



Diseño Sismorresistente de Viviendas De Adobe Considerando Criterios de Termicidad

Daniela **Suarez Pinto**

Independiente • **Bolivia**
suarez.dann12@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0006-5230-4294>

Juan Carlos **Guzmán Sánchez**

Universidad Mayor de San Simón • **Bolivia**
juan.guzman@umss.edu

 <https://orcid.org/0009-0009-9278-8918>

Resumen

Bolivia es un país con importante actividad sísmica, principalmente en zonas como Cochabamba, donde se ha producido actividad sísmica de importancia a lo largo de los años. La resistencia de las viviendas construidas con materiales tradicionales, como el adobe, se ve comprometida ante este tipo de eventos, de ahí las razones adicionales para solicitar criterios técnicos a ser utilizados en su construcción y diseño sismorresistente. Este trabajo ofrece un estudio de la sismicidad boliviana, con mayor repercusión sobre los terremotos registrados en Cochabamba en fechas variadas, y establece prescripciones estructurales que hacen posible optimizar el comportamiento sísmico de viviendas de adobe. Se estudian elementos caracterizadores del diseño estructural y cálculo sismorresistente para aplicar a este tipo de edificación, según normativas actualizadas y teoría de ingeniería sísmica. El objetivo es ayudar a lograr una construcción de edificios más segura y resiliente frente a futuros terremotos sin perder la identidad económica y cultural inherente al uso del adobe.

Palabras clave: *Construcción, Vivienda, Adobe, Sismorresistente*

Abstract

Bolivia is a country with significant seismic activity, especially in areas such as Cochabamba, where significant seismic activity has occurred over the years. The susceptibility of houses built using traditional materials such as adobe to these types of events is questionable, hence additional reasons for requesting technical criteria to be used in their construction and earthquake-resistant design. This paper offers a study of Bolivian seismic activity, with a greater impact on the earthquakes recorded in Cochabamba on various dates, and establishes structural requirements that make it possible to optimize the seismic behavior of adobe houses. Characterizing elements of structural design and earthquake-resistant calculations for this type of building are studied, according to updated regulations and seismic engineering theory. The goal is to help achieve safer and more resilient building construction against future earthquakes without losing the economic and cultural identity inherent in the use of adobe.

Keywords: *Construction, Housing, Adobe, Earthquake-Resistant*

Antecedentes y Planteamiento del problema

Bolivia, ubicada en una región con un paisaje geodinámico complejo, ha experimentado una gran cantidad de eventos sísmicos a lo largo de la historia. Si bien su actividad sísmica no es tan frecuente como en países andinos vecinos como Chile o Perú, cuando se producen terremotos, estos pueden ser bastante potentes y tener impactos significativos, especialmente en zonas rurales donde las edificaciones pueden no ser tan robustas.

Entre los sismos más significativos que hemos visto en tiempos recientes, destaca el terremoto del 9 de junio de 1994. (figura 01).

Este ocurrió al norte de los departamentos de La Paz y Beni, alcanzando una magnitud de 8.3 en la escala de Richter. A pesar de su gran intensidad, sorprendentemente no se reportaron pérdidas humanas, lo que probablemente se debió a la baja densidad de población en el epicentro y a la profundidad del sismo.

El 22 de mayo de 1998, (figura 01). Un fuerte sismo de 6.5 grados en la escala de Richter golpeó el sudeste del departamento de Cochabamba, y sus consecuencias fueron devastadoras. Terremoto que afectó a las provincias de Campero, Carrasco y Mizque, donde como resultando fue más de 100 muertes y en viviendas cerca de 2,000. La mayoría de los edificios que se derrumbaron eran de adobe, un material común en la arquitectura rural boliviana, que no tiene una gran resistencia sísmica.

Estos eventos evidencian la alta vulnerabilidad sísmica de varias regiones del país. Por lo tanto, el estudio de la sismicidad en Bolivia se ha vuelto un tema prioritario en varias disciplinas, como la geología, la ingeniería civil, la arquitectura y la gestión del riesgo.

El problema principal es que, a pesar de contar con antecedentes sísmicos importantes, todavía hay fallas en la planificación tanto urbana como rural, en la implementación de normas de construcción que resistan sismos y en la preparación de la población para enfrentar estos fenómenos naturales. Esta situación resalta la urgente necesidad de llevar a cabo investigaciones que ayuden a entender la amenaza sísmica en Bolivia, así como a desarrollar estrategias de mitigación y respuesta que tengan en cuenta el contexto geográfico, social y económico del país.

El trabajo comprende dos aspectos importantes: estabilidad de suelo, esta situación inducida por tema de sismos, en el sitio y la construcción de vivienda con adobe considerando la transmisibilidad térmica.

La metodología es de carácter descriptivo, exploratorio y documental ya que la fase inicial es la recopilación de documentos existente. la revisión bibliografía para el estudio, se enfoca en la información del observatorio de San Calixto.

Contextualización

Sismos en Bolivia

La sismicidad que se observa en Bolivia está relacionada con el proceso de subducción que experimenta la placa de Nazca por el oeste de la placa continental de Sudamérica. La mayoría de los focos de actividad sísmica en territorio boliviano se encuentran con profundidad en el contacto de las dos placas tectónicas. Hacia el oeste, en el altiplano y en los bordes de Perú-Bolivia, los focos son de profundidad intermedia (de 70 a 250 Km. de profundidad); mientras que, hacia el este, en la parte central sur de Bolivia, los focos son de profundidad mayor a los 300 Km, (OCA, 2005). En Bolivia, la sismicidad está íntimamente ligada al proceso de subducción de la placa de Nazca que se desliza bajo la placa sudamericana. Este

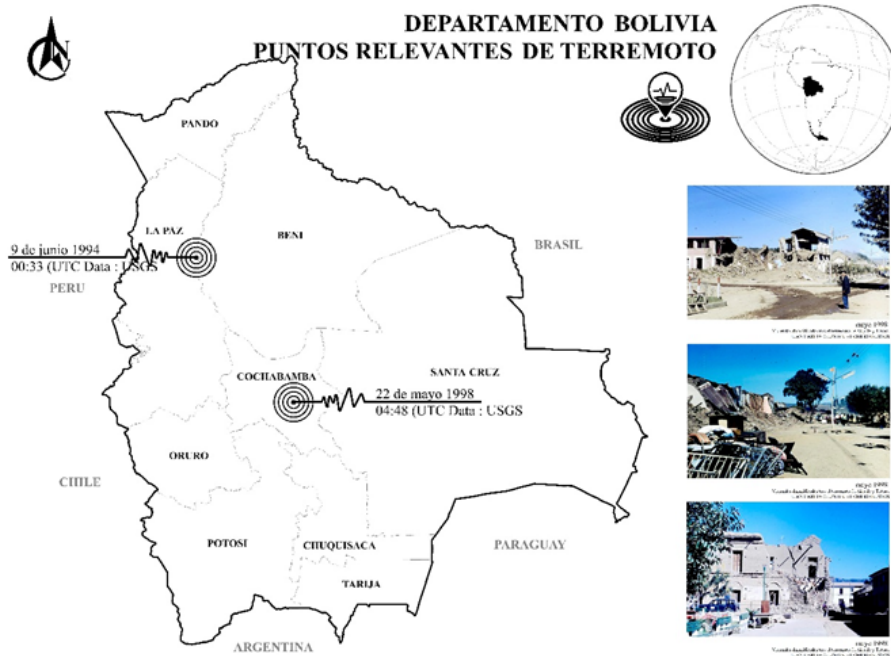


Figura 01
Mapa de Bolivia puntos relevantes de
Terremoto año 1994 - 1998

Propia partir del Observatorio de San Calixto 1996 - 2023

fenómeno geológico es el mayor causante de la actividad sísmica en la región. (Gavin y Hayes, 2015)

Los sismos de profundidad intermedia: están relacionados con la deformación interna de la placa de Nazca y son típicos de las regiones bajo el altiplano y los bordes andinos.

