

Comportamiento de muros de adobe con aislamiento sísmico empleando *shicras* bajo carga lateral monotónica

Resumen

Gerardo Revelo Sánchez

Universidad Nacional del Santa. Nuevo
Chimbote, Perú.

<https://orcid.org/0000-0002-7136-1992>

Fidel Aparicio Roque

Universidad Nacional Santiago Antúnez
de Mayolo - Huaraz - Perú.

<https://orcid.org/0000-0003-1405-7588>

Fernando Arias Enriquez

Universidad Nacional Santiago Antúnez
de Mayolo - Huaraz - Perú.

<https://orcid.org/0000-0002-3790-1131>

Atilio López Carranza

Universidad Nacional del Santa -
Chimbote, Perú.

<https://orcid.org/0000-0002-3631-2001>

Flor Jara Remigio

Universidad Nacional Santiago Antúnez
de Mayolo - Huaraz - Perú.

<https://orcid.org/0000-0002-4035-4765>

Debido a los limitados recursos económicos y al fácil acceso al suelo como material de construcción, los pobladores de las zonas rurales suelen construir sus viviendas con adobes, sin aplicar técnicas ni normas de diseño antisísmico. Esto hace que dichas viviendas sean altamente vulnerables frente a los sismos. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de los muros de adobe con aislamiento sísmico mediante el uso de *shicras* bajo carga lateral monotónica. Para ello, se aplicó la técnica de construcción antisísmica utilizada por la civilización Caral. Se realizó el diseño de cuatro tratamientos: T_0 (sobrecimiento convencional), T_1 (sobrecimiento de *shicras* con piedras de 5 pulg), T_2 (sobrecimiento de *shicras* con piedras de 3 pulgadas) y T_3 (sobrecimiento de *shicras* con piedras de 1 pulgada) con tres repeticiones para cada tratamiento. Los ensayos realizados en campo demostraron que los muros 7, 8 y 9, correspondientes al tratamiento T_2 lograron los mayores desplazamientos máximos, con valores de 12,83 mm, 12,12 mm y 13,09 mm en los muros 7, 8 y 9, respectivamente. Además, estos muros resistieron cargas laterales máximas de 13,43 kN, 13,92 kN y 12,94 kN. Los sobrecimientos construidos con piedras envueltas en *shicras* actuaron como un aislamiento tipo rodillo, proporcionando rigidez en el plano vertical y flexibilidad en el horizontal.

Palabras claves: Shicras, Aislamiento sísmico, Carga monotónica

Cómo citar este artículo: Revelo Sánchez, G., Aparicio Roque, F., Arias Enriquez, F., López Carranza, A., & Jara Remigio, F. (2024). Comportamiento de muros de adobe con aislamiento sísmico empleando *shicras* bajo carga lateral monotónica. *Aporte Santiaguino*, 17(2), Pág. 181–194. <https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n2.1191>

Recibido: 2024-08-17 | **Aceptado:** 2024-11-12



Behavior of adobe walls with seismic isolation using *shicras* subjected to monotonic lateral load

Due to limited economic resources and easy access to soil as a building material, rural dwellers often build their homes with adobes, without applying anti-seismic design techniques or standards. This makes these homes highly vulnerable to earthquakes. In this context, the present research aimed to evaluate the behavior of adobe walls with seismic isolation through the use of *shicras* under monotonic lateral loading. To do this, the anti-seismic construction technique used by the Caral civilization was applied. Four treatments were designed: T0 (conventional overhang), T1 (overhang of *shicras* with 5-inch stones), T2 (overhang of *shicras* with 3-inch stones) and T3 (overhang of *shicras* with 1-inch stones) with three replications for each treatment. The field tests showed that walls 7, 8 and 9, corresponding to the T2 treatment, achieved the highest maximum displacements, with values of 12.83 mm, 12.12 mm and 13.09 mm in walls 7, 8 and 9, respectively. In addition, these walls withstood maximum lateral loads of 13.43 kN, 13.92 kN and 12.94 kN. The foundations built with stones wrapped in *shicras* acted as a roller-type insulation, providing rigidity in the vertical plane and flexibility in the horizontal.

