga de precompresión (CG) en la superficie superior de la viga de madera, representando la carga gravitacional que soporta el muro, con un valor de 0.5 MPa. Finalmente, se aplicó un



desplazamiento lateral (LD) en la dirección Z, con un valor de 120 mm, en la misma superficie.

Figura 5
Condiciones de contorno y carga aplicada en el modelo computacional de Abaqus



Fuente: Elaboración propia

El tiempo de ejecución de la carga CG y del desplazamiento LD se estableció en 1 segundo para cada uno, con iteraciones cada 0.1 segundos. La malla se conformó por elementos tridimensionales C3D8R, llamados así por tener 8 nodos de integración, con un tamaño de 10 mm en los elementos que requerían análisis de daño, como los bloques de adobe y el mortero, y un tamaño de 50 mm en las vigas de madera. Estos parámetros se determinaron en función de las limitaciones impuestas por el alto costo computacional.

Resultados

Caracterización de los daños en la zona de estudio

En la Figura 6 se presenta el registro fotográfico de las viviendas seleccionadas para el análisis. Las viviendas de adobe en el barrio Rosas de Nabón tienen entre uno y dos pisos, y



cuentan con dinteles de madera en puertas y ventanas. El sistema de techo es a dos aguas, y la cubierta está compuesta por vigas y listones de madera que se apoyan sobre los muros de adobe. El techo está cubierto con tejas de barro recocido.

La Figura 6a muestra la afectación de una vivienda de dos pisos, donde un hundimiento del terreno ha provocado el asentamiento de la estructura en su parte posterior y, como consecuencia, el agrietamiento de las mamposterías frontales. Las fisuras, de ancho considerable, comienzan en la esquina superior izquierda de la pared y se propagan hacia la esquina superior derecha.

La vivienda de la Figura 6b presenta un desprendimiento de la mampostería de adobe en su parte inferior izquierda. En el caso de la vivienda documentada en la Figura 6c, el daño es aún más evidente; los movimientos de masa han provocado la división de la estructura en dos partes, múltiples fisuras, y el desprendimiento de gran parte de las mamposterías.

En las viviendas de las Figuras 6d y 6e se observan fisuras verticales de gran espesor. En el caso de la vivienda de la Figura 6e, se midió un ancho de grieta de aproximadamente 25 cm.

Figura 6
Viviendas afectadas por movimientos de masa en el barrio Rosas, cantón Nabón





Fuente: Elaboración propia

Micromodelo estructural

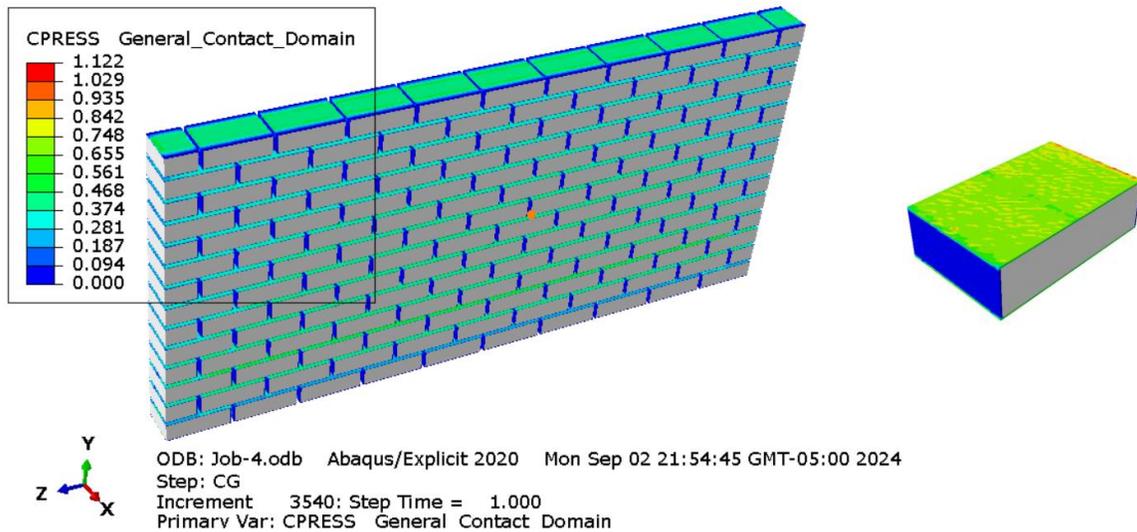
Los resultados del micromodelo de elementos finitos en el software Abaqus se describen en función de la carga aplicada, es decir, la carga gravitacional y el desplazamiento lateral, así como del tiempo de simulación.