Sismos de profundidad: se registran más hacia el este y sur del país, especialmente en áreas como el sur de Santa Cruz y en las zonas limítrofes con Argentina.

Uno de los ejemplos más destacados es el terremoto de junio de 1994, que tuvo una magnitud estimada de 8.2. Su hipocentro se localizó a unos 636 km de profundidad, y se pudo detectar a lo largo del hemisferio sur. (Flores, 1993)

Mecanismos geodinámicos de los sismos profundos

De acuerdo con la teoría de la zona de Wadati-Benioff, los terremotos profundos se producen cuando fragmentos de la placa que se subduce generan tensiones internas hasta que alcanzan áreas de la astenosfera donde se puede producir una falla. A profundidades menores de 300 km, estos sismos están relacionados con reacciones de deshidratación y transformación de rocas, mientras que, por debajo de los 300 km, las causas están asociadas a cambios mineralógicos, como la transición del olivino a espinela. (Harry y Green, 2003)

Tipo de sismo	Profundidad aproximada	Origen tectónico asociado
Intermedio	70-300km	Deformación interna de la placa subducende (nazca)
Profundo	300km	Transformaciones en la placa en zonas más profundas

Cuadro 01
Resumen de tipos de sismo según la
profundidad y origen tectónico.

Elaboración propia a partir del instituto geofísico del Perú (IGP) 2021.

Importancia para el diseño sísmico estructural

Entender esta zonificación es crucial para el diseño de construcciones sismorresistentes, como las viviendas de adobe. Cada tipo de sismo (superficial, intermedio o profundo) presenta características diferentes en términos de energía liberada, formas de propagación del movimiento y posibles efectos en el terreno (Cuadro 01).

De acuerdo con el Observatorio San Calixto y los registros del Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas (SERGEOTECMIN), se han identificado otros focos de sismicidad superficial en:

- La provincia de Larecaja, al norte del altiplano paceño, donde se han reportado eventos sísmicos relacionados con fallas locales.
- La provincia de Gran Chaco, al oeste del departamento de Tarija, en la zona limítrofe con Argentina, que muestra actividad sísmica asociada a estructuras tectónicas compresivas.
- La provincia de Atahualpa, en Oruro, y la provincia de Chayanta, en Potosí, ambas con evidencia de actividad sísmica superficial vinculada a fallamientos locales.
- La provincia de Vallegrande, en Santa Cruz, también ha registrado eventos de este tipo, aunque con menor frecuencia.

Los datos del Observatorio San Calixto (OSC) indican que entre 2020 y 2024, (figura 02). Cochabamba ha experimentado más de 1.300 sismos, muchos de ellos superficiales y con magnitudes que oscilan entre 3 y 5.5 Mw. Asimismo, en Chuquisaca y Santa Cruz, las

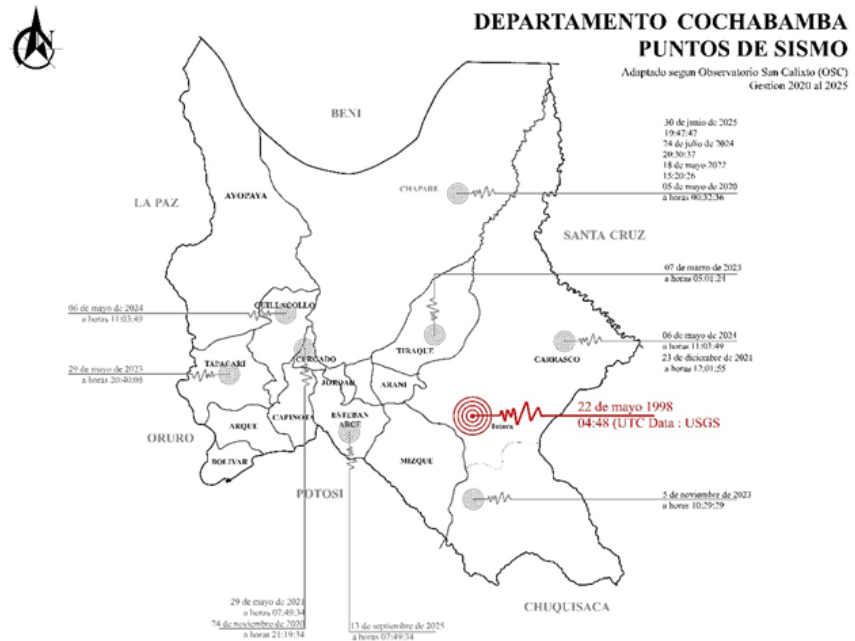


Figura 02
Mapa de Bolivia - Cochabamba, puntos de
sismos año 2020 al 2025

Elaboración Propia a partir de observatorio de San Calixto
2020 al 2025

estaciones sísmicas han registrado eventos frecuentes, aunque de menor intensidad. Esta actividad sísmica se ha intensificado especialmente en áreas como Aiquile, Totorá, Tarata y Sipe Sipe, que están atravesadas por fallas activas como la falla del Tunari, la falla de Tapacarí y la falla de Aiquile. (Figura 02).

Es fundamental señalar que, a pesar de la frecuencia y el potencial destructivo de estos sismos, gran parte del territorio boliviano con alta actividad sísmica superficial no cuenta con normativas técnicas específicas para la construcción de edificaciones sismorresistentes utilizando materiales tradicionales como el adobe. Esto aumenta la vulnerabilidad de las viviendas en zonas rurales y periurbanas.

En el departamento de Cochabamba, las provincias como Cliza, Tarata, Arani, Punata, Mizque, Aiquile, Totorá, Sipe Sipe y Arque que están atravesadas por diferentes tipos de fallas. Entre las más destacadas se encuentran la falla de Tapacarí, la falla del Tunari, la falla de Aiquile y la falla de Sipe Sipe. Los estudios geológicos, los informes sísmicos y las publicaciones periodísticas coinciden en que estas estructuras han sido responsables de eventos sísmicos a lo largo de la historia, muestran signos de actividad y son consideradas factores clave para evaluar el riesgo sísmico en la región (figura 03).