Keywords: Shicras, Seismic isolation, Monotonic loading

Introducción

Sánchez et al. (2021) manifiestan que el suelo es considerado como uno de los materiales de construcción más antiguos jamás conocidos. Existe evidencia arqueológica que demuestra su empleo desde hace miles de años. Gama et al. (2012) afirman que a lo largo de miles de años el adobe ha sido ampliamente empleado como material de construcción en viviendas por los pueblos indígenas en América, desde el suroeste de EE. UU. hasta Mesoamérica y la región andina de

Sudamérica. Agüero et al. (2015) argumentan que las construcciones en los países ubicados en la zona del Cinturón del Fuego del Pacífico y los que tienen presencia de fallas geológicas enfrentan un nivel elevado de vulnerabilidad ante terremotos.

Con el objetivo de reforzar los muros de adobe, Meybodan et al. (2020) evaluaron su desempeño bajo carga lateral en el plano utilizando materiales naturales como refuerzo. Entre los materiales probados, se incluyeron malla de palma adherida externamente en diferentes configuraciones, malla de plástico adherida externamente, y refuerzos con cuerda de palma y junco. Los resultados mostraron que el muro reforzado con malla de palma alcanzó una carga máxima de empuje de 52,4 kN, con un desplazamiento lateral de 17,5 mm. De manera similar, Reyes et al. (2019) investigaron el comportamiento sísmico de paredes de adobe y tierra apisonada reforzadas con mallas de acero y materiales sintéticos, demostrando la efectividad de estos refuerzos en mejorar la resistencia estructural frente a cargas sísmicas.

Zhang et al. (2022) evaluaron el desempeño sísmico de pared de adobe utilizando el método de refuerzo montado cerca de la superficie. Los materiales de refuerzo fueron vigas de mortero armado en diferentes arreglos, confinado con bambú y madera. La carga máxima de empuje fue de 98,70 kN, soportada por la pared reforzada con vigas de mortero armado en forma de diagonal en la parte central y con todos sus lados confinados, con un desplazamiento lateral de 9,92 mm. También Zhang et al. (2020) investigaron el comportamiento sísmico de un muro de adobe reforzado con acero de paredes delgadas, conformado en frío. La carga máxima de empuje soportado por el muro reforzado fue de 30,10 kN, con un desplazamiento último de 40,90 mm.

Eslami et al. (2022) propusieron un método de refuerzo interno para mejorar el desempeño lateral

cíclico en el plano de los muros de adobe. Este método consistió en el uso de cañas recubiertas de arena como material de refuerzo, configuradas en diferentes arreglos: tres cañas verticales, cinco cañas verticales, cinco cañas verticales con siete horizontales, y cinco cañas verticales con siete horizontales partidas. Los resultados mostraron que el muro reforzado con cinco cañas verticales y siete horizontales partidas alcanzó la mayor carga máxima de empuje, con un valor de 44,36 kN, acompañado de un desplazamiento lateral de 22,36 mm.

Fukuyama et al. (2013) realizaron la prueba de mesa vibratoria para investigar las propiedades de respuesta a terremotos de los cimientos de *shicra* del santuario de Caral. Construyeron *shicras* que envolvieron piedras de 15 a 20 cm de diámetro, donde se observó que los aislamientos en la base con *shicra* rodaron durante la vibración como si fuera un aislamiento tipo rodillo. En los años posteriores, Fukuyama et al. (2016) investigaron la importancia de las técnicas antiguas de 3500 a 5000 A.C. para reducir la aceleración de la respuesta sísmica en las antiguas subestructuras con *shicras* llenas de piedras.

Un estudio sobre el empleo de *shicras* fue realizado por Aguilar et al. (2019). Evaluaron el efecto sísmico de aplicación de *shicras* en muros de adobe en zonas altoandinas de la provincia de Concepción – Junín. Esta técnica demostró una liberación de energía sísmica. La de dos capas tuvo mayor eficiencia.

El 15 de agosto de 2007 un terremoto de 8,0 grados en la escala de Richter ocurrió en la costa Centro Sur del Perú. Causó un impacto significativo en la región Ica. Aproximadamente 600 personas perdieron la vida. Los principales daños se produjeron en las viviendas hechas con muros de adobe (Blondet et al., 2011).