En la Figura 7, se muestran los resultados relacionados con la interacción entre el adobe y el mortero. Dado que el modelo computacional se idealizó con los elementos de la mampostería por separado (micromodelo), era necesario que las superficies de ambos elementos entraran en contacto, generándose presiones al aplicar las cargas. Se observó que los esfuerzos de contacto al aplicar el desplazamiento lateral se concentraron en la superficie del adobe,



alcanzando valores entre 0.6 MPa y 0.7 MPa, con valores máximos de hasta 1.12 MPa en las esquinas o bordes.

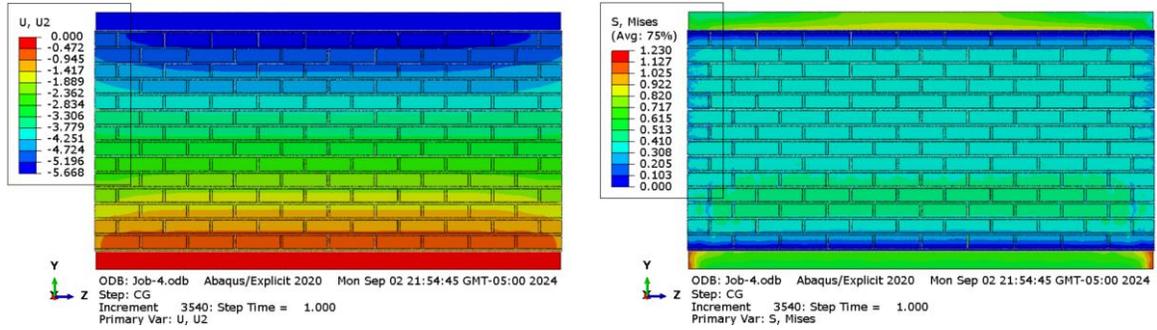
Figura 7
Presiones de contacto entre los elementos del micromodelo



Fuente: Elaboración propia

Una vez verificada la interacción entre los elementos, se analiza la respuesta estructural del modelo al aplicar la carga gravitacional. En la Figura 8, se presentan los desplazamientos en la dirección de la aplicación de la carga (Eje y) y los esfuerzos de falla según el criterio de Von Mises. El desplazamiento máximo que sufrió la mampostería de adobe se encontró en la parte superior de la pared, con un valor de 5.66 mm, mientras que el esfuerzo de falla en la parte central del muro rondó los 0.4 MPa. En la parte inferior, el esfuerzo fue mayor, alcanzando los 0.7 MPa.

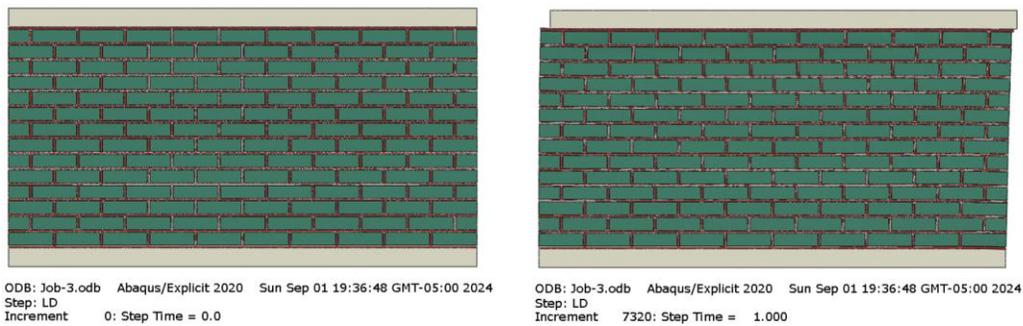
Figura 8
Respuesta estructural del modelo al aplicar la carga gravitacional



Fuente: Elaboración propia

La respuesta estructural del modelo al aplicar el desplazamiento lateral se muestra en la Figura 9, donde se observa cómo la mampostería pasa de un estado inicial, en el cual la pared no presenta deformación, a un estado final en el que la parte superior del muro se encuentra desplazada, con una deriva de 120 mm.

