

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“Evaluación estructural y técnicas de reforzamiento en
edificaciones de adobe – Huánuco - 2025”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

AUTOR: Cierito Loarte, Jaydith Neymi

ASESOR: Salvador Rojas, Cesar Augusto

HUÁNUCO - PERÚ

2026

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Estructuras

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, tecnología

Sub área: ingeniería civil

Disciplina: ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero(a) Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72447677

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44455196

Grado/Título: Maestro en diseño y construcción de obras viales.

Código ORCID: 0009-0001-6026-1638

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda	Máster en dirección de proyectos	73645168	0009-0001-0745-5433
2	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769
3	Rosario Ramon, Ciza Zarvia	Grado académico de magíster en arquitectura del paisaje (grado de maestro)	42806418	0000-0002-4278-0426

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO(A) CIVIL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:00 horas del día viernes 11 de setiembre de 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

- | | |
|--|------------|
| ❖ MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA | PRESIDENTE |
| ❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO | SECRETARIO |
| ❖ MG. CIZA ZARVIA ROSARIO RAMON | VOCAL |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 1585-2026-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO EN EDIFICACIONES DE ADOBE- HUÁNUCO - 2025", presentado por el (la) Bachiller. Bach: Jaydith Neymi CIERTO LOARTE, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) aprobado por Unanimidad con el calificativo cuantitativo de 1.5 y cualitativo de Bueno (Art. 47).

Siendo las 16:10 horas del día 11 del mes de setiembre del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

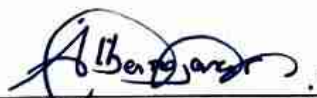


MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA

DNI: 73645168

ORCID: 0009-0001-0745-5433

PRESIDENTE

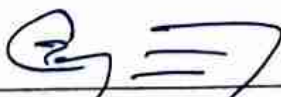


MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO

DNI: 41891649

ORCID: 0000-0001-8392-1769

SECRETARIO (A)



MG. CIZA ZARVIA ROSARIO RAMON

DNI: 42806418

ORCID: 0000-0002-4278-0426

VOCAL



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **JAYDITH NEYMI CIERTO LOARTE**, de la investigación titulada **"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO EN EDIFICACIONES DE ADOBE - HUÁNUCO - 2025"**, con asesor(a): **CESAR AUGUSTO SALVADOR ROJAS**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 1186-2025-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **10 %** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 13 de agosto de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

Nota: La presente constancia tendrá una **vigencia de cuatro (4) meses**, conforme a lo establecido en la **Directiva del Software de Identificación de Similitud y Originalidad**, aprobada mediante **Resolución N° 532-2024-P-CD-UDH**.

Vencido dicho plazo, el solicitante deberá realizar nuevamente el procedimiento correspondiente para la emisión de una nueva constancia.

Válida hasta el 13 de diciembre de 2026.

6. JAYDITH NEYMI CIERTO LOARTE.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	doku.pub Fuente de Internet	1%
3	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	sigrid.cenepred.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.cismid.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A mis padres, por ser el pilar fundamental de mi vida, en especial a mi madre por su amor, paciencia y sacrificio constante hizo posible que hoy alcance este sueño, todo lo que soy se lo debo a ustedes.

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar la gratitud hacia los seres humanos que hicieron posible la culminación de esta etapa. En primer lugar, a mis maestros, por compartir sus conocimientos y despertar en mi la pasión por esta profesión. A mis padres y familiares, por su apoyo económico y moral incondicional. Y finalmente, a mis amigos y colegas, por estar siempre presentes con una palabra de aliento cuando lo necesitaba.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO.....	III
INDICE.....	IV
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCION	XII
CAPÍTULO I	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.3. OBJETIVO GENERAL	14
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	20
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	23
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	26
2.2. BASES TEÓRICAS.....	29
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	54
2.4. HIPÓTESIS.....	56
2.5. VARIABLES	58
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	58
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	58

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	59
METODOLOGÍA	60
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	60
3.1.1. ENFOQUE.....	60
3.1.2. ALCANCE.....	61
3.1.3. DISEÑO.....	61
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	61
3.2.1. POBLACIÓN (CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN)	61
3.2.2. MUESTRA (TIPO Y TAMAÑO).....	62
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	66
3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	66
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	67
3.4.1. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	67
3.4.2. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	68
3.5. ASPECTOS ÉTICOS	69
CAPITULO IV.....	70
RESULTADOS.....	70
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	70
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	79
CAPITULO V.....	97
DISCUSION DE RESULTADOS.....	97
5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS.....	97
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES.....	104
BIBLIOGRAFIA.....	106
ANEXOS	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Grieta vertical presente en una esquina superior con recorrido hasta el muro del primer nivel.....</i>	35
Figura 2 <i>Grieta vertical presente en una esquina superior con recorrido.....</i>	35
Figura 3 <i>Grieta producida por el efecto del corte.....</i>	36
Figura 4 <i>Grieta producida por el efecto del corte y con restricción al volteo.....</i>	36
Figura 5 <i>Grieta cerca de los vanos por esfuerzos de corte y flexión.....</i>	37
Figura 6 <i>Falla por volteo de muro sin confinar.....</i>	38
Figura 7 <i>Edificación en adobe sin arriostramiento.....</i>	40
Figura 8 <i>Muro de mampostería en adobe sin homogeneidad.....</i>	41
Figura 9 <i>Edificación en adobe sin una adecuada cantidad de muros ortogonales.....</i>	42
Figura 10 <i>Edificación en adobe con presencia de humedad.....</i>	43
Figura 11 <i>Edificación en adobe sin muros ortogonales.....</i>	43
Figura 12 <i>Edificación con techo de caña y vigas de madera.....</i>	44
Figura 13 <i>Edificación en adobe con adecuada distribución de masas.....</i>	45
Figura 14 <i>Edificación en adobe con excesiva separación de muros.....</i>	46
Figura 15 <i>Edificación con cubierta inestable de material liviano.....</i>	47
Figura 16 <i>Edificación en adobe con balcón inestable.....</i>	48
Figura 17 <i>Edificación en adobe con balcón inestable.....</i>	49
Figura 18 <i>Falla típica en edificaciones en adobe por acciones perpendiculares.....</i>	51
Figura 19 <i>Reforzamiento de edificaciones existentes de 2 pisos.....</i>	51
Figura 20 <i>Vivienda reforzada (izq.) y no reforzada (Derecha).....</i>	52
Figura 21 <i>Equivalencias de mallas electrosoldadas.....</i>	57
Figura 22 <i>Edificio 1 – 2 pisos con irregularidad.....</i>	63

Figura 23 <i>Edificio 2 – 2 pisos con irregularidad</i>	64
Figura 24 <i>Edificio 3 – 2 pisos sin irregularidad</i>	64
Figura 25 <i>Edificio 1 – 1 piso sin irregularidad</i>	65
Figura 26 <i>Edificio 2 – 1 piso sin irregularidad</i>	66
Figura 27 <i>Elevación del muro MUES sin refuerzo.</i>	70
Figura 28 <i>Vista de la sección de la viga de cimentación.</i>	71
Figura 29 <i>Asentado parcial del muro de adobe.</i>	71
Figura 30 <i>Vista final del muro de adobe MUENSR.</i>	72
Figura 31 <i>Espécimen de adobe MUENSR y patrón de desplazamiento.</i>	72
Figura 32 <i>Respuesta fuerza desplazamiento del espécimen MUENSR.</i>	72
Figura 33 <i>Modelo numérico del espécimen MUENSR.</i>	73
Figura 34 <i>Parámetros elásticos usados en “Engineering masonry model”</i> ..	74
Figura 35 <i>Parámetros de grietas usados en “Engineering masonry model”</i>	74
Figura 36 <i>Parámetros de aplastamiento usados en “Engineering masonry model”</i>	74
Figura 37 <i>Parámetros de falla por corte usados en “Engineering masonry model”</i>	75
Figura 38 <i>Parámetros de ancho de grietas usados en “Engineering masonry model”</i>	75
Figura 39 <i>Superposición de la respuesta del ensayo experimental versus numérico</i>	75
Figura 40 <i>Vista en planta y vista 3D del E1-1P</i>	77
Figura 41 <i>Vista en planta y vista 3D del E2-1P</i>	77
Figura 42 <i>Vista en planta y vista 3D del E1-2P</i>	78
Figura 43 <i>Vista en planta y vista 3D del E2-2P</i>	78
Figura 44 <i>Vista en planta y vista 3D del E3-2P</i>	79
Figura 45 <i>Verificación de esfuerzos en E1-1P</i>	80
Figura 46 <i>Verificación de esfuerzos en E2-1P</i>	80

Figura 47 Verificación de esfuerzos en E1-2P	81
Figura 48 Verificación de esfuerzos en E2-2P	81
Figura 49 Verificación de esfuerzos en E3-2P	82
Figura 50 Respuesta por cortante versus desplazamiento del E1-1P-XX ...	83
Figura 51 Respuesta por cortante versus desplazamiento del E2-1P-YY ...	84
Figura 52 Respuesta por cortante versus desplazamiento del E1-2P-YY ...	85
Figura 53 Respuesta por cortante versus desplazamiento del E2-2P-YY ...	86
Figura 54 Respuesta por cortante versus desplazamiento del E3-2P-XX ...	87
Figura 55 Respuesta por cortante versus desplazamiento del E1-1P-XX ...	88
Figura 56 Respuesta por cortante versus desplazamiento del E2-1P-YY ...	89
Figura 57 Respuesta por cortante versus desplazamiento del E1-2P-YY ...	90
Figura 58 Respuesta por cortante versus desplazamiento del E2-2P-YY ...	91
Figura 59 Respuesta por cortante versus desplazamiento del E3-2P-XX ...	92
Figura 60 Evolución del desplazamiento del E1-1P en ambas direcciones de análisis	93
Figura 61 Evolución del desplazamiento del E2-1P en ambas direcciones de análisis	93
Figura 62 Evolución del desplazamiento del E1-2P en ambas direcciones de análisis	94
Figura 63 Evolución del desplazamiento del E2-2P en ambas direcciones de análisis	94
Figura 64 Evolución del desplazamiento del E3-2P en ambas direcciones de análisis	95
Figura 65 Evolución del desplazamiento en función del tiempo del E1	96
Figura 66 Evolución del desplazamiento en función del tiempo del E2	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables</i>	59
Tabla 2 <i>Clasificación de las edificaciones en la ciudad de Huánuco</i>	62
Tabla 3 <i>Clasificación la muestra según niveles</i>	63
Tabla 4 <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	67
Tabla 5 <i>Esfuerzos máximos (MPa) para edificaciones de adobe</i>	80
Tabla 6 <i>Esfuerzos máximos (MPa) para edificaciones de adobe según tipología</i>	101

RESUMEN

Mediante esta investigación a nivel de tesis de pregrado se buscó aplicar la evaluación estructural basado en elementos finitos en edificaciones de adobe para determinar diversas técnicas de reforzamiento estructural. La evaluación basada en elementos finitos se ejecutó considerando el modelo para el adobe denominado “engineering masonry model” disponible en la librería del software DIANA 10.10 para todas las tipologías de edificios de adobe de uno y dos pisos, también se apoyó en el patrón de desplazamientos del ensayo experimental real realizado en la PUCP denominado “MUENSR”. Al someter las diversas tipologías al patrón de desplazamientos del mencionado ensayo experimental surgieron los puntos débiles o modos de colapso de este tipo de edificaciones, por lo cual se decidió añadir la malla electrosoldada Q-478 y Q-541 y evaluar su contribución. Los resultados sugieren que los modos de colapso fueron excesivos por corte y tracción y en menor medida por Efectos compresivos en los bloques de adobe. La cantidad de malla electrosoldada del tipo Q478 necesaria para generar el reforzamiento estructural es mínimamente 41.76 mm./m² y 106.76 mm./m², mientras que la cantidad de malla electrosoldada del tipo Q541 necesaria para generar el reforzamiento estructural es mínimamente 51.60 mm./m² y 193.96 mm./m². Los desplazamientos laterales entre el modelo sin refuerzo y el modelo con refuerzo de las mallas electrosoldadas Q478 y Q541 se ven aumentadas hasta 50 veces más.

Palabras clave

Evaluación estructural, Reforzamiento estructural, edificaciones de adobe, Malla electrosoldada Q478, Malla electrosoldada MQ541, Desplazamientos laterales.

ABSTRACT

This undergraduate thesis research aimed to apply finite element structural evaluation to adobe buildings to determine various structural reinforcement techniques. The finite element evaluation was performed using the "engineering masonry model" available in the DIANA 10.10 software library for all types of one- and two-story adobe buildings. It also incorporated the displacement pattern from the "MUENSR" experimental test conducted at PUCP (Pontifical Catholic University of Peru). When the various building types were subjected to the displacement pattern of this experimental test, the weak points or collapse modes of these buildings emerged. Therefore, it was decided to add Q-478 and Q-541 welded wire mesh and evaluate its contribution. The results suggest that the collapse modes were excessive due to shear and tension, and to a lesser extent, compression of the adobe units. The minimum amount of Q478 welded wire mesh required to generate structural reinforcement is 41.76 mm/m² and 106.76 mm/m², while the minimum amount of Q541 welded wire mesh required is 51.60 mm/m² and 193.96 mm/m². Lateral displacements between the unreinforced model and the model reinforced with Q478 and Q541 welded wire mesh are increased up to 50 times.

KEYWORDS: Structural evaluation, Structural reinforcement, Adobe buildings, Electrowelded mesh.

INTRODUCCION

Según el último censo en el país, realizado en octubre del 2017, el crecimiento anual representa en términos porcentuales a un incremento de 10.70%, así mismo se determinó que existen 2,148,494 viviendas con muros de adobe, tapial o una mezcla entre ambas (INEI, 2017). este número propuesto por el INEI, manifiesta la necesidad de evaluar el desempeño estructural de edificaciones de adobe y proponer técnicas de reforzamiento estructural para otorgarle un buen comportamiento ante acciones sísmicas, esto pensado para diversas tipologías estructurales de edificaciones de adobe correspondiente a la urbe huanuqueña.

Los antecedentes de la investigación a nivel internacional como el reportado por Cárdenas (2021) manifestó la necesidad de caracterizar estructuralmente y estudiar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del centro histórico de la ciudad de Cuenca Ecuador, a nivel nacional el ingeniero Ángel San Bartolomé (2008) dedicó gran parte de su vida a estudiar el reforzamiento estructural de edificaciones de adobe del sur del Perú, luego del sismo del 2007 tuvo la oportunidad de evaluar las edificaciones de adobe que reforzó determinando que el efecto de colocar refuerzos para proteger a los muros de adobe fue efectivo mientras que los muros de adobe sin refuerzo se dañaron y eventualmente colapsaron.

Según lo antes mencionado esta investigación a nivel de tesis lo que busca es determinar la cantidad de malla electrosoldada Q478 y Q-541 necesaria para erradicar los modos de colapso en edificaciones de adobe, apoyados firmemente en la evaluación estructural mediante las técnicas de elementos finitos. Ya que efectivamente se conocen que existen métodos de reforzar a la estructura de adobe, pero no se conoce la cantidad y peor para tipologías distintas como es el caso de la ciudad de Huánuco y seguramente de todas las ciudades del Perú.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Problemática mundial: La fragilidad sísmica de viviendas construidas a base de tierra es alta, la literatura reporta que luego del sismo de Maule Chile (2010) el 23.99% de las viviendas de adobe fueron destruidas (Micheletti, S.& Letelier Troncoso, F., 2016), de igual modo para el sismo de Turquía (2023) de 100 viviendas de adobe el 25% fueron destruidas, 49% gravemente dañadas, 15% moderadamente dañadas y el 11% ligeramente dañadas (Işık, Ercan, 2023).

Problemática nacional: no se tiene registro de la cantidad de colapsos luego de los sismos catastróficos, pero si se tiene que, según el último censo en el país, realizado en octubre del 2017, el crecimiento anual representa en términos porcentuales a un incremento de 10.70%, así mismo se determinó que existen 2,148,494 viviendas con muros de adobe, tapial o una mezcla entre ambas (INEI, 2017). Este mismo problema fue encontrado en la literatura internacional, mismos que proponen diversas técnicas de refuerzo estructural en edificaciones de adobe y estructuras patrimoniales, a nivel nacional investigadores como Choque (2024) y Acosta (2023) muestran propuestas de refuerzo de edificaciones de adobe basados en ensayos de laboratorio y la investigación visual, lamentablemente a nivel local no se obtuvieron investigaciones relevantes que estén destinados al refuerzo estructural de edificaciones de adobe.

Problemática local y contextualización a nivel del centro de Huánuco: este número propuesto por el INEI, manifiesta la necesidad de evaluar el desempeño estructural de edificaciones de adobe y proponer técnicas de reforzamiento estructural para otorgarle un buen comportamiento ante acciones sísmicas, esto pensado para diversas tipologías estructurales de construcciones básicas de adobe, ya que existen diversos modos de colapso en sistemas de adobe y la mayoría representan modos de colapso no simulados hasta el momento, esto seguramente se registrará después del evento sísmico de gran intensidad y la ingeniería forense.

Debido a lo antes mencionado, esta investigación tiene por propósito y/o objetivo el de aplicar la evaluación estructural basado en elementos finitos en edificaciones de adobe para determinar diversas técnicas de reforzamiento estructural, mismos que son adoptados como variables de esta investigación. La revisión del estado del arte y lo que se conoce preliminarmente es que la adición de malla electrosoldada y la utilización de vigas soleras mejora el desempeño estructural de este tipo de edificaciones, sin embargo, no se conoce la cantidad exacta (m²) que es suficiente para otorgar resistencia y ductilidad mostrados a través de curvas de fragilidad de colapso, no basta con solo indicarlo. Este último es el aporte de la presente investigación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo contribuye la evaluación estructural mediante elementos finitos a la propuesta de técnicas de reforzamiento en edificaciones de adobe – Huánuco - 2025?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo permite la modelación por elementos finitos determinar los modos de colapso en edificaciones de adobe – Huánuco - 2025?
- ¿Qué cantidad de la adición de malla electrosoldada Q-478 ($\varnothing=3/8"$) genera el reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco - 2025?
- ¿En qué medida la incorporación de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2"$) contribuye al reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco - 2025?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Proponer técnicas de reforzamiento estructural usando la evaluación estructural basada en elementos finitos en edificaciones de adobe- Huánuco - 2025.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ejecutar la modelación en elementos finitos para determinar los modos de colapso en edificaciones en adobe – Huánuco - 2025.

- Determinar la cantidad de la adición de malla electrosoldada Q-478 ($\varnothing=3/8"$) que genera el reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco - 2025.
- Establecer la proporción de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2"$) capaz de contribuir al reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco - 2025.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Tiene por finalidad presentar nuevos conocimientos científicos. El mecanismo de colapso o mecanismo de falla de edificaciones construidas con tierra cocida o adobe es muy poco estudiado, debido a la poca información reportada en la base de datos de tesis o investigaciones, y también por la dificultad de la caracterización de los materiales y geometría dentro de un programa de cálculo estructural.

La presente investigación tiene una justificación práctica significativa, ya que busca aportar soluciones técnicas aplicables a la realidad constructiva de edificaciones de adobe en la región de Huánuco, con relación a las estructuras de concreto armado, cuyos mecanismos de falla han sido ampliamente estudiados a nivel internacional gracias a la ingeniería forense, las edificaciones de adobe presentan un estado del arte limitado sobre sus modos de colapso y técnicas de reforzamiento estructural. Ello debido a la poca información disponible en bases de datos académicas y a la complejidad que implica caracterizar sus materiales y geometrías en programas de análisis estructural.

Mediante la modelación por elementos finitos, esta investigación permitirá identificar los mecanismos de falla más frecuentes y proponer técnicas de reforzamiento adecuadas para este tipo de construcciones. Los resultados podrán servir como guía para ingenieros, autoridades locales y programas de vivienda, contribuyendo a la mejora de la seguridad estructural y la reducción del riesgo sísmico en edificaciones de adobe existentes.

1.5.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Su objetivo es impulsar el desarrollo de los servicios básicos de habitantes de una localidad específica. Según los reportes del INEI en el último CENSO del 2017, existió un gran porcentaje de crecimiento, ello se traduce en la necesidad de preservar y proteger edificaciones familiares dentro de nuestra población o ciudad. La ciudad de Huánuco capital o centro no es ajena a la construcción de edificaciones a base en adobe, esta es común y alberga a una cantidad grande de moradores, si se conociera el mecanismo de falla del total de estas edificaciones entonces podríamos proponer técnicas de reforzamiento estructural buscando mantener de pie estas edificaciones ante sismos.

1.5.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Diversos investigadores establecen que la justificación económica responde a que si es posible recuperar la cantidad de dinero que se invierte en un proyecto. Por ende, esta investigación se justifica en que el estado peruano podría tomar como referencias las investigaciones relacionadas a este tema con la finalidad de estudiar experimentalmente las técnicas de reforzamiento.

1.5.4. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Referido a la minimización de vacíos de la investigación; en términos específicos, la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Huánuco dentro de su centro ya fue abordada, en donde se caracterizó escenarios de daño frente a excitaciones dinámicas probables, esta información es valiosa en el recorte de brechas del reforzamiento estructural de edificaciones en adobe bajo aceleraciones sísmicas.

Usando la investigación mencionada realizada en el 2013 se obtendrán modelos reales de diversas edificaciones, obteniendo modelos representativos mediante grupos (tipologías), todos ellos serán sometidos a la acción dinámica del sismo y verificando la concentración de esfuerzos y deformaciones será posible la determinación de los modos de falla.

La metodología extranjera para proponer técnicas de reforzamiento estructural es el ASCE 41-17, la cual establece consideraciones mínimas para determinar el aumento de resistencia, rigidez y ductilidad en elementos estructurales. A nivel local las normativas E.030 y E.060 servirán para establecer el aumento de las propiedades mencionadas al comparar el estado de la muestra sin refuerzo y con la adición de las mallas electrosoldadas Q-478 y Q-541.

1.5.5. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La literatura manifiesta que este tipo de justificación desea encontrar diversas tácticas para establecer nuevas informaciones científicas.

Un nuevo método o estrategia para la generación de conocimientos nuevos puede ser referenciado para el tema del reforzamiento estructural dentro de edificaciones en adobe, recordemos que es un tema muy poco estudiado.

Es ampliamente conocido el reforzamiento estructural en edificios de muros estructurales, pórticos, albañilería y acero estructural, existen muy buenas investigaciones referidas a lo previamente mencionado, pero poco a las edificaciones en adobe.

Los métodos y herramientas que justifican la realización de esta investigación son:

1. Mediante los instrumentos de recolección de datos (presentados en los anexos) se hace la recopilación de 125 viviendas construidas a base del material adobe.
2. Se generan 5 arquetipos debido a las configuraciones similares de estas viviendas.
3. Mediante la herramienta computacional “DIANA FEM” se genera la modelación numérica en elementos finitos para evaluar los modos de colapso.
4. Mediante el instrumento denominado “revisión bibliográfica” se busca establecer el comportamiento del material “adobe”, es decir conocer las propiedades mecánicas.

5. Utilizando la herramienta computacional “DIANA FEM” se determina la curva de capacidad de los arquetipos, mismos que reflejarán las zonas débiles, mismos a reforzar.

6. A través de la revisión bibliográfica, se busca la determinación de las propiedades mecánicas de las mallas electrosoldada Q-478 y Q-541, luego serán añadidas en las zonas débiles determinadas en el paso anterior.

7. Establecer áreas mínimas de malla electrosoldadas como refuerzo estructural hasta encontrar que la curva de capacidad mejore, mostrado a través de la curva de fragilidad de colapso.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Según Hernández Sampieri y Mendoza (2018), las limitaciones de la investigación responden al reconocimiento de los impedimentos del tipo metodológico y temporal por parte del autor en la normal ejecución de su investigación.

En tal sentido, la limitación del tipo temporal se suscribe a las propiedades mecánicas y de los diversos materiales componentes del adobe (unidad) debido a que estas son muy susceptibles a los cambios de humedad y temperaturas, la recolección de datos se realizó en un momento dado que impide tener en cuenta estos posibles efectos adversos.