- La falla del Tunari se describe como una zona de debilidad geológica que se encuentra al norte de la cuenca de Cochabamba, marcando la base de la cordillera del Tunari. Recientemente, se ha identificado como potencialmente activa, especialmente en el cuaternario.
- La falla de Sipe Sipe se menciona en varias publicaciones como una de las fallas activas que contribuyen a la sismicidad reciente, con temblores que la población ha sentido, aunque no siempre causan daños materiales significativos.
- La falla de Aiquile-Totorá, conocida por el terremoto de 1998 que afectó gravemente a esas comunidades, demuestra que esta zona tiene el potencial de generar eventos destructivos. Su análisis histórico y geológico la posiciona como una falla de gran importancia estructural.

La evidencia sugiere que: En Cochabamba, la vigilancia sísmica se centra en zonas como: Sipe Sipe, Tunari, Aiquile, Alto Cochabamba, Alto Universitario, entre otros; estas zonas son identificadas como de riesgo debido a las fallas geológicas

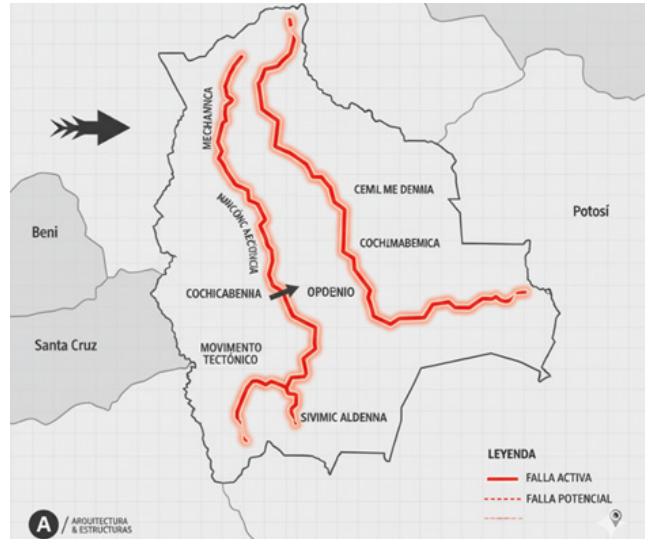


Figura 03
Mapa de Bolivia, fallas sísmicas (Geología y tectónica regional)
Observatorio de San Calixto 1996 - 2023.

Cuadro 02

Bolivia: Hogares Según
Departamento y Material de
Construcción Utilizado en Paredes
de la Vivienda, 2011-2023
Instituto Nacional de Estadística, Encuesta de
Hogares 2011 - 2023

DEPARTAMENTO Y MATERIAL DE CONSTRUCCION UTILIZADO EN PAREDES	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2021	2022	2023
BOLIVIA	2.670	2.734	2.846	2.921	3.012	3.209	3.347	3.465	3.454	3.637	3.665	3.899
Ladrillo/ bloques de cemento /hormigón	56.35	57.51	57.15	58.59	61.56	64.26	64.49	66.52	72.29	75.26	75.90	76.35
Adobe / tapial	36.30	36.32	36.65	34.48	31.48	29.00	29.45	27.49	22.59	19.80	19.49	19.67
Madera	4.92	4.34	4.44	4.82	5.20	5.34	4.52	4.75	4.14	4.32	3.82	3.35
Otro	2.44	1.83	1.76	2.11	1.76	1.40	1.55*	1.24*	0.98*	0.61	0.79	0.63*

presentes. Existen reportes de eventos sísmicos recientes que se sienten en diferentes municipios, lo que demuestra que la actividad sísmica es real y se percibe localmente. En Cochabamba, las provincias de Cliza, Tarata, Arani, Punata, Mizque, Aiquile, Totora, Sipe Sipe y Arque están marcadas por varias fallas geológicas, como la falla de Tapacarí, la falla del Tunari, la falla de Aiquile y la falla de Sipe Sipe. Lo ideal respecto a estas zonas que tuvieran acelerógrafos instalados de manera permanente para registrar con precisión la aceleración del suelo durante los eventos sísmicos. Esto permitiría crear espectros de respuesta elástica específicos para el diseño estructural local, lo que mejoraría la seguridad de edificaciones como las viviendas de adobe. (Fieles, 1911).

Las viviendas de adobe, que se encuentran comúnmente en áreas rurales y montañosas, son valoradas por su riqueza cultural, su bajo costo y la facilidad de acceso a los materiales locales. Sin embargo, su comportamiento ante sismos es una preocupación importante en términos de estructura, debido a las características del adobe, que tiene una capacidad limitada para soportar fuerzas horizontales y es susceptible a tensiones de tracción y flexión.

El estudio propone recomendaciones técnicas de diseño y construcción que pueden garantizar que las edificaciones de adobe sean resistentes a los sismos, con el objetivo de prevenir colapsos y proteger vidas.

Además, hay un aspecto crucial que considera: el confort térmico, que es una de las características más valiosas del adobe. Este material posee una notable capacidad térmica expresada por la conductividad específica, muy eficiente frente a variaciones extremas de temperatura, asegurando así que las casas tradicionales sean cómodas y eficientes en términos energéticos. Donde surge una pregunta complementaria: ¿Cómo podemos integrar criterios de confort térmico en el diseño sismorresistente de viviendas de adobe, sin poner en riesgo la seguridad estructural? Significa que debemos establecer criterios técnicos que aborden ambos objetivos de manera equilibrada y factible.

Definición del problema

El objeto de estudio es el comportamiento de las edificaciones de adobe a la acción de las fuerzas horizontales sísmicas, formulándose el problema a resolver de: cuales son las prescripciones de diseño y construcción de las edificaciones de adobe, con el fin de evitar el colapso salvaguardando las vidas humanas. Se establece que el porcentaje de viviendas en adobe en los diez últimos años (INE Estadística, 2021) tiene una variación entre 36.30 al 19.67 decrecimiento de vivienda en adobe, atribuibles al uso deficiente técnico - sismorresistente de la vivienda de adobe y las características de transmisibilidad térmica, siendo este el principal problema de estudio. (Cuadro 02).

Las viviendas de adobe, que se encuentran comúnmente en áreas rurales y montañosas, son valoradas por su riqueza cultural, su bajo costo y la facilidad de acceso a los materiales locales. Sin embargo, su comportamiento ante sismos es una preocupación importante en términos de estructura, debido a

las características del adobe, que tiene una capacidad limitada para soportar fuerzas horizontales y es susceptible a tensiones de tracción y flexión.

El estudio propone recomendaciones técnicas de diseño y construcción que pueden garantizar que las edificaciones de adobe sean resistentes a los sismos, con el objetivo de prevenir colapsos y proteger vidas.

Además, hay un aspecto crucial que considera: el confort térmico, que es una de las características más valiosas del adobe. Este material posee una notable capacidad térmica expresada por la conductividad específica, muy eficiente frente a variaciones extremas de temperatura, asegurando así que las casas tradicionales sean cómodas y eficientes en términos energéticos. Donde surge una pregunta complementaria: ¿Cómo podemos integrar criterios de confort térmico en el diseño sismorresistente de viviendas de adobe, sin poner en riesgo la seguridad estructural? Significa que debemos establecer criterios técnicos que aborden ambos objetivos de manera equilibrada y factible.

Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo, establecer un conjunto de criterios técnicos y requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de viviendas de adobe que sean capaces de resistir sismos. El propósito es mejorar su rendimiento estructural ante eventos sísmicos, evitando el colapso de las edificaciones y protegiendo la vida de sus ocupantes.