Figura 9
Respuesta estructural del modelo al aplicar la carga lateral



Fuente: Elaboración propia

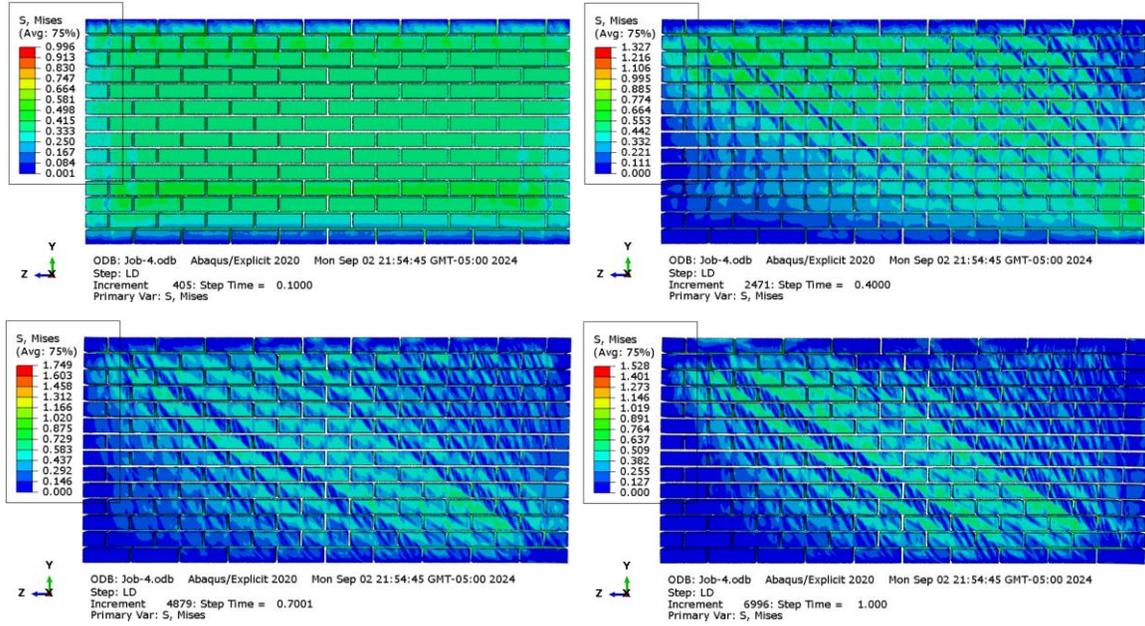
A continuación, se presentan los resultados obtenidos al aplicar el desplazamiento lateral en los tiempos de simulación de 1.1, 1.4, 1.7 y 2 segundos, con el objetivo de describir la evolución de los esfuerzos a lo largo del tiempo.

Los esfuerzos de Von Mises, que representan las tensiones de falla del material, se distribuyeron inicialmente sobre la parte central de la mampostería, con valores alrededor de 0.58 MPa. La Figura 10 revela que, a medida que transcurre el tiempo, las tensiones se agrupan en forma de puntales diagonales que atraviesan el muro. Esta concentración de tensiones provoca un aumento progresivo en los esfuerzos, generando zonas donde el



material es propenso a fallar. La tensión máxima que experimentó el muro al final de la simulación fue de aproximadamente 1.02 MPa.

Figura 10
Evolución de los esfuerzos de Von Mises

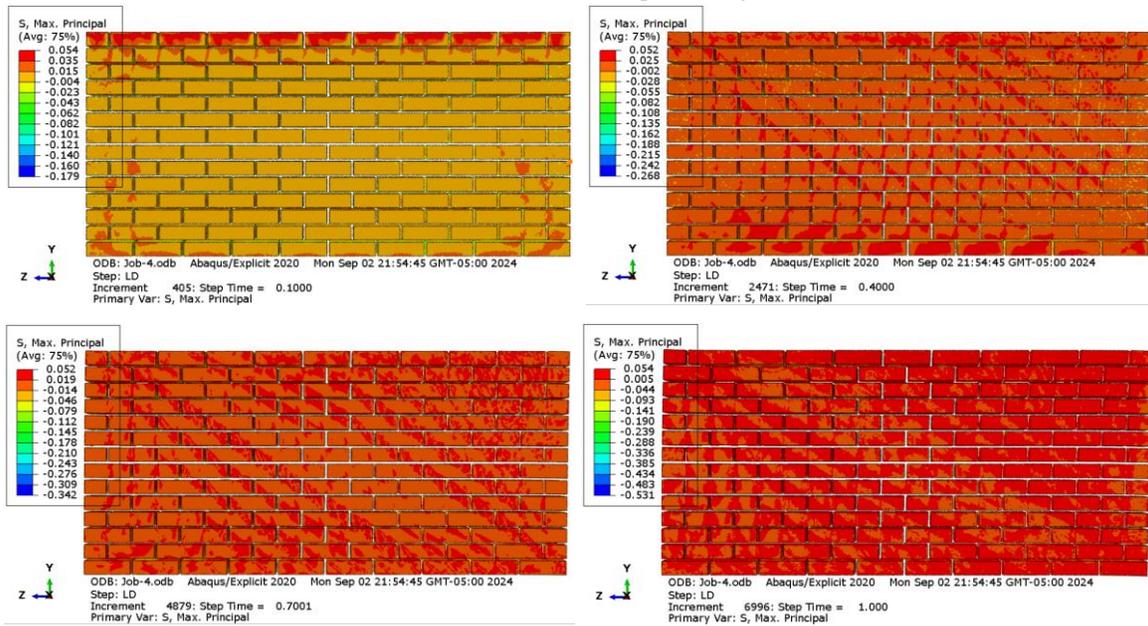


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11 se muestra la evolución de los esfuerzos máximos principales, correspondientes a los esfuerzos de compresión. Como se puede apreciar, estos esfuerzos se distribuyen de manera casi uniforme en la superficie del muro. Inicialmente, las tensiones aparecen sobre la última hilera de adobes, en la parte superior del muro, y con el tiempo se propagan a lo largo de toda la estructura, alcanzando un valor máximo de esfuerzo de compresión de aproximadamente 0.054 MPa.