Similarmenete para la limitación metodológica, por razones presupuestarias y logísticas es imposible realizar experimentos de laboratorio, por ello el autor se centró básicamente en el modelamiento numérico en el software tomando como base referencial un espécimen ensayado en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Distintos autores sugieren que la viabilidad de la investigación busca la respuesta de preguntas concretas sobre la posibilidad de ejecutar la investigación y el tiempo que demorará su realización.

La relación de edificaciones a utilizarse se encuentra referenciada en una investigación de un autor de renombre, bajo un trabajo de investigación,

de igual modo se dispone de herramientas literarias para caracterizar el comportamiento del material en adobe o tierra cocida.

Se dispone de una diversidad enorme de distintos softwares capaces de ejecutar análisis sísmicos en edificaciones en adobe, de igual modo se dispone de las herramientas computacionales necesarias para tal fin. El software a utilizarse para cumplir con los objetivos propuestos en esta investigación es el DIANA FEA, la cual discretiza al medio continuo en secciones finitas (más pequeñas) ofreciendo mejores resultados en términos de desplazamientos y deformaciones. Este software tiene el acceso libre en el modo educativo; la cual será utilizado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Cárdenas (2021) “Caracterización estructural y vulnerabilidad sísmica de edificaciones en adobe, Cuenca-Ecuador”: Esta investigación tuvo como objetivo principal caracterizar estructuralmente y evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de adobe ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Para ello, se analizó el comportamiento de estas construcciones ante diferentes escenarios sísmicos, identificando sus principales mecanismos de falla y desarrollando herramientas que permitan estimar su desempeño estructural frente a terremotos. Metodología: El estudio se desarrolló mediante un enfoque experimental aplicado a 45 edificaciones patrimoniales representativas de la tipología de construcción en adobe. Se efectuó un levantamiento detallado de las características geométricas, materiales y estructurales de cada edificación. Posteriormente, se identificaron y clasificaron los mecanismos de falla más frecuentes, y se desarrollaron curvas de fragilidad para cada mecanismo, las cuales permiten estimar la probabilidad de daño según diferentes intensidades sísmicas. Finalmente, estas curvas se utilizaron para cuantificar el daño esperado y las pérdidas asociadas en distintos escenarios. Resultados: Los resultados mostraron que todas las edificaciones analizadas presentan alta vulnerabilidad sísmica, principalmente debido a deficiencias geométricas y constructivas. Entre los hallazgos más relevantes se destacan: El 62 % de las edificaciones estaba gobernado estructuralmente por muros de adobe. El 30 % presentaba aperturas considerables en muros (vanos de puertas y ventanas). El 28 % tenía espesores de muro menores a los establecidos por la normativa vigente. El 55 % no cumplía con los criterios de esbeltez requeridos. Conclusiones: La investigación evidenció que las edificaciones patrimoniales de adobe en Cuenca presentan altos niveles de vulnerabilidad estructural, lo que las hace especialmente susceptibles frente a sismos moderados o severos.

Las curvas de fragilidad desarrolladas constituyen una herramienta práctica para la evaluación de riesgo y la planificación de medidas de mitigación en este tipo de construcciones. Asimismo, se identificaron factores críticos de vulnerabilidad (muros delgados, presencia de vanos, esbeltez excesiva), que deben considerarse en cualquier estrategia de conservación o refuerzo. Finalmente, se recomienda aplicar estos resultados a edificaciones con condiciones similares, y continuar investigaciones que profundicen en el análisis dinámico y en la implementación de técnicas de reforzamiento compatibles con la arquitectura patrimonial.

Enciso et al. (2021) a través de su investigación denominado “Simplified Method for the Lateral Strengthening of Adobe Walls in Andean Churches” tuvo como objetivo proponer un método simplificado para el diseño de refuerzos laterales mediante contrafuertes aplicados a muros de iglesias coloniales andinas. Esta propuesta busca brindar una herramienta práctica que permita mejorar la estabilidad lateral de estas edificaciones patrimoniales, considerando su configuración arquitectónica típica y las limitaciones existentes para intervenciones complejas en este tipo de estructuras históricas. Metodología: La investigación se desarrolló bajo un enfoque no experimental, utilizando como base una configuración estructural real típica de iglesias históricas andinas. Se analizaron diferentes escenarios estructurales mediante la aplicación de contrafuertes, evaluando su comportamiento frente a cargas laterales. El método propuesto permite estimar de forma simplificada la respuesta estructural, reduciendo la necesidad de modelos numéricos complejos y prolongados. Resultados: Los análisis mostraron que la implementación de contrafuertes laterales mejora significativamente el comportamiento fuera del plano de los muros de adobe, reduciendo la probabilidad de mecanismos de falla por volteo o pandeo. Además, se comprobó que el método propuesto permite realizar evaluaciones de manera rápida, económica y con menor esfuerzo computacional, lo que lo convierte en una alternativa eficiente para la intervención de estructuras patrimoniales en zonas sísmicas, finalmente mediante las conclusiones: el uso de contrafuertes constituye una estrategia eficaz de refuerzo lateral para

muros de iglesias coloniales andinas, especialmente para controlar mecanismos de falla fuera del plano. El método simplificado propuesto ofrece una herramienta práctica y accesible para ingenieros y profesionales encargados de la conservación del patrimonio, evitando la necesidad de análisis sofisticados y costosos, sin dejar de proporcionar resultados confiables para la toma de decisiones estructurales.

Rafi et al. (2022) mediante su tesis denominada “Experimental assessment of proposed seismic strengthening scheme for adobe structures” propuso como objetivo principal de la investigación fue evaluar experimentalmente un esquema de reforzamiento sísmico para muros de adobe mediante la aplicación de bandas horizontales y verticales de malla de acero, con el fin de mejorar su comportamiento estructural frente a acciones sísmicas intensas. Metodología: El estudio utilizó un enfoque no experimental, desarrollando un modelo a escala reducida de una estructura de adobe reforzada con malla de acero. Este modelo fue sometido a ensayos en mesa vibratoria, aplicando el registro sísmico del terremoto de Kobe (Japón, 1995) en incrementos progresivos de intensidad hasta alcanzar el 100 % del movimiento real. Se monitorean las respuestas estructurales, la aparición de grietas y las demandas de cortante en cada etapa de ensayo, comparándolas con las de un espécimen sin refuerzo. Resultados: Los resultados experimentales mostraron que el inicio de fisuras se produjo a una aceleración aproximada de 0.439 g, lo que indica una mejora considerable respecto al comportamiento no reforzado. Además, las demandas de cortante se diferenciaron en un 15 % entre el modelo reforzado y el no reforzado, demostrando que la presencia de la malla incrementa la capacidad resistente. Conclusiones: El reforzamiento con bandas horizontales y verticales de malla de acero constituye una técnica eficaz para mejorar el desempeño sísmico de construcciones de adobe, aumentando su resistencia al corte, ductilidad y capacidad de disipación de energía. Esta técnica representa una alternativa viable para reducir la vulnerabilidad de edificaciones patrimoniales o rurales de adobe en zonas sísmicas.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

San Bartolomé (2021), mediante su tesis denominada “Técnicas para el reforzamiento sísmico de edificaciones en adobe”, Perú, tuvo como objetivo principal plantear y evaluar un sistema de reforzamiento sísmico para edificaciones de adobe, enfocado en mejorar la capacidad estructural y el desempeño sísmico de este tipo de construcciones en el Perú, especialmente en zonas de alta amenaza sísmica del sur del país. Metodología: El estudio utilizó una metodología experimental, considerando como población veinte edificaciones representativas de construcciones de adobe en el sur peruano. Se aplicaron distintas técnicas de reforzamiento y se realizaron ensayos dinámicos en laboratorio para comparar el comportamiento estructural de muros reforzados y no reforzados frente a acciones sísmicas simuladas. Se evaluaron parámetros como la aceleración espectral de colapso y la deriva de entrepiso, indicadores clave de desempeño estructural. Resultados: Los ensayos demostraron diferencias significativas en el comportamiento sísmico entre muros sin refuerzo y muros reforzados.

Esparraga (2021); realizó la tesis denominada “Correlación entre patologías y la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe del distrito de Llacanora, Cajamarca 2021”. Planteó como objetivo principal de la investigación determinar la correlación entre las patologías constructivas y la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe del distrito de Llacanora, en la región Cajamarca (Perú). El estudio buscó evidenciar cómo las deficiencias constructivas y los deterioros existentes inciden directamente en el nivel de vulnerabilidad de este tipo de edificaciones ante eventos sísmicos. Metodología: La investigación utilizó un enfoque no experimental, de tipo correlacional, y se trabajó con una muestra de 16 viviendas de adobe representativas de la zona de estudio. Se realizó un levantamiento de información in situ, evaluando propiedades y características de las edificaciones como la densidad de muros, su inestabilidad estructural y los procesos constructivos empleados. A partir de esta información, se determinaron los niveles de vulnerabilidad sísmica y se estableció la correlación con la presencia de patologías. Resultados: Los resultados mostraron que la vulnerabilidad sísmica fue del tipo “alta”

en la totalidad de las viviendas evaluadas, reflejando un riesgo considerable frente a sismos moderados o fuertes. El 56 % de la muestra presentó índices de daño severo, siendo las fisuras y grietas la patología estructural predominante, las cuales representan mecanismos de falla característicos en construcciones de adobe deterioradas. Conclusiones: las patologías constructivas están fuertemente asociadas con la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en Llacanora. El alto nivel de vulnerabilidad identificado en todas las edificaciones evaluadas evidencia la necesidad urgente de intervenciones estructurales y programas de mitigación. La correlación significativa hallada ($r = 0.7$) confirma que las deficiencias constructivas y el deterioro son factores determinantes en el comportamiento sísmico de este tipo de estructuras tradicionales.

Quiroz (2022), en la UPC desarrolló una investigación a nivel de tesis denominado “Propuesta de reforzamiento estructural de edificaciones en adobe utilizando mallas de acero electrosoldadas en Huarangal – Carabayllo”; con el objetivo de proponer y evaluar un sistema de reforzamiento estructural para muros, aplicado a edificaciones de la zona de Huarangal – Carabayllo (Perú). Se buscó validar experimentalmente la eficacia de este sistema de refuerzo, analizando su impacto en la resistencia al corte y en la ductilidad de los elementos estructurales de adobe. Metodología: El estudio empleó una metodología experimental, realizando ensayos de laboratorio sobre muretes de adobe con y sin refuerzo. Se aplicaron mallas de acero electrosoldadas en diferentes configuraciones para evaluar el efecto del número de caras reforzadas y del tipo de malla utilizada. Los muretes fueron sometidos a ensayos de carga para medir su resistencia al corte y su capacidad de deformación. Resultados: Los ensayos mostraron un incremento significativo de la resistencia al corte y de la ductilidad en los muretes reforzados con malla respecto a los no reforzados: La resistencia al corte aumentó en un 41.91 %. Los números de resistencia pasaron de 8–12 kg/cm² (sin refuerzo) a 67–73 kg/cm² (con malla), superando ampliamente los valores establecidos para este tipo de elementos. Conclusiones: el uso de mallas de acero electrosoldadas constituye una técnica efectiva y viable para

reforzar muros de adobe, aumentando significativamente su resistencia y ductilidad. La propuesta de reforzamiento validada experimentalmente demostró ser una alternativa adecuada para mejorar el comportamiento estructural de edificaciones de adobe, especialmente en zonas sísmicas. Los resultados respaldan la aplicación de este tipo de soluciones como parte de estrategias de mitigación y mejora estructural.

Alania (2020); realizó la tesis denominada “Análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones en adobe de dos niveles existentes en el distrito de Matucana-2020”, el autor planteó como objetivo: analizar la vulnerabilidad sísmica, el peligro sísmico y el riesgo sísmico de edificaciones de adobe de dos niveles ubicadas en el distrito de Matucana (Perú), con el fin de evaluar su comportamiento estructural ante eventos sísmicos representativos y estimar el nivel de riesgo de colapso. Metodología: El estudio fue de tipo descriptivo con enfoque experimental, y consideró una población de 25 edificaciones de adobe de dos niveles. Se evaluaron las condiciones estructurales de cada edificación, determinando parámetros de vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico. Se adoptó una aceleración sísmica de 0.35 g como escenario de diseño para analizar el posible desempeño estructural de las construcciones frente a un sismo severo. Resultados: Los resultados de la evaluación estructural indicaron que: La vulnerabilidad sísmica de las edificaciones analizadas fue clasificada como alta. El peligro sísmico en la zona fue considerado medio. El riesgo sísmico global resultó alto, debido a la combinación de la alta vulnerabilidad y la aceleración adoptada. Conclusiones: las edificaciones de adobe de dos niveles existentes en Matucana presentan un escenario estructural crítico frente a eventos sísmicos. La alta vulnerabilidad combinada con un peligro medio genera un riesgo sísmico alto, evidenciando que ante un sismo con aceleración de 0.35 g estas edificaciones podrían colapsar, provocando graves consecuencias sociales y económicas. Los resultados subrayan la urgencia de aplicar medidas de mitigación.

Carhuachin (2021); realizó una tesis denominada “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones en adobe del Asentamiento

Humano Virgen del Socorro II Mz. 1, 2, 3 del distrito de La Esperanza – La Libertad, 2021”, planteándose como objetivo objetivo: evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de adobe ubicadas en el Asentamiento Humano Virgen del Socorro II (Mz. 1, 2 y 3), en el distrito de La Esperanza – La Libertad, durante el año 2021. El propósito fue determinar el nivel de vulnerabilidad y peligro sísmico de estas construcciones, así como identificar las principales deficiencias estructurales existentes. Metodología: Se empleó un diseño no experimental y un enfoque descriptivo. Como técnica de recolección de datos se utilizó la entrevista estructurada, complementada con el llenado de fichas de inspección técnica. Estas fichas permiten registrar información sobre el estado constructivo, características estructurales y elementos de vulnerabilidad de las viviendas de adobe, con el fin de realizar una evaluación estadística de la fragilidad de las edificaciones. Resultados: El análisis estadístico de las 19 edificaciones evaluadas mostró que: El 73.68 % presenta vulnerabilidad sísmica media, mientras que el 26.32 % presenta vulnerabilidad mala. En cuanto al peligro sísmico, la totalidad de las edificaciones se clasificó en un nivel medio Conclusiones: la mayoría de las edificaciones de adobe en el asentamiento evaluado presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica entre medio y malo, asociado principalmente a deficiencias constructivas y ausencia de elementos sismorresistentes, como juntas sísmicas o acabados protectores en los muros. Además, todas las edificaciones están expuestas a un peligro sísmico medio, lo cual incrementa el nivel de riesgo potencial frente a un evento sísmico importante.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Gamarra (2023); ejecutó la tesis denominada “Evaluación de edificaciones del pueblo joven las moras para determinar su vulnerabilidad sísmica. Huánuco – Perú, 2023”, este autor estableció como el objetivo principal de esta investigación fue evaluar la vulnerabilidad sísmica de 75 edificaciones ubicadas en el pueblo joven Las Moras, en Huánuco (Perú), mediante la aplicación de tres métodos de evaluación reconocidos: INDECI, Benedetti Petrini y EMS-98. El propósito fue determinar y

comparar los niveles de vulnerabilidad obtenidos con cada método, identificando las diferencias y tendencias entre ellos. Metodología: Se empleó una metodología de tipo experimental, aplicando evaluaciones directas a las edificaciones seleccionadas. Cada edificación fue analizada utilizando las tres metodologías (INDECI, Benedetti Petrini y EMS-98), registrando los parámetros técnicos y constructivos necesarios para determinar su clasificación de vulnerabilidad sísmica según los criterios de cada método. Resultados: Los resultados obtenidos evidencian variaciones significativas según el método empleado: Con el método INDECI, el 62.67 % de las edificaciones evaluadas se clasificó con un nivel de vulnerabilidad muy alto. Con el método Benedetti Petrini, el 60 % alcanzó un nivel de vulnerabilidad alto. Conclusiones: las edificaciones del pueblo joven Las Moras presentan niveles de vulnerabilidad sísmica elevados en todos los métodos aplicados, lo que indica una alta susceptibilidad estructural frente a eventos sísmicos. Asimismo, se evidencia que los diferentes métodos de evaluación arrojan resultados variables, lo cual permite tener una visión más integral de la vulnerabilidad sísmica, resaltando la importancia de utilizar múltiples enfoques para un diagnóstico más completo

Salamanca & Pedro (2024) a través de la investigación a nivel de tesis denominada “Análisis técnico económico del reforzamiento de una infraestructura educativa de adobe utilizando (malla electrosoldada, geotextil y drizas)” plantearon como objetivo general ejecutar el análisis comparativo técnico y económico del reforzamiento de una infraestructura educativa de adobe usando malla electrosoldada, malla geomallas y malla drizas, la metodología utilizada en esta tesis fue la experimental, la muestra estuvo conformado por 8 pilas de adobe de 3 filas, de donde se obtuvieron como resultados: la resistencia a compresión reforzada con mallas electrosoldadas es del orden de 12.19 kgf/cm² (valor máximo) y 11.82 kgf/cm² (valor mínimo), mientras que con geomallas, 11.82 kgf/cm² (valor máximo), 11.81 kgf/cm² (valor mínimo), con mallas de drizas, 11.80 kgf/cm² (valor máximo), 11.78 kgf/cm² (valor mínimo), conclusiones: la normativa peruana indica que la resistencia a compresión debe ser 12.00

kgf/cm², por lo cual el más adecuado fue el refuerzo con malla electrosoldada.

Acosta (2024) mediante la tesis de grado denominada “Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. Aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de Yauyos” propuso como objetivo principal de esta investigación fue realizar un análisis comparativo entre dos alternativas de reforzamiento estructural —Geomalla y Malla Electrosoldada— aplicadas a edificaciones existentes de adobe, con el fin de determinar la solución más eficiente para su implementación en zonas rurales. Metodología: La investigación se desarrolló bajo una metodología de tipo experimental, que comprendió el análisis estructural de las alternativas propuestas, el diseño de los elementos de refuerzo según criterios técnicos y normativos, y la evaluación comparativa del desempeño estructural de ambas técnicas. Luego de seleccionar la alternativa más adecuada, se elaboró una propuesta integral de reforzamiento y se realizó su presentación y capacitación a los pobladores de la zona, promoviendo la replicabilidad de la intervención en otras viviendas de adobe. Resultados: el estudio permitió comparar las capacidades estructurales y constructivas de ambas técnicas, evidenciando que la alternativa seleccionada ofrece mayor eficiencia estructural y viabilidad constructiva para edificaciones escolares rurales. Se definieron los detalles de diseño de los elementos de refuerzo, así como lineamientos para su correcta ejecución en campo. Conclusiones: el uso de Geomalla y Malla Electrosoldada como alternativas de reforzamiento permite mejorar significativamente el comportamiento estructural de las edificaciones de adobe, siendo una medida técnica viable y replicable. Además, la capacitación comunitaria constituye un componente esencial para garantizar la sostenibilidad y extensión de las intervenciones en otras viviendas y comunidades de la región.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CONCEPTOS GENERALES

La vulnerabilidad sísmica se define como el nivel de propensión que tiene una estructura a sufrir afectaciones ante un movimiento telúrico. De acuerdo con el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] y el CISMID-UNI (2011), establecer este parámetro es fundamental para calcular la magnitud de los daños, categorizando el estado del inmueble en rangos que van desde óptimo o regular, hasta deficiente o colapsado.

2.2.2. VULNERABILIDAD SÍSMICA

Laucata Luna (2013) define la vulnerabilidad sísmica como el nivel de deterioro que experimenta una edificación frente a un sismo con rasgos particulares, lo que permite clasificarlas según su mayor o menor susceptibilidad. Esta cualidad es de carácter intrínseco e independiente de la amenaza geográfica del entorno; esto explica por qué infraestructuras con tipologías constructivas similares muestran comportamientos distintos aun estando expuestas a la misma zona sísmica. Por consiguiente, un inmueble puede poseer una alta vulnerabilidad, pero carecer de riesgo real si no está expuesto a un peligro latente. Finalmente, el autor advierte la falta de métodos estandarizados para su cálculo, señalando que estos análisis concluyen en un índice de daño enfocado en predecir la degradación de un tipo estructural específico.

2.2.3 FORMAS DE EVALUACIÓN

La evaluación de la vulnerabilidad puede realizarse básicamente usando dos criterios: método determinístico y método por criterio.

2.2.3.1 MÉTODO DETERMINÍSTICO

El enfoque determinístico requiere un análisis minucioso del comportamiento estructural. Según lo expuesto por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] y el CISMID-UNI (2011), este procedimiento comprende labores de inspección en campo, extracción de muestras de materiales, registro de vibraciones e investigación directa de los cimientos para verificar su

estado y profundidad. Posteriormente, estos datos se integran en una modelación matemática mediante software especializado, lo que permite emitir un diagnóstico preciso sobre la respuesta sísmica de la edificación y validar su capacidad para tolerar los desplazamientos y cargas dinámicas inducidas por un sismo.

2.2.3.2 MÉTODO POR CRITERIO

El enfoque empírico o por criterio se sustenta en simplificaciones prácticas derivadas de la experiencia acumulada por especialistas. Este procedimiento emplea cuestionarios y listas de cotejo para recopilar parámetros estructurales clave, los cuales sirven como datos de entrada en funciones, curvas o modelos de simulación de respuesta sísmica. De este modo, es posible estructurar un diagnóstico certero sobre las condiciones físicas del inmueble con posterioridad a un evento telúrico.

2.2.3.3 MÉTODO ADOPTADO PARA EL ANÁLISIS DE LA MUESTRA EN EL CISMID

Con el propósito de evaluar la respuesta sísmica en la muestra seleccionada de lotes y manzanas representativas, se estructuró un sistema de almacenamiento de datos. Según el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres [CISMID] (2015), este proceso aplica un modelo de estimación simplificada derivado del planteamiento original de Miranda, el cual cuantifica de manera ágil las distorsiones de entrepiso y los desplazamientos máximos. Dicho enfoque fue adecuado técnicamente por el CISMID con el fin de ajustarse a las configuraciones estructurales y materiales predominantes en el contexto peruano.

Este procedimiento fundamenta su diagnóstico del comportamiento dinámico en las aceleraciones máximas del suelo obtenidas del respectivo análisis de peligro sísmico y en el inventario de tipologías constructivas características del distrito. Para ello, se procesan variables críticas recopiladas mediante inspecciones predio por predio, tales como la aceleración de demanda, la

materialidad, el número de niveles y el sistema estructural predominante. De acuerdo con el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres [CISMID] (2015), la fase posterior implementa el enfoque de índices, el cual estima la distorsión de entrepiso multiplicando dichos coeficientes por el cociente entre el desplazamiento espectral del período fundamental y la altura total de la edificación:

$$\frac{\Delta \delta_j}{h_j} = \left(\frac{\beta_1 \beta_2 \cdot \beta_3 \beta_4}{H} \right) s_d$$

El índice β_1 , es una aproximación al factor de participación dado como una función del número de pisos:

$$(\beta_1) = \left(\frac{3N}{2N + 1} \right)$$

El índice β_2 , relaciona la aproximación de la distorsión máxima en la aproximación contra la distorsión en un sistema real:

$$(\beta_2) = \left(\frac{\max \left(\frac{\Delta \delta_j}{h_j} \right)}{\frac{u_r}{H}} \right)$$

El índice β_3 , relaciona la fuerza de respuesta con la sobre resistencia como función de la ductilidad asignada a cada tipología estructural:

$$\beta_3 = \frac{U^x + \Delta U^x}{U} = \frac{F^x \cdot u}{F}$$

El índice β_4 , produce una aproximación de la relación existente entre la distorsión inelástica y la distorsión elástica, que expresan una medida de ductilidad:

$$\beta_4 = \frac{\varphi \text{ inelástico}}{\varphi \text{ elástico}}$$

El periodo que sirve de base en el diagnóstico, es dependiente de la tipología estructural y del número de pisos, que produce una diagnosis del desplazamiento y distorsiones de cada piso. De esta manera se estiman las distorsiones de entrepiso que diagnostican el estado de la edificación basado en los límites de distorsión máxima

de la norma de diseño sismorresistente NTE-030-RNE y ajustada a la base de datos de experimentación muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 27 años de experiencia de laboratorio (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres [CISMID], 2015).