Adicionalmente, se busca integrar consideraciones de confort térmico en el proceso de diseño arquitectónico y constructivo, reconociendo las propiedades higrotérmicas del adobe como un material natural que destaca por su alta eficiencia energética y su bajo impacto ambiental. La meta es promover soluciones habitacionales que sean no solo seguras y resilientes ante sismos, sino también habitables, sostenibles y culturalmente adecuadas para poblaciones de escasos recursos en zonas vulnerables. Todo lo anterior se presenta en el cuadro 03.

Justificación

La justificación del tema se sustenta, que siendo la región occidental de Bolivia zona de actividad sísmica y específicamente el Departamento de Cochabamba, la transición intermedia entre la actividad sísmica fuerte del Perú y Chile; no cuenta con "Normas de construcción sismorresistente de viviendas de adobe" que permita diseñar y construir viviendas de adobe capaces de resistir la acción de la fuerza sísmica

COMPONENTES CLAVE DEL OBJETIVO	
Elemento	Explicación
Prescripciones mínimas	Son las normas técnicas fundamentales que garantizan la estabilidad estructural, basadas en investigaciones y experiencias locales.
Diseño sismo-resistente	Se trata de adaptar los principios de la ingeniería sísmica a las construcciones de adobe, considerando aspectos como refuerzos, geometría, altura y uniones.
Construcción segura	Implica aplicar buenas prácticas en la obra para minimizar errores comunes que pueden aumentar la vulnerabilidad sísmica.
Confort térmico	Consiste en incorporar soluciones pasivas, como el grosor de los muros, la orientación, la ventilación y el aislamiento, para mantener un ambiente interior agradable sin depender de sistemas de climatización activos.
Enfoque social y cultural	Es fundamental respetar las prácticas constructivas tradicionales y adaptarse a los contextos rurales o patrimoniales.

Cuadro 03
Componentes claves para Diseño y construcción, viviendas seguras de adobe.

Elaboración propia a partir de Ministerios de vivienda Construcción y saneamiento del Perú (MVCS). 2020 manual de construcción de viviendas sismorresistentes de adobe.

y otras fuerzas impuestas por la naturaleza, incrementar su resistencia a los efectos que estos producen y reducir a un mínimo el riesgo de pérdida de vidas humanas.

Se considera abordar los tres aspectos influyentes dentro de la sociedad:

- **Técnico:** Se enfoca en la falta de directrices especializadas para la construcción. Se refiere a la carencia de un marco regulatorio y de pautas específicas en la construcción que permitan diseñar y edificar viviendas de adobe en Cochabamba, asegurando que puedan resistir la fuerza sísmica y otras fuerzas naturales. Esto resalta la necesidad urgente de desarrollar o adoptar prescripciones de construcción sismorresistente para adobe, garantizando la estabilidad estructural, aumentando la resistencia de las viviendas y aplicando soluciones ingenieriles adecuadas a los materiales locales para reducir el riesgo.

Esto incluye el enfoque del confort térmico, un aspecto que suele ser ignorado en las normativas estructurales, pero que es crucial para asegurar condiciones adecuadas de habitabilidad. El adobe cuenta con propiedades térmicas naturales, como su alta inercia térmica y baja conductividad, que lo hacen un material perfecto para lograr una estabilidad térmica interior en climas con grandes oscilaciones térmicas. Sin embargo, el desconocimiento de estas ventajas ha llevado a que, en muchos casos, se sustituya por materiales industrializados que son menos sostenibles y más costosos en términos de energía.

- **Social:** Referido al impacto directo en la seguridad y el bienestar de quienes viven en estas viviendas. La meta social de establecer estas normas es minimizar el riesgo de pérdida de vidas y prevenir lesiones graves o la pérdida de hogares, garantizando así el derecho a una vivienda segura en áreas propensas a sismos. La implementación de estas prescripciones busca fortalecer la resiliencia comunitaria frente a desastres y salvaguardar el capital humano de la región. La principal motivación social es evitar la pérdida de vidas humanas al mejorar la resistencia de las viviendas de adobe.

- **Económico:** Se enfoca en los costos que conlleva la prevención, la construcción y los daños ocasionados por desastres. Evaluar la viabilidad y el costo-beneficio de prevenir un desastre en comparación con el costo que podría acarrear. La implementación de prescripciones sismorresistentes tiene como objetivo, reducir las pérdidas económicas después de un sismo, que abarcan desde la reconstrucción de viviendas colapsadas hasta la pérdida de bienes y el impacto en la actividad productiva tras un evento sísmico. Aunque establecer estas prescripciones y aplicar técnicas de refuerzo puede implicar un gasto inicial, este se justifica por el ahorro económico considerable a largo plazo, al evitar daños devastadores y la necesidad de depender de ayuda externa para la recuperación. El adobe es un material accesible y local, por lo que se buscan soluciones que sean económicamente viables y que no encarezcan de manera desproporcionada la construcción.

Se centra en la importancia de aumentar la resistencia para mitigar los efectos destructivos, lo que, a su vez, ayuda a reducir el impacto económico de la destrucción

La propuesta de prescripciones específicas para viviendas de adobe, sean resistentes a sismos y térmicamente confortables puede convertirse en un pilar fundamental para futuras normativas, tanto a nivel local como nacional. Contribuirá a la formación de profesionales en arquitectura e ingeniería, servirá como guía para políticas públicas enfocadas en la vivienda social y la reducción del riesgo de desastres.

ZONA 1: Riesgo Bajo Daños no estructurales. Aceleración: 30-40 cm/s ² Escala Mercalli Grado V	ZONA 2: Riesgo Moderado Pequeños Daños. Estructuración: 40-60 cm/s ² Aceleración: Mercalli:	ZONA 3: Riesgo Medianamente Alto Daños en construcciones. Aceleración: 60-120 cm/s ² Escala: Mercalli:	ZONA 4: Riesgo alto Riesgo Alto Daños graves. Aceleración: 60-120 cm/s ² Escala Mercalli: Grado VII
---	--	---	--

Zonificación sísmica

Para Bolivia, según (Centro Regional de sismología para América del Sur), se establece las siguientes zonas: (CERESIS, 1971)

Zona 0: De riesgo sísmico muy bajo sin efectos dañinos para las construcciones donde no es necesario tomar medidas sismorresistentes en estructuras. No obstante, desde el punto de vista sismológico no puede decirse que existe sismicidad nula. Se considera menor a IV de la Escala de Mercalli Modificada.

Zona 1: De riesgo sísmico bajo, puede ocasionar daños en elementos secundarios no estructurales. Los valores de aceleración horizontal máxima del terreno para el cálculo se consideran entre 30 cm/seg² a 40 cm/seg², se considera en grado V de la escala de Mercalli Modificada.

Zona 2: De riesgo sísmico moderado que puede ocasionar daños pequeños en las estructuras debiéndose tomar medidas sismorresistentes en las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas, los valores de aceleración horizontal máxima del terreno para el cálculo se consideran entre 40 cm/seg² a 60 cm/seg², se considera en grado VI de la escala de Mercalli Modificada.