Figura 11
Evolución de la tensión máxima principal





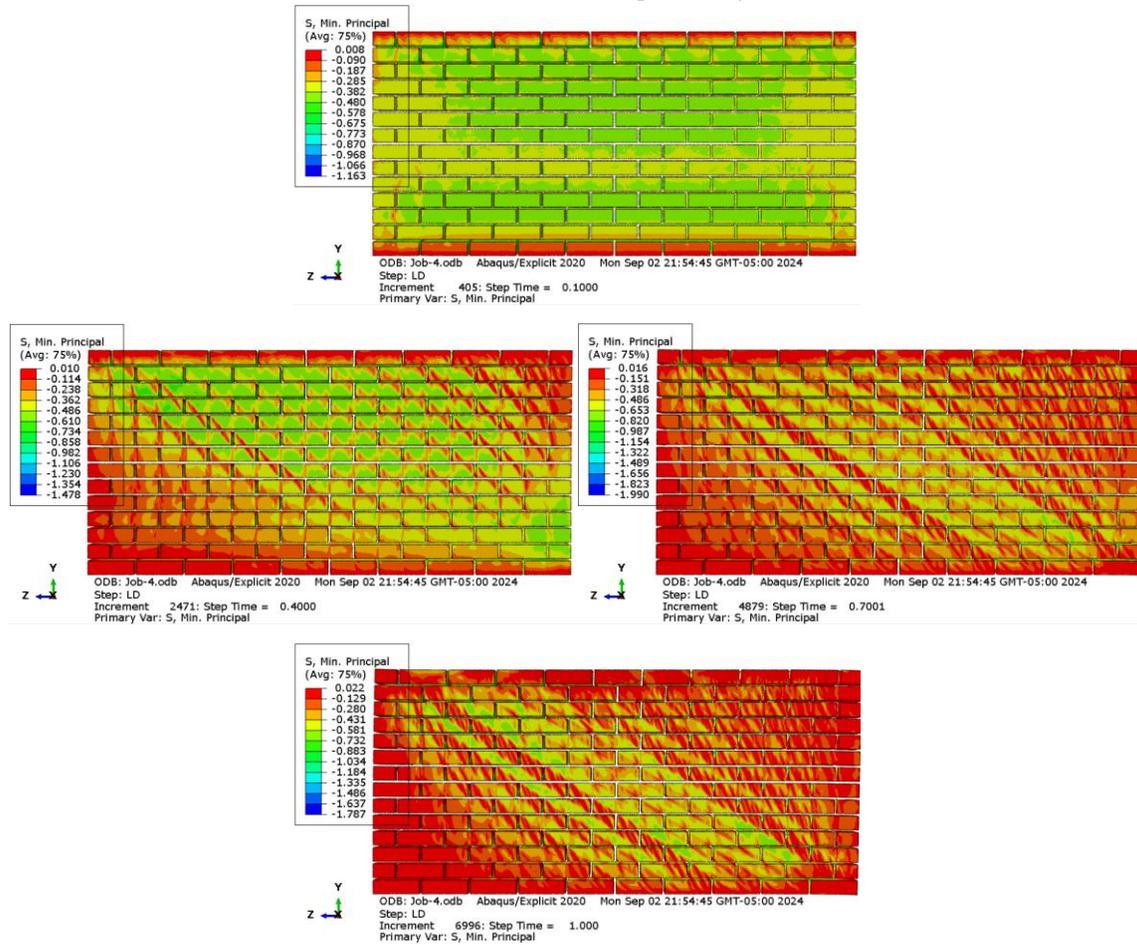
Fuente: Elaboración propia

El desplazamiento lateral aplicado no genera mayores esfuerzos de compresión en la mampostería de adobe. Dado que no se identifican concentraciones significativas de esfuerzos, no se presentará daño por compresión.