La ejecución de este procedimiento se realizó de forma automatizada mediante el programa SRSND, el cual facilitó el cálculo de la respuesta estructural del predio tipo de la manzana muestreada, proyectando simultáneamente los niveles de degradación esperados ante el sismo de diseño planteado. Los vectores de salida resultantes fueron migrados a un entorno SIG para la modelación geoespacial de la vulnerabilidad a través de mapas temáticos. A continuación, se detallan de forma sucinta estos resultados, priorizando la descripción de las zonas que presentan una mayor criticidad física (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres [CISMID], 2015).

2.2.4 EDIFICACIONES CON NIVEL DE VULNERABILIDAD ALTO:

De acuerdo con los lineamientos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] y el CISMID-UNI (2011), este grupo comprende aquellas estructuras con un elevado riesgo de colapso total o afectaciones críticas que vuelven inviable su rehabilitación técnica o financiera (estimando pérdidas iguales o superiores al 85% del valor real del inmueble). Asimismo, esta condición representa una amenaza directa para la vida y la integridad física de los residentes [MVCS] & CISMID-UNI, 2011). Por ejemplo:

- Estructuras antiguas de adobe debilitadas por la acción de la humedad, factores erosivos o sismos previos, las cuales se encuentran asentadas sobre terrenos altamente flexibles.
- Construcciones de albañilería simple desprovistas de confinamiento o elementos de refuerzo, con una baja densidad de muros portantes y cimentadas en estratos de suelo blando.

2.2.4.1 EDIFICACIONES CON NIVEL DE VULNERABILIDAD MEDIO:

Esta clasificación agrupa a aquellos inmuebles expuestos a sufrir deterioros sustanciales que, a pesar de no comprometer la estabilidad global de la estructura ni provocar su colapso, restringen su habitabilidad inmediata hasta que se ejecuten obras de subsanación. Según los criterios del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] y el CISMID-UNI (2011), las inversiones para su rehabilitación económica se estiman entre el 30% y el 60% del valor real del predio. Asimismo, implican un riesgo latente para la seguridad pública debido al posible desprendimiento de fragmentos de concreto o bloques de mampostería (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] & CISMID-UNI, 2011). Por ejemplo:

- Construcciones a base de ladrillo que presentan fallas o deficiencias en su configuración estructural, lo cual genera zonas críticas con severas concentraciones de tensiones.

2.2.4.2 EDIFICACIONES CON NIVEL DE VULNERABILIDAD BAJO:

Esta categoría comprende aquellas estructuras donde se prevén afectaciones leves o de menor cuantía ante un evento telúrico. En estos escenarios, el armazón estructural mantiene de forma segura la mayor parte de su capacidad portante, lo que permite la continuidad operativa inmediata del inmueble. Según los lineamientos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] y el CISMID-UNI (2011), este comportamiento es característico de:

- Construcciones de mampostería integradas con elementos de confinamiento de concreto armado o perfiles de acero, proyectadas bajo normativas sismorresistentes vigentes y ejecutadas con materiales calificados, mano de obra calificada y una rigurosa supervisión técnica.
- Sistemas estructurales regulares de concreto armado dotados de muros de corte, o configuraciones aporticadas que incorporan núcleos de ascensores y cajas de escaleras de concreto, complementados con muros de albañilería. Por el contrario, se

diferencia a aquellas edificaciones emplazadas en laderas cuyos cimientos descansan sobre muros de contención de piedra (pircas secas), las cuales no poseen la aptitud mecánica para disipar fuerzas sísmicas.

2.2.5 MODOS DE FALLA O COLAPSO

A partir de las investigaciones recopiladas por Torrealva (2003) y Zegarra et al. (1997), se han catalogado las patologías y modos de falla más recurrentes en las viviendas de adobe situadas en los centros poblados rurales de Canta. Estos deterioros mecánicos se describen a continuación.

- Fisuraciones en la zona central y en los encuentros de los muros de carga: Este fenómeno es inducido por solicitaciones sísmicas que actúan de manera ortogonal (fuera del plano) a la pared. Dicha acción desencadena esfuerzos de tracción por flexión en la sección media y empujes dinámicos que propician la desunión y separación de los elementos portantes en sus esquinas o intersecciones.
- Agrietamientos en el tímpano o frontón triangular superior: Bajo el efecto de fuerzas perpendiculares que afectan a los techos a dos aguas, la viga cumbrera transmite empujes horizontales críticos sobre esta sección elevada de la pared. Esta concentración de carga desestabiliza el componente estructural, provocando de forma habitual su pérdida de verticalidad y consecuente desplome.

2.2.6 FALLAS DEBIDO AL SISMO

2.2.6.1 DEBIDO A FUERZAS PERPENDICULARES AL PLANO DEL MURO.

Durante un evento telúrico, las manifestaciones iniciales de agrietamiento suelen ser inducidas por solicitaciones que actúan fuera del plano del muro, presentándose incluso ante intensidades sísmicas reducidas. No obstante, la aparición de estas fisuras tempranas no compromete de forma inmediata el equilibrio general del elemento. De acuerdo con los estudios de caracterización de daños en estructuras de adobe realizados por Torrealva (2003) y

Valle (2019), la estabilidad de estos componentes verticales está sujeta a variables críticas como el espesor y la relación de esbeltez, la eficiencia en la conexión con el sistema de techumbre o entrepiso, su condición de muro portante o de cerramiento, la longitud libre comprendida entre las intersecciones de los muros transversales y, finalmente, el estado físico de la base del muro (Valle, 2019).

Figura 1

Grieta vertical presente en una esquina superior con recorrido hasta el muro del primer nivel



Fuente: Adaptado de Valle, 2019.

Figura 2

Grieta vertical presente en una esquina superior con recorrido.



Fuente: Adaptado de falla debido a fuerzas perpendiculares al plano del muro, Velarde (2020).

2.2.6.2 DEBIDO A FUERZAS CORTANTES EN EL PLANO DEL MURO

Conforme a la evaluación de patologías en estructuras de tierra desarrollada por Torrealva (2003), el agrietamiento inducido por cizallamiento coplanar (fuerzas cortantes en el plano) se manifiesta ante demandas sísmicas severas, siempre y cuando el mecanismo de colapso por volcamiento haya sido restringido o mitigado con éxito. Este tipo de degradación responde estrictamente a la capacidad de resistencia a la corte intrínseca de la mampostería de adobe. (Velarde, 2010).

Figura 3

Grieta producida por el efecto del corte



Fuente: Adaptado de falla debido a fuerzas perpendiculares al plano del muro, Velarde (2020).

Figura 4

Grieta producida por el efecto del corte y con restricción al volteo



Fuente: Adaptado de falla debido a fuerzas perpendiculares al plano del muro, Velarde (2020).

2.2.6.3 GRIETAS CERCA DE LOS VANOS

De acuerdo con Velarde (2020), este tipo de agrietamiento también es consecuencia directa de las solicitaciones de corte que actúan en el plano del elemento portante. Estas fallas suelen manifestarse de manera característica en los vértices superiores o inferiores de los vanos de puertas y ventanas, propagándose diagonalmente hacia los extremos superior e inferior de la estructura. La génesis de este fenómeno responde tanto a la severa concentración de tensiones en los ángulos de dichas aberturas como a la notable disparidad entre las propiedades mecánicas del adobe y los materiales que constituyen los dinteles.

Figura 5

Grieta cerca de los vanos por esfuerzos de corte y flexión.



Fuente: Adaptado de falla debido a fuerzas perpendiculares al plano del muro, Velarde (2020).

2.2.6.4 FALLA POR VOLTEO DEL MURO LATERAL NO PORTANTE.

Conforme a las observaciones de Velarde (2020), en las viviendas tradicionales de adobe de la región es un rasgo recurrente que la transferencia de cargas de la techumbre se realice de forma unidireccional, orientándose habitualmente en el sentido de la luz más corta entre los apoyos estructurales. Al tratarse de una cobertura de carácter liviano, este sistema constructivo no consolida un plano de arriostramiento superior que vincule los elementos verticales. En consecuencia, el muro lateral no portante carece de restricción en su parte alta y queda expuesto a una condición de voladizo.

Figura 6

Falla por volteo de muro sin confinar.



Fuente: Adaptado de falla debido a fuerzas perpendiculares al plano del muro, Velarde (2020).

2.2.7 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL CENTRO DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO

La estimación del riesgo sísmico en entornos urbanos exige el empleo de metodologías sistemáticas orientadas a cuantificar la vulnerabilidad intrínseca de las edificaciones, facilitando la proyección de escenarios de daño potencial ante eventos telúricos. Esta evaluación integral demanda la interacción de tres ejes de información fundamentales: la caracterización estructural de los inmuebles, las propiedades geotécnicas del suelo de cimentación (efectos de sitio) y el nivel de amenaza sísmica regional. Para los fines de esta investigación, se adoptó el método del Índice de Vulnerabilidad, el cual evalúa el comportamiento estructural mediante la ponderación de 11 parámetros específicos. Si bien el catastro levantado cubre sustancialmente dichas variables, la escala urbana del estudio introduce incertidumbres debido a la dificultad de adquisición o inexistencia de ciertos datos. Al respecto, Marín (2013) señala que tales omisiones pueden resolverse mediante inferencia estadística fundamentada en antecedentes o a través de distribuciones estocásticas. Finalmente, tras determinar los índices correspondientes, se procede con la calibración de las funciones de vulnerabilidad para definir los escenarios de daño esperados (Marín, 2013).

Parámetro 1.- Tipo y organización del sistema resistente.

La asignación y ponderación de las categorías cualitativas (Clases A, B, C y D) para este indicador se fundamentaron rigurosamente en la cronología o época de edificación del inmueble, la inspección visual directa de los componentes portantes sismorresistentes y la evaluación de la praxis constructiva adoptada. Bajo este marco de calificación, se determinó que un porcentaje predominante del inventario inmobiliario situado en el sector central de la urbe fue desarrollado mediante las edificaciones del centro fueron construidas sin tomar en cuenta criterios técnicos; como consecuencia de ello se presentan los resultados para cada tipología: En adobe se asigna la clase “C” para aquellas edificaciones que fueron construidas sin asesoría técnica (autoconstrucción), lo que resultó casi la totalidad de las edificaciones en adobe en esta clase, mientras que en albañilería se asigna la clase “B” a las edificaciones que no cumplen con al menos un requisito de la norma E-070, en marcándose casi la totalidad de las edificaciones de albañilería en esta clase. En concreto armado el problema es menor debido a que sus elementos generalmente conectados le dan esa capacidad de comportamiento tipo “cajón” (Marín, 2013)..

Figura 7

Edificación en adobe sin arriostramiento.



Fuente: Adaptado de edificación dentro del centro de la ciudad de Huánuco dentro de la tipología 1, Marín (2013).

Parámetro 2.- Calidad del sistema resistente.

Las limitaciones socioeconómicas del entorno propician que un sector considerable de la población recurra a la autoconstrucción informal sin supervisión técnica calificada, un escenario que se agrava por el empleo sistemático de insumos con deficientes propiedades mecánicas. Un claro ejemplo de ello es el uso extendido de unidades de albañilería de fabricación artesanal, las cuales contravienen las exigencias normativas mínimas de resistencia y control de calidad. Esta problemática se ve reflejada en la alta concentración de estructuras de mampostería clasificadas dentro de las categorías de vulnerabilidad B y C. En contraposición, los sistemas operados bajo pórticos o muros de concreto armado exhiben una menor susceptibilidad frente a este factor. Por su parte, las estructuras de adobe ubicadas en el casco central presentan un avanzado estado de degradación material asociado a su antigüedad cronológica; debido a esto, la evaluación cuantitativa de este parámetro para la tipología de adobe arrojó una distribución del 92% en la Clase C y un 7.3% en la Clase D, representando esta última el escenario de mayor criticidad estructural (Marín, 2013).

Figura 8

Muro de mampostería en adobe sin homogeneidad



Nota. Adaptado de edificación dentro del centro de la ciudad de Huánuco dentro de la tipología 2, Marín (2013).

Parámetro 3.- Resistencia convencional.

Respecto a la evaluación de la resistencia convencional bajo los criterios metodológicos de Marín (2013), la práctica totalidad del parque edificado en adobe (cercana al 100%) se indexó dentro de las categorías de vulnerabilidad C y D. Este comportamiento crítico se atribuye de forma directa a una deficiente densidad de muros portantes en el eje ortogonal más corto; al conjugarse esta carencia geométrica con la elevada masa inercial intrínseca del material, las fuerzas sísmicas inducidas aumentan sustancialmente, superando la capacidad última del adobe para resistir dichas solicitaciones. En lo concerniente a las edificaciones de albañilería, se identificó una patología análoga referida a la escasez de secciones de muro en su dirección menos favorable. A este factor se suma la frecuente discontinuidad de la mampostería provocada por la inserción de redes hidrosanitarias no integradas en el diseño estructural, lo cual reduce drásticamente su sección neta resistente. Por último, aunque las tipologías de concreto armado exhiben una vulnerabilidad menor, su desempeño sismorresistente se ve comprometido cuando son ejecutadas al margen de un proyecto técnico aprobado, impidiendo que sus elementos estructurales respondan adecuadamente ante el sismo (Marín, 2013).:

Figura 9

Edificación en adobe sin una adecuada cantidad de muros ortogonales



Nota: Adaptado de edificación dentro del centro de la ciudad de Huánuco dentro de la tipología 3, Marín (2013).

Parámetro 4.- Posición del edificio y cimentación

La ponderación analítica de este indicador integra de manera sistémica la respuesta dinámica, el cumplimiento normativo y el estado de conservación de la estructura. Bajo los criterios metodológicos de Marín (2013), la evaluación toma como variables fundamentales los períodos estimados a partir de ensayos de microtrepidaciones, el nivel de adherencia a las exigencias técnicas del reglamento de diseño sismorresistente vigente y la caracterización de patologías físicas exógenas, específicamente el deterioro estructural derivado de la presencia de humedad y eflorescencias salinas en los elementos de soporte (Marín, 2013).

Figura 10

Edificación en adobe con presencia de humedad



Nota. Adaptado de edificación dentro del centro de la ciudad de Huánuco dentro de la tipología 4, Marín (2013).

Figura 11

Edificación en adobe sin muros ortogonales



Nota. Adaptado de edificación dentro del centro de la ciudad de Huánuco dentro de la tipología 4, Marín (2013).

Parámetro 5.- Diafragmas horizontales

Las estructuras de adobe cuyos sistemas de techumbre están constituidos por caña y viguetas de madera con deflexiones notorias presentan una elevada susceptibilidad; el diagnóstico analítico determinó que más del 90% de estos inmuebles se clasifican dentro de la Clase C. En contraposición, las edificaciones de albañilería manifiestan, por lo general, un desempeño eficiente en la transferencia de esfuerzos a nivel de diafragma. Por último, en lo concerniente a los sistemas de concreto armado, se constata que los entresijos y cubiertas operan en su gran mayoría bajo la condición mecánica de losas rígidas (Marín, 2013).

Figura 12

Edificación con techo de caña y vigas de madera



Nota. Adaptado de edificación dentro del centro de la ciudad de Huánuco dentro de la tipología 5, Marín (2013).

Parámetro 6.- Configuración en planta

En relación con el análisis de la configuración en planta bajo el modelo paramétrico de Marín (2013), se constató que la mayor parte del parque inmobiliario evaluado exhibe una regularidad geométrica y una simetría bidireccional aceptable. Debido a estas condiciones favorables de distribución formal, la mayoría de estas estructuras se indexan dentro de la Clase B. No obstante, se identificaron excepciones puntuales asociadas a edificaciones que introducen discontinuidades o aberturas de dimensiones considerables en sus diafragmas, así como asimetrías marcadas que alteran su respuesta dinámica (Marín, 2013).

Parámetro 7.- Configuración en elevación

Una deficiente configuración geométrica en elevación induce vulnerabilidades dinámicas severas, destacando de forma recurrente el fenómeno de entrepiso blando, el cual se suscita ante una variación abrupta y drástica de la rigidez lateral entre niveles consecutivos. No obstante, en lo que respecta al área de estudio, el diagnóstico paramétrico fundamentado en los criterios de Marín (2013) determinó que la gran mayoría de los inmuebles exhibe una adecuada regularidad estructural vertical; por consiguiente, se verifica que están exentos de discontinuidades críticas o variaciones significativas en la distribución de masas en la altura.

Figura 13

Edificación en adobe con adecuada distribución de masas



Nota: Adaptado de edificación dentro del centro de la ciudad de Huánuco dentro de la tipología 7, Marín (2013).

Parámetro 8.- Distancia máxima entre elementos resistentes.

Para las tipologías constructivas de adobe y albañilería, la asignación de la vulnerabilidad se fundamentó en la premisa de que los componentes sismorresistentes no deben presentar un distanciamiento excesivo; por tal motivo, se procedió a auditar la longitud libre máxima existente entre los muros transversales de arriostre. Por otra parte, en lo que concierne a las edificaciones basadas en concreto armado, el diagnóstico paramétrico propuesto por Marín (2013) se estructuró a partir del análisis de las luces críticas, evaluando específicamente la distancia máxima registrada entre las columnas estructurales.

Figura 14

Edificación en adobe con excesiva separación de muros



Nota. Adaptado de edificación dentro del centro de la ciudad de Huánuco dentro de la tipología 8, Marín (2013).

Parámetro 9.- Tipo de cubierta

En este parámetro se clasificaron los diferentes tipos de cubierta encontrados según la capacidad que tengan para resistir la fuerza sísmica. Cuando éstas cubiertas no son lo suficientemente estables ante acciones sísmicas, fallarán, y los muros sobre los que le apoya actuarán en voladizo, siendo vulnerables ante acciones perpendiculares a su plano (Marín, 2013).

Más del 90% de las edificaciones en adobe existentes en la zona de estudio presentan cubiertas inestables de material liviano en malas condiciones; siendo estos calificados con las clases “C” y “D”, pues la falta de una longitud de apoyo adecuado de los elementos principales de la cubierta, facilita que se presente la pérdida del apoyo y el consecuente colapso de la estructura por los desplazamientos inducidos en los muros portantes. Cuando la cubierta está compuesta por una losa aligerada, según sus características se calificaron con “A” y “B”, ya que el vaciado de la misma es monolítico con la viga (Marín, 2013).

Figura 15

Edificación con cubierta inestable de material liviano



Nota. Adaptado de edificación con cubierto inestable de material liviano dentro de la tipología 9, Marín (2013).

Parámetro 10.- Elementos no estructurales

La evaluación de este indicador se centra en aquellos componentes arquitectónicos que no forman parte del sistema sismorresistente principal, pero cuyo colapso o volcamiento ante un evento telúrico representa una amenaza severa para la seguridad pública. A partir de los datos recopilados bajo la metodología de Marín (2013), se determinó que un alarmante 83.1% de las edificaciones de albañilería posee elementos no estructurales —principalmente parapetos en los niveles superiores— con deficiencias críticas en su fijación u oclusión a la estructura portante. En el caso de la infraestructura antigua de adobe, la presencia de voladizos desprovistos de confinamiento, tales como balcones tradicionales, motivó su catalogación dentro de la Clase C. Por último, en la tipología de concreto armado, más del 60% del inventario evaluado exhibe paneles o soportes publicitarios que carecen de anclajes mecánicos normados, lo que genera una alta susceptibilidad a sufrir desprendimientos debido a las fuerzas inerciales del sismo.

Figura 16

Edificación en adobe con balcón inestable



Nota. Adaptado de edificación dentro del centro de la ciudad de Huánuco dentro de la tipología 10, Marín (2013).

Parámetro 11.- Estado de conservación

En la zona evaluada, el 94.2% de los inmuebles de adobe califican en las Clases C y D debido al deterioro acumulado por falta de mantenimiento. Por el contrario, las estructuras de albañilería y concreto se agrupan en las Clases A y B según su antigüedad (Marín, 2013).

Figura 17

Edificación en adobe con balcón inestable



Nota. Adaptado de edificación con balcón en mal estado dentro de la tipología 11, Marín (2013), Tesis de post grado. .

2.2.8 REFORZAMIENTO DE EDIFICACIONES EN ADOBE EXISTENTES

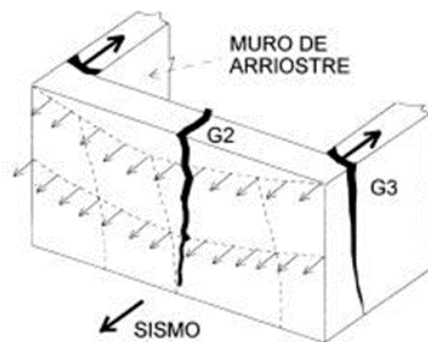
Para el desarrollo de este marco, analizo el planteamiento de San Bartolomé (2018), quien detalla un esquema de consolidación sísmica para estructuras de adobe existentes junto con su adecuación en obras nuevas, teniendo como meta principal mitigar colapsos ante movimientos telúricos de gran intensidad. Esta investigación de carácter experimental se llevó a cabo desde 1994 hasta 1999, financiada por la agencia alemana GTZ, coordinada institucionalmente por CERESIS y materializada por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Durante las etapas de ensayo se examinaron diversas alternativas de intervención, comprobando que la estrategia más óptima consistía en rigidizar las paredes mediante bandas ortogonales de malla electrosoldada confinadas con un revestimiento de mortero de cemento. La efectividad práctica de este sistema quedó demostrada al salvaguardar seis viviendas reales que soportaron el sismo del 23 de junio del 2001, mientras que los predios colindantes fabricados con tierra tradicional sufrieron destrucciones severas o colapsaron por completo. A raíz de estos resultados exitosos, se viabilizaron múltiples iniciativas de edificación habitacional empleando adobe mejorado en los sectores altoandinos del departamento de Arequipa

En la fase inicial del estudio, se desarrollaron ensayos de simulación dinámica en mesa vibratoria tanto en elementos aislados como en prototipos habitacionales a escala, orientados a identificar técnicas de confinamiento externo para muros de adobe que resultasen accesibles, de bajo costo y eficientes en la prevención del colapso estructural. La descripción pormenorizada de estas evaluaciones preliminares fue consignada originalmente en las investigaciones de Zegarra, Quiun, San Bartolomé y Giesecke (1996). Durante el proceso experimental, se evaluaron diversos mecanismos de sujeción que incluyeron la aplicación de elementos de madera, sogas de fibra, malla hexagonal de gallinero y malla electrosoldada. A partir de los análisis, se determinó que en edificaciones preexistentes de un solo nivel es factible asegurar la

estabilidad mediante la consolidación de las regiones críticas (Fig. 2), localizadas específicamente en las intersecciones ortogonales y en la corona de las paredes. Con este propósito, se anclan bandas de malla electrosoldada en ejes verticales y horizontales —emulando el comportamiento mecánico de columnas y vigas de amarre— en ambos paramentos del muro, interconectándolas mediante conectores de alambre pasantes a través del espesor de la mampostería, para posteriormente revestir el conjunto con un tarrajeo de mortero cemento-arena en dosificación 1:4, tal como se detalla en la Figura N° 18 (San Bartolomé, 2018).

Figura 18

Falla típica en edificaciones en adobe por acciones perpendiculares



Nota. Adaptado de Desgarramiento vertical de esquinas por flexión en la zona central del muro en adobe, San Bartolomé (2018)

Por otro lado, puesto que las demandas sísmicas se elevan en proporción al número de niveles, en estructuras de dos pisos considero necesario ejecutar un enmallado integral en los muros del primer nivel y disponer únicamente franjas de refuerzo en el segundo, conforme a la Figura N° 19 (San Bartolomé, 2018).

Figura 19

Reforzamiento de edificaciones existentes de 2 pisos



Nota. Adaptado de reforzamiento de edificaciones mediante el ensayo realizado por San Bartolomé (2018).

2.2.9 COMPORTAMIENTO DE LAS EDIFICACIONES REFORZADAS EN UN TERREMOTO

El movimiento telúrico del 23 de junio de 2001 ($M_s = 7.9$) generó consecuencias críticas en la infraestructura de tierra del sur peruano; no obstante, las seis estructuras mejoradas experimentalmente en Moquegua, Tacna y Arica mantuvieron una respuesta óptima y sin daños frente al sismo principal y sus réplicas (Fig. 20). Este desempeño sismorresistente contrasta con la vulnerabilidad de las construcciones aledañas no reforzadas, cuyos muros fallaron por completo dejando desprotegida a la población (Zegarra et al., 2001; San Bartolomé, 2018).