Según Salazar (2022), el 31 de mayo de 1970 la región Áncash sufrió uno de los terremotos más grandes de la historia del Perú, con una magnitud de 7,9 grados en la escala de Richter. Las casas hechas de paredes gruesas de adobe y techos de tejas no soportaron

la fuerza sísmica. Clarke (2015) manifiesta que a causa del terremoto de 1970 murieron en total 60 mil personas y otros 140 mil resultaron heridas. El 80 % de viviendas en la zona afectada colapsaron o sufrieron daños estructurales de gran consideración. En la sierra, miles de casas de adobe se derrumbaron produciendo mayor cantidad de víctimas.

En el análisis del comportamiento de los muros de adobe se utiliza piedras envueltas con *shicras* como un sobrecimiento, donde se determina el desplazamiento máximo y forma de falla debido a una carga lateral.

Modos de falla en muros de adobe por sismo en el plano

La forma en la que la mampostería colapsa durante un terremoto, ya sea dentro o fuera del plano, está determinada por diversos factores como la calidad de los materiales utilizados, la relación de esbeltez, la masa de la estructura, la vibración generada y el tamaño de la carga vertical que se aplica sobre el elemento estructural (Preciado, 2011).

Agrietamiento diagonal (AD). - La falla por corte diagonal se da cuando la resistencia a tensión de la mampostería es excedida debido a la combinación de esfuerzos cortantes y verticales.

Deslizamiento (D). - La falla por deslizamiento y cortante tiene lugar cuando las fuerzas verticales son mínimas y las juntas de mortero no ofrecen una resistencia significativa.

Balanceo (B). - Esta falla se presenta cuando la capacidad de resistencia al esfuerzo cortante de la mampostería es elevada y las cargas aplicadas generan un momento mucho mayor al esfuerzo cortante.

Aplastamiento en Pie de Muro (AP). - La falla se genera debido al efecto de puntal que ocurre cuando el cuerpo del muro se separa de los elementos de confinamiento (Calderón, 2005).

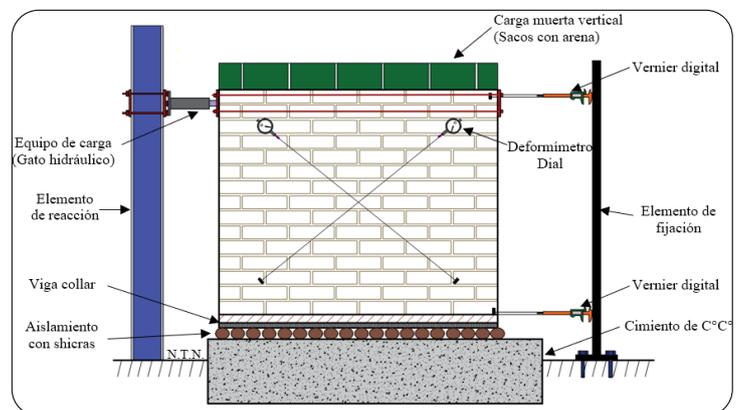
Materiales y métodos

La investigación se basa en las teorías sobre el uso de las *shicras* como aislamiento sísmico. Barbachán et al. (2022) mencionan que el Perú se encuentra ubicado en una zona propensa a terremotos. Conocedores de este problema, nuestros antepasados aplicaron la técnica de *shicras* en la base de sus estructuras de importancia para minimizar los efectos. Es un sistema sismorresistente que libera parte de la energía sísmica para transformarla en energía cinética. Altamirano y Bueno (2011) manifiestan que en la civilización Caral utilizaron la técnica de las *shicras* como disipadores de energía en sus estructuras. Las instalaron dentro de las paredes y bases de los templos.

La investigación fue aplicada, con un nivel de investigación explicativa y diseño de investigación experimental. El diseño estadístico fue completamente al azar (DCA). La población estuvo conformada por 4 tratamientos y 3 muestras (repeticiones) por cada población.

Los muros de adobe fueron diseñados con diferentes tratamientos en el sobrecimiento: T_0 : sobrecimiento convencional de barro y piedras, T_1 : sobrecimiento con piedras de 5 pulgadas de diámetro envueltas con *shicras* elaboradas con drizas, T_2 : sobrecimiento con piedras de 3 pulgadas de diámetro envueltas con *shicras* elaboradas con drizas y T_3 : sobrecimiento con piedras de 1 pulgada de diámetro envueltas con *shicras* elaboradas con drizas.