Las tensiones de tracción se presentan en la Figura 12, a través de las tensiones mínimas principales generadas por el software Abaqus. Al inicio de la aplicación del desplazamiento, cuando la estructura se ha deformado 0.95 mm, los esfuerzos se concentran en la parte central de la pared, con valores que se aproximan a 0.7 MPa. A medida que transcurre el tiempo, las tensiones comienzan a concentrarse en forma de diagonales que atraviesan el muro. En la etapa final del estado de desplazamiento lateral, cuando la deriva alcanza los 120 mm, las máximas tensiones de tracción se distribuyen sobre cinco diagonales, alcanzando valores de hasta 1 MPa.

Figura 12
Evolución de la tensión mínima principal



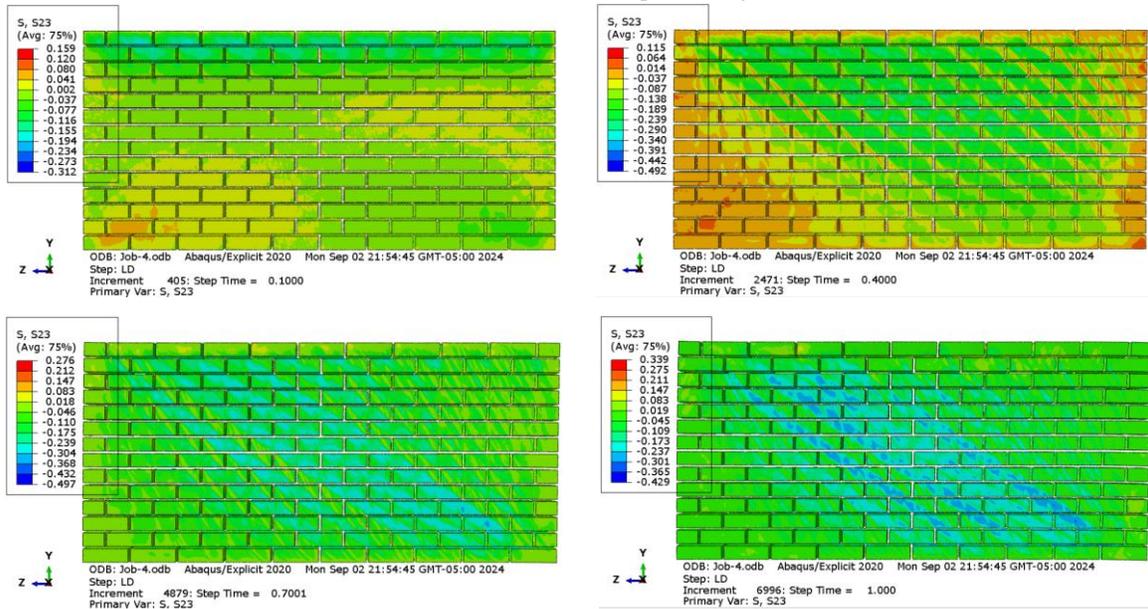


Fuente: Elaboración propia

Las tensiones de corte presentadas en la Figura 13 muestran una evolución de los esfuerzos similar a la de las tensiones de tracción; sin embargo, se evidencia una mayor concentración de tensiones sobre las cinco diagonales que se proyectan desde la esquina superior izquierda hacia la esquina inferior derecha del muro. Esto está relacionado con las zonas de agrietamiento del material.