Figura 20

Vivienda reforzada (izq.) y no reforzada (Derecha)



Nota. Adaptado de la vivienda reforzada no presenta daños mientras que la otra vivienda si presenta daño por carecer de refuerzo, San Bartolomé (2018)

MALLAS ELECTROSOLDADAS

Definición:

Es un material prefabricado a partir de acero estructural mismas que son dispuestas en forma horizontal y vertical (ambas direcciones), los nodos de unión son ajustados con soldadura especial, esto con la finalidad de rechazar los empalmes y ser un material uniforme de carácter monolítico (Corporación Aceros Arequipa [CAASA], 2020).

Clasificaciones:

Cada malla electrosoldada se clasifica en función del área de acero que lo compone en la dirección principal, denominado con la letra Q (según ASTM A1064), a nivel local se rige en base al reglamento nacional de edificaciones RNE.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Características	Q-195	Q-188
Área de acero (cm^2/m)	1.95	1.88
Diámetro aproximado de alambre	Ø 5.5 mm	Ø 5.0 mm
Separación típica entre alambres	15 cm x 15 cm	15 cm x 15 cm
Tipo de acero	Corrugado ($f_y \geq 420 \text{ MPa}$)	Corrugado o ($f_y \geq 420 \text{ MPa}$)
Presentación comercial	Paneles o rollos de 2.4 x 6m o más	

Ventajas y desventajas:

Es un material que reduce el trabajo en obra, ya que no necesita corte y el armado es manual. Las exigencias sobre este material hacen que tenga una distribución exacta entre barras. Al tratarse de un material lineal y extenso es fácil de calcular la cantidad necesaria en obra, por lo cual se evita el desperdicio. Estudios realizados en la PUCP y UNI establecen que posee una adherencia superior al concreto con referencia al acero corrugado y concreto. La fabricación industrial y las exigencias mínimas hacen que el control de calidad sea excepcional (Corporación Aceros Arequipa [CAASA], 2020).

Aplicaciones:

Destinadas al uso estructural o de refuerzo estructural en losas aligeradas o macizas como también en elementos verticales (muros o columnas), también es usado con fines de revestimiento de arquitectura (Corporación Aceros Arequipa [CAASA], 2020).

Normas aplicables:

Si el uso va a ser del tipo estructural y no de revestimiento, se basa en las siguientes normas internacionales: ASTM A1064, ACI—318 y a nivel nacional RNE E.060 (Corporación Aceros Arequipa [CAASA], 2020)

2.3. Definiciones conceptuales

Adobe: Masa de barro mezclado a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al aire, que se emplea en la construcción de paredes o muros (Google, 2023).

Cortante basal: Fuerza cortante total que se induce en el nivel de base o cimentación de una edificación como resultado de la acción sísmica global (Norma E.030, 2018).

Fuerzas internas: Solicitaciones mecánicas de carácter endógeno (tales como cargas axiales, fuerzas de corte y momentos flectores) que se generan en los elementos ante cargas externas, cuyos valores

cuantitativos determinan los requerimientos para el diseño estructural (Norma E.060, 2009).

Grados de libertad (GL): Componentes cinemáticos independientes, referidos a traslaciones o rotaciones, que se asignan conceptualmente a los nudos de un sistema estructural para resolver analíticamente su comportamiento (Chopra, 2014).

Modelo estructural: Abstracción e idealización matemática de un sistema físico real, configurada con el propósito de evaluar la distribución de fuerzas internas y deformaciones aplicando los axiomas de la resistencia de materiales (Chopra, 2014).

Modos de falla: Formas o maneras en las que la distribución de presiones y deformaciones causan la inestabilidad global de un sistema. (Rojas, 2023).

Muros: Conjunto de bloques de ladrillo de arcilla cocida o bloques de tierra, que aportan densidad, las mismas que son resistentes a sollicitaciones sísmicas. (Martínez, 2021).

Periodo fundamental de vibración: Intervalo de tiempo requerido para que una estructura complete un ciclo completo de oscilación en su modo principal de vibración, constituyendo el parámetro base para la determinación de las fuerzas sísmicas tanto en el análisis estático como en el dinámico (Norma E.030, 2018).

Registros sísmicos: Acelerogramas que instrumentalizan el movimiento del suelo ante un evento telúrico, constituidos formalmente por un par de componentes ortogonales de aceleración en el plano horizontal del terreno (Norma E.030, 2018).

Sismo: perturbación o movimiento dinámico transitorio de la corteza terrestre, originado por la súbita liberación y posterior disipación de la energía mecánica acumulada debido a la interacción o colisión de placas tectónicas (Chopra, 2014).

Sismo de diseño: Evento sísmico reglamentario caracterizado por una probabilidad de excedencia del 10% dentro de un horizonte de evaluación de 50 años, lo cual se corresponde analíticamente con un periodo de retorno promedio de 475 años (Norma E.030, 2018).

Sismo máximo: Solicitación sísmica extrema definida por una probabilidad de excedencia del 2% en un lapso de 50 años, asociada estadísticamente a un periodo de retorno estimado de 2475 años.

Vanos: Espacios destinados a los accesos o ventanas dentro de una edificación, necesarios para el tránsito o ventilación. (Ríos, 2018).

Vulnerabilidad sísmica: Nivel de predisposición intrínseca o susceptibilidad que presenta un sistema estructural a experimentar degradación física o daños ante las solicitaciones dinámicas de un terremoto. La determinación de este indicador —clasificado cualitativamente mediante rangos de desempeño que van desde una condición óptima o regular hasta un estado deficiente o de colapso— viabiliza la estimación y cuantificación analítica del daño esperado (CISMID, 2019).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

Ho: La evaluación estructural basada en elementos finitos no logra proponer técnicas de reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco – 2025

Ha: La evaluación estructural basada en elementos finitos propone técnicas de reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Ho1: La ejecución de la modelación en elementos finitos determina los modos de colapso en edificaciones en adobe – Huánuco - 2025.

Ha1: La ejecución de la modelación en elementos finitos no determina los modos de colapso en edificaciones en adobe – Huánuco - 2025.

Ho2: Es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-478 ($\varnothing=3/8"$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025

Ha2: No es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-478 ($\varnothing=3/8"$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

Ho3: Es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2"$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025

Ha3: No es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2"$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

NOTA: La adopción de otros tipos de mallas electrosoldadas ($f_y=5000$ kg/cm²) como técnicas de refuerzo en sistemas estructurales en edificaciones de adobe se realizó utilizando la equivalencia a barras dúctiles ($f_y=4200$ kg/cm²), ahora se pretende añadir diversas cantidades en metros cuadrados de mallas electrosoldadas equivalentes a varillas de 3/8" y 1/2" respectivamente, en base a la siguiente figura.

Figura 21

EQUIVALENCIAS PARA USAR MALLA ELECTROSOLDADA							
<i>Se puede usar malla electrosoldada en muro de contención, losa maciza, cisterna, losa de piso, tanque elevado, zapata, losa aligerada, Losa Postensada, losa colaborante.</i>							
$\varnothing 6mm$	$\varnothing 1/4"$	$\varnothing 8mm$	$\varnothing 3/8"$	$\varnothing 12mm$	$\varnothing 1/2"$	$\varnothing 5/8"$	
Q-235 o Q-238	Q-264	Q-430	Doble Q-295	Q-503 + Q-442	Doble Q-541	-	
Q-188	Q-214 o Q-221	Q-335	Q-478	Q-430 + Q-335	Doble Q-430	-	
Q-158	Q-188	Q-283	Q-430	Q-295 + Q-335	Q-430 + Q-283	-	
Q-139	Q-158	Q-235 o Q-238	Q-335	Q-541	Q-295 + Q-335	Q-541 + Q-430	
Q-118 o Q-139	Q-139	Q-214 o Q-221	Q-295	Q-478	Q-541	Doble Q-430	
Q-106	Q-118 o Q-139	Q-188	Q-264	Q-430	Q-478	Q-503 + Q-238	
Q-92 o Q-106	Q-106	Q-164	Q-235 o Q-238	Q-385	Q-430	Doble Q-335	
Q-84	Q-106	Q-158	Q-214 o Q-221	Q-335	Q-385	Q-295 + Q-335	
Q-79 o Q-84	Q-92	Q-141 o Q-158	Q-195	Q-335	Q-353	Q-295 + Q-257	
Q-79	Q-84	Q-131 o Q-139	Q-188	Q-295	Q-335	Q-541	
Q-65	Q-79	Q-128	Q-171 o Q-188	Q-271 o Q-283	Q-335	Q-478	
Q-65	Q-79	Q-118	Q-158	Q-257	Q-283 o Q-295	Q-442	
Q-65	Q-65	Q-106	Q-158	Q-235 o Q-238	Q-264	Q-430	
Q-53	Q-65	Q-92	Q-65	Q-214 o Q-221	Q-235 o Q-238	Q-385	
Q-53	Q-53	Q-84	Q-141	Q-141	Q-214 o Q-221	Q-335	

En caso no se tenga la malla, se puede usar varillas FY5000, respetando las equivalencias.

Equivalencias de mallas electrosoldadas

Nota. Prisma Ingeniería, (2021).

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Evaluación estructural

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Técnicas de reforzamiento estructural

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	MEDICIÓN
Técnicas de reforzamiento estructural	Formas o maneras en la cual se le puede otorgar mayor rigidez y resistencia lateral a edificaciones en adobe.	Adición de mallas electrosoldadas	Índice de rigidez	Rigidez a la tracción	$K = P/\Delta$
				Rigidez a la compresión	P= Fuerza lateral (KN, Mpa, Tn.). Δ =deformación (mm, cm, m.).
Evaluación estructural	Representa la determinación de la acumulación de deformaciones y esfuerzos en ciertas zonas débiles de las viviendas de adobe.	Dimensión física	Esfuerzos y deformaciones	-Colapso por compresión	Excedencia de los límites de deformaciones unitarias dentro del material adobe
		Dimensión de carga.	Carga permanente	- Colapso por cortante	P (tn, kg, N)
				Cargas actuantes	Tiempo vs aceleración
				Carga sísmica	Registro sísmico

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Basado en Sampieri (2019), la investigación aplicada busca la solución o resolución de problemas de carácter específicos. Utilizando los conocimientos, teorías y fórmulas de la literatura existente.

En aplicación a este proyecto de investigación, la solución que se pretende radica en la determinación de los modos de colapso o modo de colapso del sistema estructural de adobe, utilizando los conocimientos teóricos de la literatura, como, por ejemplo: la determinación de las propiedades mecánicas del adobe como material, las disposiciones de modelado en el software estructural y las exigencias mínimas del código peruano.

La determinación de los modos de colapso en este tipo de sistema estructural representa la solución de un problema real dentro de la ciudad de Huánuco, sin embargo, los resultados del reforzamiento estructural obtenidos mediante esta investigación podrán ser aplicados de manera inmediata.

3.1.1. ENFOQUE

Para este estudio adopto un enfoque cuantitativo, el cual se fundamenta en la ruta metodológica expuesta por Wichtendahl (2010). La investigación partió de una delimitación temática concreta: la evaluación del reforzamiento estructural en edificaciones de adobe en el centro de Huánuco. A partir de esta premisa, derivé los objetivos y las preguntas de investigación, estructuré la revisión bibliográfica sobre vulnerabilidad sísmica local y formulé las hipótesis pertinentes. Este procedimiento riguroso me permitió operacionalizar las variables del sistema y establecer el diseño metodológico idóneo para su posterior contrastación empírica.

Al respecto, Wichtendahl (2010) sostiene que el enfoque cuantitativo comprende un conjunto de procesos secuenciales y estrictos. Este método inicia con una idea debidamente acotada de la cual se desprenden los objetivos y las interrogantes del estudio; posteriormente, se examina la literatura existente para consolidar la perspectiva teórica, se postulan las hipótesis, se definen las variables y se ejecuta un plan o diseño para su respectiva validación.

3.1.2. ALCANCE

Según Sampieri (2022), el alcance o nivel del tipo explicativo busca explicar las causas y efectos de un fenómeno, es decir, quiere conocer el "por qué" de los hechos.

Aplicado a esta investigación; la causa sería la determinación de los modos de colapso en edificaciones de adobe mientras que el efecto sería el reforzamiento estructural de edificaciones de adobe, la primera causa el efecto de la segunda.

3.1.3. DISEÑO

El diseño que aplico en este proyecto es no experimental y de corte transversal, puesto que las variables se derivan directamente de la problemática sin ser manipuladas artificialmente. Este marco me faculta para evaluar la vulnerabilidad sísmica existente en los inmuebles de adobe y fundamentar técnicamente el tipo de reforzamiento estructural necesario.

De acuerdo con Hernández et al. (2006), este tipo de diseño se caracteriza por recopilar los datos en una sola etapa temporal y analizar las condiciones existentes en su ambiente natural sin ejercer control deliberado sobre las variables.

En resumidas cuentas, para la ejecución de esta investigación primeramente se recolectan los datos de las tipologías existentes (con similitud en geometría en planta, geometría en altura, uso y carga), luego de caracterizar mediante tipologías a un número suficiente de edificaciones se pretende construir un modelo numérico o matemático utilizando el software DIANA FEA, tratando de representar así el comportamiento de este tipo de edificaciones.

Una vez conocida los modos de falla se pretende proponer diversas técnicas de reforzamiento estructural con la finalidad de mitigar estos modos de falla, esto será demostrado gráfica y numéricamente, así como también utilizando funciones de fragilidad que básicamente representan la probabilidad de colapso frente a diversas aceleraciones espectrales compatibles con las características de sitio de nuestra ciudad de Huánuco.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN (CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN)

La población de estudio está conformada debido a la inspección realizada a diferentes edificaciones en la ciudad de Huánuco; por lo que a continuación se reportan los 125 lotes.

Las edificaciones inspeccionadas en la urbe de Huánuco poseen características similares por lo que en la columna 3 de la tabla se reportan el número de edificaciones típicas a usarse para cumplir con los objetivos de la presente investigación:

Tabla 2

Clasificación de las edificaciones en la ciudad de Huánuco

N° de viviendas inspeccionadas	
Tipología	
Adobe	125

Delimitación de la población por características: Con la finalidad de evaluar gran parte de la población objetiva, las edificaciones guardan características homogéneas, similares y sobre todo representativas. Esto no puede ser evaluado en las periferias de la ciudad ya que en ese caso las edificaciones de adobe se ajustan a la topografía ondulada del terreno, mientras que en el centro las edificaciones de adobe muestran similitudes sobre un terreno plano.

Delimitación por accesibilidad: El recojo de datos necesarios para la construcción modelos representativos de cada tipología se realiza de manera más fácil en el centro de la ciudad que en la periferia (gran variabilidad en planta y elevación) y representa la mayor concentración de densidad poblacional, esto lo hace sujeta a un alto riesgo sísmico.

3.2.2. MUESTRA (TIPO Y TAMAÑO)

La muestra estará conformada por los siguientes parámetros similares: al encontrarse configuraciones en altura similares entre la totalidad de las viviendas inspeccionadas, similitud del material

conformante y el mismo proceso constructivo, se ve por conveniente generar edificaciones típicas mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 3

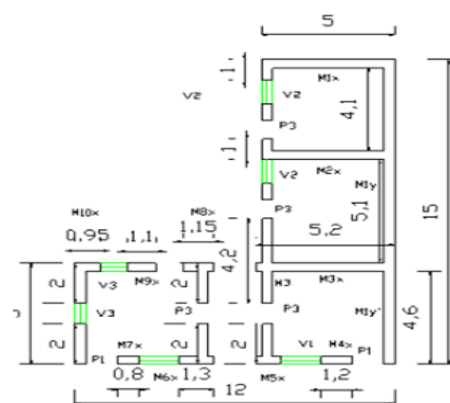
Clasificación la muestra según niveles

Tipología	Edificaciones típicas (un nivel)	Edificaciones típicas (dos niveles)
Adobe	3	2

Para cubrir las aleatoriedades traducidas en variaciones en planta y elevación de los edificios construidos en base al adobe de la ciudad de Huánuco, se ve por conveniente utilizar al menos 5 edificaciones típicas que representen el universo de 125 lotes en total. Claramente, este estudio se apoya en una selección de la muestra por conveniencia luego de que la estadística a través del MAS determine cantidades mínimas para edificaciones típicas de uno y dos niveles. Esto enriquece los resultados de la investigación favoreciendo la seguridad estructural de los habitantes de edificaciones construidas en base al Adobe de la ciudad de Huánuco.

Figura 22

Edificio 1 – 2 pisos con irregularidad

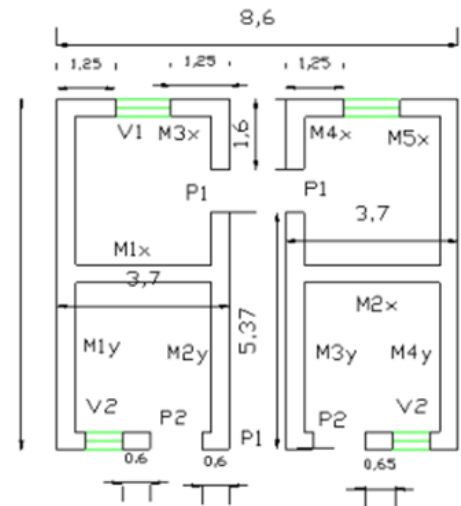


Representa una vivienda típica de adobe de dos niveles. Se muestra la vista real y la vista en planta irregular (sección L), Existe gran cantidad

de disminución de rigidez debido a los cortes para las ventanas en ambos niveles. Nótese la gran cantidad de muros de adobe del tipo divisorios, muestra alta fragilidad sísmica debido a la forma irregular.

Figura 23

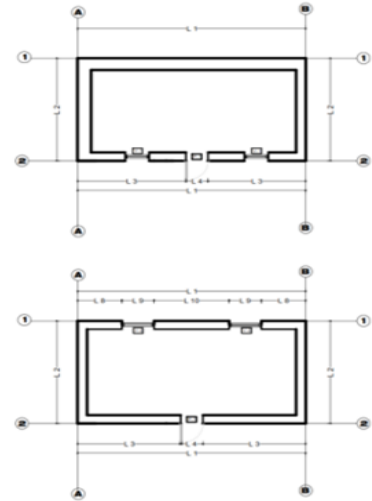
Edificio 2 – 2 pisos con irregularidad



Se muestra la vivienda real y la distribución en planta típica de dos niveles con planta cuadrada, la reducción de rigidez se da por las puertas y ventanas no simétricas en ambos niveles. Nótese la utilización de muros de adobe del tipo perimetral e interna, existe mayor distribución de muros en la dirección larga y menor en la dirección corta, lo cual aumenta la fragilidad de colapso.

Figura 24

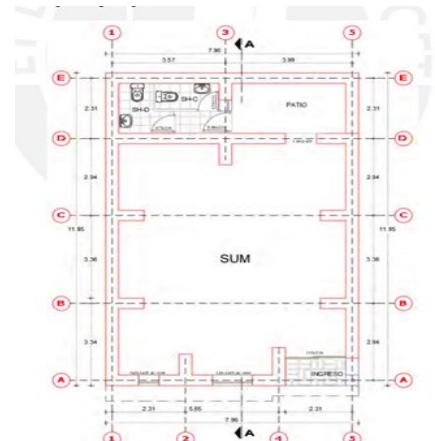
Edificio 3 – 2 pisos sin irregularidad



La siguiente figura muestra una vivienda de dos niveles construida bajo la autoconstrucción con una antigüedad aproximada de 50 años, Se dispone solamente de muros de adobe del tipo perimetral con poca reducción de rigidez debido a la ausencia de ventanas en el primer nivel, caso contrario en el segundo nivel con mayor reducción de rigidez por ventanas y puertas.

Figura 25

Edificio 1 – 1 piso sin irregularidad



La tipología elegida representa a viviendas de Uno y Dos niveles, cada una de ellas representa a una vivienda típica de la muestra, el autor cree que al utilizar edificaciones solo de dos niveles no se abordará la problemática real.

Edificio 2 – 1 piso sin irregularidad



Según diversos autores, existen diversos enfoques para obtener datos, para la investigación se ha tenido en cuenta la observación no experimental, la revisión documental y los expedientes:

Tabla 4*Técnicas e instrumentos de recolección de datos.*

Instrumento	Definición	Aplicación en la investigación
Fuentes primarias		
Observación del tipo no experimental	Registro visual de una situación real; consignando los acontecimientos según algún esquema previsto.	Registro visual de los documentos técnicos legales, el primero en relación al expediente técnico de los edificios multifamiliares de la muestra.
Revisión documental	Consiste en realizar una investigación y recopilación de información a través de la revisión de diferentes fuentes documentales.	Se requiere la extracción de la información mediante la normativa E.030-2018 Diseño Sismorresistente y otras normativas complementarias.

La observación del tipo no experimental estará apoyada en fichas de observación con la finalidad de registrar las propiedades y características de los componentes de la población, mediante estas se generan las tipologías para edificaciones de un solo nivel y dos niveles respectivamente (adjunta en ANEXOS).

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

3.4.1. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Debido al carácter no experimental de esta investigación, no se utilizará algún software exclusivo para la estadística, sin embargo, es necesario la utilización del software Excel con la cual se pretende presentar cuadros estadísticos, gráficos de comparación y presentación de tablas.

El software DIANA FEA es el adoptado para la ejecución del análisis estructural por poseer un entorno amigable con la generación de propiedades elásticas del adobe y la facilidad de concebir los componentes de la muestra

3.4.2. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.

El análisis de los resultados comprende el procesamiento sistemático de la información recopilada para su examen rigurosa. Sustento esta etapa en las bases de datos generadas por el software de modelación estructural, del cual extraigo los desplazamientos para determinar y comparar las derivas de entrepiso correspondientes; posteriormente, ejecuto el procesamiento estadístico de estas variables mediante la plataforma Excel.

La información a procesar será realizada mediante los instrumentos de recolección de datos, para luego generar arquetipos que represente la población total.

La determinación de la cantidad aceptable de refuerzo usando la malla electrosoldada Q-478 y Q-541 será evaluando la curva de fragilidad de colapso, para ello:

1. El modelo numérico de los arquetipos deben reflejar un periodo corto ya que solo son máximo de dos pisos y sin mucha cantidad de densidad de muros.
2. Las deformaciones unitarias obtenidas cerca a los vanos y en la parte superior representan las zonas donde disponer el refuerzo estructural con mallas electrosoldadas.
3. Utilizando el periodo fundamental de vibración del arquetipo se obtiene la aceleración espectral para el análisis dinámico con registros sísmicos reales.
4. Este análisis dinámico mostrará si la disposición de malla electrosoldada asumida es suficientemente aceptable como para dotar de resistencia y ductilidad ante eventos sísmicos de 0.4 a 0.6g.
5. La construcción de la curva de fragilidad de colapso muestra la probabilidad de colapso asociado a la aceleración sísmica. Este gráfico muestra la aceptación o no del área de acero utilizado.

3.5. ASPECTOS ÉTICOS

Emanuel et al. (2003) mencionan que se debe satisfacer 7 requisitos mínimos cuando la investigación esté relacionada a estudios donde se vean involucradas comunidades:

1. Valor científico/social: Mediante la presente investigación se aporta y otorga la seguridad estructural frente al colapso de edificaciones construidas a base de acero, esto mediante técnicas de reforzamiento estructural.

2. Validez científica: La evaluación estructural y las técnicas de reforzamiento estructural están basadas en metodologías extranjeras de renombre, apoyadas sobre ensayos no destructivos.

3. Selección equitativa de sujetos: La selección adecuada de la muestra de edificaciones construidas de adobe se da bajo criterios técnicos, como la selección rigurosa de edificaciones que representen una tipología con el fin de abarcar el problema de colapso frente a eventos sísmicos.

4. Proporción riesgo beneficio favorable: Mediante las técnicas de reforzamiento estructural se busca la minimización de riesgo de colapso de edificaciones de adobe en una región de estudio. Esto promueve la seguridad estructural de una comunidad entera.