Figura 1
Esquema de ensayo en muro bajo carga lateral monotónica



Unidades de adobe

Las unidades de adobe fueron elaboradas de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.080 del RNE y el *Manual de construcción de edificaciones antisísmicas de adobe* del Ministerio de vivienda. Las medidas de los adobes han sido de 0,40 m de ancho por 0,40 m de largo y 0,12 m de alto.

Pruebas de laboratorio

Se realizaron los ensayos de compresión de cubos, ensayo brasileño a la tracción, ensayo de mortero a la tracción indirecta y ensayo de compresión de pilas y ensayo de tracción indirecta en muretes. Estos ensayos estuvieron de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.080 del RNE y fueron realizados en el laboratorio Mathlab Ingeniería Sismorresistente E. I. R. L., con equipos certificados y calibrados para ensayos de materiales.

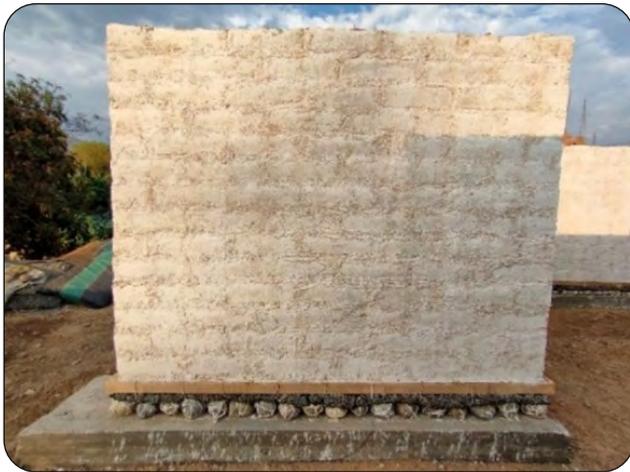
Ensayo de carga lateral monotónica

Las *shicras* rellenas de piedra fueron utilizadas como núcleos en las construcciones de la cultura Caral. Se evidenció que son capaces de atenuar las energías sísmicas. Teniendo en cuenta esta técnica ancestral, se adaptaron los muros experimentales para ser sometidos a carga lateral monotónica y evaluar el desplazamiento máximo y modo de falla. Se utilizó la máquina universal de ensayos, certificado y calibrado por el laboratorio de metrología AG4 Ingeniería y Metrología S. R. L.

Los muros de adobe tuvieron la medida de 2,50 m de largo, 2,00 m de alto y 0,40 m de ancho. La carga muerta vertical representó el peso de la cubierta (peso propio y carga viva) de la vivienda, determinado mediante el metrado de carga igual a 0,50 ton. La mampostería de adobe fue construida con unidades de adobe tradicional (barro y paja) y asentada con mortero de barro (arcilla y arena). También se usó una viga collar como capa superior del sobrecimiento, elemento estructural de madera de espesor de 0,08 m. También se empleó *shicra* con piedras de ½ pulgada como capa intermedia del sobrecimiento de espesor de 0,04 a 0,07 m. Además, *shicras* con piedras para los diferentes tratamientos como capa inferior del sobrecimiento. Cimiento de concreto ciclópeo 1:10 + 30 % piedra grande con una profundidad de 0,60 m. y ancho de 0,60 m.

Figura 2

Muro con sobrecimiento de shicras con piedras de 5 pulgadas



Resultados y discusión

Ensayos en laboratorio

Se realizaron los ensayos en laboratorio para conocer las propiedades mecánicas del adobe y el mortero. Los resultados se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 1

Ensayos en laboratorio de las propiedades mecánicas del adobe y mortero

Muestra	Resistencia a compresión en cubos (kg/cm ²)	Resistencia a tracción indirecta cilindros (kg/cm ²)	Resistencia a tracción indirecta mortero (kg/cm ²)
1	20,63	1,17	0,26
2	20,77	2,30	0,19
3	18,10	2,66	0,22
4	20,20	2,82	0,15
5	16,30	2,98	0,17
6	16,88	2,22	0,21

Según los resultados de resistencia última, a compresión en cubos, el promedio de las cuatro mejores muestras es 19,93 kg/cm², superando a lo indicado en la NTP E.080, que es igual a 10,20 kg/cm². De acuerdo a lo establecido en la NTP E.080, el promedio de la resistencia a la tracción indirecta en cilindros de las cuatro mejores muestras ensayadas es 2,69 kg/cm², siendo mayor a la resistencia última de 0,81kg/cm².

