

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de ingeniería civil



**Comportamiento estructural de una vivienda altoandina  
propuesta para el distrito de Pucará – Perú**

Tesis para obtener el Título Profesional de ingeniero civil

**Autor:**

Saul Max Huayta Aguilar

Samuel Torres Panchillo

**Asesor:**

Ing. Herson Duberly Pari Cusi

**Juliaca, octubre de 2023**


## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Herson Duberly Pari Cusi, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA ALTOANDINA PROPUESTA PARA EL DISTRITO DE PUCARÁ – PERÚ**” de los autores **Saul Max Huayta Aguilar** y **Samuel Torres Panchillo**, tiene un índice de similitud de 12 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 03 días del mes de octubre del año 2023.



---

Ing. Herson Duberly Pari Cusi

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 03 día(s) del mes de octubre del año 2023, siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a):

Mtro. Leonel Chahuarcos Paucar el (la) secretario(a): Mg. Henry Antonio Aguilar Chuquimia y los demás miembros: Dr. Leonel Susacaca Pelinco y el (la) asesor(a) Ing. Herson Duberly Pari Cusi

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

"Comportamiento estructural de una vivienda altoandina propuesta para el distrito de Pucará-Porú"

del(los) bachiller(es): a) Samuel Torres Panchillo

b) Saul Max Huayta Aguilar

c) \_\_\_\_\_

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Civil  
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Samuel Torres Panchillo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Saul Max Huayta Aguilar

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (c): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]  
Presidente/a

[Firma]  
Asesora/a

[Firma]  
Bachiller (a)

[Firma]  
Miembro

[Firma]  
Bachiller (b)

[Firma]  
Secretario/a

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Bachiller (c)

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	viii
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
2.1 Población y vivienda .....	15
2.2 Tipología de las viviendas existentes.....	17
2.3 Características de la autoconstrucción existentes.....	18
2.4 Propuesta de vivienda altoandina .....	19
2.5 Sistema estructural para edificios de tierra – Normativa Peruana E.080.....	20
2.5.1 Muro de adobe .....	20
2.5.2 Sobrecimiento.....	20
2.5.3 Cimentación.....	20
2.6 Límites geométricos de muros y vanos - Normativa peruana E.080.....	21
2.6.1 Parámetros mínimos de la normativa Peruana E.080.....	23
2.7 Flujograma de proceso de análisis.....	23
2.8 Análisis cinemático lineal.....	24
2.8.1 Determinación de las cargas actuantes en la estructura .....	25

2.8.2	Posición del punto de pivote para el muro.....	25
2.8.3	Factor de carga del mecanismo.....	25
2.8.4	Cálculo de la masa participativo .....	26
2.8.5	Fracción de masa participativa en el sistema cinemático .....	26
2.8.6	Aceleración espectral de activación del mecanismo.....	26
2.8.7	Verificación del estado límite de falla (ULS).....	27
2.9	Análisis cinemático no lineal.....	27
2.9.1	Estimación de la curva de capacidad (SDOF).....	30
2.9.2	Verificación de la seguridad del Sistema.....	31
3.	RESULTADOS .....	31
3.1	Configuración estructural.....	31
3.2	Análisis cinemático lineal.....	32
3.3	Análisis cinemático no lineal.....	32
4.	CONCLUSIÓN Y COMENTARIOS.....	33
	REFERENCIAS .....	34
	ANEXOS.....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Total de viviendas particulares con habitantes por zonas, urbana y rural, Pucará – Perú .....	15
<b>Tabla 2</b> Las cargas actuantes sobre el muro .....	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Mapa de construcción con tierra en el mundo .....	11
<b>Figura 2</b>	Zonas de alto riesgo sísmico .....	12
<b>Figura 3</b>	Mapa de la construcción con tierra en Perú .....	13
<b>Figura 4</b>	Mapa de localización de Distrito de Pucará .....	14
<b>Figura 5</b>	.....	16
<b>Figura 6</b>	Viviendas con material predominantes en techos .....	16
<b>Figura 7</b>	Viviendas con material predominantes en pisos .....	17
<b>Figura 8</b>	Tipología de vivienda urbana en la zona de Pucará .....	17
<b>Figura 9</b>	Tipología de vivienda rural en la zona de Pucará .....	18
<b>Figura 10</b>	Viviendas existentes del Distrito de Pucará .....	19
<b>Figura 11</b>	Propuesta de vivienda altoandina .....	20
<b>Figura 12</b>	Detalle en planta de la propuesta arquitectónica para la vivienda altoandina.	21
<b>Figura 13</b>	Detalle en corte y alzado de la propuesta arquitectónica de la vivienda altoandina S-01.....	21
<b>Figura 14</b>	Límites geométricos de muros y vanos de la normativa E.080 .....	22
<b>Figura 15</b>	.....	22
<b>Figura 16</b>	Configuración del modelo para el análisis .....	24
<b>Figura 17</b>	Espectro genérico de capacidad del mecanismo de bloques rígidos “a” vs el desplazamiento horizontal desde el punto de giro “dk” .....	29
<b>Figura 18</b>	Estimación de la curva de capacidad .....	30

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Evidencia de sumisión del artículo científico .....	37
<b>Anexo 2.</b> Resolución de perfil de proyecto de tesis en formato artículo .....	38

# Comportamiento estructural de una vivienda altoandina propuesta para el distrito de Pucará – Perú

## RESUMEN

El adobe es un material de construcción muy antiguo y bien utilizado en el mundo (Houben & Guillaud, 2008), pero donde hay construcciones de tierra cruda, ocurren con frecuencia actividad sísmica ya sea leve, moderada y grave. En Perú, el 69.90% de las construcciones son de tierra en las zonas rurales y el 20,5% en zonas urbanas (INEI, 2018). En el distrito de Pucará, las construcciones de adobe son parte de su identidad y constituyen una valiosa expresión de su riqueza cultural. El objetivo de esta investigación es determinar el comportamiento estructural de una vivienda altoandina basado en un diseño con material local. Se busca un adecuado comportamiento estructural y cumplir con los requerimientos de la normativa peruana en base a los siguientes criterios: resistencia, estabilidad y comportamiento sismorresistente. La metodología es no experimental, por lo cual se ha realizado una propuesta arquitectónica, para determinar mediante el análisis cinemático lineal y no lineal su comportamiento estructural de la vivienda de cada muro de manera independiente. Los resultados indican que la configuración estructural cumple de acuerdo a los lineamientos de la (E.080, 2017), el análisis cinemático lineal indica que la aceleración del terreno es del 58.67% de la aceleración necesaria para activar el mecanismo de falla lo cual satisface la seguridad del sistema, y por otro lado mediante el análisis cinemático no lineal se indica que el desplazamiento del terreno es 26.52% respecto al desplazamiento último del sistema para aproximarse al colapso, indica que satisface la verificación de seguridad del sistema, por lo tanto, el resultado es favorable. En conclusión, nuestra propuesta se convierte en una vivienda alternativa viable y sostenible para el Pucará adecuado para las zonas rurales del Distrito y de la región.

**Palabra Clave:** *Propuesta arquitectónica, Vivienda alto andina, Adobe, Comportamiento estructural*

# **Structural behavior of a high Andean dwelling proposed for the district of Pucará - Peru**

## **ABSTRACT**

Adobe is a very old and well used building material in the world, but where there is raw earth construction (Houben & Guillaud, 2008), there is also high seismic activity. In Peru, 69.90% of buildings are made of earth in rural areas and 20.5% in urban areas (Census National Dwelling, 2018). In the district of Pucará, adobe constructions are a significant element that forms part of its identity and constitute a valuable expression of its cultural richness. The objective of this research is to determine the structural performance of a high Andean dwelling based on a design with local material. The aim is to achieve adequate structural performance and to comply with the requirements of Peruvian regulations based on the following criteria: strength, stability and seismic-resistant performance. The methodology is non-experimental, so that an architectural proposal has been made, to subsequently determine through linear and non-linear kinematic analysis of each wall independently to verify adequate behavior for the dwelling. The results indicate that the structural configuration complies according to the guidelines of the (E.080, 2017), the linear kinematic analysis indicates that the ground acceleration is 58.67% of the acceleration required to activate the failure mechanism which satisfies the safety of the system, and on the other hand by the non-linear kinematic analysis indicates that the ground displacement is 26.52% with respect to the ultimate displacement of the system to approach the collapse, indicates that it satisfies the safety verification of the system, therefore, the result is favourable. In conclusion, our proposal becomes a viable and sustainable alternative housing for the Pucará suitable for the rural areas of the District and the region.

**Keywords:** *Architectural proposal, High Andean, Dwelling, Adobe, Structural behavior.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El adobe es un buen material de construcción muy antiguo (Houben & Guillaud, 2008), por lo que es posible hallar este tipo de construcciones de tierra cruda en casi todos los lugares del mundo, En todo el mundo, millones de personas están en riesgo porque viven en viviendas de tierra no reforzada, que han mostrado un comportamiento estructural extremadamente pobre durante los terremotos (Tarque, Blondet, Vargas Neumann, & Yallico Luque, 2022). pero donde existe albañilería de adobe, también son zonas de alto riesgo sísmico, por lo que nos enfrentamos ante pérdidas tanto humanas como materiales, pese a la inseguridad de este tipo de construcciones, aun las personas siguen utilizando esta alternativa como una opción, por no poder acceder a una vivienda digna y el adobe es un material tradicional que forma parte de su cultura.