5. Revisión independiente: Si bien esta investigación no estará sujeta a la revisión por pares, si estará sujeta a la evaluación por expertos de la Universidad de Huánuco facultad de civiles, esta investigación se refiere a que los resultados serán criticados por expertos ingenieros dentro de la rama de la ingeniería estructural, y si incluye la toma de información (recolección de datos) que básicamente ha consistido en recoger la información en planta y elevación para ser caracterizados con modelos arquetípicos, es decir modelos similares en planta y elevación con la finalidad de capturar todas las distintas geometrías variables de las edificaciones de adobe.

6. Consentimiento informado continuo: El asesor y/o tutor de la presente investigación tiene especial cuidado con la información presentada en la misma.

7. Respeto continuo a los participantes: La información actualizada indicada en la presente investigación puede ser revisada y obtenida por cualquier persona y/o profesional desde el repositorio de tesis de la universidad de Huánuco.

CAPITULO IV

RESULTADOS

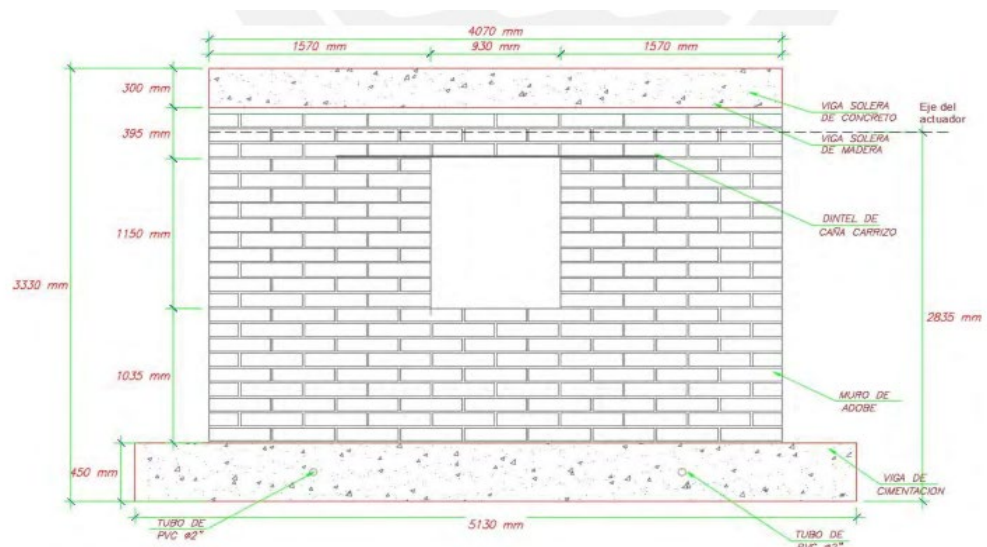
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Procesamiento de datos de campo: Las dimensiones en planta y elevación de cada edificio de 1 nivel y dos niveles fueron halladas del levantamiento de la información de campo, se midieron las longitudes de las paredes y vanos en la dirección X e Y, así como los alfeizares y dinteles propios de ventanas y puertas respectivamente (mostradas en los anexos).

Procesamiento de datos numéricos: Como el énfasis de la presente tesis es realizar la evaluación estructural y posteriormente proponer técnicas de reforzamiento estructural necesariamente se debe contar con un modelo numérico que represente el comportamiento estructural del adobe como tal, por ello se recurre al espécimen denominado MUENSR reportado por Valle (2019). Este autor construyó un espécimen conformados 22 hiladas unidas con mortero de espesor 15 milímetros, el vano correspondiente a la ventana tuvo 930 milímetros de ancho y 1150 milímetros de altura, mediante la figura 27 se muestra las secciones del espécimen que será ensayado sin refuerzo.

Figura 27

Elevación del muro MUES sin refuerzo.



Fuente: Adaptado de Valle, 2019.

La viga de cimentación presentó las siguientes dimensiones 5130 milímetros por 440 milímetros por 450 milímetros y sirvió para empotrar el

muro MUENSR. La altura total fue de 2530 milímetros, tal como se muestra en la figura 28.

Figura 28

Vista de la sección de la viga de cimentación.



Fuente: Adaptado de Valle, 2019.

La altura total fue de 2530 milímetros (teniendo en cuenta que la unidad de adobe fue 430 milímetros por 430 milímetros por 100 milímetros), tal como se muestra en la figura 29.

Figura 29

Asentado parcial del muro de adobe.



Fuente: Adaptado de Valle, 2019.

Asimismo, se dispuso una viga solera de concreto armado destinada a distribuir la carga cíclica lateral y transmitir las acciones gravitacionales (carga

muerta). La configuración definitiva de este muro, denominado MUENSR, se presenta en la Figura 30.

Figura 30

Vista final del muro de adobe MUENSR.

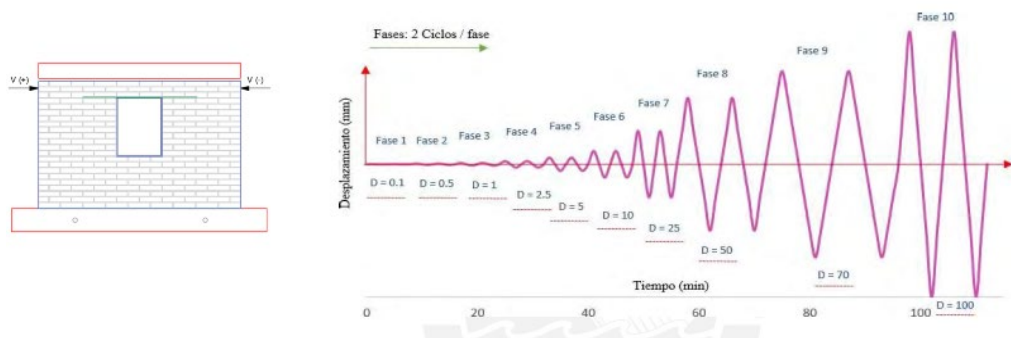


Fuente: Adaptado de Valle, 2019.

Posteriormente este MUENSR fue ensayado bajo la acción de la carga cíclica con el objetivo de evaluar su comportamiento estructural, el ensayo en mención duró 90 minutos y tuvo el siguiente patrón de desplazamiento mostrado en la figura 31:

Figura 31

Espécimen de adobe MUENSR y patrón de desplazamiento.

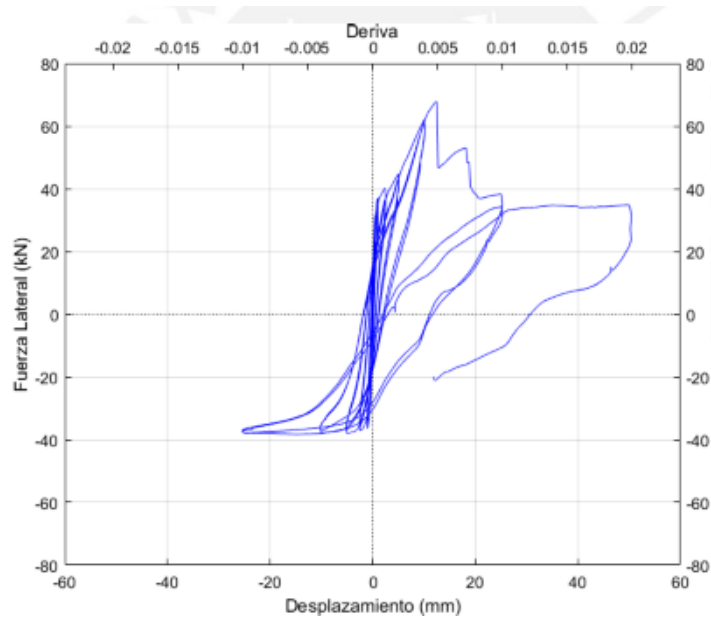


Fuente: Adaptado de Valle, 2019.

Finalmente, la respuesta histerética (fuerza versus desplazamiento) tuvo la siguiente forma mostrada en la figura 32:

Figura 32

Respuesta fuerza desplazamiento del espécimen MUENSR



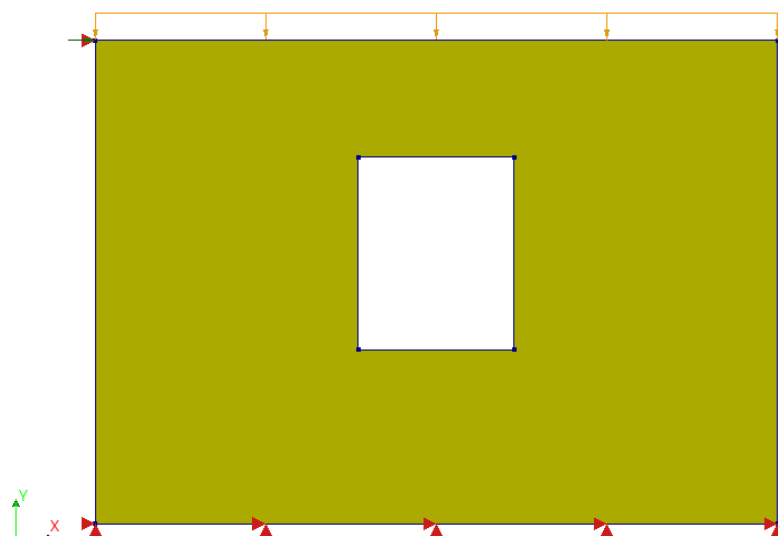
Fuente: Adaptado de Valle, 2019.

En ese sentido la meta es reproducir la curva fuerza desplazamiento utilizando materiales que simulen el comportamiento del material en nuestro software de análisis (DIANA 10.10), para tal fin se construye un modelo numérico con las características y propiedades mencionadas anteriormente:

Construcción del modelo numérico de MUENSR: Se utilizo elementos “shells” para generar la sección de la pared de adobe, como se muestra en la figura 33.

Figura 33

Modelo numérico del espécimen MUENSR



Para caracterizar el comportamiento del adobe, el software DIANA 10.10 posee un material denominado “Engineering masonry model (MEM)” sin embargo, es necesario también disponer de diversos parámetros como son: los parámetros de elasticidad, parámetros de grietas, parámetros de aplastamiento, parámetros de la falla por corte y anchos de grietas. Todos estos parámetros son mostrados a continuación:

Figura 34

Parámetros elásticos usados en “Engineering masonry model”

Elasticity parameters	
Young's modulus	
E x*	428 N/mm ²
E y*	428 N/mm ²
Shear modulus	
G xy*	174 N/mm ²
Mass density	2.09e-09 T/mm ³ $\sqrt{x}$

Figura 35

Parámetros de grietas usados en “Engineering masonry model”

Cracking parameters	
Head-joint failure type*	Tensile strength head-joint defined by friction
Tensile strength	
Bed-joint strength*	1 N/mm ²
Minimum strength head-joint*	0.05 N/mm ²
Fracture energy in tension*	0.01 N/mm
Residual tensile strength	0.05 N/mm ²
Angle between stepped diagonal crack and bed-joint*	0.785 rad

Figura 36

Parámetros de aplastamiento usados en “Engineering masonry model”

Crushing parameters	
Compressive strength*	1.07 N/mm ²
Fracture energy in compression*	1.712 N/mm
Factor to strain at compressive strength*	7.99
Unloading factor, 1=secant, 0=linear*	0

Figura 37

Parámetros de falla por corte usados en “Engineering masonry model”

✓ Elasticity parameters	▶
✓ Cracking parameters	▶
✓ Crushing parameters	▶
✓ Shear failure parameters	▼
Friction angle*	0.7 rad
Cohesion*	0.2 N/mm²
Fracture energy in shear	0.0221 N/mm
Out of plane shear failure	☐

Figura 38

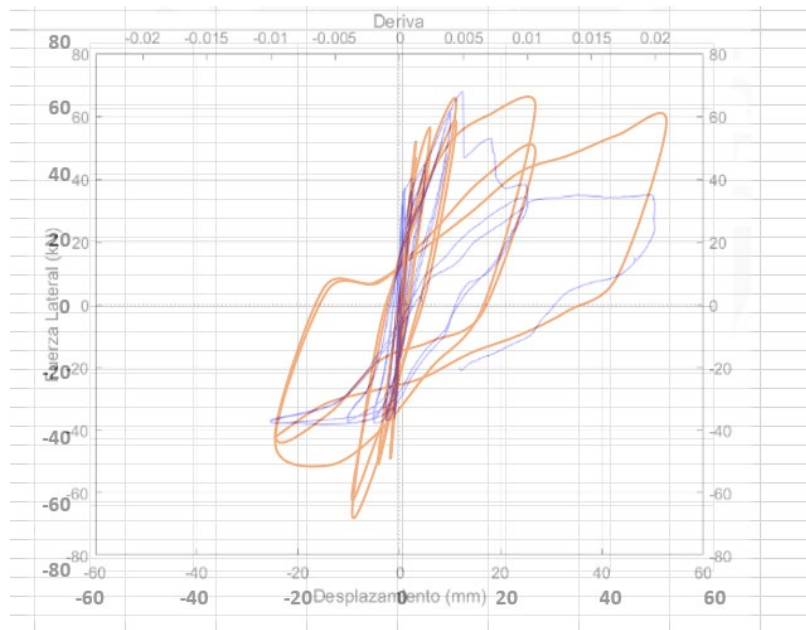
Parámetros de ancho de grietas usados en “Engineering masonry model”

✓ Elasticity parameters	▶
✓ Cracking parameters	▶
✓ Crushing parameters	▶
✓ Shear failure parameters	▶
✓ Crack bandwidth	▼
Crack bandwidth specification	Govindjee

Por último, para conocer si los valores utilizados en cada parámetro del material denominado “Engineering masonry model (MEM)” logran asemejarse al ensayo experimental real se superponen ambas curvas de fuerza desplazamiento, como se manifiesta en la figura 39.

Figura 39

Superposición de la respuesta del ensayo experimental versus numérico



La curva azul representa al ensayo experimental reportado por Valle (2019), mientras que la curva naranja representa al ensayo numérico utilizando el modelo denominado “Engineering masonry model (MEM)”, al evaluar los desplazamientos y fuerzas desarrollados entre ambos se determina que son semejantes, por lo cual TODOS los parámetros utilizados son los adecuados para representar el COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MATERIAL ADOBE.

El error relativo se calculó mediante la división entre el máximo desplazamiento del ensayo de laboratorio (experimental) y el máximo desplazamiento del ensayo numérico (simulado en DIANA FEA 10.10):

$$error\ relativo = \frac{\Delta(max, num)}{\Delta(max, exp)} = \frac{50.80\ mm}{52.60\ mm} = 0.966 = 96.60\%$$

Este valor representa que la calibración de la respuesta del experimento real con la modelación numérica es un 96.60% aceptable, demostrando que el software DIANA FEA V10.10 con el material MEM reproduce el comportamiento de las estructuras de adobe.

NOTA: No hay forma de asegurar que las unidades o bloques de adobe tengan las mismas propiedades que el espécimen de la PUCP porque no se realizó ensayos directamente al material (barro + agua y demás) ni al bloque de adobe porque no se enmarcaba dentro de los alcances de la presente tesis, sería técnicamente inviable y costoso determinar las propiedades mecánicas

de todos los edificios de la muestra y peor aún de los de la población. Por ello se realiza la validación o calibración de una respuesta estructural ya ensayada en un laboratorio que otorga en gran medida como se comportaría un espécimen construido a base de adobe, se sabe que no es posible replicar la realidad (reproducir las propiedades de los especímenes de Huánuco) pero si nos podemos acercar al menos en cierto porcentaje a esta. El juicio de expertos refiere que nuestros modelos deberían acercarse al menos en un 30% a la realidad con lo cual se aceptarían los resultados validos (Pique del pozo, 2026).

Construcción de modelos numéricos propuestos en la muestra: Para evaluar una gran gama de edificios en nuestra ciudad se recurre a cinco tipologías estructurales de edificaciones de adobe en la urbe de Huánuco (tres de dos pisos y dos de un piso).

Figura 40

Vista en planta y vista 3D del E1-1P

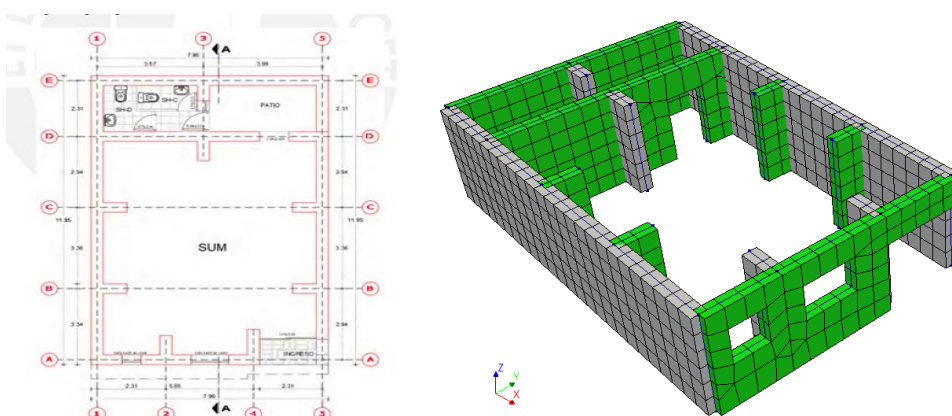
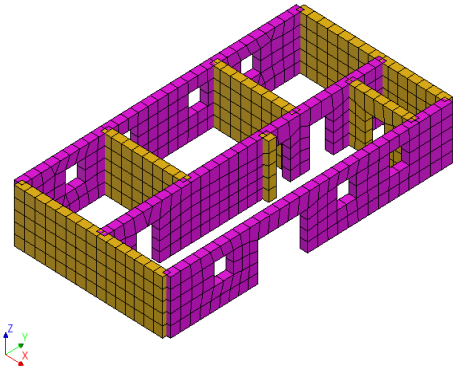
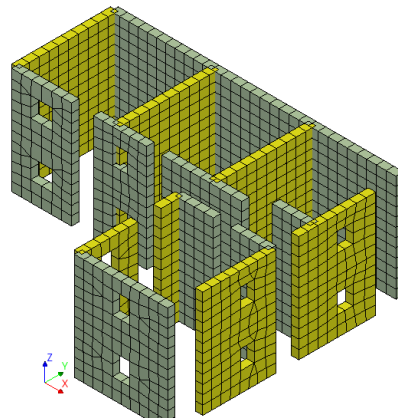


Figura 41

Vista en planta y vista 3D del E2-1P



Vista en planta y vista 3D del E1-2P



Vista en planta y vista 3D del E2-2P

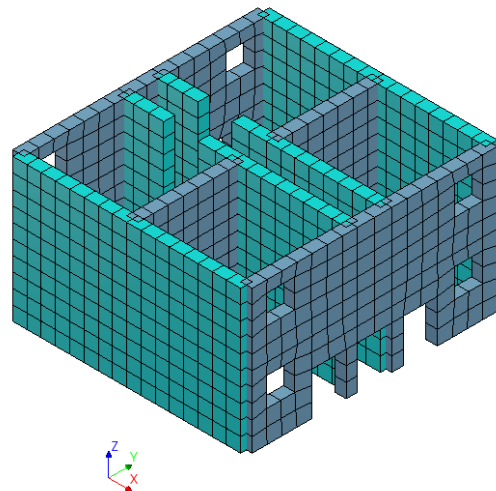
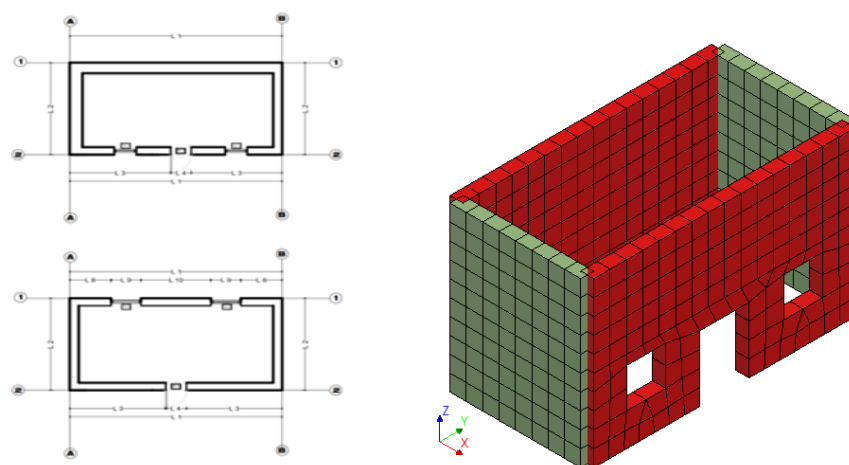


Figura 44

Vista en planta y vista 3D del E3-2P



4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

HG: La evaluación estructural basada en elementos finitos no logra proponer técnicas de reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

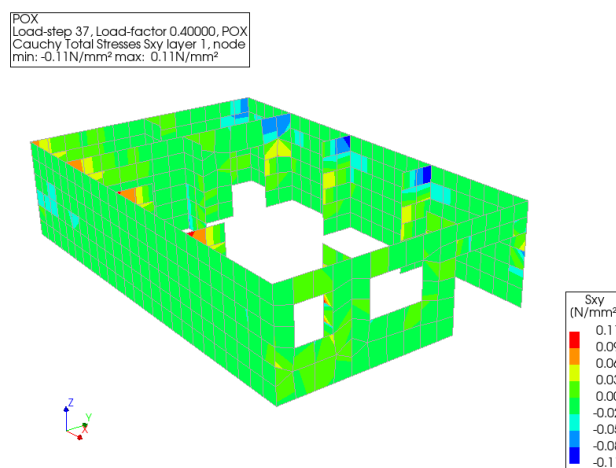
La técnica de elementos finitos consistió en generar una malla cuadrangular no lineal para la totalidad de elementos verticales de cada edificio, cada uno de estos elementos finitos posee las características mencionadas en las figuras 34, 35, 36, 37 y 38. La evaluación estructural consistió en aplicar el patrón de desplazamientos del espécimen MUENSR en cada dirección de análisis, mostrando fallas por corte (falla en la cama del mortero), fallas perpendiculares al plano (volteo) y el aplastamiento del adobe (esfuerzos en compresión superiores a 1.00 MPa).

Estas fallas mencionadas muestran las partes débiles de edificaciones de adobe y sugieren técnicas de reforzamiento estructural con adición de materiales de construcción distintos a los convencionales en edificaciones de adobe. Valle (2019) en su tesis manifiesta los esfuerzos máximos en MPa soportados por secciones de adobe:

Tabla 5*Esfuerzos máximos (MPa) para edificaciones de adobe*

Parámetros	Esfuerzo máximo (MPa)
Esfuerzo de tracción (ft)	0.05
Esfuerzo de compresión (f'm)	1.07
Esfuerzo de compresión diagonal	0.04
Esfuerzo admisible por corte	0.018

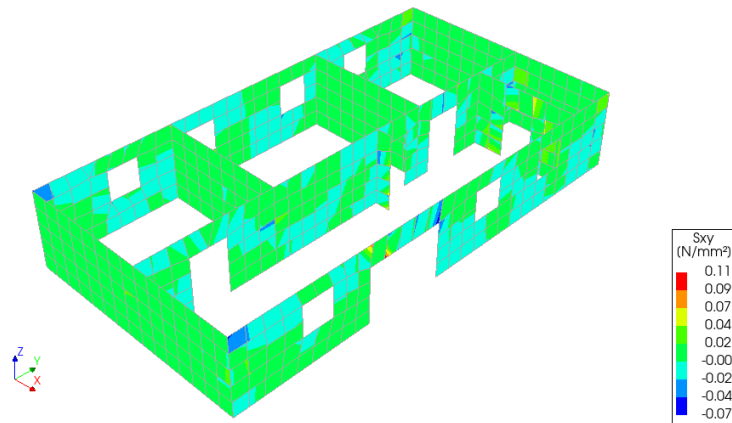
Edificio 1 – 1 piso (E1-1P): Para un desplazamiento de 5.4 milímetros la totalidad de muros fallan por corte ya que superan el esfuerzo admisible por corte de 0.018 MPa (Nótese los elementos finitos verdes).

Figura 45*Verificación de esfuerzos en E1-1P*

Edificio 2 – 1 piso (E2-1P): Para un desplazamiento de 2.60 milímetros la totalidad de muros fallan por corte ya que superan el esfuerzo admisible por tracción de 0.05 MPa (Nótese los elementos finitos verdes y celestes).