De acuerdo a lo indicado en la NTP E.080, el promedio de la resistencia a tracción indirecta en mortero de las cuatro mejores muestras ensayadas es igual a 0,22 kg/cm², siendo mayor a la resistencia última de 0,12 kg/cm².

De acuerdo a lo establecido en la NTP E.080, el promedio de la resistencia a la compresión en pilas de las cuatro mejores muestras es de 10,66 kg/cm², superando a la resistencia ultima de 6,12 kg/cm². Según los resultados, el promedio de las cuatro mejores muestras a compresión diagonal es 0,33 kg/cm². Este valor es mayor a la resistencia última indicada de 0,25 kg/cm².

[Comportamiento de muros de adobe con aislamiento sísmico empleando *shicras* bajo carga lateral monotónica]

Ensayo de muros a carga lateral monotónica

Tabla 2

Resumen de los resultados y comparación con todas las muestras de prueba en los muros de adobe

Tratamiento	Muro de abobe	Carga máxima lateral (kN)	Desplazamiento a carga máxima (mm)	Modo de falla
T ₀	1	18,22	0,00	AD
	2	19,32	0,00	AD
	3	19,14	0,00	AD
	4	16,01	5,97	AD
T ₁	5	15,33	6,68	AD
	6	15,76	6,22	AD
	7	13,43	12,83	AD
T ₂	8	13,92	12,12	AD
	9	12,94	13,09	AD
T ₃	10	16,13	5,15	AD
	11	17,17	4,07	AD
	12	16,50	4,54	AD

Los muros con sobrecimiento convencional (T₀) soportaron mayor fuerza lateral sin desplazamiento en la base, presentando un modo de falla por agrietamiento diagonal. Los muros con sobrecimiento de *shicras* con piedras de 3 pulgadas (T₂) soportaron menor carga lateral y mayor desplazamiento en la base, presentando un modo de falla por agrietamiento diagonal. De acuerdo a lo indicado por Fukuyama et al. (2013), se comprueba que todos los sobrecimientos de *shicras* rodaron durante el ensayo como si fueran un aislamiento tipo rodillo. Se comprueba que las *shicras* liberan energía sísmica a través del rodamiento de las piedras (Aguilar et al., 2019).

La carga lateral máxima de 19,32 kN y el desplazamiento máximo de 13,09 mm no superaron a los resultados mostrados por Meybodan et al. (2020) y Eslami et al. (2022) en sus investigaciones, donde las cargas laterales fueron de 52,4 kN y 44.36 kN y los desplazamientos de 17,5 mm y 22.36 mm respectivamente.

Análisis de varianza de la carga lateral máxima

Tabla 3

Prueba de homogeneidad de varianza de los datos de carga lateral máxima

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	0,409	3	8	0,751
Se basa en la mediana	0,097	3	8	0,959
Se basa en la mediana y con gl ajustado	0,097	3	5,851	0,959
Se basa en la media recortada	0,378	3	8	0,772

Tabla 4

Análisis de varianza de la carga lateral máxima para los diferentes tratamientos

Fuente de variación (FV)	Grado de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Valor de F	Pr (>F)
Tratamientos	3	45,987	15,329	62,286	6.88e-06
Residuos	8	1,969	0,246		
Total	11	47,956			

Se ha planteado como hipótesis nula que en ninguno de los tratamientos empleando *shicras* como aislamiento sísmico influye significativamente en el comportamiento de los muros de adobe bajo carga lateral monotónica.

El valor de p es menor a 0,05, por lo que existe significancia entre las medias de los tratamientos para la fuerza lateral máxima soportada, por lo que se rechaza la hipótesis nula. En tal sentido, los tratamientos con aislamiento sísmico empleando *shicras* influyen en el comportamiento del muro.

Se demuestra que los muros de sobrecimientos con piedras de 3 pulgadas de diámetro, envueltas

con *shicras*, han soportado menor carga lateral antes de la falla, lo que indica que no son rígidos horizontalmente como los muros de adobe con cimientos convencionales que fallan repentinamente ante un evento sísmico. Teniendo en cuenta estos resultados y los materiales utilizados se puede adoptar para la construcción de viviendas con adobe.