### Figura 1

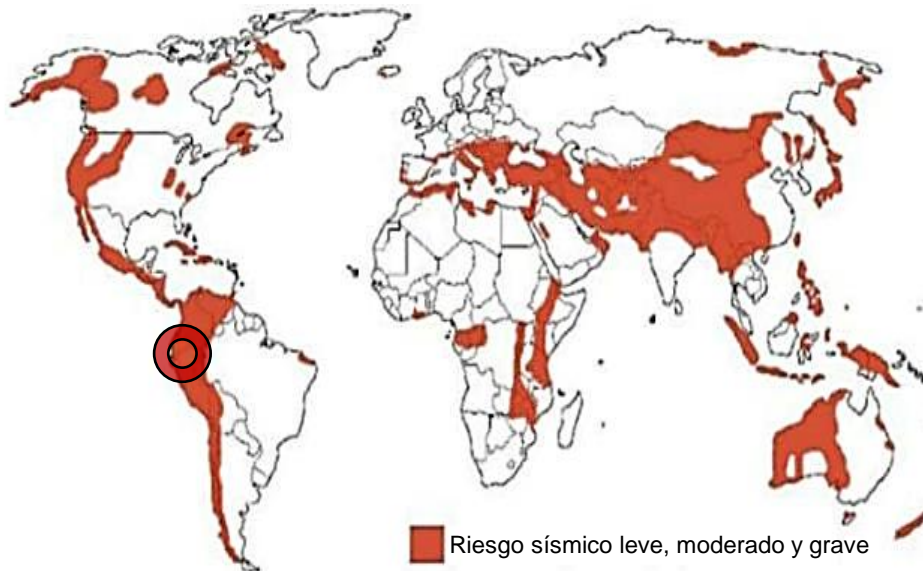
*Mapa de construcción con tierra en el mundo*



*Nota.* Ilustración de las construcciones con tierra en el mundo (Houben & Guillaud, 2008).

## Figura 2

### Zonas de alto riesgo sísmico



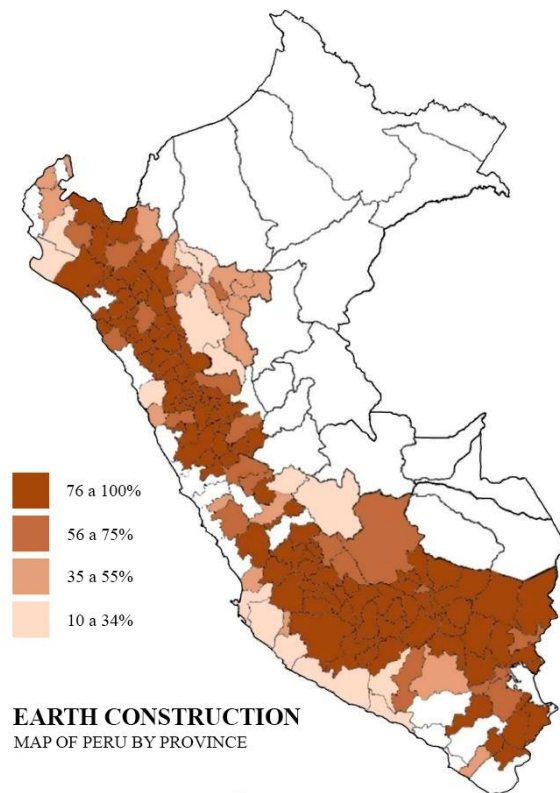
*Nota.* Ilustraciones de zonas de alto riesgo sísmico según (Houben & Guillaud, 2008).

Las construcciones con tierra en el Perú son el adobe, tapial (tierra apisonada), quincha (entramado de caña y madera recubierto de barro y paja) y sistema mixto (madera y tierra alivianada). Son muy comunes, debido a su bajo costo (Ávila, Puertas, & Gallego, 2022), ya que como una alternativa simple muchas viviendas se construyen de manera informal y sin previa supervisión técnica, la funcionalidad básica de estas viviendas consiste en proveer techo para que puedan vivir personas de escasos recursos. La información del último Censo, indica que el 20.5% del total de construcciones están ubicadas en zona urbana, y el 69.9% en la zona rural (INEI, 2018).

La mayor parte de la población en nuestro país continúa construyendo sus viviendas con adobe, principalmente son habitadas por personas de bajos recursos económicos. Por ello es importante seguir investigando y mejorando los métodos constructivos para disminuir los riesgos que se puedan producir al construir con este material vulnerable, que puede colapsar ante un evento sísmico (Wang, Yuan, Zhang, & Guo, 2023).

### Figura 3

Mapa de la construcción con tierra en Perú



*Nota.* Mapa de la construcción con tierra en Perú por provincias (INEI, 2018), Material Predominante en las paredes exteriores, Realizado por el CENTRO TIERRA - INTE – PUCP.

El distrito de Pucará se encuentra en la provincia de Lampa, en la región de Puno, en el sur de Perú. Pucará es un distrito rural que se sitúa a aproximadamente 70 km al noreste de la ciudad de Puno, que es la capital de la región. Las construcciones de adobe en Pucará reflejan la conexión de la comunidad con la tierra y su entorno natural. Este material es abundante en la zona y se adapta a las condiciones climáticas locales (Gusakova, Gusakov, Prokhorova, & Karakozova, 2023), requiere un excelente aislamiento térmico. Además, el adobe es un material sostenible (Araoz campos, y otros, 2023) y respetuoso con el medio ambiente, ya que se obtiene de recursos naturales renovables y no requiere un alto consumo de energía en su fabricación.

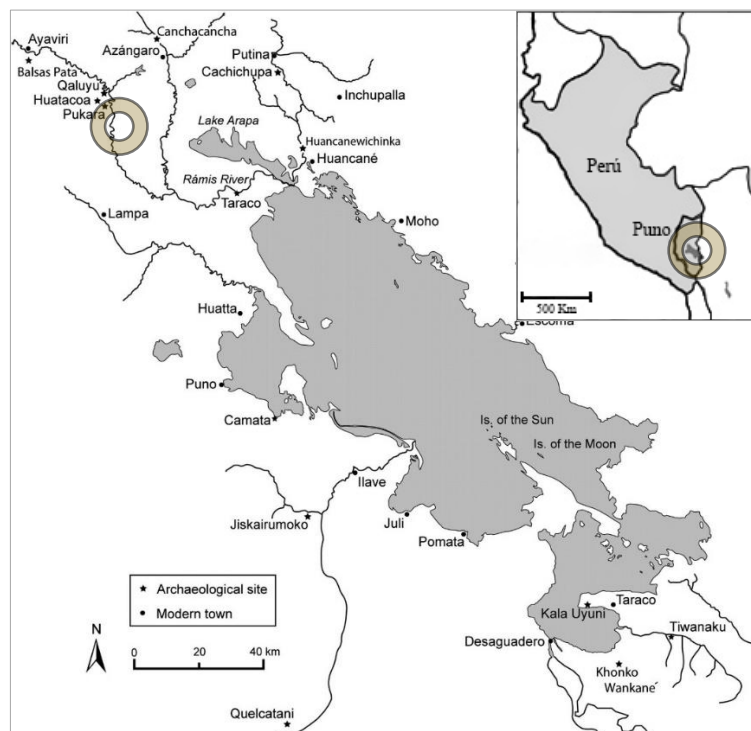
Pucará se caracteriza por sus hermosas construcciones de adobe, que representan una forma de construcción arraigada en la tradición y que refleja la identidad cultural de la

región. Estas construcciones son testigos del legado histórico y arquitectónico de Pucará y atraen a los interesados en apreciar la belleza y la autenticidad de esta técnica constructiva (Castillo Levicoy & Pérez Lira, 2020). Las construcciones de adobe pueden ser una opción viable en muchas regiones, especialmente donde los recursos y la tradición local lo favorecen. Sin embargo, es importante considerar sus desventajas y tomar medidas adecuadas para reducir los posibles problemas y garantizar la durabilidad y seguridad de las estructuras de adobe.

El estudio del comportamiento estructural de las construcciones de adobe es esencial para garantizar la seguridad de las personas (Lourenço, 2018), conservar el patrimonio cultural, mejorar las técnicas constructivas, establecer normas adecuadas y promover la adaptación al cambio climático.

#### Figura 4

Mapa de localización de Distrito de Pucará



Nota. Mapa de localización del lugar (Flores Blanco & Tantaleán, 2015) – Pucará

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Población y vivienda

La población de Pucará ha mantenido la tradición de construir con adobe a lo largo de los años. Sin embargo, es importante destacar que también se han introducido otros materiales de construcción más modernos, como ladrillos y concreto, en algunos proyectos de Desarrollo. Estos materiales ofrecen ciertas ventajas en términos de durabilidad y resistencia estructural, pero también pueden ser más costosos y menos sostenibles en comparación con el Adobe.

La población de Pucará tiene una comunidad local activa y comprometida con su patrimonio cultural. Pucará se dedica principalmente a actividades agrícolas y artesanales, y así mismo también el turismo es importante en el desarrollo del Distrito de Pucará. Muchos visitantes acuden a Pucará para admirar su arquitectura de adobe y conocer más sobre su historia y tradiciones (Housse & Mouquet, 2023).