Figura 46*Verificación de esfuerzos en E2-1P*

POX
Load-step 29, Load-factor 0.20000, POX
Cauchy Total Stresses Sxy layer 1, node
min: -0.07N/mm² max: 0.11N/mm²

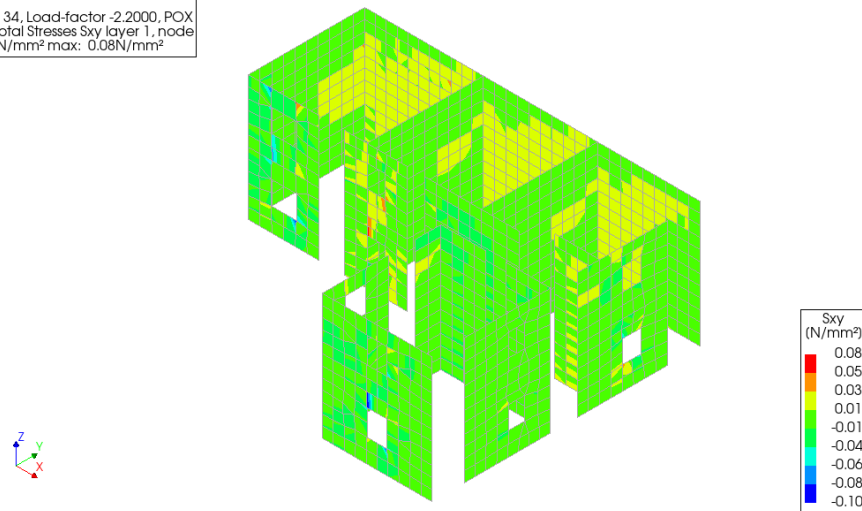


Edificio 1 – 2 piso (E1-2P): Para un desplazamiento de 2.60 milímetros la totalidad de muros fallan por corte ya que superan el esfuerzo admisible por corte de 0.018 MPa (Nótese los elementos finitos verdes).

Figura 47

Verificación de esfuerzos en E1-2P

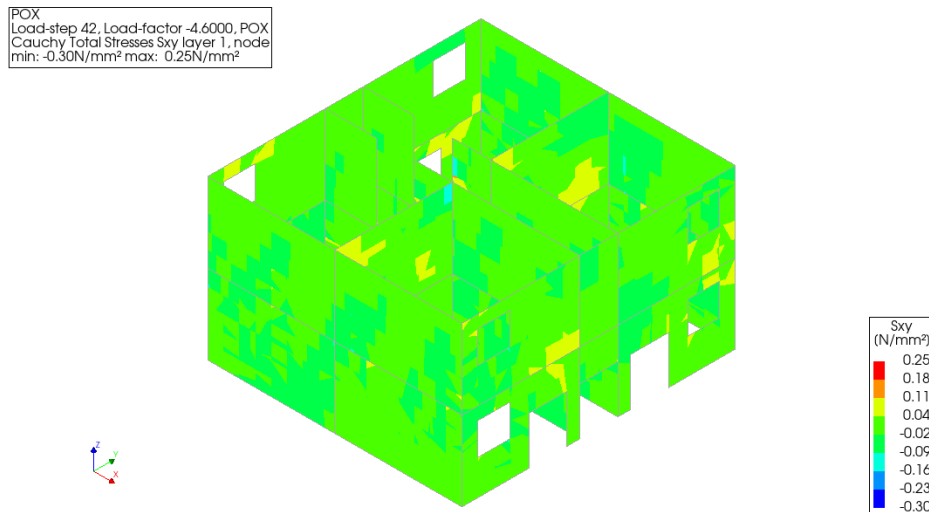
POX
Load-step 34, Load-factor -2.2000, POX
Cauchy Total Stresses Sxy layer 1, node
min: -0.10N/mm² max: 0.08N/mm²



Edificio 2 – 2 piso (E2-2P): Para un desplazamiento de 5.40 milímetros la totalidad de muros fallan por tracción ya que superan el esfuerzo máximo por tracción es de 0.05 MPa (Nótese los elementos finitos verdes).

Figura 48

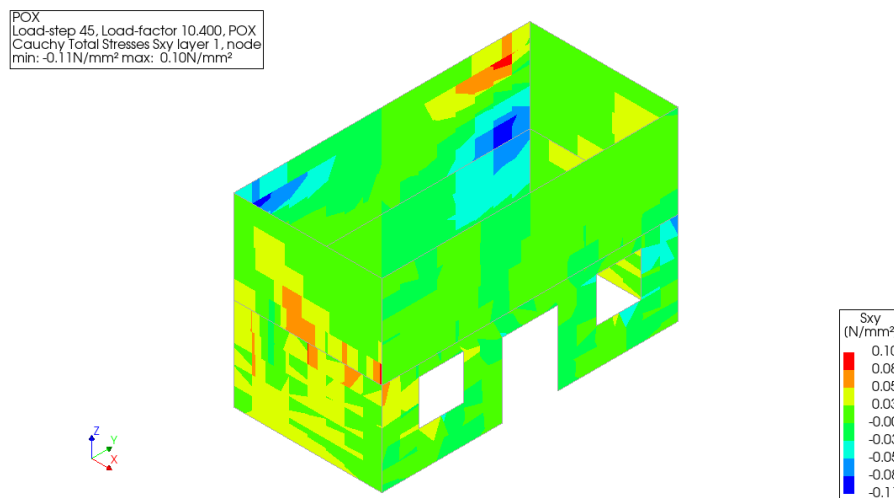
Verificación de esfuerzos en E2-2P



Edificio 3 – 2 piso (E3-2P): Para un desplazamiento de 10.40 milímetros la totalidad de muros fallan por corte ya que superan el esfuerzo máximo por corte es de 0.018 MPa (Nótese los elementos finitos verdes).

Figura 49

Verificación de esfuerzos en E3-2P



En base a todas las figuras mostradas anteriormente se rechaza la hipótesis general ya que la evaluación estructural basada en elementos finitos SI logra proponer técnicas de reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco – 2025, en estos casos porque las fallas estructurales predominantes en edificaciones de adobe se dan por excesivos esfuerzos por corte y tracción.

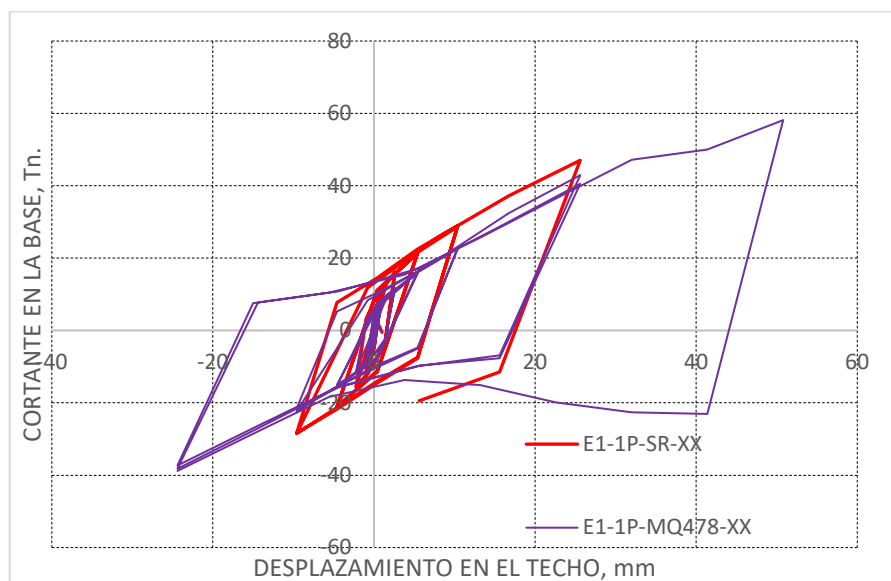
He2: Es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-478 ($\varnothing=3/8"$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

La adición de la malla electrosoldada del tipo Q-478 equivalente a varillas de $\varnothing=3/8"$ permitió que la respuesta de la evaluación estructural sea más favorable en términos de desplazamientos laterales y esfuerzos cortantes en los elementos verticales de cada edificación de adobe.

Edificio 1 – 1 piso (E1-1P): La curva roja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 1 de un piso SIN REFUERZO (E1-1P-SR-X), la curva morada muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 1 utilizando malla electrosoldada Q478 (E1-1P-MQ478-XX) a cada 100 milímetros en la dirección más desfavorable. Nótese que el modelo con adición de la malla Q478@100mm., es capaz de desarrollar mayor desplazamiento (>50 mm.) y mayor esfuerzo cortante.

Figura 50

Respuesta por cortante versus desplazamiento del E1-1P-XX



$$\text{Cantidad de malla electrosoldada} = \frac{\text{Area de acero}}{\text{Separacion}} = \frac{71 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 0.71 \text{ mm.}$$

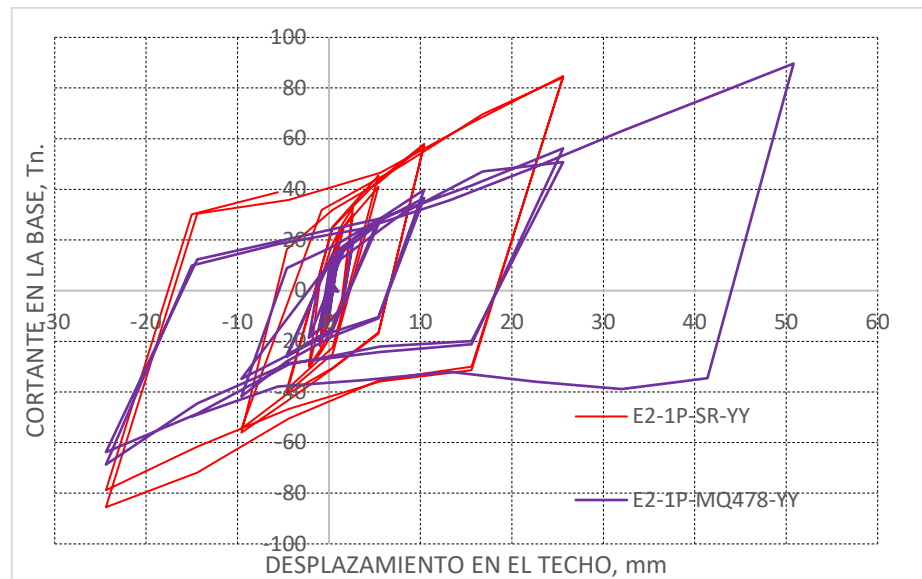
$$\text{Cantidad por área ocupada} = 0.71 \text{ mm} \times 58.82 \text{ m}^2 = 41.76 \text{ mm./m}^2$$

Edificio 2 – 1 piso (E2-1P): La curva roja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 2 de un piso SIN REFUERZO (E2-

1P-SR-Y), la curva morada muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos utilizando malla electrosoldada Q478 (E2-1P-MQ478-YY) a cada 100 milímetros en la dirección más desfavorable. Nótese que el modelo con adición de la malla Q478@100mm., es capaz de desarrollar mayor desplazamiento (>50 mm.) y mayor esfuerzo cortante.

Figura 51

Respuesta por cortante versus desplazamiento del E2-1P-YY



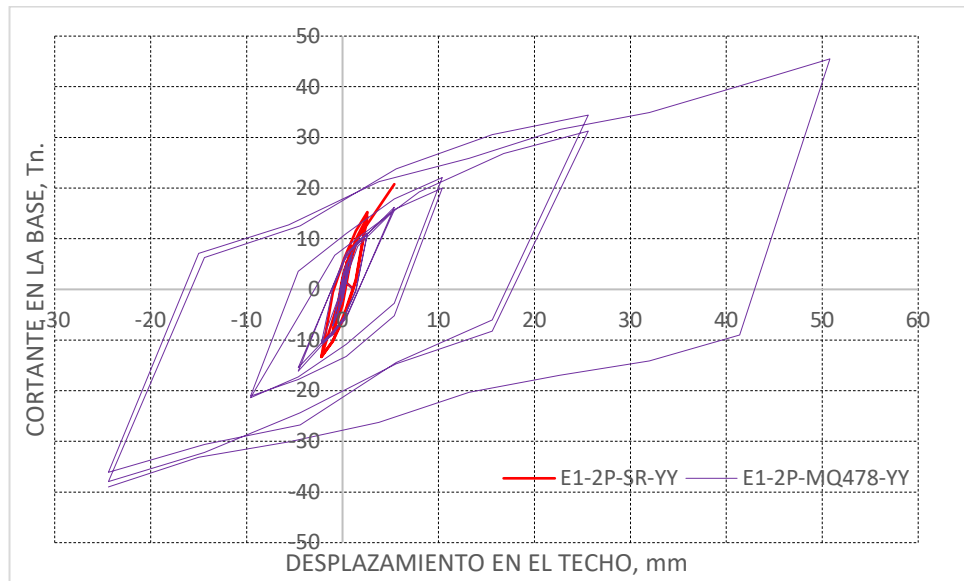
$$\text{Cantidad de malla electrosoldada} = \frac{\text{Area de acero}}{\text{Separacion}} = \frac{71 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 0.71 \text{ mm.}$$

$$\text{Cantidad por área ocupada} = 0.71 \text{ mm} \times 102.61 \text{ m}^2 = 72 \text{ mm./m}^2$$

Edificio 1 – 2 piso (E1-2P): La curva roja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 1 – 2 pisos SIN REFUERZO (E1-2P-SR-Y), la curva morada muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos utilizando malla electrosoldada Q478 (E1-2P-MQ478-YY) a cada 100 milímetros en la dirección más desfavorable. Nótese que el modelo con adición de la malla Q478@100mm., es capaz de desarrollar mayor desplazamiento (>50 mm.) y mayor esfuerzo cortante.

Figura 52

Respuesta por cortante versus desplazamiento del E1-2P-YY



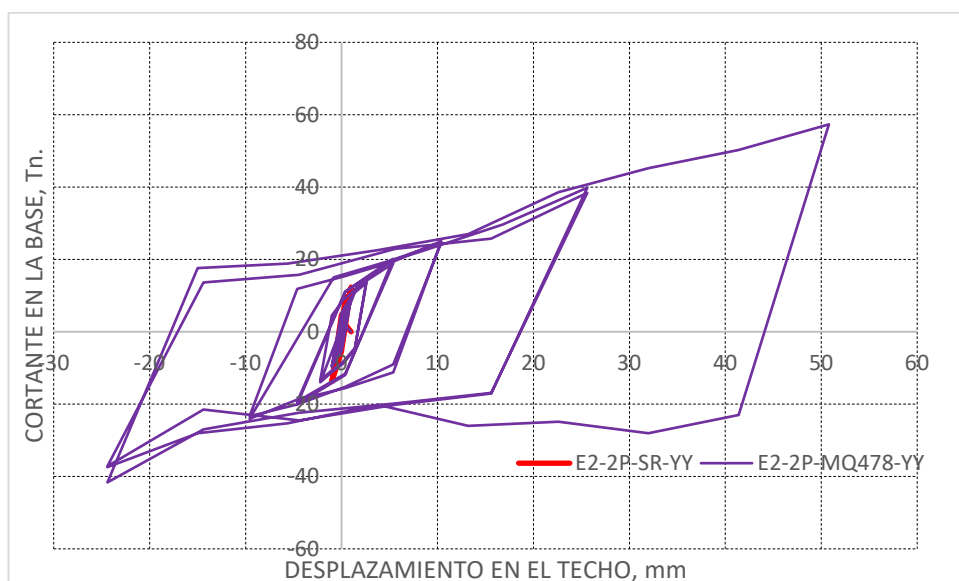
$$\text{Cantidad de malla electrosoldada} = \frac{\text{Area de acero}}{\text{Separacion}} = \frac{71 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 0.71 \text{ mm.}$$

$$\text{Cantidad por área ocupada} = 0.71 \text{ mm} \times 150.36 \text{ m}^2 = 106.76 \text{ mm./m}^2$$

Edificio 2 – 2 piso (E2-2P): La curva roja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 2 – 2 pisos SIN REFUERZO (E2-2P-SR-Y), la curva morada muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos utilizando malla electrosoldada Q478 (E2-2P-MQ478-YY) a cada 100 milímetros en la dirección más desfavorable. Nótese que el modelo con adición de la malla Q478@100mm., es capaz de desarrollar mayor desplazamiento (>50 mm.) y mayor esfuerzo cortante.

Figura 53

Respuesta por cortante versus desplazamiento del E2-2P-YY



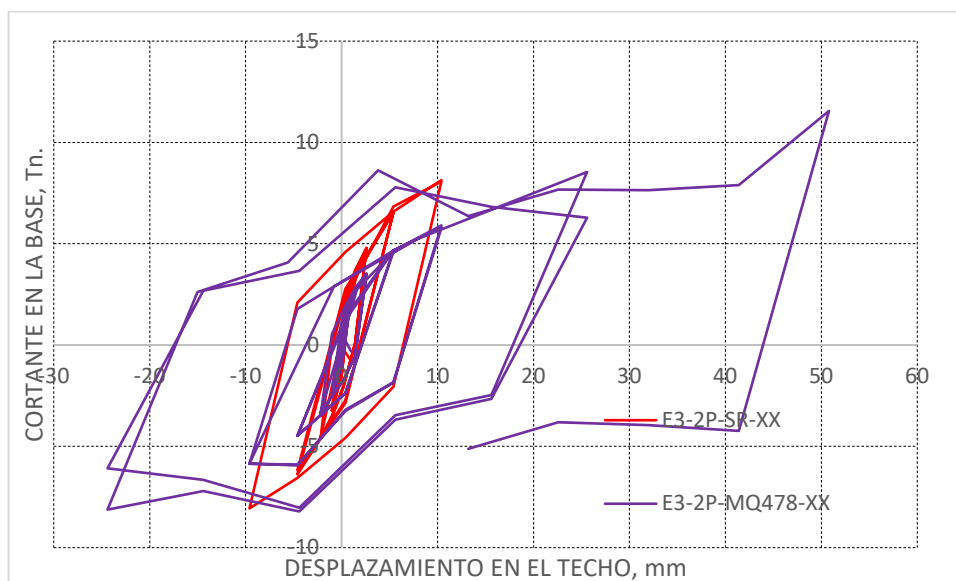
$$\text{Cantidad de malla electrosoldada} = \frac{\text{Area de acero}}{\text{Separacion}} = \frac{71 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 0.71 \text{ mm}.$$

$$\text{Cantidad por área ocupada} = 0.71 \text{ mm} \times 103.70 \text{ m}^2 = 73.63 \text{ mm./m}^2$$

Edificio 3 – 2 piso (E3-2P): La curva roja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 3 de 2 pisos SIN REFUERZO (E3-2P-SR-XX), la curva morada muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos utilizando malla electrosoldada Q478 (E3-2P-MQ478-XX) a cada 100 milímetros en la dirección más desfavorable. Nótese que el modelo con adición de la malla Q478@100mm., es capaz de desarrollar mayor desplazamiento (>50 mm.) y mayor esfuerzo cortante

Figura 54

Respuesta por cortante versus desplazamiento del E3-2P-XX



$$\text{Cantidad de malla electrosoldada} = \frac{\text{Area de acero}}{\text{Separacion}} = \frac{71 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 0.71 \text{ mm.}$$

$$\text{Cantidad por área ocupada} = 0.71 \text{ mm} \times 40 \text{ m}^2 = 28.40 \text{ mm./m}^2$$

Por lo cual se acepta la hipótesis específica 1 ya que si es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-478 ($\varnothing=3/8"$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

He3: Es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2"$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

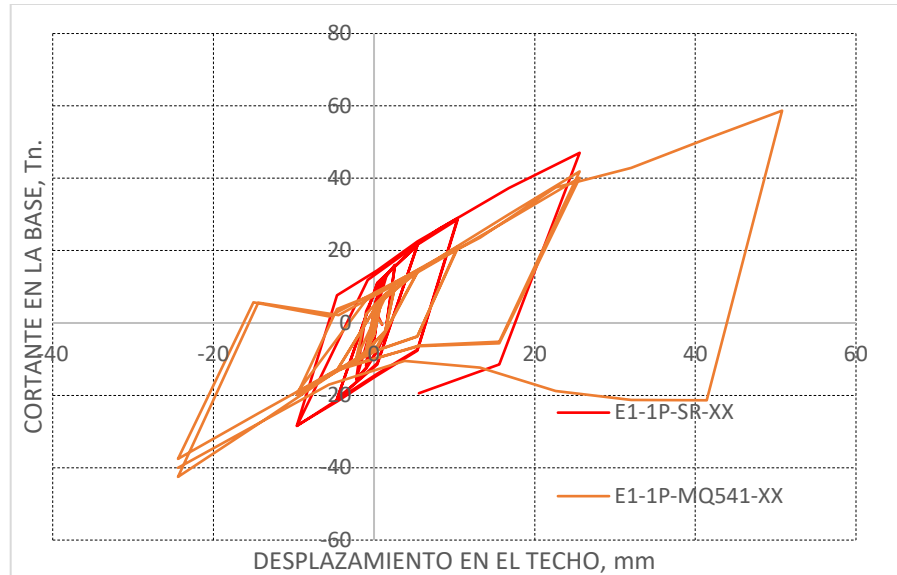
Al igual que en el caso anterior, la adición de la malla electrosoldada del tipo Q-541 equivalente a varillas de $\varnothing=1/2"$ permitió que la respuesta de la evaluación estructural sea más favorable en términos de desplazamientos laterales y esfuerzos cortantes en los elementos verticales de cada edificación de adobe.

Edificio 1 – 1 piso (E1-1P): La curva roja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 1 de un piso SIN REFUERZO (E1-1P-SR-X), la curva naranja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 1 utilizando malla electrosoldada Q-541 (E1-1P-MQ541-XX) a cada 100 milímetros en la dirección más desfavorable. Nótese que el modelo con adición de la malla Q541@100mm.,

es capaz de desarrollar mayor desplazamiento (50 mm.) y mayor esfuerzo cortante.

Figura 55

Respuesta por cortante versus desplazamiento del E1-1P-XX



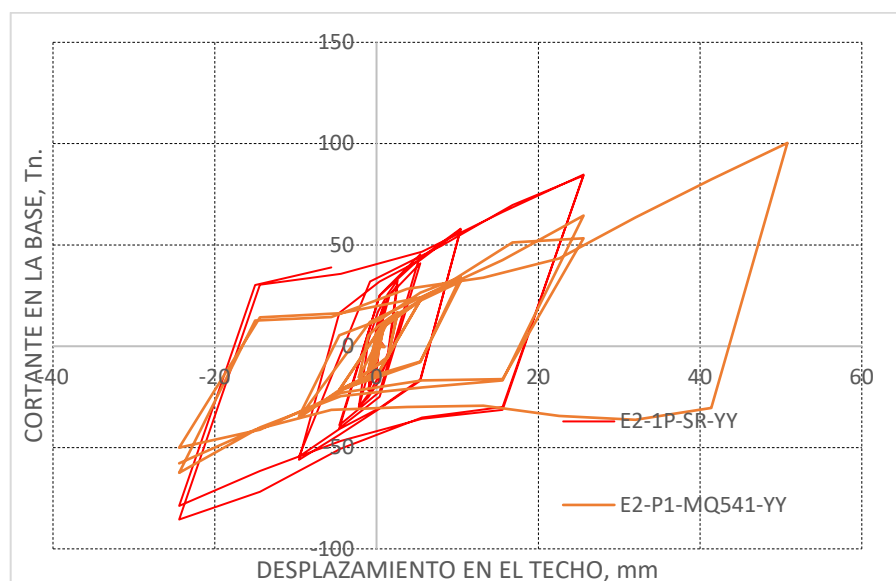
$$\text{Cantidad de malla electrosoldada} = \frac{\text{Area de acero}}{\text{Separacion}} = \frac{129 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 1.29 \text{ mm.}$$

$$\text{Cantidad por área ocupada} = 1.29 \text{ mm} \times 58.82 \text{ m}^2 = 75.88 \text{ mm./m}^2$$

Edificio 2 – 1 piso (E2-1P): La curva roja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 2 de un piso SIN REFUERZO (E2-1P-SR-Y), la curva naranja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos utilizando malla electrosoldada Q-541 (E2-1P-MQ541-YY) a cada 100 milímetros en la dirección más desfavorable. Nótese que el modelo con adición de la malla Q541@100mm., es capaz de desarrollar mayor desplazamiento (>50 mm.) y mayor esfuerzo cortante.