Zona 3: De riesgo sísmico medianamente alto que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar - medidas sismorresistentes en todas las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas, los valores de aceleración horizontal máxima del terreno para el cálculo se considerarán entre 60 cm/seg² a 120 cm/seg² y se corresponde al grado VII de la escala de Mercalli Modificada.

Zona 4: De riesgo sísmico alto que puede causar daños graves en las construcciones debiéndose tomar medidas sismorresistentes en las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas, la aceleración horizontal máxima del terreno para el cálculo se considera entre 120 cm/seg² a 200 cm/seg², corresponde al grado VIII de la escala de Mercalli Modificada.

Cochabamba se encuentra dentro las zonas sísmicas 2 y 3. (figura 04 y 05).

Figura 04

Zonificación sísmica Resumen

Elaboración propia a partir de CERESIS 2025.

Figura 05

Zonificación sísmica según CERESIS, niveles de peligro en Sudamérica

Elaboración Propia a partir de observatorio de San Calixto 2020 al 2025

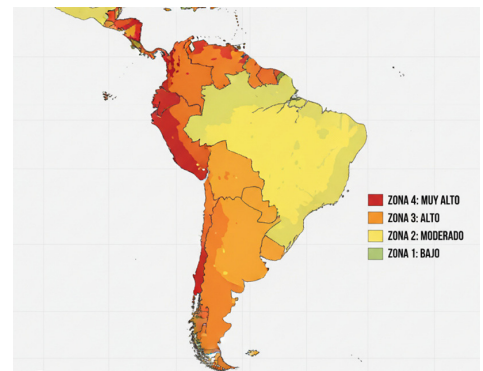


Figura 06

Factores claves en diseño estructural para vivienda en adobe

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)

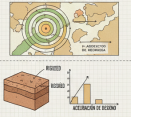
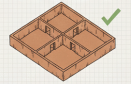
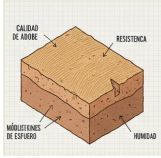
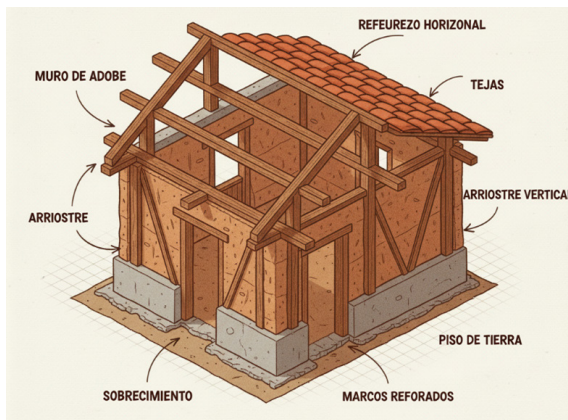
Factores Externos	Factores Material	Factores De La Estructura
Zona sísmica 		Geometría de la Planta 
Tipo de suelo 		Altura de muros 
		Altura en arriostre 

Figura 07

Diseño sismorresistente de adobe

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)

**Diseño y Cálculo Sismorresistente: Propuesta**

Se propone en este trabajo un método de diseño en vivienda de adobe con una visión sismo resistente y además que tenga un confort térmico. (Guzman, J. Guzman,N., 1999)

En el análisis estructural de las viviendas de adobe no existen métodos exactos de cálculo, debido a que intervienen variables de incertidumbre, exógenas y/o endógenas en el análisis de solicitaciones y modelaje estructural, por lo que el calculista debe llevar estas variables al umbral de la seguridad en las consideraciones del análisis del conjunto estructural. Las consideraciones son los siguientes elementos estructurales, (Guzman, J. Guzman,N., 1999)

- Conjunto estructural, formado por los:

- Cimientos
- Sobrecimientos
- Muros
- Arriostre horizontal
- Arriostre vertical
- Techos
- Refuerzos (como mallas, bandas, armaduras ligeras, unidades reforzadas)

En el conjunto estructural los sectores claves se presentan en la (figura 07 y 08).

La importancia del cálculo de los mismos está en función de la zona sísmica y el tipo de suelo donde se construirá la vivienda.

La relevancia y el tamaño de estos elementos dependerán de varios factores:

- Zona sísmica: La magnitud máxima que se espera, las aceleraciones de diseño y los espectros de respuesta sísmica.
- Tipo de suelo: La clasificación (roca, suelo competente, suelos blandos, rellenos), la amplificación sísmica, los posibles asentamientos, la capacidad portante y, si aplica, los suelos con licuefacción. (Guzman, J. Guzman,N., 1999)

Por lo tanto, el ingeniero encargado de los cálculos debe incluir factores de seguridad adecuados y llevar a cabo verificaciones que ayuden a minimizar el riesgo extremo. Investigaciones como las de: (Vargas, 1980), el proyecto de viviendas de dos niveles reforzadas con mallas electrosoldadas en (Figuerroa, 2016) y los criterios desarrollados por CISMID para edificaciones de adobe demuestran que, si se controlan variables como la resistencia del adobe, el grosor de los muros, los refuerzos y la geometría, es posible diseñar estructuras de adobe que puedan resistir solicitaciones sísmicas moderadas o severas sin colapsar.

El conjunto estructural de una vivienda de adobe debe incluir, como mínimo, (figura 08), cimientos, sobrecimientos, muros, arriostres horizontales, arriostres verticales, techos y refuerzos. Cada uno de estos componentes necesita ser diseñado teniendo en cuenta las diferentes solicitaciones combinadas: cargas gravitacionales permanentes (como el peso propio, el techo y las cubiertas), cargas de uso, cargas dinámicas sísmicas tanto laterales como verticales, momentos de volteo, fuerzas perpendiculares al plano del muro, entre otros. Esto se alinea con lo que se establece en el diseño sismorresistente de edificaciones de adobe de dos pisos y los protocolos de refuerzo que utilizan mallas electrosoldadas en los muros para disminuir cortantes y desplazamientos.

• Factores en el diseño estructural

Investigaciones realizadas en Perú han demostrado que las viviendas de adobe que no cuentan con refuerzos adecuados tienden a fallar prematuramente. Sin embargo, al implementar medidas simples como malla metálica o geomalla, arriostres perimetrales y techos ligeros, estas viviendas pueden cumplir con los requisitos de seguridad sísmica de manera aceptable. (Romero, 2010).

La zona sísmica (aceleración de diseño, espectro de respuesta), el tipo de suelo (rigidez, amplificación), la calidad del adobe (resistencia a compresión, módulo de elasticidad, humedad), la geometría de la planta, la altura de los muros y la disposición de los arriostres.

• Configuración y estructuración

Debe procurarse una disposición geométrica en planta tan simétrica como sea posible, tratando de conseguir en la edificación, en los elementos resistentes y en los arriostramientos, una composición con dos ejes de simetría ortogonales.

No son aconsejables disposiciones en plantas rectangulares no regulares o en forma de L, U, T, Z. En estos casos se puede descomponer en plantas regulares, (figura 08), mediante juntas verticales. Igualmente debe procurarse una disposición geométrica regular en alzado. Deben evitarse las transiciones bruscas de forma o rigidez.