**Tabla 1**

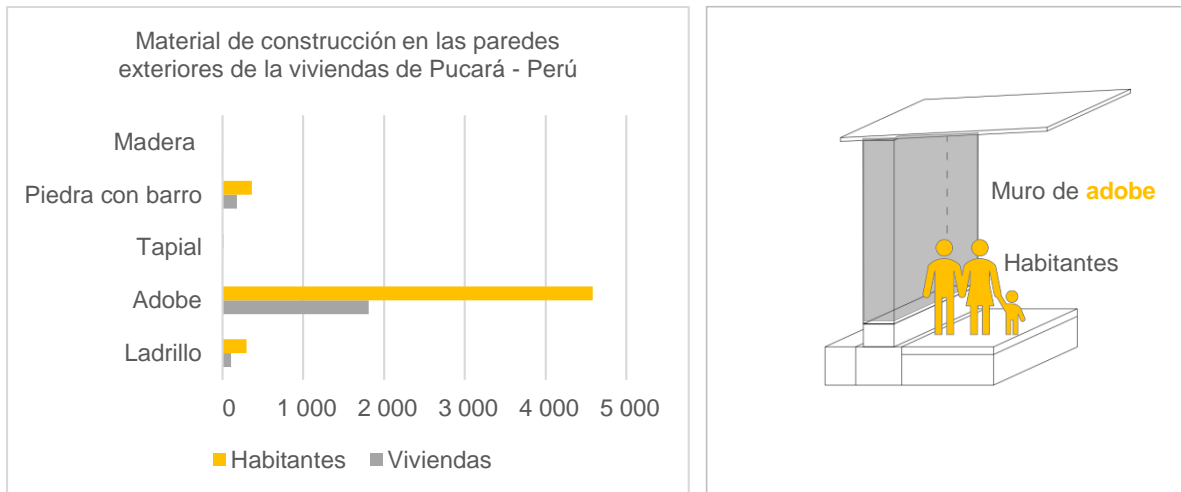
*Total de viviendas particulares con habitantes por zonas, urbana y rural, Pucará – Perú*

Denominación	Total		Urbano		Rural	
	Viviendas	Habitantes	Viviendas	Habitantes	Viviendas	Habitantes
Vivienda	1599	4184	705	2128	894	2056
Cabaña	498	1070	-	-	498	1070
Otros	2	2	2	2	-	-
Total	2099	5286	707	2130	1392	3126

*Nota.* Información extraída del Censo (INEI, 2018).

**Figura 5**

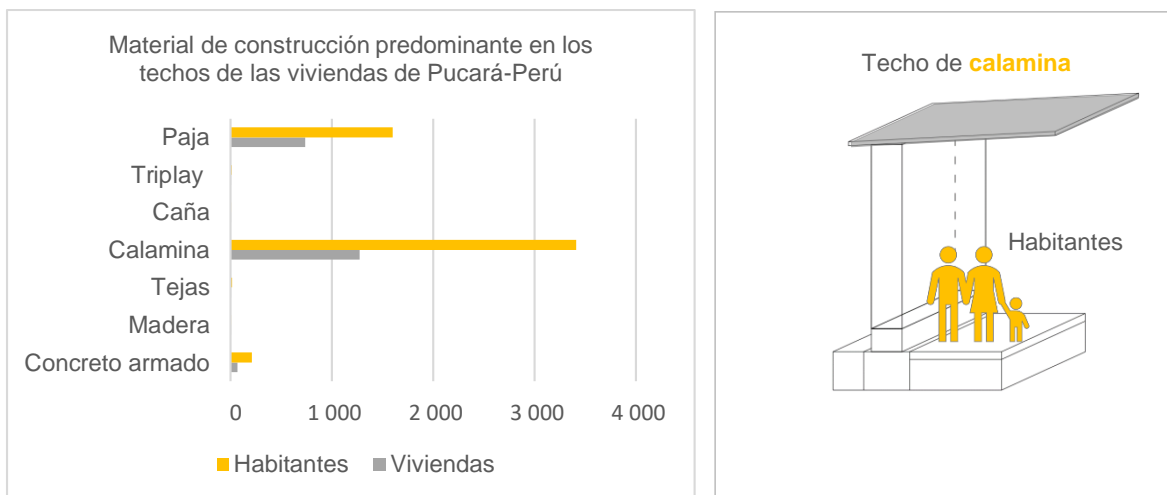
*Viviendas con material predominantes en muros*



*Nota.* viviendas con ocupantes presentes, por material de construcción predominante en las paredes exteriores de la vivienda (INEI, 2018).

**Figura 6**

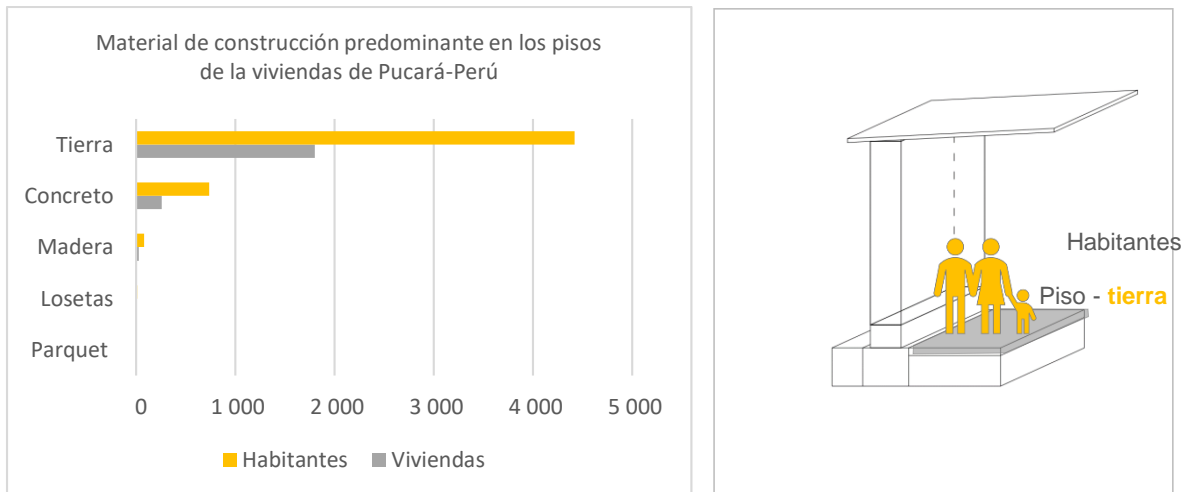
*Viviendas con material predominantes en techos*



*Nota.* Material de construcción predominante en los techados de la vivienda (INEI, 2018).

## Figura 7

### Viviendas con material predominantes en pisos



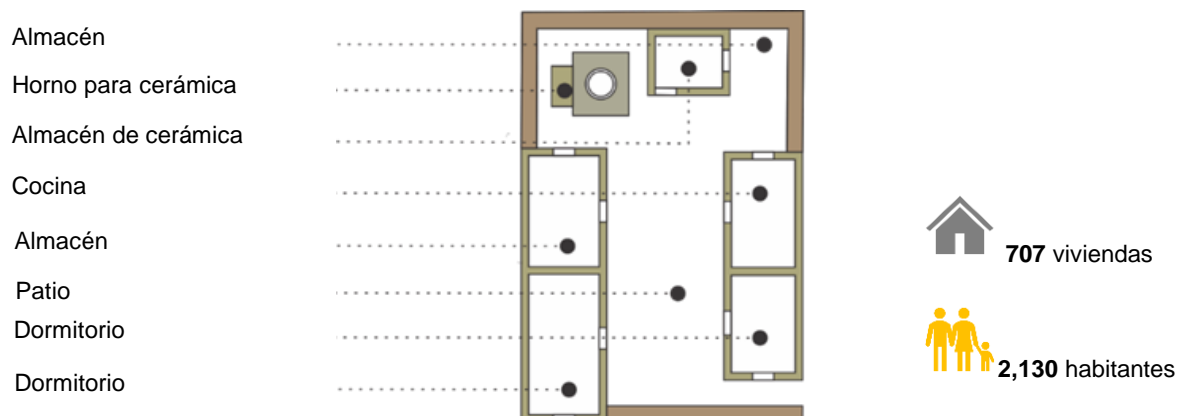
Nota. Material de construcción predominante en los pisos de la vivienda (INEI, 2018).

## 2.2 Tipología de las viviendas existentes

En las áreas urbanas de Pucará, las viviendas de adobe también son comunes, aunque se pueden observar algunas influencias de la construcción moderna. En general, las casas urbanas de adobe son similares a las rurales en términos de diseño y materiales, pero pueden tener un aspecto más contemporáneo y adaptarse a las necesidades de las familias. Algunas viviendas urbanas pueden combinar el adobe con otros materiales de construcción, como ladrillos o cemento, para mejorar la estructura y durabilidad de la casa.