Tabla 5

Prueba Post Hoc de Duncan para la carga lateral máxima

Tratamiento	N	Sub conjuntos para alfa = 0.05		
		1	2	3
Tratamiento 2	3	13,43		
Tratamiento 1	3	15,70		
Tratamiento 3	3	16,60		
Tratamiento 0	3	18,89		
Sig.		1,00	0,06	1,00

De la prueba de comparación de medias Duncan, se determina que no existe diferencia significativa entre los tratamientos T₁ y T₃ para la fuerza lateral máxima, teniendo un comportamiento similar.

Análisis de varianza del desplazamiento máximo

Tabla 6

Prueba de homogeneidad de varianza de los datos de desplazamiento máximo

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Se basa en la media	2,446	3	8	0,139
Se basa en la mediana	1,106	3	8	0,402
Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,106	3	5,404	0,424
Se basa en la media recortada	2,342	3	8	0,149

Tabla 7

Análisis de varianza del desplazamiento máximo para los diferentes tratamientos

Fuente de variación (FV)	Grado de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Valor de F	Pr (>F)
Tratamientos	3	247,965	82,655	489,782	2.11e-09
Residuos	8	1,350	0,169		
Total	11	249,315			

El valor de p es menor a 0,05, por lo que existe significancia entre las medias de los tratamientos para el desplazamiento máximo en la base. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. En tal sentido, los tratamientos con aislamiento sísmico empleando *shicras* influyen en el comportamiento del muro.

Tabla 8

Prueba Post Hoc de Duncan para el desplazamiento máximo

Tratamiento	N	Sub conjuntos para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Tratamiento 0	3	0,00			
Tratamiento 3	3		4,59		
Tratamiento 1	3			6,29	
Tratamiento 2	3				12,68
Sig.		1,00	1,00	1,00	1,00

De la prueba de comparación de medias Duncan se determina que existe diferencia significativa entre los tratamientos T_0 , T_1 , T_2 y T_3 para el desplazamiento máximo en la base del muro.

Se ha evidenciado que los muros con sobrecimientos de piedras de 3 pulgadas de diámetro, envueltas con *shicras*, se han desplazado más que otros tratamientos, semejante a los aisladores tipo rodillo, lo que indica que ante un evento sísmico se comportan elásticamente y pueden contrarrestar el movimiento.

Conclusiones

De la evaluación del comportamiento de los muros con sobrecimiento convencional y *shicras* sometido a carga lateral monotónica, se concluye que los muros de adobe 7, 8 y 9 correspondientes al tratamiento T_2 con piedras de 3 pulgadas envueltas con *shicras*, mostraron desplazamientos máximos de 12,83 mm, 12,12 mm y 13,09 mm respectivamente, siendo mayores a los otros tratamientos. Además, resistieron menores cargas laterales máximas de 13,43 kN, 13,92 kN y 12,94 kN respectivamente antes de la falla. Con eso se demostró que las *shicras* con piedras de 3 pulgadas son capaces de disipar la energía ante un evento sísmico. Todos los muros presentaron un modo de falla por agrietamiento diagonal por corte en las juntas. Las *shicras* se comportaron como un aislamiento tipo rodillo dando rigidez vertical y flexibilidad horizontal.

Referencias

- Agüero, J., Cerón, J., Gonzales, J. & Méndez, M. (2015, 9-13 de noviembre). *Análisis estructural de dos muros de adobe con diferentes sistemas de aparejo*. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, Ecuador. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6085978.pdf>
- Aguilar, L., Guzmán, L., & Sauñi, C. (2019). Efecto sísmico de aplicación de Shicras en muros de adobe en zonas altoandinas de la provincia de Concepción - Junín. <https://acortar.link/tzGnXO>
- Altamirano, A. J., & Bueno, A. (2011). El Ayni y la Minka: dos formas colectivas de trabajo de las sociedades pre-Chavín. *Investigaciones Sociales*, 15(27), 43-75. <http://dx.doi.org/10.15381/is.v15i27.7659>