Figura 56

Respuesta por cortante versus desplazamiento del E2-1P-YY



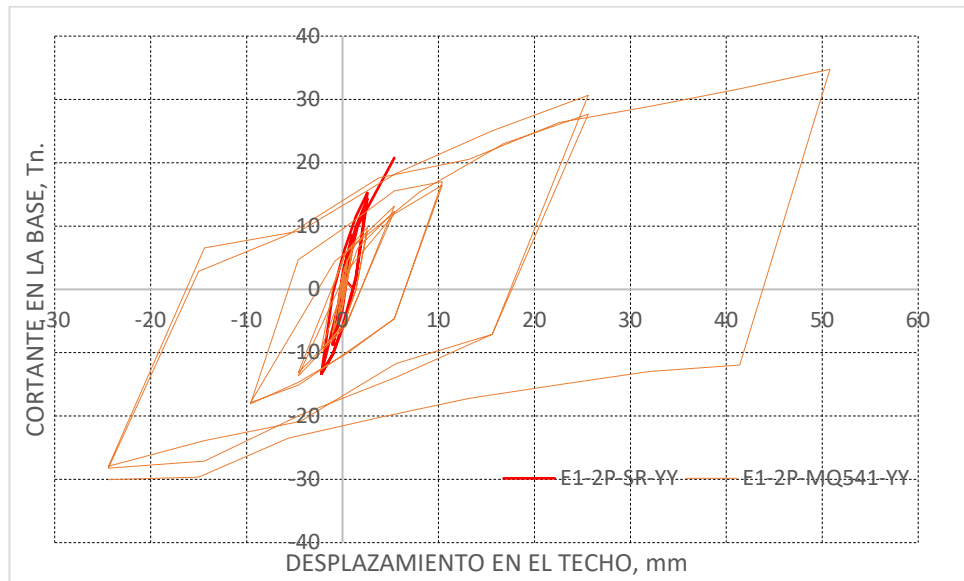
$$\text{Cantidad de malla electrosoldada} = \frac{\text{Area de acero}}{\text{Separacion}} = \frac{129 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 1.29 \text{ mm}.$$

$$\text{Cantidad por \u00e1rea ocupada} = 1.29 \text{ mm} \times 102.61 \text{ m}^2 = 132.37 \text{ mm./m}^2$$

Edificio 1 – 2 piso (E1-2P): La curva roja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 1 – 2 pisos SIN REFUERZO (E1-2P-SR-Y), la curva naranja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos utilizando malla electrosoldada Q-541 (E1-2P-MQ541-YY) a cada 100 mil\u00edmetros en la direcci\u00f3n m\u00e1s desfavorable. N\u00f3tese que el modelo con adici\u00f3n de la malla Q541@100mm., es capaz de desarrollar mayor desplazamiento (>50 mm.) y mayor esfuerzo cortante.

Figura 57

Respuesta por cortante versus desplazamiento del E1-2P-YY



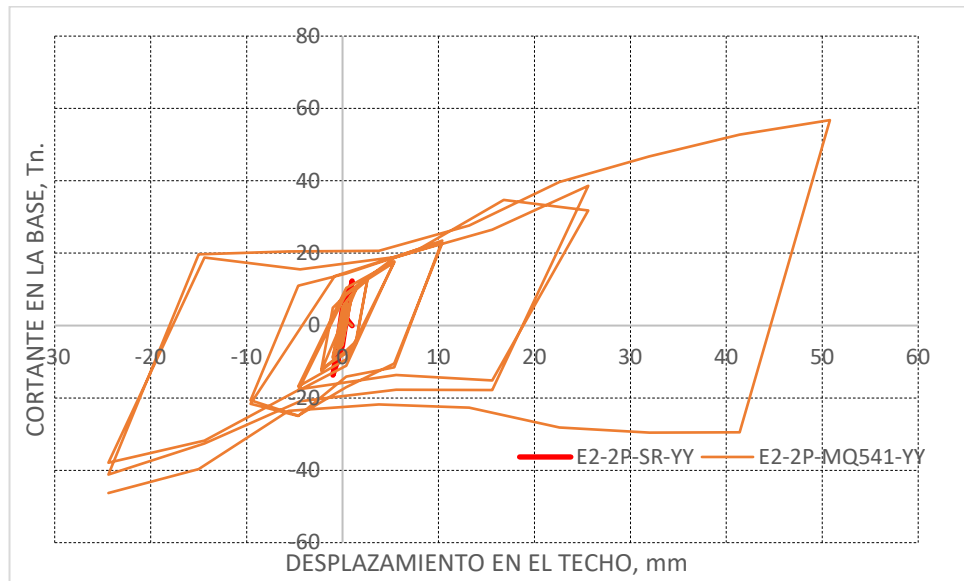
$$\text{Cantidad de malla electrosoldada} = \frac{\text{Area de acero}}{\text{Separacion}} = \frac{129 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 1.29 \text{ mm.}$$

$$\text{Cantidad por área ocupada} = 1.29 \text{ mm} \times 150.36 \text{ m}^2 = 193.96 \text{ mm./m}^2$$

Edificio 2 – 2 piso (E2-2P): La curva roja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 2 – 2 pisos SIN REFUERZO (E2-2P-SR-Y), la curva naranja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos utilizando malla electrosoldada Q541 (E2-2P-MQ541-YY) a cada 100 milímetros en la dirección más desfavorable. Nótese que el modelo con adición de la malla Q541@100mm., es capaz de desarrollar mayor desplazamiento (>50 mm.) y mayor esfuerzo cortante.

Figura 58

Respuesta por cortante versus desplazamiento del E2-2P-YY



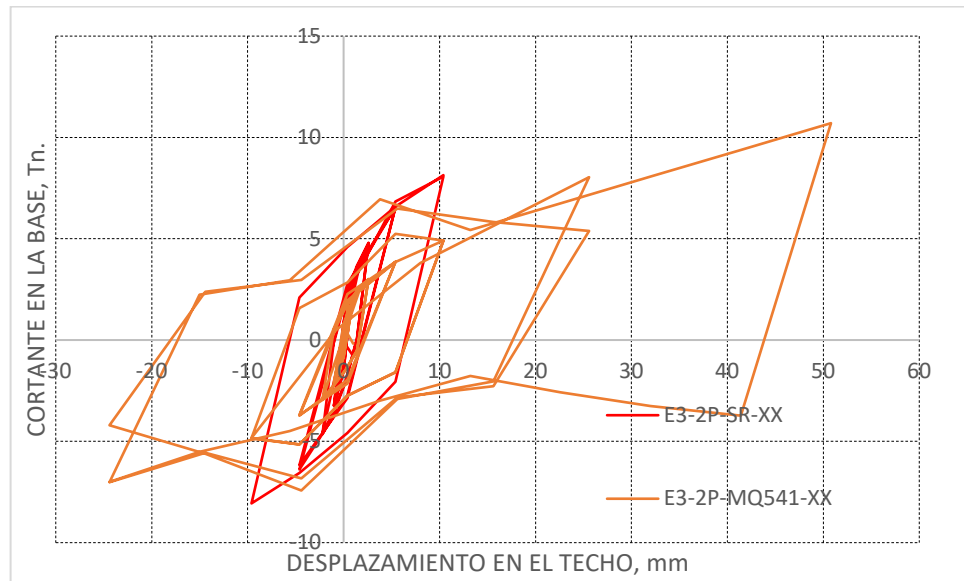
$$\text{Cantidad de malla electrosoldada} = \frac{\text{Area de acero}}{\text{Separacion}} = \frac{129 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 1.29 \text{ mm.}$$

$$\text{Cantidad por área ocupada} = 1.29 \text{ mm} \times 103.70 \text{ m}^2 = 133.77 \text{ mm./m}^2$$

Edificio 3 – 2 piso (E3-2P): La curva roja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos para el edificio 3 de 2 pisos SIN REFUERZO (E3-2P-SR-XX), la curva naranja muestra la respuesta estructural en base a elementos finitos utilizando malla electrosoldada Q541 (E3-2P-MQ541-XX) a cada 100 milímetros en la dirección más desfavorable. Nótese que el modelo con adición de la malla Q541@100mm., es capaz de desarrollar mayor desplazamiento (>50 mm.) y mayor esfuerzo cortante

Figura 59

Respuesta por cortante versus desplazamiento del E3-2P-XX



$$\text{Cantidad de malla electrosoldada} = \frac{\text{Área de acero}}{\text{Separación}} = \frac{129 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 1.29 \text{ mm}.$$

$$\text{Cantidad por área ocupada} = 1.29 \text{ mm} \times 40 \text{ m}^2 = 51.60 \text{ mm./m}^2$$

Por lo cual se acepta la hipótesis específica 3 ya que si es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2"$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

A continuación, se muestran gráficos estadísticos de la evolución del desplazamiento entre el modelo sin refuerzo y los modelos con refuerzos por mallas electrosoldadas, esto para cada tipo de edificación:

Figura 60

Evolución del desplazamiento del E1-1P en ambas direcciones de análisis

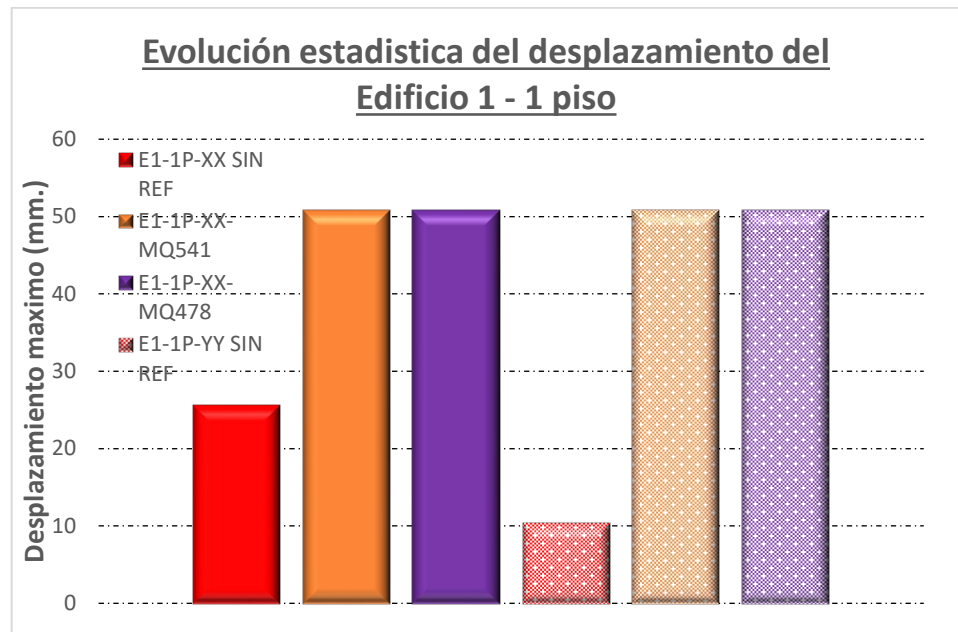


Figura 61

Evolución del desplazamiento del E2-1P en ambas direcciones de análisis

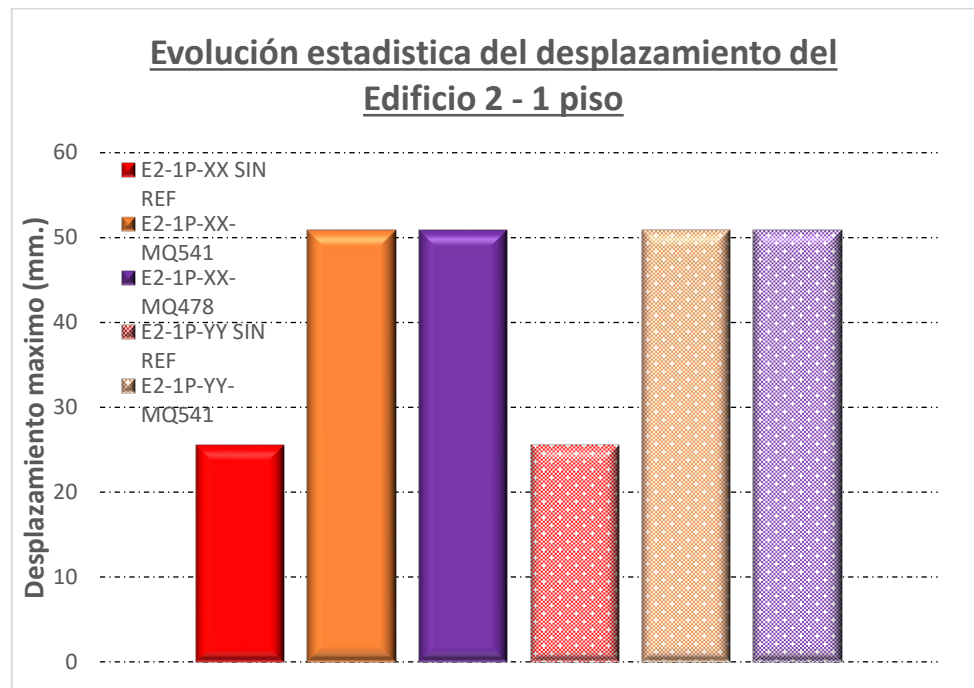


Figura 62

Evolución del desplazamiento del E1-2P en ambas direcciones de análisis

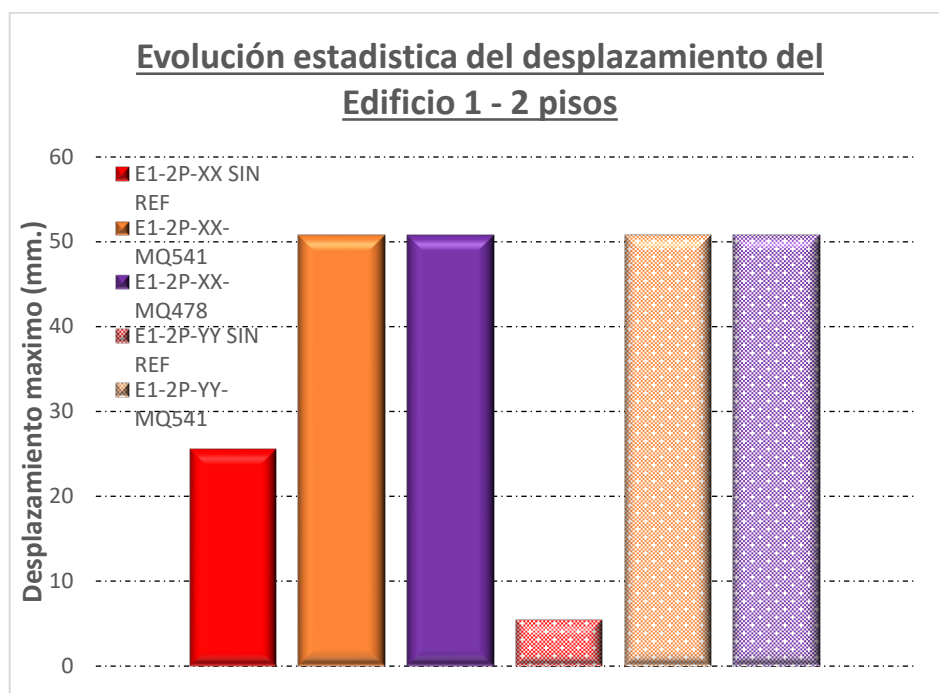


Figura 63

Evolución del desplazamiento del E2-2P en ambas direcciones de análisis

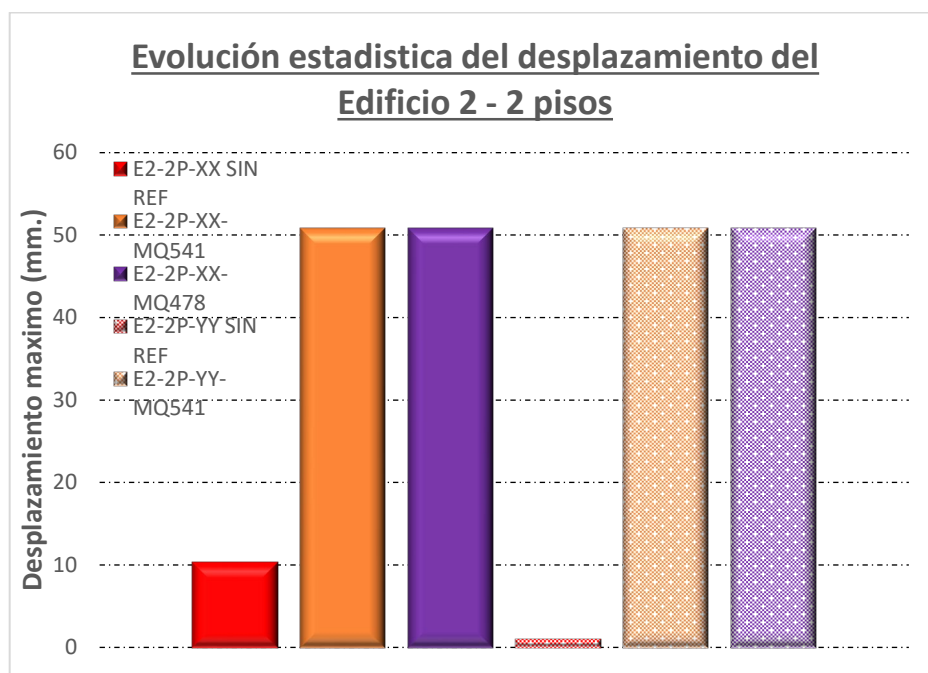
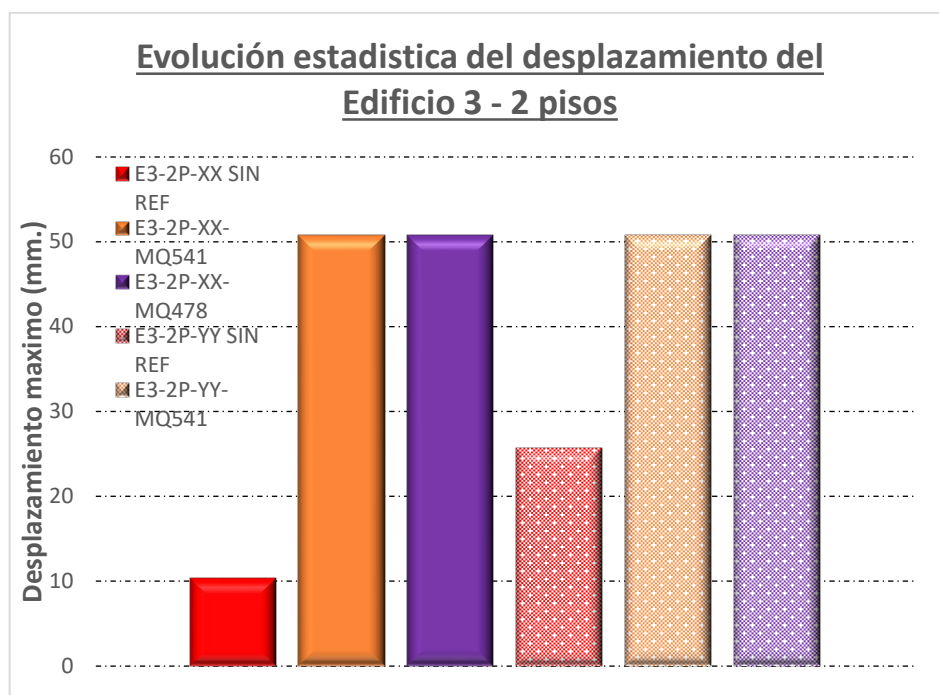


Figura 64

Evolución del desplazamiento del E3-2P en ambas direcciones de análisis



Finalmente, para evaluar con registros sísmicos reales la influencia de las mallas electrosoldadas en las paredes de los edificios de adobe, se solicitó el registro sísmico de Arequipa del 2001 escalado a las condiciones de sitio de la ciudad de Huánuco, es decir:

Z: Zona sísmica 2= 0.25g

Suelo intermedio: S2

Nota: El escalamiento de este registro se realizó utilizando el periodo fundamental de vibración (T1) más representativo al espectro elástico de diseño, simulando el sismo de diseño según el RNE E.030, 2018. Bajo estas consideraciones se pretende demostrar que los modelos con adición de mallas electrosoldadas mejoran la respuesta en el tiempo, es decir, los desplazamientos de los modelos sin refuerzo contrastados frente a los modelos con refuerzos se ven amplificados sin conducir a un colapso.

A continuación, se muestra las figuras 65 y 66 que representan al edificio típico de un solo nivel y al edificio típico de dos niveles respectivamente,

nótese el aumento de los desplazamientos en el techo y el control del colapso progresivo.

Figura 65

Evolución del desplazamiento en función del tiempo del E1

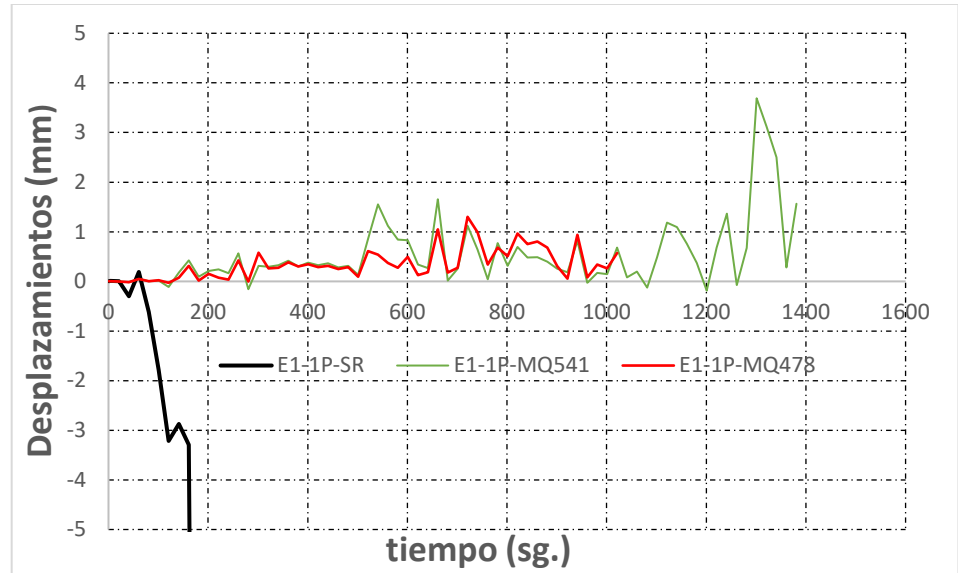
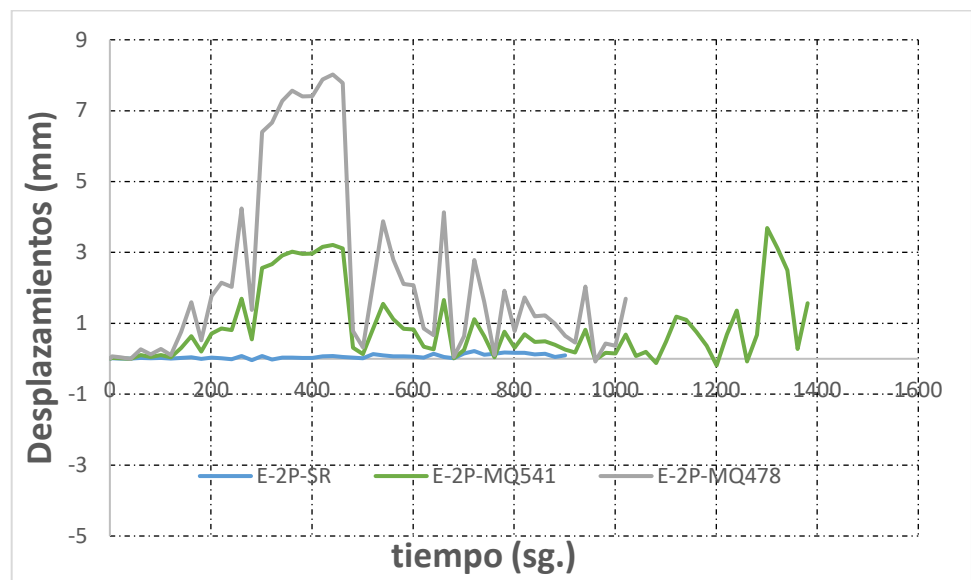


Figura 66

Evolución del desplazamiento en función del tiempo del E2



CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS

Las evidencias principales del presente estudio son principalmente el aumento de desplazamientos que se traducen en mayor ductilidad y capacidad de deformación, a continuación, se contrastan los resultados iniciándose con el aumento de los desplazamientos y en menor medida el aumento o reducción del esfuerzo de corte en la base:

- Para el edificio 1-1 piso en la dirección X: El modelo sin refuerzo desarrolló 25 mm, de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 47 Tn., mientras que el modelo con adición de malla Q-478 desarrolló 50.8 mm, de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 58.14 Tn. Así mismo el modelo con adición de malla Q-541 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 58.68 Tn. Nótese que la adición de mallas Q478 y Q541 generó el doble de desplazamiento lateral que el modelo sin refuerzo.
- Para el edificio 2-1 piso en la dirección Y: El modelo sin refuerzo desarrolló 25.60 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 84.21 Tn., mientras que el modelo con adición de malla Q-478 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 89.65 Tn. Así mismo el modelo con adición de malla Q-541 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 100.33 Tn. Nótese que la adición de mallas Q478 y Q541 generó el doble de desplazamiento lateral que el modelo sin refuerzo.
- Para el edificio 1-2 pisos en la dirección Y: El modelo sin refuerzo desarrolló 5.4 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 20.76 Tn., mientras que el modelo con adición de malla Q-478 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 45.51 Tn. Así mismo el modelo con adición de malla Q-541 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 34.75 Tn. Nótese que la adición de mallas Q478 y Q541

permitió que los desplazamientos sean aproximadamente diez veces el desplazamiento lateral sin refuerzo.