## Figura 8

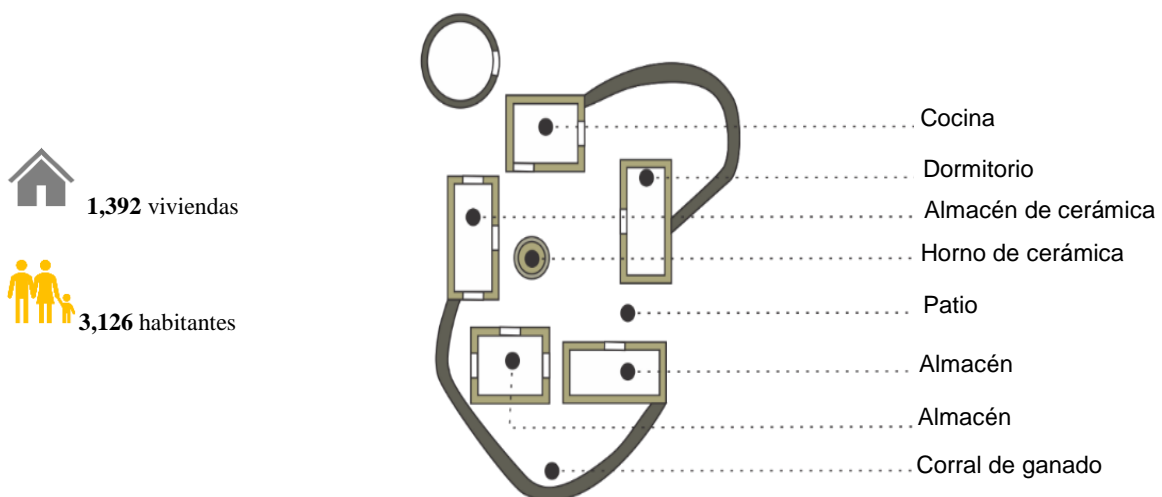
### Tipología de vivienda urbana en la zona de Pucará



En las zonas rurales de Pucará, las viviendas de adobe suelen ser más simples y tradicionales. Estas casas se construyen principalmente con adobe y techos de paja o tejas de barro. Las paredes de adobe son gruesas y ofrecen un buen aislamiento térmico, lo que ayuda a mantener la vivienda fresco en verano y cálido en invierno. Estas viviendas suelen tener una o dos funciones y están adaptadas al estilo de vida rural, con espacios destinados a agricultura y almacenamiento de productos.

**Figura 9**

*Tipología de vivienda rural en la zona de Pucará*



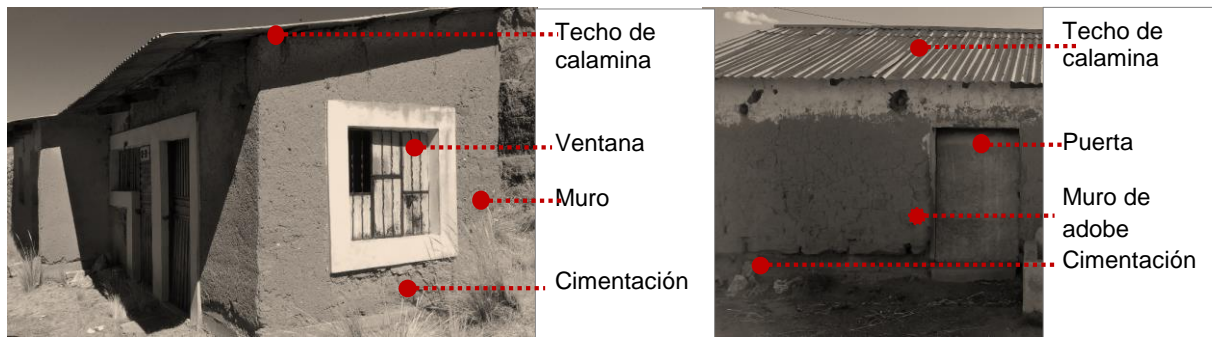
### 2.3 Características de la autoconstrucción existentes

Las viviendas existentes están generalmente construidas sin criterios de los parámetros mínimos de la normativa peruana. No tienen cimentaciones algunas viviendas, solo se tiene una profundidad de 15 cm para hundir las primeras piedras. Los muros generalmente tienen un espesor de 30-45 cm, su altura varía entre 1.60m – 2.40 m. El bloque típico de adobe tiene dimensiones de 40x30x12 cm en la zona de Pucará y se construye muros en soga. Los muros de adobe están correctamente contruidos en la mayoría de las viviendas, pero con juntas de mortero mayores a 2cm, cimentaciones piedras poca cantidad de barro apropiada, cimientos de 30 – 50 cm de profundidad aproximadamente y los

sobrecimientos encontrados en la zona tanto en zonas urbanas y rurales es (mín. 20 cm, máx. 110 cm) en función al espesor del muro.

## Figura 10

*Viviendas existentes del Distrito de Pucará*



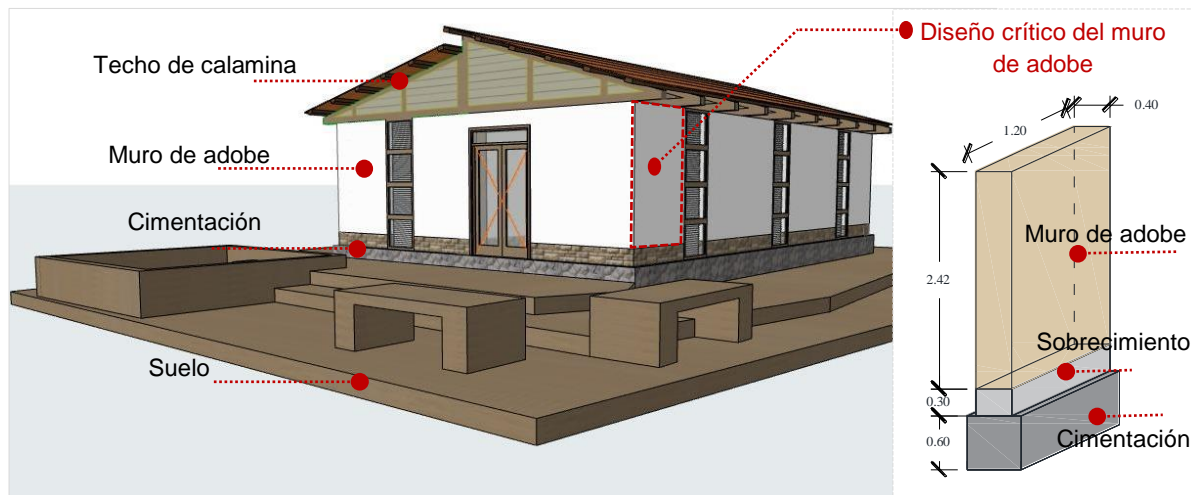
*Nota.* Las viviendas existentes presentan discontinuidad de muros, cimientos deficientes, entre otros.

### 2.4 Propuesta de vivienda altoandina

La propuesta consistió en diseñar una vivienda altoandina que brinde un refugio seguro para la familia local, permitiéndoles vivir en condiciones adecuadas. La población de la zona está situada en condiciones de climas extremas, actividades sísmicas y muchas de las viviendas existentes son autoconstrucción y resultan insuficientes e inadecuados para enfrentar estos eventos climáticos. Por tanto, se planteó una solución estructural que garantiza la resistencia ante sismo y que se adapta de manera efectiva al clima local.

**Figura 11**

*Propuesta de vivienda altoandina*



## **2.5 Sistema estructural para edificios de tierra – Normativa Peruana E.080**

### **2.5.1 Muro de adobe**

Los muros de adobe son elementos estructurales de ellos depende la vivienda a construir porque se debe considerar su resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico. Los bloques de adobe se deben realizar bajo los criterios de la normativa peruana.

### **2.5.2 Sobrecimiento**

**2.5.2.1 El sobrecimiento debe cumplir dos condiciones:** Todo sobrecimiento debe tener la elevación respecto al terreno natural no menos de 0.30 m y tener un ancho mínimo de 0.40 m que es el espesor del muro.

**2.5.2.2 Tipo de sobrecimientos:** Construcción de piedra con mortero de barro o arena gruesa con cal.

### **2.5.3 Cimentación**

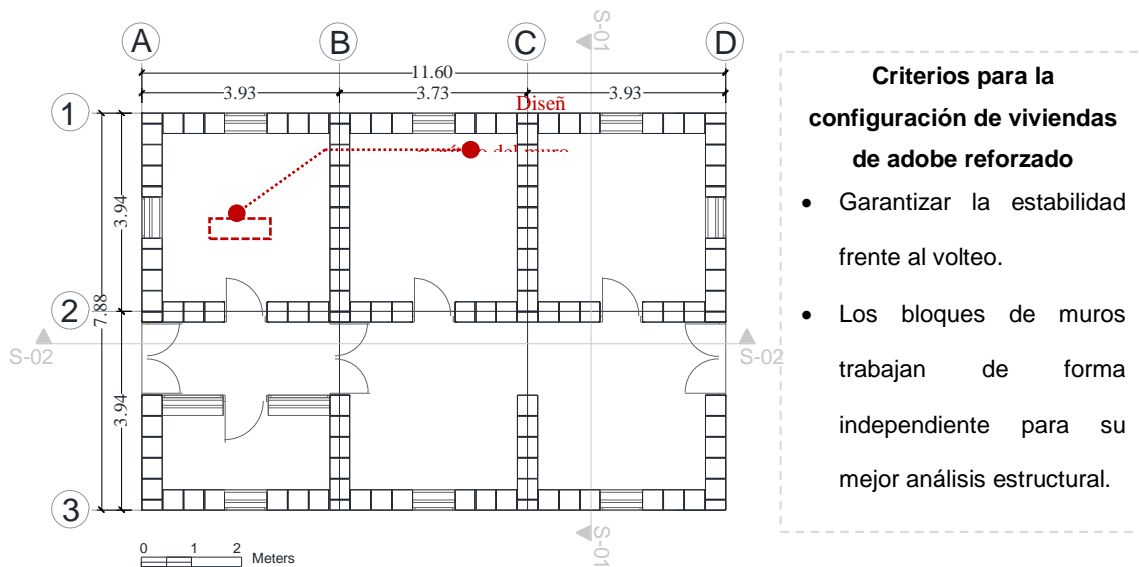
**2.5.3.1 Los cimientos deben cumplir estas condiciones:** Transmitir las cargas al suelo de forma uniforme y firme, Evitar que ascienda la humedad por capilaridad hacia los muros de adobe.