Figura 13
Evolución de las tensiones a corte generadas en el plano Z-Y



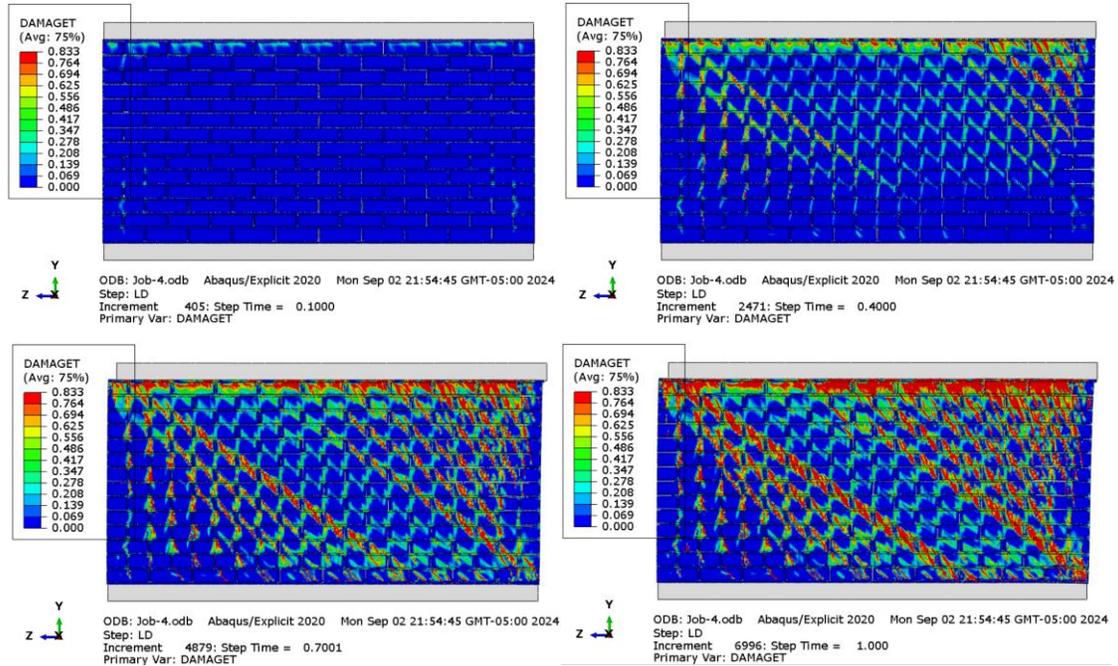


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14 se presenta la evolución del daño plástico a tracción en la mampostería de adobe modelada en Abaqus. Después de la aplicación de la carga gravitacional, el muro no presentó daño por tracción. Sin embargo, en el primer instante de aplicación del desplazamiento lateral, el daño se hizo evidente en la última hilada superior de adobes. Con el transcurso del tiempo, el daño comenzó a propagarse de manera diagonal desde la parte superior izquierda del muro hasta la esquina inferior derecha. Las zonas marcadas con colores rojizos indican los puntos donde el material está más dañado, y donde un aumento progresivo del desplazamiento provocará la rotura del material. Como se puede observar, la parte superior del muro, así como los puntales diagonales, son las zonas críticas, donde el valor de daño del material alcanza hasta 0.83.

Figura 14
Evolución del daño plástico a tracción



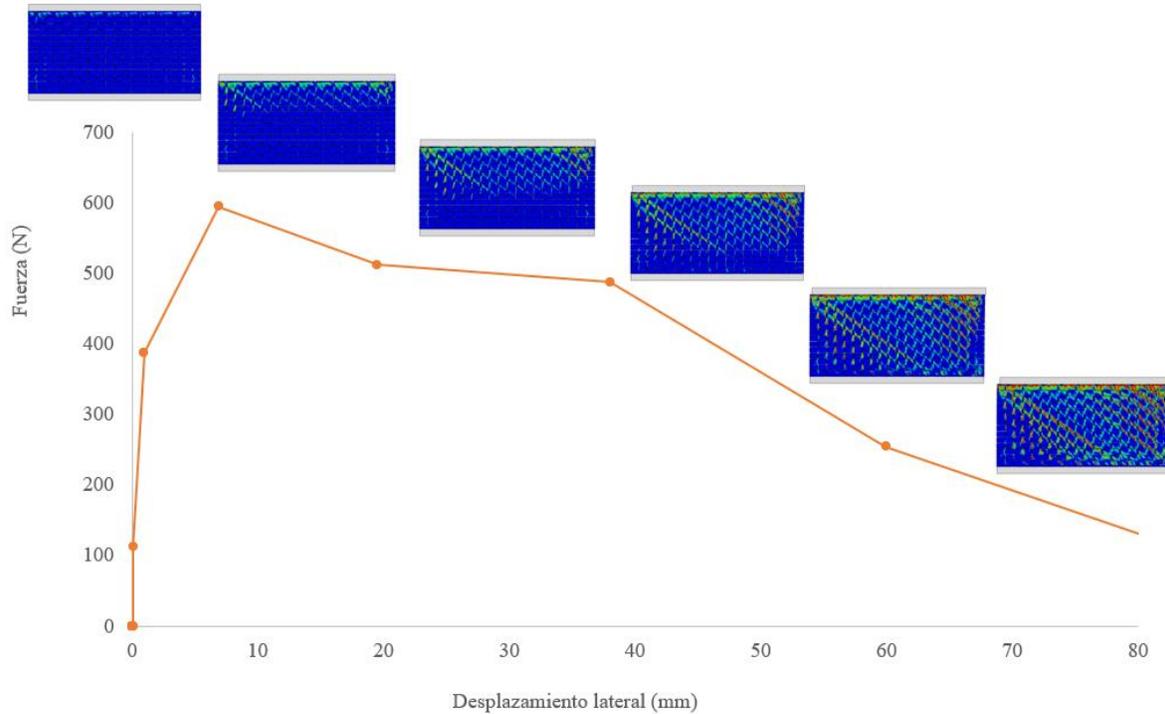


Fuente: Elaboración propia

Se tomaron la fuerza de reacción y el desplazamiento lateral en la dirección Z (U_3) desde la parte superior del muro, y se extrajeron del software para generar la curva de capacidad Pushover (Figura 15) de la mampostería de adobe modelada en Abaqus.