Respecto a la disposición de las masas, si existen zonas que deban soportar cargas que excedan en un 25% a la carga general, estas deben situarse en torno al centro de la planta.

Figura 08
Disposición geométrica en planta de adobe

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)

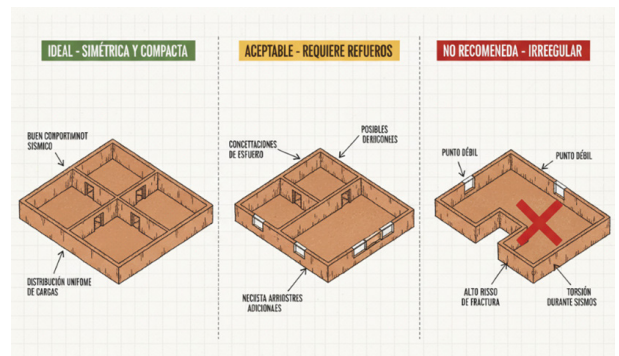


Figura 09

Ductilidad en estructura de adobe

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)

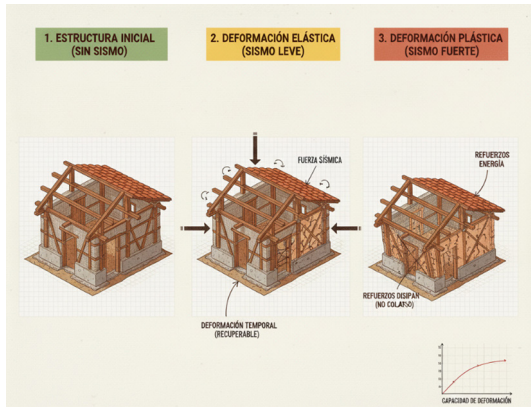
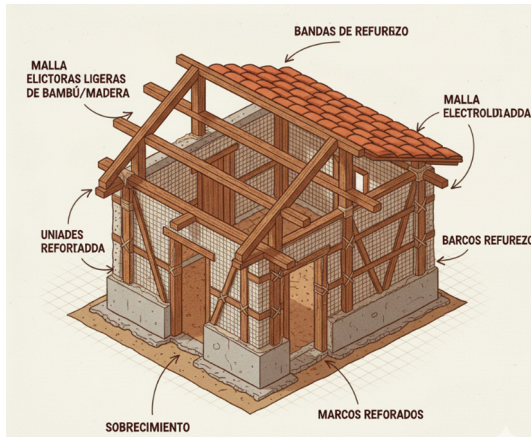


Figura 10

Refuerzos sismorresistentes en vivienda de adobe

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)



Sobre la disposición de elementos estructurales debe procurarse una distribución uniforme y simétrica de rigideces en planta. Ningún elemento estructural debe cambiar bruscamente de rigidez.

En las viviendas de adobe, los esfuerzos horizontales, por sismo, son absorbidos por los muros, que son elementos de gran rigidez y que deben colocarse en dos direcciones ortogonales y en posición simétrica perimetral y/o central. (Figura 08)

• Sobre la ductilidad

La capacidad de una estructura para deformarse constituye la propiedad de Ductilidad, de la cual habrá que dotar a los muros. Los opuestos a la ductilidad es la fragilidad.

Por tanto, para el cálculo sismorresistente se recomienda observar: (Figura 09 y 10), (Neuman, 1980)

- Ubicar el proyecto en la zona sísmica correspondiente.
- Definir la importancia de la obra.
- Determinar el nivel de ductilidad.

• Cálculo de la fuerza sísmica

Para determinar la fuerza sísmica se utilizará el algoritmo propuesto. (Romero, 2010)

$$v = \frac{AI}{Rd} w \quad (\text{Método Estático Equivalente})$$

A= Aceleración horizontal máximo

I=Coeficiente que tiene en cuenta el riesgo sísmico (I = 1 para vivienda)

Rd=Coeficiente de reducción por ductilidad. Para mampostería de adobe se puede asumir 3.5

C= Coeficiente sísmico espectral

$$C = 1 + (Fa - 1) \frac{T}{T_1} \quad \leq T \leq T_1$$

$$C = Fa \quad T_1 \leq T \leq T_2$$

$$C = Fa \left(\frac{T_2}{T} \right)^p \quad T > T_2$$

Fa= Coeficiente de amplificación que depende del perfil del suelo

T₁, T₂= Períodos de esquina del espectro correspondiente (ver fig. espectro)

T= Período de la estructura

P= Exponente que define la rama descendente del espectro en función del perfil del suelo, cuadro siguiente:

Perfil del Suelo	Fa	T1	T2	P
S1	2.5	0.15	0.4	0.8
S2	2.5	0.15	0.6	0.7
S3	2.0	0.2	1.0	0.6
S4	2.0	0.2	1.5	0.5

Elaboración Propia a partir de Romero, 2010

- Para perfiles de suelo S3 y S4 para $0.3 \leq C < 2$.
- C no será menor a 0.45

Para el cálculo de T se supone un comportamiento elástico y empotrado en la base.

$T < 1.2 T_a$

Para estructura muros sin confinar

$$T_a = \frac{0.05 h_n}{\sqrt{L}}$$

h_n = Altura del edificio medida desde el nivel de base

L = Mayor dimensión de la planta en la dirección analizada (m)

W = Peso de la edificación

Para edificaciones los valores de carga sísmica se determinan con el peso total de la estructura más el peso de aquellos elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. Debe incluirse además los valores característicos de las cargas temporales afectadas por el coeficiente: a

Para viviendas $a = 0.5$

$W = C \text{ muerta} + \text{carga viva (a)}$

Peso distribuido = $\frac{w}{h_n} \text{ (kn / m)}$

• Distribución de la fuerza horizontal total

Cuando el edificio tiene más de un piso, la fuerza se distribuye: (figura 13)

$$F_x = \frac{V \cdot \sum w_x \cdot H_x}{\sum (W_x \cdot h_x)}$$

F_x = Fuerza horizontal en el piso x

W_x = Peso total del piso x

H_x = Altura a la que se encuentra el piso x

Figura 11

Clasificación de suelos para vivienda de adobe

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)

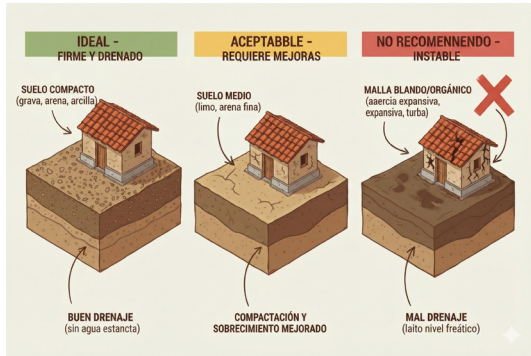


Figura 12

Transmisión de fuerzas a la cimentación en adobe

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)