Los criterios mínimos de cimentaciones de profundidad deben ser de 0.60 m. debajo del terreno natural y un ancho mínimo de 0.60 m.

**2.5.3.2 Tipo de cimentaciones:** Piedras grandes acomodadas con mortero de barro y acomodada con piedras pequeñas.

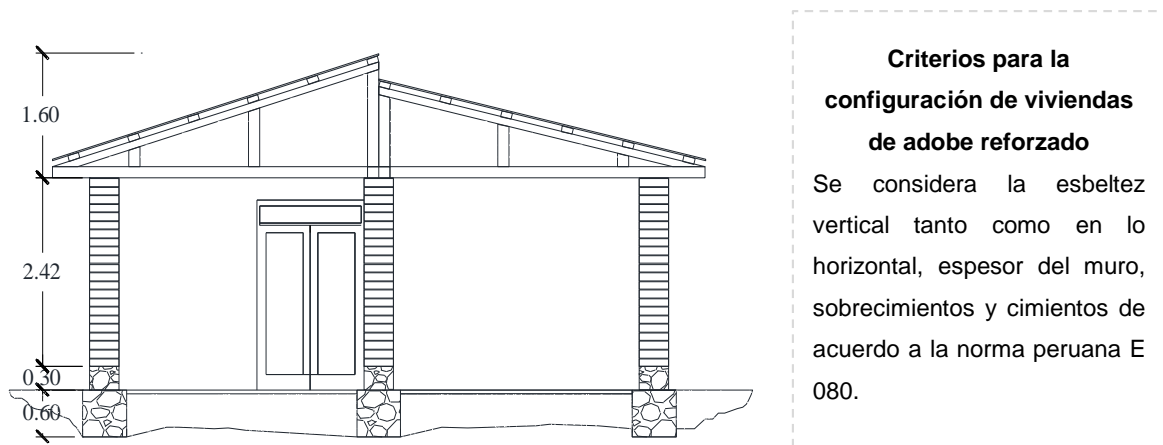
**Figura 12**

*Detalle en planta de la propuesta arquitectónica para la vivienda altoandina*



**Figura 13**

*Detalle en corte y alzado de la propuesta arquitectónica de la vivienda altoandina S-01*



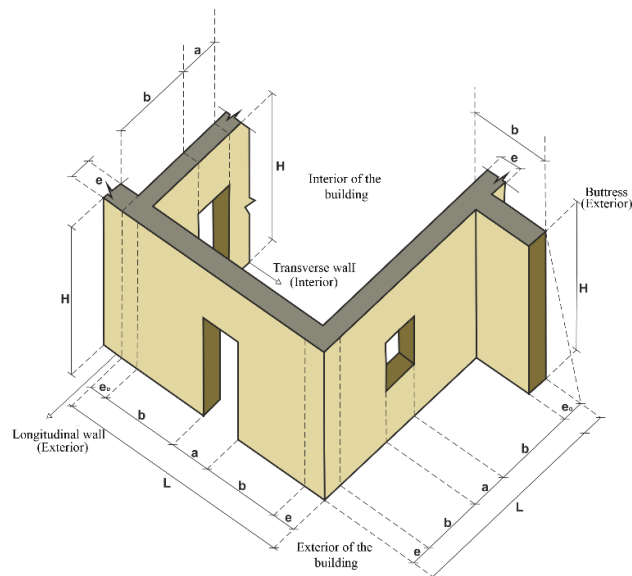
## 2.6 Límites geométricos de muros y vanos - Normativa peruana E.080

Las construcciones en tierra, los muros son elementos esenciales que brindan estabilidad y resistencia estructural. La norma establece límites geométricos para los muros, considerando aspectos como su altura, espesor y ubicación en el edificio. Estos límites

aseguran que los muros sean lo suficientemente resistentes ante cargas sísmicas y que no excedan las dimensiones seguras para el tipo de suelo y la zona sísmica en la que se encuentra la Vivienda (E.080, 2017).

**Figura 14**

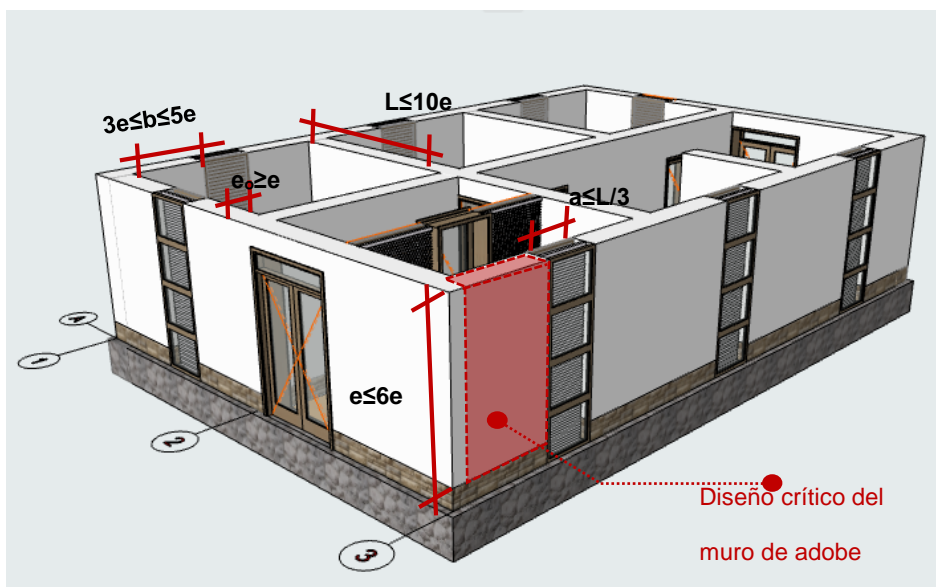
*Límites geométricos de muros y vanos de la normativa E.080*



*Nota.* La figura representa los Límites geométricos de muros y vanos, adaptados de la normativa peruana (E.080, 2017).

**Figura 15**

*Límites geométricos de muros y vanos de la propuesta de vivienda*

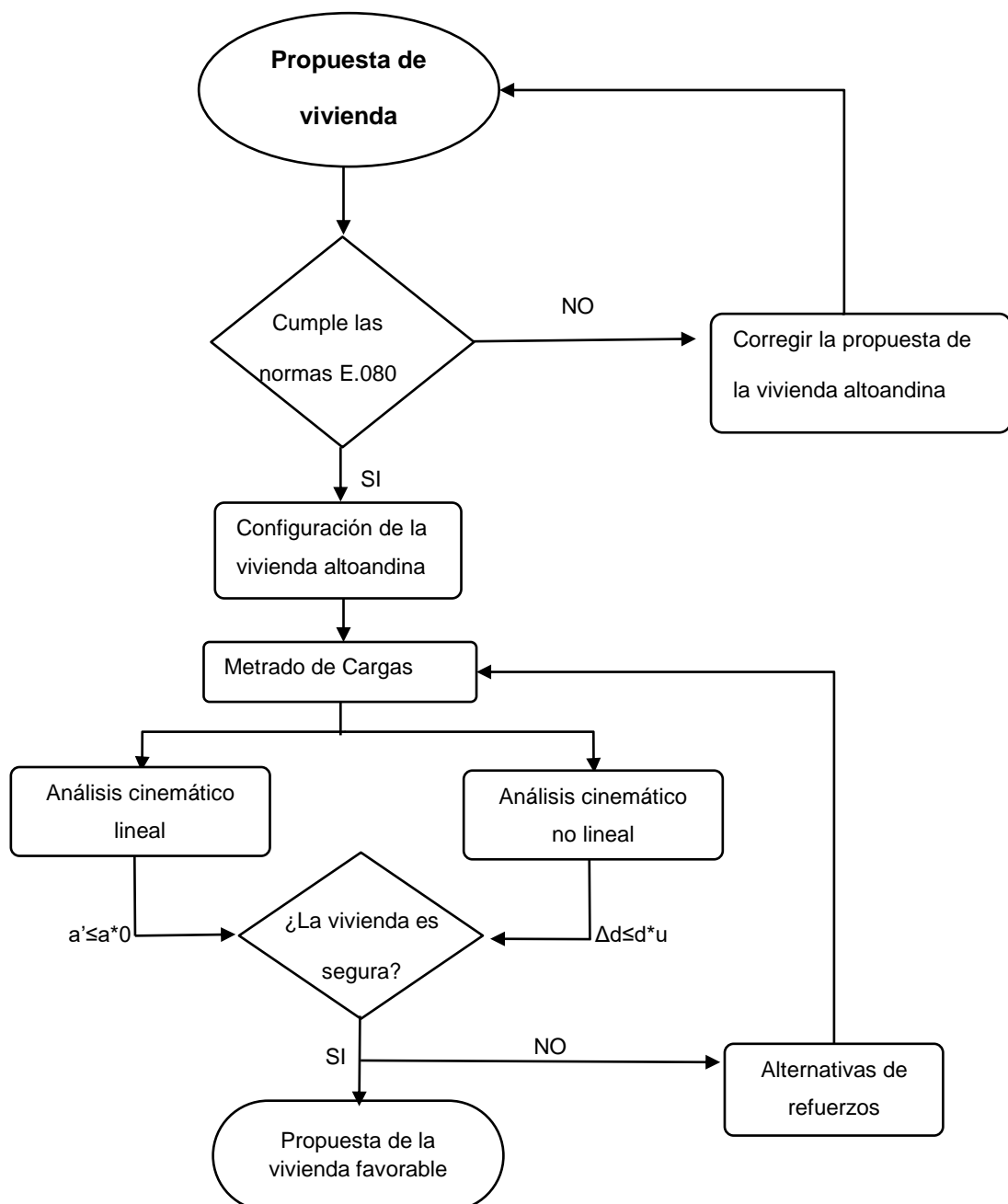


*Nota.* La figura muestra los límites geométricos de muros y aberturas - Vivienda altoandina

### 2.6.1 Parámetros mínimos de la normativa Peruana E.080

Espesor de muro como mínimo  $0.40m \leq e$ , ancho de vanos  $4.00m$  de largo como máximo  $L=10e$ , considerar en vanos de esquina de muros de  $1.20m$  de longitud mínima entre vanos  $3e \leq b \leq 5e$ , altura máxima de paredes igual a  $2.40 m \leq h$ , relación geométrica (Longitud, altura, y espesor) de acuerdo a la expresión  $(L \leq 1.25H \leq 17.5e)$  y la esbeltez vertical cumplir la expresión  $\lambda h + 1.25 \lambda v \leq 17.5$ .