Figura 15
Curva de capacidad de la mampostería de adobe





Fuente: Elaboración propia

La curva de capacidad mostró que la mampostería de adobe tiene muy poca capacidad de resistir fuerzas laterales. En su rango elástico, la mampostería únicamente asimiló una fuerza de 388.13 N con una deformación de 0.95 mm. Posteriormente, en el rango inelástico, la curva alcanzó una sobrerresistencia, logrando una fuerza máxima de 594.97 N con una deformación de 6.88 mm. A partir de este punto, la curva comenzó a descender, lo que indicó una pérdida de resistencia. Se observó un comportamiento con poca ductilidad, donde la estructura no es capaz de mantener deformaciones plásticas, ya que presenta una disminución considerable en su resistencia, acercándose al colapso.

La curva de comportamiento estructural demostró que la mampostería de adobe tiene muy poca capacidad para deformarse elásticamente, alcanzando solo hasta aproximadamente 1 mm de deformación. A partir de este límite, la estructura es afectada por deformaciones plásticas que comprometen su integridad.

En la Figura 15 también se observa el daño por tracción que presenta la mampostería de adobe en función de la fuerza y el desplazamiento lateral en un tiempo determinado de simulación. Se aprecia que, durante el rango de comportamiento elástico de la curva, el muro

no presenta daño. El daño comienza en el rango plástico y evoluciona en forma de diagonales. A medida que el desplazamiento aumenta, la fuerza resistente disminuye y el daño se incrementa.

Discusión

Este estudio llevó a cabo la caracterización del daño en mamposterías de adobe afectadas por deslizamientos, tomando como caso de estudio el barrio Rosas del cantón Nabón, Ecuador. Se analizaron los esfuerzos producidos por cargas gravitacionales y laterales, así como el daño resultante de su aplicación, mediante un modelo computacional de elementos finitos en el software Abaqus. Los resultados proporcionan una comprensión profunda del comportamiento estructural de las mamposterías de adobe bajo condiciones típicas de carga en zonas afectadas por deslizamientos. Esto representa una herramienta valiosa para el desarrollo de nuevas técnicas de construcción en adobe, así como para la implementación de estrategias adecuadas de mitigación y rehabilitación.

A través de este estudio, se logró determinar los esfuerzos que experimentan las mamposterías de adobe en Nabón bajo cargas de compresión (gravitacionales) y desplazamientos laterales. La carga gravitacional generó esfuerzos de compresión en las paredes, lo que concuerda con las características del adobe, conocido por su capacidad para soportar cargas verticales. En contraste, al aplicar desplazamientos laterales, se observaron esfuerzos de tracción y cortante en la superficie de la mampostería. A medida que el desplazamiento aumentaba, surgieron concentraciones de esfuerzos en forma de diagonales. Este incremento progresivo en los esfuerzos, una vez superada la capacidad resistente del adobe, dio lugar a la formación de fisuras que eventualmente desencadenaron la falla estructural. Este comportamiento sugiere que las mamposterías de adobe deben ser reforzadas para mejorar su resistencia ante fuerzas y desplazamientos horizontales, inducidos por fenómenos como sismos o movimientos de masa.

Los hallazgos de esta investigación son coherentes con estudios previos que subrayan la fragilidad de las estructuras de adobe frente a cargas horizontales, como las causadas por sismos. Por ejemplo, el estudio desarrollado por Chacón et al. (2021) sobre una estructura patrimonial de adobe en Quito, Ecuador, destaca las bajas propiedades de resistencia a la tracción y la poca ductilidad del adobe, lo que lo hace susceptible a daños bajo cargas laterales. Dichos autores emplearon un modelo de elementos finitos para diseñar el reforzamiento de esa estructura. No obstante, este estudio aporta de manera significativa al evaluar los esfuerzos y la mecánica de fractura en mamposterías de adobe.



La identificación de las zonas más propensas al daño en las mamposterías de adobe facilita los estudios para la implementación de refuerzos estructurales. Por ejemplo, la inclusión de contrafuertes o refuerzos con perfiles de acero puede mejorar la resistencia frente a cargas laterales, constituyendo un avance importante en la construcción y rehabilitación de mamposterías de adobe.

El estudio de la mecánica de fractura en estas mamposterías sugiere la implementación de técnicas orientadas a mejorar la cohesión tanto en los bloques de adobe como en el mortero de las juntas. Además, una adecuada técnica de colocación podría incrementar la resistencia al corte de los materiales y, por ende, de la estructura en general. Esto se podría lograr mediante la adición de nuevos materiales a las mezclas.