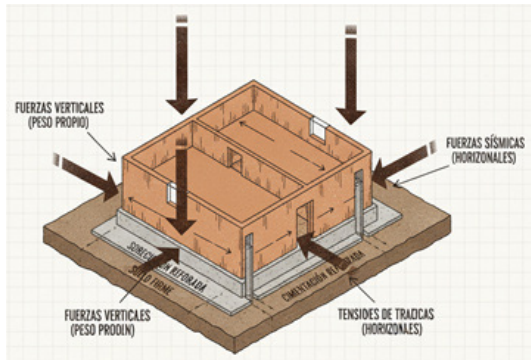
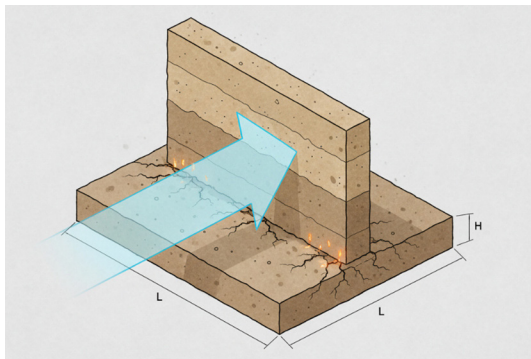


Figura 13

Comportamiento sísmico de muros caras horizontales perpendiculares al plano - volteo

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)



Comportamiento de los muros de tierra frente a la sollicitación sísmica

Se presentan 3 casos de sollicitaciones:

Cargas axiales verticales. El muro será calculado a la compresión.

Cargas horizontales paralelas al plano. Se analizan 4 casos:

- Corte diagonal
- Corte basal
- Compresión diagonal
- Flexión

Cargas horizontales perpendiculares al plano. Se presentan los siguientes casos

- Volteo
- Volteo diagonal
- Volteo parcial por flexión local
- Flexión bidireccional al plano

Indicaciones para el cálculo de Muros

El cálculo en general se resume a lo siguiente:

Transmisión de la aceleración al edificio.

Deformaciones elásticas reactivas que producen fuerzas cuya resultante se halla en el centro de rigideces del edificio.

La acción está localizada en el centro de masas y la reacción en el centro de rigidez.

Debe conocerse la ubicación del centro de masas y el centro de rigidez para analizar la torsión. En general se busca que la distancia entre ambas sea nula.

La fuerza horizontal, por sismo debido al peso propio del edificio, se reparte entre todos los muros, según su ubicación respecto de un eje de coordenadas y su distancia a dos centros de actuación de la fuerza sísmica y la resistencia de la edificación.

Esta repartición tiene en cuenta los siguientes factores:

Tipo de cubierta (Disco rígido o no)

Área en planta de las paredes

Rigidez de las paredes, en relación a su área de inercia.

Distancia relativa, al centro de rigidez de la planta, de cada una de las paredes.

Excentricidad debido a la distancia del centro de rigideces al centro de masas.

Desplazamientos en X o Y.

Desplazamiento angular debido a la torsión.

Obtenido el empuje actuante en cada pared se evalúa el esfuerzo cortante para cada elemento y se compara con el esfuerzo al corte admisible:

$$V < v \text{ admisible}$$

Si no se cumple lo anterior deberá incrementarse la sección de la pared y/o reforzarse mecánicamente en el sentido que se está analizando.

Así mismo debe controlarse el desplazamiento admisible:

$$\text{Desplazamientos} \leq \frac{h}{400} \quad h = \text{altura de la edificación}$$

• Transmisión térmica

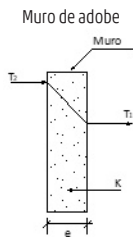
Transmisión del calor es la transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro en virtud de una diferencia de temperatura existente entre ellos.

La transmisión por conducción, tiene lugar en un cuerpo determinado, desde la zona de mayor temperatura a la zona de menor temperatura, por el simple contacto molecular.

El flujo de calor es directamente proporcional y la diferencia de temperatura, a la conductividad del material e inversamente proporcional al espesor del material que atraviesa.

El algoritmo es:

$$Q = \frac{k}{e} (t_1 - t_2)$$



Q= flujo de calor por conducción por unidad de superficie y de tiempo (w/m²)

K= Coeficiente de conductividad del material (w/mk)

e= Espesor del muro (m)

T₂ - T₁= Diferencia de temperatura (k)

Figura 14

Comportamiento sísmico de muros de tierra (caras axiales verticales - calculo a compresión

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)

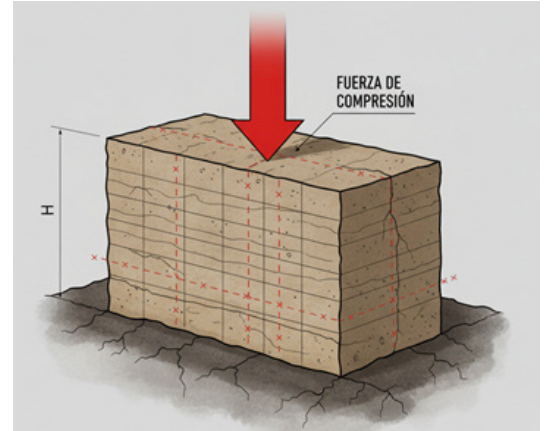


Figura 15

Comportamiento sísmico de muros en tierra (caras horizontales paralelas la plano- corte diagonal

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)

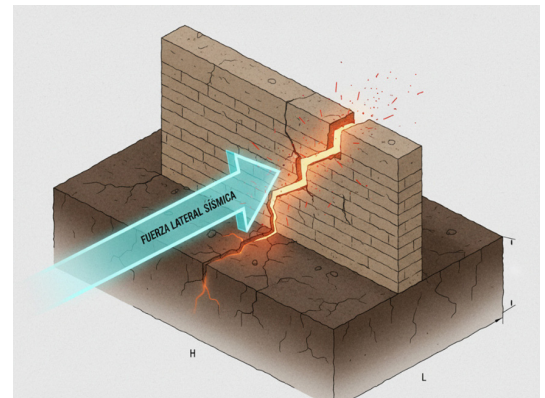
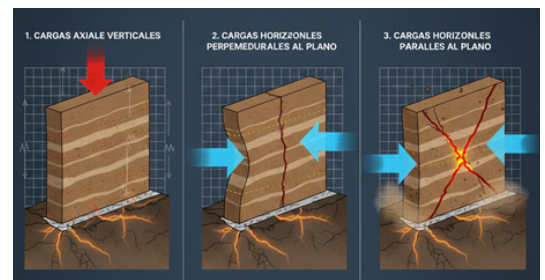


Figura 16

Comportamiento sísmico de muros en tierra

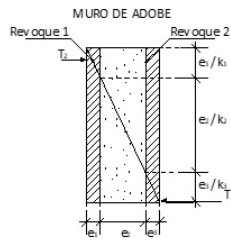
Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)



La conductividad térmica "k" de un material es la cantidad de calor que se transmite en una dirección, por unidad de tiempo y de superficie, cuando el gradiente térmico en esa dirección es unitario. La resistencia térmica es la relación:

$$R = \frac{e m_2 k}{k w}$$

Si el muro está compuesto por adobe de tres materiales, la resistencia térmica sería:



$$R = \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3}$$

El flujo de calor sería:

$$Q = (t_1 - t_2) \frac{1}{R}$$

Un valor de $U \approx 0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$ indica que el muro tiene una buena capacidad de aislamiento térmico, especialmente gracias al adobe, que tiene baja conductividad térmica. Este tipo de muro es ideal para climas con grandes variaciones de temperatura, ya que ofrece inercia térmica y confort interior, como se describe a continuación:

Así mismo en el cuadro 05 se tiene una comparación de adobe con otros materiales. Se observa que el adobe tiene un aislamiento térmico muy bueno.