### 2.7 Flujoograma de proceso de análisis

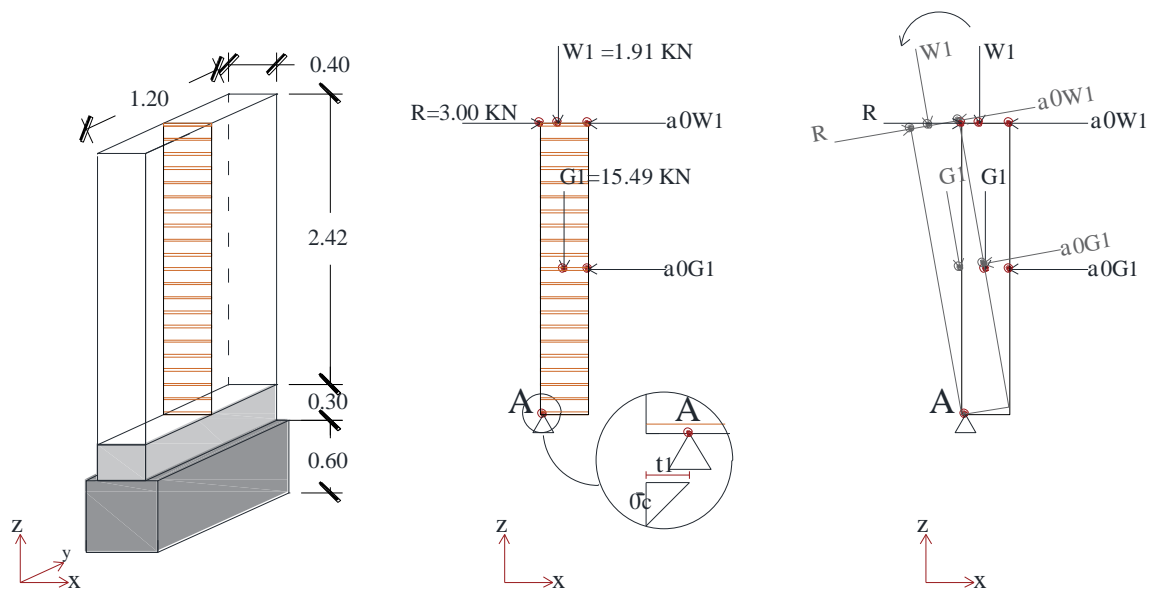


## 2.8 Análisis cinemático lineal

Para obtener el multiplicador de carga horizontal  $\alpha_0$  que activa el mecanismo de daño local, es necesario aplicar las cargas actuantes verticales y horizontales a la cadena cinemática compuesta de los bloques rígidos respecto a un punto de giro o rotación virtual calculada con la ecuación 1 (B. Lourenço, M. Pereira, & Torrealva, 2022):

**Figura 16**

*Configuración del modelo para el análisis*



*Nota.* a) Configuración del modelo, b) La cinemática hipotética viene dada por una rotación de todo el muro alrededor de la bisagra A. c) Giro del bloque alrededor de la línea de articulación durante el colapso.

Al asignar una rotación virtual  $\theta_c$  al bloque genérico, es posible determinar los desplazamientos como una función de la rotación y la geometría de la estructura debido a las varias fuerzas aplicadas en las direcciones respectivas. El multiplicador de carga  $\alpha_0$  se obtiene en términos de desplazamientos, aplicando el principio de los trabajos virtuales (PTV) al igualar el trabajo total hecho por las fuerzas externas a las fuerzas internas aplicadas al sistema, lo cual corresponde al trabajo virtual (NTC, 2018).

### 2.8.1 Determinación de las cargas actuantes en la estructura

Las cargas actuantes sobre el muro están dadas en la Tabla N°2 para cada caso

**Tabla 2**

*Las cargas actuantes sobre el muro*

Denominación	Carga (KN)	Posición x (m)	Posición y (m)	M.Estabilizante (KN.m)	M.Desestabilizante (KN.m)
Peso propio G1	15.49	0.171	1.210	2.649	18.740
Sobrecarga W1	1.91	0.121	2.420	0.231	4.620
Refuerzo R1	3.00		2.420	7.200	

### 2.8.2 Posición del punto de pivote para el muro

La ubicación del punto de rotación del sistema o bloque analizada está dada en función a las cargas actuantes en ella y la resistencia a la compresión de la mampostería que se obtiene de la norma peruana E-080.

$$t_1 = \frac{2(G_1 - w_1)}{1000\sigma_c} = 0.029 \text{ m} \quad (1)$$

Donde:

$t_1$  = Posición del punto de pivote (m)

$\sigma_c$  = Esfuerzo de compresión de adobe (Mpa)

### 2.8.3 Factor de carga del mecanismo

Del equilibrio dado en la figura 14 entre los momentos estabilizadores y desestabilizadores (Tabla 2), se tiene que el factor de carga de colapso del mecanismo estará dado por el siguiente valor:

$$\alpha_0 = \frac{\sum M. Estable}{\sum M. Inestable} = 0.434 \quad (2)$$

Donde:

$\alpha_0$  = Mecanismo Factor de carga

#### 2.8.4 Cálculo de la masa participativa

La masa participativa del sistema está dada en función a las cargas dadas y el desplazamiento relativo que se tienen entre ellos.

$$M^* = \left( \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i} \right)^2 / g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2 = 1.643 \quad (3)$$

Donde:

$M^*$  = Masa participativa (ton)

$g$  = Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$P_i$  = Cargas existentes en el análisis (KN)

$\delta$  = Desplazamientos relativos

#### 2.8.5 Fracción de masa participativa en el sistema cinemático

$$e^* = gM^* / \sum_{i=1}^{n+m} P_i = 0.927 \quad (4)$$

Donde:

$e^*$  = Fracción de masa participativa

#### 2.8.6 Aceleración espectral de activación del mecanismo

Representa una aceleración equivalente para activar el mecanismo del sistema y producir desplazamientos.

$$a_0^* = a_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i / M^* = \frac{a_0 g}{e^*} = 4.596 \quad (5)$$

Donde:

$a_0^*$  = Aceleración espectral (m/s<sup>2</sup>)

### 2.8.7 Verificación del estado límite de falla (ULS)

Del análisis lineal verificamos que la aceleración que transmite el terreno no supere la aceleración de activación del mecanismo, ya que en caso contrario el sistema no será seguro. La aceleración que se produce en el terreno se calcula para la Zona sísmica 2 (E.030, 2017).

$$a_0^* \geq \frac{a_g S}{q} \left( 1 + 1.5 \frac{Z}{H} \right) \quad (6)$$

Donde:

$a_g$  = Zonificación (Zona 2 – Perú)

$S$  = Factor de suelo

$Z$  = Sumatoria de momentos desestabilizantes entre momento sumatoria de cargas actuantes(m)

$H$  = Altura de muro de la vivienda(m)

$q$  = Factor de albañilería (2)

Se realiza la verificación lineal, con la ecuación 6 para ver la seguridad sísmica de los bloques por un estado límite de daño. Por lo tanto, podemos comparar la aceleración espectral que activa el mecanismo de colapso con la aceleración característica de la zona donde se ubica (Salar Ahmadi, Karanikoloudis, Mendes, Illampas, & B. Lourenço, 2022).

Aceleración necesaria para activar el mecanismo.

$$a_0^* = 4.596 \text{ m/s}^2$$

Aceleración del terreno para Zona sísmica 2

$$a' = 2.696 \text{ m/s}^2$$

## 2.9 Análisis cinemático no lineal

La definición de capacidad de desplazamiento del bloque hasta el colapso mediante el uso de cinemático no lineal, el factor de carga horizontal “a” se puede evaluar no solo en

la configuración inicial, sino también en las variaciones de las fuerzas cinemáticas representativas del aumento de mecanismo respecto al punto de control  $dk$  (B. Lourenço, M. Pereira , & Torrealva, 2022). El análisis debe seguir llevándose a cabo hasta que se hayan alcanzado el multiplicador correspondiente  $a = 0$  y el desplazamiento respectivo  $dk,0$  (NTC, 2018).