A pesar de los aportes mencionados, este estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, la metodología de análisis mediante elementos finitos en Abaqus incluye la caracterización de los materiales a través del modelo CDP, que requiere la introducción de varios parámetros relacionados con las propiedades del adobe y el mortero. Estas propiedades pueden variar considerablemente según la zona de estudio, la antigüedad de los materiales, su composición y las técnicas de secado. Asimismo, los materiales fueron modelados como sólidos, sin considerar la irregularidad de los bloques de adobe y del mortero, ni la heterogeneidad intrínseca de su composición. Estas limitaciones pueden influir directamente en los resultados obtenidos.

Además, este estudio se centró en el análisis de cargas estáticas, como las gravitacionales y laterales, dejando de lado los efectos dinámicos, como torsiones, que son relevantes para el análisis estructural en escenarios de sismos o movimientos de masa severos. Por tanto, es necesario evaluar el daño en las mamposterías de adobe fuera del plano.

Estas limitaciones pueden abordarse en futuras investigaciones, mediante la caracterización de los materiales a través de ensayos de laboratorio que permitan una mejor calibración del modelo de elementos finitos. Además, incluir la heterogeneidad de los materiales en el modelo proporcionaría una representación más precisa del comportamiento de las mamposterías de adobe.

Conclusiones

El estudio de la mecánica de fractura en mamposterías de adobe afectadas por deslizamientos, mediante el modelamiento por elementos finitos en el software Abaqus, proporciona avances



significativos en la comprensión de la distribución de esfuerzos y la identificación de zonas propensas a daño en los muros de las viviendas del barrio Rosas, cantón Nabón.

Los resultados destacan la fragilidad de las mamposterías de adobe frente a cargas y desplazamientos laterales, como los inducidos por movimientos de masa o sismos. El modelo computacional en Abaqus mostró una resistencia de solo 388.13 N con una deformación de 0.95 mm en el rango de comportamiento elástico de la estructura. Esto implica que, después de alcanzar esa fuerza y desplazamiento lateral, el muro comenzará a sufrir daño.

Aunque no se evidenció daño bajo la aplicación de cargas gravitacionales, las cargas laterales generaron concentraciones de esfuerzos en forma diagonal sobre las mamposterías, lo que permitió identificar las zonas más vulnerables. Se concluye que las mamposterías de adobe requieren intervenciones orientadas a implementar técnicas de reforzamiento frente a fenómenos geológicos adversos.

Este estudio contribuye al conocimiento existente sobre el comportamiento de las estructuras de adobe y sienta las bases para un análisis más detallado que aborde las limitaciones identificadas. Se sugiere llevar a cabo investigaciones futuras orientadas al análisis dinámico de las mamposterías de adobe, permitiendo estudiar la mecánica de fractura de la estructura fuera del plano.

Referencias bibliográficas

- Cevallos, S. (2010). Análisis de la Estabilidad y Diagnóstico del Talud de la Zona No 2 en Guarumales [Maestría en Geología Aplicada Y geotecnia, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3291>
- Chacón, J., Suquillo, B., Sosa, D., & Celi, C. (2021). Evaluation and reinforcement of an adobe heritage structure with plan irregularities. *Revista Politecnica*, 47(1), 43–56. <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n1.05>
- Cordero, A., & Peñafiel, N. (2017). Caracterización hidrológica del macro deslizamiento Guarumales [Escuela de ingeniería civil, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27318>
- García, H., Jiménez-Pacheco, J., & Ulloa, J. (2024). Effective properties of masonry structures and macro-model analysis with experimental verification. *Results in Engineering*, 23, 102546. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102546>



Gobierno Provincial del Azuay. (2019). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia del Azuay. https://www.azuay.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/PDOT-AZUAY-ALINEADO-PND-2021-2025_compressed.pdf

Kent, D. C., & Park, R. (1971). Flexural members with confined concrete. *Journal of the Structural Division*, 97(7), 1969–1990. <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0002957>

Marín, D., & Morocho, Y. (2022). Vulnerabilidad sísmica de una vivienda de mampostería de arcilla típica del centro histórico de Cuenca [Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Cuenca]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/14140>

NEC. (2015). Estructuras de madera. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf>

Perez, B. (2021, June 28). El cantón Nabón afectado por hundimientos. *El Mercurio*. <https://elmercurio.com.ec/2021/06/28/el-canton-nabon-afectado-por-hundimientos/>

Quiroz, P., Moreno, J., Galván, A., & Arroyo, R. (2019). Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio. *Acta Universitaria*, 29, 1–13. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1861>.

Unidad de Monitoreo de Eventos Adversos Azuay - Cañar. (2022). Informe de Situacion No. 03 - Deslizamiento. https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2022/01/Informe-de-Situacion-No-003-Nabon_03012022_matriz.....pdf



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