- Barbachán, E. A., Barbachán, M. A., Cáceres, J. J., Ruiz, C. N., & Casas, E. R. (2022). Soluciones tecnológicas ancestrales y su aplicación en tiempos actuales. *Universidad y Sociedad*, 14(S1), 476-486. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2658>
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaki, C. (2011). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Informes de la Construcción*, 63(523), 41-50. <https://doi.org/10.3989/ic.10.017>
- Calderón, A. D. (2005). *Modelación inelástica de mampostería confinada ante carga lateral* [Proyecto de Grado, Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/22704/u270997.pdf?sequence=1>
- Clarke, N. (2015). Revolutionizing the Tragic City: Rebuilding Chimbote, Peru, after the 1970 Earthquake [Revolucionando la ciudad trágica: reconstruyendo Chimbote, Perú, después del terremoto de 1970]. *Journal of Urban History*, 41(1), 93-115. <https://doi.org/10.1177/0096144214552392>
- Eslami, A., Mirabi, H., & Ronaghb, H. (2022). Sand-coated reeds as an innovative reinforcement for improving the in-plane seismic behavior of adobe walls [Carrizos recubiertos de arena como refuerzo innovador para mejorar el comportamiento sísmico en el plano de muros de adobe]. *Construction and Building Materials*, 326, 126882. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126882>
- Fukuyama, H., Fujisawa, M., Abe, A., Kabeyasawa, T., Shirane, Z., Saito, T., & Aguilar, Z. (2013). Shaking Table Test on Seismic Response Properties of “Shicras,” Stones Wrapped in Vegetable Fiber Bags [Prueba de mesa vibratoria sobre las propiedades de respuesta sísmica de las “shicras”, piedras envueltas en bolsas de fibra vegetal]. *Journal of Disaster Research*, 8(3), 526-533. <https://doi.org/10.20965/jdr.2013.p0526>
- Fukuyama, H., Fujisawa, M., Abe, A., Kabeyasawa, T., & Shirane Z. (2016). Research on earthquake response reduction properties and its repeatability of the foundation technology used in the sanctuaries dating up to 5,000 years ago [Investigación sobre las propiedades de reducción de la respuesta a terremotos y su repetibilidad de la tecnología de cimentación utilizada en los santuarios que datan de hace 5.000 años]. *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, 16(11), 11-25. https://doi.org/10.5610/jaee.16.11_11
- Gama, J., Tamara, C., Pi-Puig, T., Alcalá, R., Cabadas H., Jasso, C., Díaz, J., Sánchez, S., López, F., & Vilanova, A. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2), 177-178.
- Meybodan, H., Eslami, A., & Morshed, R. (2020). Sustainable lateral strengthening of traditional adobe walls using natural reinforcements [Fortalecimiento lateral sostenible de muros tradicionales de adobe mediante refuerzos naturales]. *Construction and Building Materials*, 260, 119892. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119892>
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2022). *Norma E.080 de Diseño y construcción con tierra reforzada* (16 ed.). Megabyte.

- Sánchez, C., Alonso, E. M., & López, M. C. (2021). Vulnerabilidad sísmica y la pérdida de la vivienda de adobe en Jojutla, Morelos, México, tras los sismos de 2017. *Viviendas y Comunidades Sustentables*, (10), 9-29. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.162>
- Salazar, J. A. (2022). Huaraz a 52 años del terremoto de 1970: lecciones no aprendidas. *Enfermedades y Desastres Sociales*, 14(1), 1-23. <http://dx.doi.org/10.21142/des-1401-2022-0006>
- Zhang, L., Zhou, T., Zhang, Z., Tan, W., & Liang, Z. (2022). Near-surface-mounted retrofitting of adobe walls using different materials: Evaluation of seismic performance [Reforzamiento cercano a la superficie de muros de adobe utilizando diferentes materiales: Evaluación del desempeño sísmico]. *Structures*, 54(137), 1149-1163. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.05.137>
- Zhang, J., Pang, S., Gao, J., Deng, E., Wang, H., & Zhao, J. (2020). Experimental study on seismic behaviour of adobe wall reinforced with cold-formed thin-walled Steel [Estudio experimental sobre el comportamiento sísmico de un muro de adobe reforzado con acero de paredes delgadas conformado en frío]. *Thin-Walled Structures*, 147, 106493. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106493>