El desplazamiento necesario para que el momento estabilizador resultante sea nulo, y de tal forma que el factor  $\alpha$  también sea nulo estará dado por:

$$dk,0 = 0.298$$

Donde:

$dk_0$ = Desplazamientos necesarios (m)

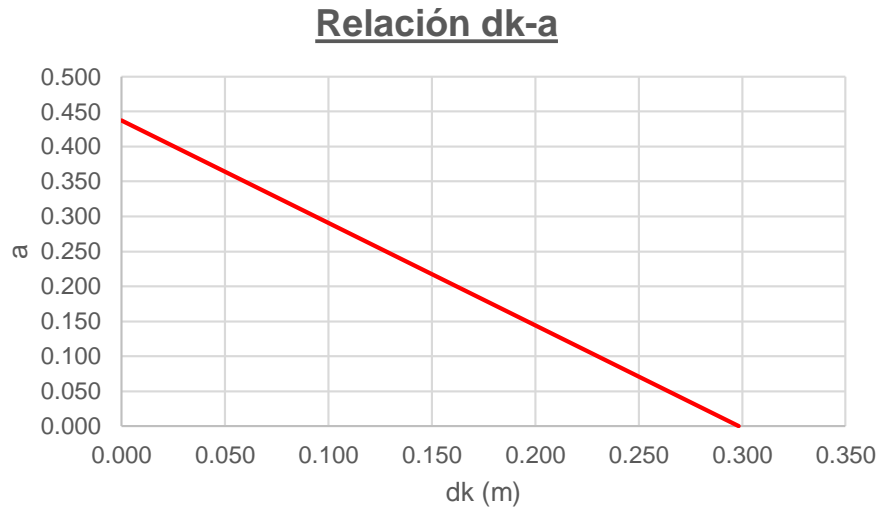
Si las distintas fuerzas actuantes (peso, fuerzas externas e internas) son constantes al transformar, la curva que se puede obtener sería casi lineal. El desplazamiento horizontal  $dk,0$  (correspondiente a la condición  $a = 0$ ) puede deducirse de la expresión simplificada (B. Lourenço, M. Pereira , & Torrealva, 2022).

$$a = a_0(1 - d_k/d_{k,0}) \tag{7}$$

Este desplazamiento corresponde al extremo superior del muro como primer punto de control, la variación de “a” en función al desplazamiento del punto de control superior se muestra en la siguiente figura.

**Figura 17**

*Espectro genérico de capacidad del mecanismo de bloques rígidos "a" vs el desplazamiento horizontal desde el punto de giro "dk"*



Para verificar la seguridad del sistema, es necesario transformarlo el bloque analizado a un punto de rotación donde se determina con la ecuación 1 u "oscilador equivalente", en el cual el desplazamiento para que el momento estabilizador sea nulo esta dado por:

$$d_0^* = d_{k0} \left( \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2 \right) / \delta_{x,k} \left( \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i} \right) \quad (8)$$

Donde:

$d_0^*$  = Desplazamiento a un grado de libertad (m)

$$d_{k0} = dk = 0.599$$

$$d_0^* = 0.179$$

El desplazamiento  $d_0^*$  representa el desplazamiento necesario para producir el colapso del sistema, sin embargo, para verificar la seguridad es necesario reducir dicho desplazamiento hasta un desplazamiento ultimo  $d^*u$ .

$$d^*u = 0.071$$

$$d^*s = 0.029$$

Donde:

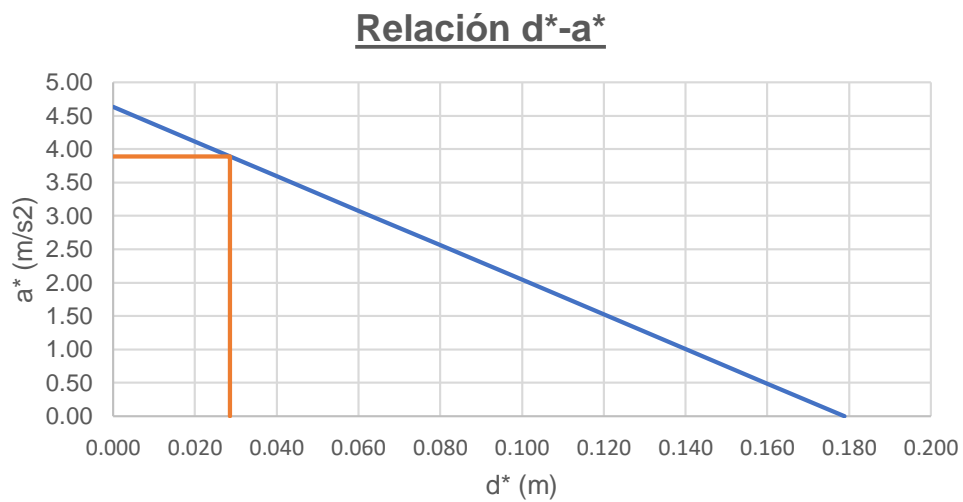
$d^*u$ = Desplazamiento último (m)

$d^*s$ = Desplazamiento espectral (m)

### 2.9.1 Estimación de la curva de capacidad (SDOF)

**Figura 18**

*Estimación de la curva de capacidad*



*Nota.* Desplazamiento a un grado de libertad SDOF sistema oscilador que define una relación entre la aceleración espectral y el desplazamiento.

Se tiene la aceleración espectral y el desplazamiento espectral para obtener el periodo secante son:

$$a^*s = 3.860$$

$$d^*s = 0,029$$

$$T^*s = 0.541$$

Donde:

$a^*s$  = Aceleración espectral (m/s<sup>2</sup>)

$d^*s$  = Desplazamiento espectral (m)

$T^*s$  = Periodo de seguridad (s)

Asimismo, el periodo fundamental del sistema está dado por:

$$T_1 = 0,097$$

$$1,5 T_1 = 0,146$$

$$T_d = 2.600$$

### **2.9.2 Verificación de la seguridad del Sistema**

La seguridad del sistema se garantiza siempre que el desplazamiento que se tiene según las condiciones del terreno durante un terremoto, no supere el desplazamiento último que produciría la inestabilidad del sistema. En la verificación no lineal que se calculó,  $d_u^*$  se compara con el desplazamiento de demanda  $\Delta_d$  y el desplazamiento espectral  $d_u^*$ , que se obtiene en función de un período secante  $T_s$ .

$$\Delta_d \leq d_u^*$$

La demanda de desplazamiento del terremoto

$$\Delta_d (T_s) = 0.019$$

Capacidad última de desplazamiento del sistema

$$d_u^* = 0.071$$

## **3. RESULTADOS**

En el Perú existe mayor informalidad y es el país que tiene mayor construcción en este material de tierra, Algunos centros de investigación como el CENTRO TIERRA-INTE-PUCP en el año 2013 manifestó mediante un mapa territorial la incidencia para promover el interés del problema de autoconstrucción y buscar soluciones ante esta situación, Pucará nuestro lugar de investigación se encuentra en zona 2 y posee alta construcción con tierra, se ilustra en la Figura 3 del Mapa de construcción con tierra del Perú.

### **3.1 Configuración estructural**

Para poder definir una configuración estructural para la vivienda altoandina, fue necesario seguir los parámetros de la normativa peruana E.080 (Diseño y construcción con

tierra reforzada), así mismo tener opinión de un especialista como el caso de Ing. Julio Hernan Vargas Neumann investigador por parte de la PUCP (Universidad Pontificia Católica del Perú) y su recomendación coincide con norma peruana sobre criterio de diseño basado en la estabilidad donde se define el espesor de muro, longitud y altura lo que como producto garantizamos la esbeltez vertical como también la esbeltez horizontal.

- La relación geométrica cumple ( $L \leq 1.25H \leq 17.5e$ ).
- Se cumple la expresión  $\lambda h + 1.25 \lambda v \leq 17.5$ .

### 3.2 Análisis cinemático lineal

Mediante el análisis lineal verificamos que la aceleración que transmite el terreno no superará la aceleración de activación del mecanismo, ya que en caso contrario el sistema no sería seguro. Por lo que determinamos si cumple con la condición buscada.

$$a' \leq a_0^*$$

- $a_0^* = 4.596 \text{ m/s}^2$  Aceleración necesaria para activar el mecanismo de falla.
- $a' = 2.696 \text{ m/s}^2$  Aceleración del terreno para la zona 2.

La aceleración del terreno será un 58.67% de la aceleración necesaria para activar el mecanismo, por lo tanto, se dice que el mecanismo satisface la seguridad del sistema.

### 3.3 Análisis cinemático no lineal

La seguridad del sistema se garantiza siempre con el desplazamiento que se tiene según las condiciones del terreno durante un terremoto, y que no superen el desplazamiento último que produciría la inestabilidad del sistema, de igual forma cumplimos con la condición de acuerdo a la base teórica.

$$\Delta_d \leq d_u^*$$

- $\Delta_d = 0.019$  La demanda de desplazamiento del terremoto.

- $d_u^* = 0.071$  Capacidad de desplazamiento último del mecanismo local.

El desplazamiento del terreno será un 26.52% del desplazamiento último del sistema para acercarse al colapso, por lo tanto, se dice que el sistema satisface la verificación de seguridad. La estructura cumple con los criterios de desempeño y exigencias sísmicas locales, con seguridad suficiente y niveles aceptables de daño reparable (B. Lourenço, M. Pereira , & Torrealva, 2022).