Conclusiones

En Sistema Constructivo

En Bolivia y en el Departamento de Cochabamba es práctica usual la autoconstrucción de viviendas de adobe en el área rural, por lo que la presencia del calculista es nula.

Lo anterior induce a distribuir, en el área rural, cartillas de autoconstrucción que contengan las prescripciones de construcción mínimas, que permitan diseñar.

Aceleración

En zonas de alta sismicidad, aceleración mayor a 0.12, se debe evitar la construcción de viviendas en adobe. Para aceleraciones menores, en general, debe construirse en lo posible viviendas de una planta.

Configuración

En planta, los muros deben estar dispuestos en las dos direcciones de manera uniforme y simétrico, formando cajones rectangulares.

Los muros de cerramientos no deben tener longitudes mayores a 4.0 mts., ni una superficie mayor a 16 m² (incluidos los huecos), ni su diagonal superior a 100 veces el espesor total bruto.

Huecos entre paños

Huecos de paso, puertas y ventanas en los muros resistentes deben estar distribuidos en planta de modo regular. La distancia entre huecos debe ser mayor a 60 cm.

La distancia de un hueco a una esquina debe ser mayor a 80 cm.

Espesor y distribución en planta de los muros

El espesor de los muros debe ser:

$$e \quad 30 \text{ cm mínimo} \\ \text{ó} \\ e \quad \frac{h}{12} \quad h = \text{altura del muro}$$

Se utiliza el mayor

El % de paredes debe ser superior a un mínimo impuesto. El % recomendado es de al menos 10% en cada dirección, haciendo un total de 20%.

Encuentros entre muros y amarre superior.

El encuentro entre muros debe ser con hiladas alternas y reforzadas con grapas de madera o metal.

El amarre superior deberá ser rígido, debiendo ser en lo posible una viga de hormigón armado, para lograr el confinamiento de los muros.

Cimiento, sobrecimiento y cubierta.

Los cimientos y sobrecimientos deben ser elementos que confinen a los muros y formar un cinturón rígido.

La cubierta debe ser de poca masa y en lo posible debe tener un comportamiento de disco rígido en su plano que imponga la compatibilidad de los desplazamientos, lineales y angulares, de todos los muros.

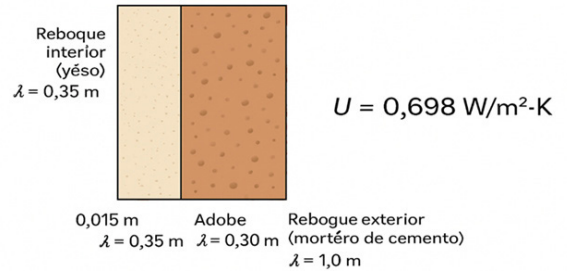
La presente investigación ha permitido identificar y sistematizar una serie de prescripciones técnicas necesarias para mejorar la seguridad estructural de las viviendas de adobe frente a eventos sísmicos. Las construcciones de adobe, ampliamente utilizadas en zonas rurales y periurbanas de Bolivia, especialmente en departamentos como Cochabamba, presentan una alta vulnerabilidad debido a las características físicas del material, como su baja resistencia a tracción, escasa ductilidad y deficiente conexión entre elementos estructurales.

A través del análisis de experiencias históricas relevantes –como el terremoto de Aiquile en 1998, que causó el colapso de más del 80 % de las viviendas de adobe en varias localidades de Cochabamba– se evidencia la necesidad urgente de establecer criterios normativos claros y aplicables. Estas prescripciones deben contemplar aspectos fundamentales como: el uso de refuerzos estructurales (cadenas, amarras y refuerzos horizontales), la

Figura 17

Transmisión térmica de un adobe

Imagen generada mediante indicación personalizada (Google - 2025)



Cuadro 05

Comparación de materiales para muros

Elaboración propia

Material	Conductividad térmica (λ) W/m-K	Aislamiento térmico	Peso	Velocidad de construcción
Adobe	0.25	Muy bueno	Alto	Lento
Ladrillo macizo	0.60-0.80	Moderado	Alto	Medio
Hormigón armado	1.4-1.7	Bajo	Muy alto	Lento
Panel SIP	0.02-0.04 (núcleo EPS)	Excelente	Bajo	Rápido
Metalcon + aislante	Variable (depende del aislante)	Bueno	Bajo	Rápido
Durlock (drywall)	0.17-0.25	Bueno (con aislante)	Muy bajo	Muy rápido

correcta proporción de los muros, la calidad del adobe, el confinamiento de elementos verticales y la adecuada integración de techumbres livianas.

Asimismo, el estudio destaca que si bien existen normas y guías reconocidas –como el Manual de Construcción Sismo-Resistente de Viviendas de Adobe elaborado por SENCICO (Perú, 2019), las recomendaciones de la UNESCO (2006), y normativas como la NEC-SE-DS-2015 (Ecuador)–, en Bolivia aún se requiere una mayor institucionalización de estos criterios y su adaptación a la realidad local.

Por tanto, se concluye que el diseño y la construcción sismorresistente de viviendas de adobe no solo es técnicamente viable, sino necesaria y urgente para reducir la exposición al riesgo sísmico en comunidades vulnerables. La incorporación de estas prescripciones en la práctica constructiva, junto con programas de capacitación y difusión a nivel comunitario, constituye una medida eficaz para preservar vidas humanas y fortalecer la resiliencia habitacional del país.

Referencias



CERESIS. (1971). *Centro Regional de Sismología para América del Sur*.

Estadística, I. N. (1936). ine.gob.bo. Obtenido de INE .

Fieles, F. (1911). *Observatorio San Calixto*.

Figueroa, D. I. (2016). *PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA DESARROLLADA POR ESTUDIANTE Y DOCENTE DE PREGRADO UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA 2016-I* . Lima – Perú : UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA .

Flores, r. (1993). *Ingeniería Sísmica*. Edic. . Santiago, Chile: Pedagogías Chilenas.

Gavin y Hayes, G. (2015). *Science for a changing word*. Obtenido de USGS.

Guzman, J. Guzman, N. (1999). *Propuesta de prescripciones para el análisis, diseño y construcción de edificios sismorresistentes en Ho Ao para Cbba*. Cbba, Bolivia.

Harry y Green, H. (2003). *La Mecánica de los Terremotos Profundos*. The Mechanincs of Deep Earthquakes. Research Gate Logo.

INE Estadística, I. (2021). *Encuesta de Hogares (EH) 2021*. Bolivia.

Neuman, V. (1980). *Construcciones de adobe: bases para un código sismo-resistente*. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Peru.

OCA, I. M. (2005). *Enciclopedia geográfica de Bolivia*. Atenea.

Romero, B. (2010). *Comportamiento estructural de los muros de tierra*. Guatemala.

Vargas, J. (1980). *Adobe*. Obtenido de CONCYTEC: <https://hdl.handle.net/20.500.14657/203416>