#### 4. CONCLUSIÓN Y COMENTARIOS

La vivienda altoandina propuesta para el distrito de Pucará, diseñada con materiales y técnicas de construcción tradicionales de la región, demostró un comportamiento estructural adecuado de acuerdo al cálculo de uno de sus muros de longitud mínimo y una capacidad de resistencia satisfactoria ante las cargas sísmicas características de la zona, lo que la convierte en una vivienda alternativa viable y sostenible para el distrito de Pucará.

En el cálculo del análisis cinemático lineal realizado y de acuerdo a la verificación de estado de límite falla, se concluye que  $a_0^* = 4.596 \text{ m/s}^2$  Aceleración necesaria para activar el mecanismo de falla es mayor que la  $a' = 2.696 \text{ m/s}^2$  Aceleración del terreno para la zona 2. entonces La aceleración del terreno será un **58.67%** de la aceleración necesaria para activar el mecanismo, por lo tanto, se dice que el mecanismo satisface la seguridad del Sistema y el bloque analizado se mantiene estable bajo el análisis realizado.

Del cálculo del análisis cinemático no lineal se tiene que,  $\Delta_d = 0.019\text{m}$  la demanda de desplazamiento de la zona y  $d_u^* = 0.071\text{m}$  la capacidad de desplazamiento último del mecanismo local. Entonces el desplazamiento del terreno será un **26.52%** del desplazamiento último del sistema para acercarse al colapso, por lo tanto, se dice que el Sistema satisface la verificación de seguridad.

De acuerdo al análisis numérico realizado se observa que la norma peruana E.080, es muy conservador porque nos indica que la longitud mínima de muro debería ser 1.20m para garantizar el comportamiento estructural adecuado de cada muro forma independiente.

A su vez lo adecuado del espesor del muro debe ser de 0.40m, que evita las fallas típicas por esbeltez.

## REFERENCIAS

- Araoz campos, A., Cori Yanarico, M., Fernández Dávalos, A. K., Flores Aruquipa, Y. J., Alvarez Quispe, M. D., & Aquino Rocha, J. H. (2023). Construcción tradicional con tierra: estudio de caso de la comunidad de Rodeo Alto, Cochabamba-Bolivia. *Revista de Patología y Rehabilitación de Edificios, Volume 8*(DOI: 10.1007/s41024-023-00277-3).
- Ávila, F., Puertas, E., & Gallego, R. (2022). Characterization of the mechanical and physical properties of stabilized rammed earth: A review. *Construction and Building Materials, Volume 325*(DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126693).
- B. Lourenço, P., M. Pereira , J., & Torrealva, D. (2022). *Proyecto de estabilización sismorresistente: Cálculos simplificados para el análisis estructural de edificios históricos de tierra* (ISBN: 978-1-957939-04-9 ed.). Lima: Getty Conservation Institute , TecMinho – Universidad del Minho and Pontificia Universidad Católica del Perú.
- B. Lourenço, P., Pia Ciocci, M., Greco, F., Karanikoloudis, G., Cancino, C., & Torrealva, D. (2018). Traditional techniques for the rehabilitation and protection of historic earthen structures: The seismic retrofitting project. *International Journal of Architectural Heritage*(<https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1497232>), Pages 15-32.
- Castillo Levicoy, C., & Pérez Lira, C. (2020). Arquitectura de adobe y quincha: construyendo identidad a partir de los recursos naturales de la Ribera General Carrera en la región de Aysén, Chile. *Grupo Español del Instituto Internacional para la Conservación de Obras de Arte Históricas y Artísticas, Volume 18*(DOI: 10.37558/gec.v18i1.769), Pages 56 - 68.
- E.030, N. P. (2017). *Seismic Resistant Design* (Ministerial Resolution N° 043-2019 - Dwelling. ed.). Lima: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento .

- E.080, N. P. (2017). *Diseño y Construcción con Tierra Reforzada* (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento ed.). Lima: Resolución Ministerial N° 121-2017 - Vivienda.
- Flores Blanco, L., & Tantaleán, H. (03 de Junio de 2015). *Arqueología de la cuenca del Titicaca, Perú*. Lima: Institut français d'études andines, ISBN electrónico: 9782821845695, DOI: 10.4000/books.ifea.6557.
- Gusakova, N., Gusakov, A., Prokhorova, Y., & Karakozova, I. (2023). Creación de programas para la administración sostenible de programas de construcción de viviendas de baja altura en zonas remotas con condiciones climáticas especiales. *Journal of Law and Sustainable Development, Volume 11*(DOI: 10.37497/sdgs.v11i1.264).
- Houben, H., & Guillaud, H. (2008). *Construcción en Tierra : Guía completa* (ISBN: 9781853391934 y 185339193X ed.). London: Practical Action Publishing y Warwickshire.
- Housse, R., & Mouquet, A. (2023). *Asentamientos Pucara en las Cumbres de los Territorios de Lupaca y Pacajes, Altiplano Sur Andino, durante el Período Intermedio Tardío (1000-1450 d.C.)* (Geoffrey McCafferty Universidad de Calgary, Canadá, y Cecilia Sanhueza Universidad Bernardo O'Higgins, Chile ed.). París-Francia: DOI: 10.1017/laq.2023.9.
- INEI, C. N. (2018). *Material Predominante en el Exterior de los Muros*. Lima - Perú: CENTRO TIERRA - INTE - PUCP.
- Lourenço, P. B. (2018). *Tecnologías de rehabilitación y refuerzo sísmico de estructuras de tierra y mampostería: Evaluación y aplicación*. *Universidade de Minho*([https://doi.org/10.1007/978-3-319-75741-4\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75741-4_21)).
- NTC. (2018). *Normas técnicas de construcción*. Roma: Ministerio de Infraestructuras y Transportes.
- Salar Ahmadi, S., Karanikoloudis, G., Mendes, N., Illampas, R., & B. Lourenço, P. (2022). *Evaluación de la respuesta sísmica de una estructura histórica de adobe*

reacondicionada: el papel de la actualización modal y los cálculos avanzados.  
*MDPI*(<https://doi.org/10.3390/buildings12111795>).

Tarque, N., Blondet, M., Vargas Neumann, J., & Yallico Luque, R. (2022). Malla de cuerda como refuerzo sísmico para edificios de adobe de dos plantas . *Boletín de Ingeniería Sísmica* , *Volume 20*(DOI:10.1007/s10518-022-01346-7), Pages 3863 - 3888.

Wang, H., Yuan, K., Zhang, S., & Guo, J. (2023). Estudio experimental del comportamiento sísmico de un muro compuesto de adobe-ladrillo-mampostería modificado con un pilar central de construcción de madera. *208 MDPI Journals Awarded Impact Factor, Volume 15*(<https://doi.org/10.3390/su15108360>), Número de Artículo 8360.

# ANEXOS

## Anexo 1. Evidencia de sumisión del artículo científico

24/9/23, 21:35

saul huayta, Estructural Comportamiento estructural de una vivienda altoandina propuesta para el distrito de Pucará - Perú

Revista de la Construcción. Revista de construcción

Tareas 0

🌐 Inglés

🏠 Versión

👤 saulmax04



65281 / huayta et al. / Comportamiento estructura de una vivienda altoandina prop

Biblioteca

Envíos

Flujo de trabajo

Publicación

Estado: EN REVISIÓN

Título y resumen

Colaboradores

Metadatos

Referencias

Galerías

### Prefijo

Ejemplos: A, El

Structural

### Título

Structural behavior of a high Andean dwelling proposed for the district of Pucará - Peru.

### Subtitular

Structural behavior of a high Andean dwelling proposed for the district of Pucará - Peru.

### Abstracto

**B** *I*  $\times^2$   $\times_1$   $\otimes$

El adobe es un material de construcción muy antiguo y muy usado en el mundo, pero donde hay construcción de tierra cruda, también hay una alta actividad sísmica. En Perú, el 69,90% de las edificaciones son de tierra en las zonas rurales y el 20,5% en las zonas urbanas (Censo Nacional de Vivienda, 2018). En el distrito de Pucará, las construcciones de adobe son un elemento significativo que forma parte de su identidad y constituyen una valiosa expresión de su riqueza cultural. El objetivo de esta investigación es determinar el comportamiento estructural de una vivienda altoandina a partir de un diseño con material local. El objetivo es determinar

Ahorrar

Platform &  
workflow by  
OJS / PKP

## Anexo 2. Resolución de perfil de proyecto de tesis en formato artículo



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0537-2023/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 26 de setiembre de 2023

### VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Samuel Torres Panchillo** identificado(a) con código universitario N° **201510029** y **Saul Max Huayta Aguilar** identificado(a) con código universitario N° **201520751**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

### CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para reprogramación de la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Comportamiento estructural de una vivienda altoandina propuesta para el distrito de Pucará – Perú", presentado por los(las) bachilleres **Samuel Torres Panchillo** y **Saul Max Huayta Aguilar**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 26 de setiembre de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;


### SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Samuel Torres Panchillo** y **Saul Max Huayta Aguilar**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Comportamiento estructural de una vivienda altoandina propuesta para el distrito de Pucará – Perú", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, el 03 de octubre de 2023 a las 11:00 horas, en el Auditorio Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Mtro. Leonel Chahuares Paucar.  
Secretario: Mg. Henry Antonio Aguilar Chuquimia  
Asesor: Ing. Herson Duberly Pari Cusi  
Vocal: Dr. Leonel Suasaca Pelinco

Regístrese, comuníquese y archívese.



  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
DECANA



  
Mg. Ketty Magaly Arellano Lino  
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:  
-Interesado  
-Jurado (04)  
-Secretaría General  
-Archivo