- Para el edificio 1-2 pisos en la dirección Y: El modelo sin refuerzo desarrolló 5.4 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 20.76 Tn., mientras que el modelo con adición de malla Q-478 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 45.51 Tn. Así mismo el modelo con adición de malla Q-541 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 34.75 Tn. Nótese que la adición de mallas Q478 y Q541 permitió que los desplazamientos sean aproximadamente nueve veces el desplazamiento lateral sin refuerzo.
- Para el edificio 2-2 pisos en la dirección Y: El modelo sin refuerzo desarrolló 1.00 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 20.76 Tn., mientras que el modelo con adición de malla Q-478 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 45.51 Tn. Así mismo el modelo con adición de malla Q-541 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 34.75 Tn. Nótese que la adición de mallas Q478 y Q541 permitió que los desplazamientos sean aproximadamente cincuenta veces el desplazamiento lateral sin refuerzo.
- Para el edificio 3-2 pisos en la dirección X: El modelo sin refuerzo desarrolló 10.40 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 8.07 Tn., mientras que el modelo con adición de malla Q-478 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 11.55 Tn. Así mismo el modelo con adición de malla Q-541 desarrolló 50.8 mm., de desplazamiento lateral asociado a una cortante basal de 10.70 Tn. Nótese que la adición de mallas Q478 y Q541 permitió que los desplazamientos sean aproximadamente cinco veces el desplazamiento lateral sin refuerzo.

Contraste de las evidencias con Cárdenas (2021):

- Este autor menciona que su objetivo principal fue: analizar el comportamiento ante diferentes escenarios sísmicos, obteniendo sus principales fallas y generando herramientas que sugieran estimar su desempeño estructural.

- Aunque la presente investigación a nivel de tesis no efectuó escenarios sísmicos, sí utilizó un el patrón de desplazamientos mostrado en la figura 3 (el cual simula la acción sísmica por tener desplazamientos positivos y negativos en forma cíclica). Con esto se pudo determinar las principales fallas estructurales por corte y tracción que desarrollan las edificaciones de adobe de uno y dos pisos tal como se muestra desde la figura 45 a la figura 49.

Contraste de las evidencias con Rafi (2021):

- Los resultados experimentales mostraron que el inicio de fisuras se produjo a una aceleración aproximada de 0.439 g, lo que indica una mejora considerable respecto al comportamiento no reforzado. Además, las demandas de cortante se diferenciaron en un 15 % entre el modelo reforzado y el no reforzado, demostrando que la presencia de la malla incrementa la capacidad resistente.
- La presente investigación también evaluó cortantes versus desplazamientos sujetos a un patrón de desplazamiento de un ensayo experimental real, sin embargo, la nuestra normativa local propone el control de desplazamientos para evaluar técnicas de reforzamiento estructural, por lo cual se logró determinar que la adición de mallas electrosoldadas del tipo Q478 y Q541 generan hasta cincuenta veces mayores desplazamientos que el modelo sin refuerzo.

Contraste de las evidencias con San Bartolomé (2021):

- Este autor manifiesta en sus resultados que los ensayos demostraron diferencias significativas en el comportamiento sísmico entre muros sin refuerzos y muros reforzados.
- La presente investigación también concluyó de manera similar, las diferencias significativas entre el modelo sin refuerzo y con refuerzo se observan mediante las figuras 50 al 59, pasando de un comportamiento limitado para desplazamientos muy bajos a comportamientos dúctiles con desplazamientos mayores. Esto lograría detener el mecanismo de colapso en edificaciones de adobe en un tiempo dado contribuyendo a que sus ocupantes logren evacuar el edificio antes de su colapso.

Contraste de las evidencias con Quiroz (2022):

- Este autor manifiesta que, la incorporación de mallas de acero electrosoldadas se presenta como una alternativa eficiente y factible para el reforzamiento de muros de adobe, ya que permite incrementar de manera considerable su resistencia y capacidad de deformación. La propuesta de reforzamiento, comprobada mediante ensayos experimentales, evidenció ser una solución apropiada para optimizar el desempeño estructural de las edificaciones construidas con adobe, particularmente en regiones con alta actividad sísmica. En consecuencia, los resultados obtenidos sustentan la implementación de este tipo de técnicas dentro de las estrategias orientadas a la reducción del riesgo y al mejoramiento estructural de dichas construcciones
- Similarmente la presente investigación demuestra que la adición de mallas electrosoldadas en cantidades razonables (espaciadas a cada 100 mm.) representa una variante atractiva para el refuerzo de elementos verticales de edificaciones de adobe, esto porque los esfuerzos cortantes y desplazamientos laterales se ven incrementados a niveles aceptables. Al aumentarse los desplazamientos laterales se le otorga mayor resistencia frente a eventos sísmicos.

Fortalezas:

- Técnicas de modelado. La utilización de ensayos cíclicos experimentales reales para determinar inicialmente puntos débiles para luego sugerir la utilización de mallas electrosoldadas con la finalidad de solucionar los modos de colapso y de paso otorgarle mayor capacidad de desplazamiento lateral de las edificaciones de adobe representan técnicas avanzadas de modelamiento numérico.
- Reforzamiento estructural. El aumento de desplazamientos laterales de hasta máximo 50 veces al de la edificación sin refuerzo son comparables a resultados experimentales como San Bartolomé.
- Elementos finitos. La técnica de los elementos finitos a través de la evaluación estructural permitió simular el efecto real del comportamiento estructural de edificaciones de adobe bajo la acción de desplazamientos cíclicos, esta técnica logró predecir los daños por

corte y daños por tracción que ya fueron vistos en eventos sísmicos pasados.

Limitaciones:

- Escenarios sísmicos. Si bien el patrón de desplazamientos representa un acercamiento muy bueno a la acción sísmica, no es comparable a generar respuestas estructurales bajo escenarios sísmicos, como por ejemplo ejecutar una gama señales sísmicas ante eventos sísmicos de 0.1g, 0.2g, 0.3g, etc., hasta encontrar mayores niveles de colapso.
- Interacción suelo estructura. Para esta investigación se utilizó la teoría del empotramiento perfecto de la base, sin embargo, las técnicas modernas en los siguientes años sugerirán la utilización de modelos numéricos considerando el efecto amortiguador del conglomerado, con esa modificación quizás se necesite menor cantidad (m²) de malla electrosoldada o en su defecto de diámetros menores.

Mediante la siguiente tabla se resume la tipología, cantidad de malla y mejora porcentual de la ductilidad:

Tabla 6

Esfuerzos máximos (MPa) para edificaciones de adobe según tipología

Tipología	Cantidad de malla Q-478 (mm/m²)	Cantidad de malla Q-541 (mm/m²)	Mejora de la ductilidad (%)
E1-1P	41.76	75.88	50.00
E2-1P	72.00	132.37	50.40
E1-2P	106.76	193.96	940.74
E2-2P	73.63	133.77	50.80
E3-2P	28.40	51.60	20.47

CONCLUSIONES

- ✓ Se propusieron técnicas de reforzamiento estructural adicionando mallas electrosoldadas Q478 y Q571, las cuales se derivaron de la evaluación estructural basados en elementos finitos para edificaciones de adobe en la ciudad de Huánuco, manifestándose el aumento de la capacidad de desplazamiento de los edificios de adobe con y sin refuerzo, esto aumenta la ductilidad del sistema volviéndolo segura ante eventos sísmicos, como el sismo de diseño.
- ✓ La ejecución de la modelación en elementos finitos fue necesario para determinar modos de colapso de las edificaciones de adobe en la ciudad de Huánuco. Estos modos de colapso fueron por corte excesivo en las paredes y por esfuerzos de tracción, en menor medida por compresión de las unidades de adobe.
- ✓ La cantidad de malla electrosoldada Q-478 ($\varnothing=3/8"$) que genera el reforzamiento estructural en edificaciones en adobe en la ciudad de Huánuco fue concordante al área ocupada por los elementos verticales de cada tipología, mínimamente es necesario 41.76 mm./m² y como máximo 106.76 mm./m².
- ✓ La cantidad de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2"$) que genera el reforzamiento estructural en edificaciones en adobe en la ciudad de Huánuco fue concordante al área ocupada por los elementos verticales de cada tipología, mínimamente es necesario 51.60 mm./m² y como máximo 193.96 mm./m².
- ✓ Los desplazamientos laterales entre el modelo sin refuerzo y el modelo con refuerzo de las mallas electrosoldadas Q478 y Q541 se ven mayorados hasta en 50 veces más, esto sugiere el aumento de la capacidad de deformación a través de la ductilidad. Otorgando mayor capacidad de deformación a las edificaciones de adobe.
- ✓ La factibilidad económica de la adición de estas mallas electrosoldadas a las paredes perimétricas de todos los edificios de la muestra no fue medida en esta investigación. Sin embargo, se podría indicar textualmente que la viabilidad económica a través de las familias beneficiarias es no factible, sin embargo, si es factible a través de la

intervención del estado peruano. Los tomadores de decisión son los únicos encargados de disponer el presupuesto público para evitar la pérdida de vidas humanas y el daño a la propiedad. Finalmente, esta investigación satisface la seguridad estructural al determinar cantidades de malla electrosoldada que resguarden la vida y la propiedad privada y podría ser usada ante las autoridades correspondientes.

RECOMENDACIONES

- ✓ La utilización de escenarios sísmicos para caracterizar el comportamiento estructural y evaluar diversos métodos de reforzamiento estructural deben ser abordados utilizando modelos no lineales y sujetos a aceleraciones sísmicas en la base del orden de fracciones de la gravedad como por ejemplo 0.1g, 0.2g, 0.3g y demás. Hasta alcanzar los niveles de colapso y evaluar si las técnicas de reforzamiento logran posponer el colapso.
- ✓ A las 5 tipologías planteadas en esta investigación se les puede añadir el efecto de la interacción suelo estructura o interacción suelo – sub estructura – estructura con la finalidad de caracterizar el comportamiento estructural y evaluar diversos métodos de reforzamiento estructural. Existen diversos modelos de interacción como, por ejemplo: Barkan Savinov, Norma rusa, etc.
- ✓ Cabe recalcar que esta investigación se centró en la determinación de cantidades de refuerzo con malla electrosoldada en las paredes, a nivel teórico y por juicios de expertos la utilización de la interacción suelo estructura en este tipo de edificaciones reducirán aún más estas cantidades de refuerzo con la misma o mayor seguridad estructural ante eventos sísmicos. Finalmente, este tema se deja como proposición para futuras generaciones de ingenieros civiles preocupados por el comportamiento sísmico de viviendas vulnerables como la de esta investigación.
- ✓ La literatura menciona que existen diversas técnicas de reforzamiento estructural: desde utilizar vigas soleras con concreto pobre hasta generar contrafuertes en los elementos verticales, claramente estas técnicas también deberían ser evaluadas en concordancia con el tipo suelo y características de la ciudad de Huánuco.
- ✓ El ensayo denominado MUENSR en la pontificia universidad católica del Perú representa un modelo típico de edificios de adobe en el Perú. Este ensayo experimental se llevó a cabo en el laboratorio de la PUCP. Futuros trabajos de investigación podrían simular este mismo ensayo, pero con desplazamientos impuestos en su plano y fuera del plano.

- ✓ Finalmente, esta investigación generó cinco tipologías distintas entre edificios de un piso y dos pisos que están disponibles para cualquier futuro trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFIA

Alania (2020); Análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones en adobe de dos niveles existentes en el distrito de Matucana-2020.

Alfaro Carhuamaca, C. S. (2019). Adobe estabilizado mediante el empleo de fibras sintéticas de polipropileno, Tunanmarca - Jauja [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.

Angel F. San Bartolomé Ramos, A. F., & Daniel R. Quiun Wong, D. R. (2008). Comportamiento sísmico de viviendas de adobe en los terremotos del 2001 y 2007 en Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Angely Paola Valle Castro. (2019). *Evaluación experimental del comportamiento de muros de adobe reforzados con cuerdas sometidos a carga lateral cíclica* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú.

Arce Cárdenas, R., & Rodríguez Yupanqui, V. R. (2014). Propuesta del empleo del adobe reforzado con geomalla en la construcción de viviendas unifamiliares de un piso en el pueblo Joven Yanama – Ayacucho [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional.

Bendezú Barreto, A. M., & García Velásquez, G. (2019). Evaluación de la resistencia del adobe reforzado con paja de trigo para viviendas en el Distrito de Chalaco – Piura, 2019 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.

Blondet, M., & Vargas, J. (2015). Manual de construcción de adobe reforzado con mallas de driza. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Cabrera Arias, D., & Huaynate Granados, W. (2011). Mejoramiento de las construcciones de adobe ante una exposición prolongada de agua por efecto de inundaciones [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.

- Cáceres Vásquez, K. R. (2017). Análisis de la resistencia mecánica del adobe estabilizado con cal y compactado para construcciones ecológicas-económicas en Cajamarca (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca. Repositorio institucional.
- Cárdenas (2021), Caracterización estructural y vulnerabilidad sísmica de edificaciones en adobe.
- Casqui García, R. S., & Paitán Quispe, L. (2022). Adobe estabilizado mediante la aplicación de fibras sintéticas de polipropileno, Atalla – Yauli – Huancavelica 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional UNH.
- Carhuachin (2021); “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones en adobe del Asentamiento Humano Virgen del Socorro II Mz. 1, 2, 3 del distrito de La Esperanza – La Libertad, 2021”.
- Gálvez (2024): “Vivienda de interés social (VIS): Fragilidad y peligro sísmico: curvas de fragilidad.”
- Computers and Structures, Inc. (2021). ETABS 2021: Integrated Software for Structural Analysis and Design (Version 21.x) [Software]. CSI.
- Cóndor Reyes, E. B., & Molina Gómez, G. (2019). Reforzamiento estructural de muros de adobe y la aplicación de la geomalla biaxial en la edificación cultural Hotel Comercio “El Cordano” – Patrimonio Cultural Lima – Perú [Tesis de licenciatura, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio Institucional USMP.
- Chávez Álvarez, R., & Ortiz Hidalgo, J. D. (2019). Análisis y reforzamiento de vigas de concreto armado mediante los métodos: láminas de fibra de carbono y encamisado en viviendas unifamiliares aporticadas hasta dos niveles para el incremento de carga en el distrito de Amarilis [Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio institucional UNHEVAL.

- Diana Fea BV. (2021). DIANA FEM 10.5: Finite Element Analysis Software (Versión 10.5) [Software]. DIANA FEA BV.
- Delgado Salvador Canales, E. F. (2011). Comportamiento sísmico de un módulo de adobe de dos pisos con refuerzo horizontal y confinamientos de concreto armado [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.
- Enciso, J., Blondet, M., Vargas, J., & Tarque, N. (2021). Simplified method for the lateral strengthening of adobe walls in Andean churches. In Proceedings of the 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC 2021), 14–17 September, Barcelona, Spain.
- Gamarra (2023); “Evaluación de edificaciones del pueblo joven las moras para determinar su vulnerabilidad sísmica. Huánuco – Perú, 2023”.
- Herrera Jiménez, K. A. (2023). Evaluación de las propiedades mecánicas del adobe al incorporar crin de caballo [Tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional USS.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- La Torre Esquivel, D. (2017). Desarrollo de la construcción de viviendas de adobe sísmicamente reforzadas en el Perú [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.
- Marín (2013): Evaluación del riesgo sísmico del centro de la ciudad de Huánuco; Lima – Perú. Tesis de posgrado – UNI.
- Martínez Vargas, K. P. (2016). Mejoramiento de la elaboración del adobe como material de construcción para viviendas unifamiliares [Tesis de

licenciatura, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio Institucional UAP.

Medina Zevallos, F. A., & De la Torre Poma, R. R. (2023). Propuesta de adobe con virutas de molle como mejora en las propiedades físicas (durabilidad) y mecánicas (resistencia) para el uso en viviendas populares del distrito de Aija-Áncash [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.

Medina Zumba, R. (2023). Evaluación del adobe adicionando geomalla biaxial de polipropileno para el mejoramiento de su resistencia a la compresión, flexión y cortante en la región de Lima, distrito de Lima, 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP.

Meza Castillo, W. J., & Manrique Huamancaja, E. F. (2023). Comparación técnica y económica entre edificaciones de adobe confinado y adobe reforzado con cañas [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Perú). (2016). *Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente* (Decreto Supremo N° 011-2006-Vivienda, modificado por D.S. 002-2014-Vivienda y actualizado por D.S. 003-2016-Vivienda). Lima, Perú

Olazabal Bairo, K., & Guevara Vera, D. M. (2019). Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas del adobe estabilizado con cemento y mucílago de gigantón fabricado según la norma E-0.80, comparado con el adobe tradicional del distrito de San Jerónimo de la región de Cusco [Tesis de licenciatura, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional UAC.

Pando Casabona, L. G. (2021). Propuesta de diseño de modelo de vivienda de adobe de dos pisos a escala reducida reforzada con malla de

cuerdas [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.

Quiroz (2022) Propuesta de reforzamiento estructural de edificaciones en adobe utilizando mallas de acero electrosoldadas en Huarangal – Carabayllo.

Rafi, M. M., Siddiqui, A., & Alam, A. (2022). Experimental assessment of proposed seismic strengthening scheme for adobe structures. *Advances in Structural Engineering*, 25(16), 3312–3328

Ramírez Caparó, J. E. (2018). Estudio de las propiedades mecánicas y físicas del adobe con biopolímeros de fuentes locales [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.

Romero Vera, M. W. (2024). Resistencia mecánica de muros de adobe reforzado con fibra de corteza de eucalipto, Calca, Cusco, 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.

Salinas Valdéz, E. J. (2018). Vivienda económica en adobe de 02 pisos [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV.

Samillán Ley, C. A. (2019). Reforzamiento estructural de un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles mediante el uso de disipadores de energía metálicos (SLB) en el distrito de Comas-Lima 2018 [Tesis para optar al título de Ingeniera Civil, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio de la UNHEVAL

San Bartolomé (2021), Técnicas para el reforzamiento sísmico de edificaciones en adobe, Perú,

Torres García, D., & Astochado Pérez, K. J. (2024). Resistencia a la compresión del adobe artesanal con la incorporación de fibra de coco, Jaén – Cajamarca, 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ.

Valle Castro, A. P. (2019). Evaluación experimental del comportamiento de muros de adobe reforzados con cuerdas sometidos a carga lateral cíclica [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.

Vargas Neumann, J., Torrealva, D., & Blondet, M. (2007). Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Velarde (2019); Análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones de dos pisos en adobe existente en Lima

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Cierto Loarte, J. (2026). *Evaluación estructural y técnicas de reforzamiento en edificaciones de adobe – Huánuco – 2025*. [Tesis pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “Evaluación estructural y técnicas de reforzamiento en edificaciones de adobe – Huánuco - 2025”

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
Formulación general ¿Cómo contribuye la evaluación estructural mediante elementos finitos a la propuesta de técnicas de reforzamiento estructural en edificaciones de adobe?	Objetivo general	Hipótesis general. Ho. La evaluación estructural basada en elementos finitos no logra proponer técnicas de reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.	Variable	Independiente: - Índice de rigidez	Tipo de investigación: Aplicada: Ya que determinaremos los modos de colapso en sistemas estructurales del tipo de adobe.
Problemas específicos.	Proponer técnicas de reforzamiento estructural usando la evaluación estructural basada en elementos finitos en edificaciones de	Ha: La evaluación estructural basada en elementos finitos propone técnicas de reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.	Técnicas de reforzamiento estructural		Enfoque: del tipo cuantitativo

adobe- Huánuco -
2025.

Pe.1. ¿Cómo
permite la
modelación por
elementos finitos
determinar los
modos de colapso
de edificaciones en
adobe – Huánuco -
2025?

Pe.2. ¿Qué
cantidad de la
adición de malla
electrosoldada Q-
478 ($\varnothing=3/8"$)
genera
reforzamiento
estructural en
edificaciones en
adobe – Huánuco -
2025?

Objetivos específicos

Hipótesis específicas.

Ho1: La ejecución de la
modelación en elementos
finitos determina los modos
de colapso en edificaciones
en adobe – Huánuco - 2025.

Nivel: Explicativo

Pe.3. ¿En qué medida la incorporación de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2''$) contribuye al reforzamiento estructural en edificaciones de adobe – Huánuco - 2025?

Oe.1. Ejecutar la modelación en elementos finitos para determinar los modos de colapso en edificaciones en adobe – Huánuco - 2025.

Ha1: La ejecución de la modelación en elementos finitos no determina los modos de colapso en edificaciones en adobe – Huánuco - 2025.

Oe.2. Determinar la cantidad de la adición de malla electrosoldada Q-478 ($\varnothing=3/8''$) genera el reforzamiento estructural en edificaciones en adobe – Huánuco - 2025.

Ho2: Es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-478 ($\varnothing=3/8''$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

Diseño: No experimental

Oe.3. Establecer la proporción de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2''$) capaz de contribuir al reforzamiento estructural en edificaciones de adobe – Huánuco - 2025.

Ha2: No es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-478 ($\varnothing=3/8''$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

Ho3: Es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2''$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

Ha3: No es posible determinar la cantidad de malla electrosoldada Q-541 ($\varnothing=1/2''$) para el reforzamiento estructural de edificaciones en adobe – Huánuco – 2025.

Población: La estimación de la población de estudio está conformada por los 125 lotes.

Muestra:

Está conformado por 6 edificaciones

típicas de uno y dos niveles.

Variable dependiente:
Evaluación estructural

Técnicas e instrumentos:
- Ficha de observación.
-Ficha de Revisión documental.

Esfuerzos y deformaciones.
Carga permanente
Carga sísmica

ANEXO 2: VISTAS FOTOGRÁFICAS

Nombre	Ubicación UTM	FICHA TECNICA		
		Area techada	area de muros	estado de conservacion
E1-1P	363240, 8902740, 1894	86.87	58.82	Aceptable
E2-1P	363290, 8902780, 1894	108.56	102.61	Con daños por humedad
E1-2P	363710, 8902920, 1890	109.85	106.76	Con daños por humedad
E2-2P	362980, 8902680, 1898	68.8	53.63	intermedio
E3-2P	363420, 8902230, 1892	32	28.4	Aceptable



Edificio 1 – 1 piso (Jr. Crespo Castillo).

Recolección de datos geométrico para la idealización del modelo numérico



Edificio 2 – 1 piso (Jr. General Prado) Recolección y verificación de datos geométricos necesarios para generar el modelo numérico



Edificio 1 – 2 pisos. Recojo de datos geométrico para la idealización del modelo numérico.



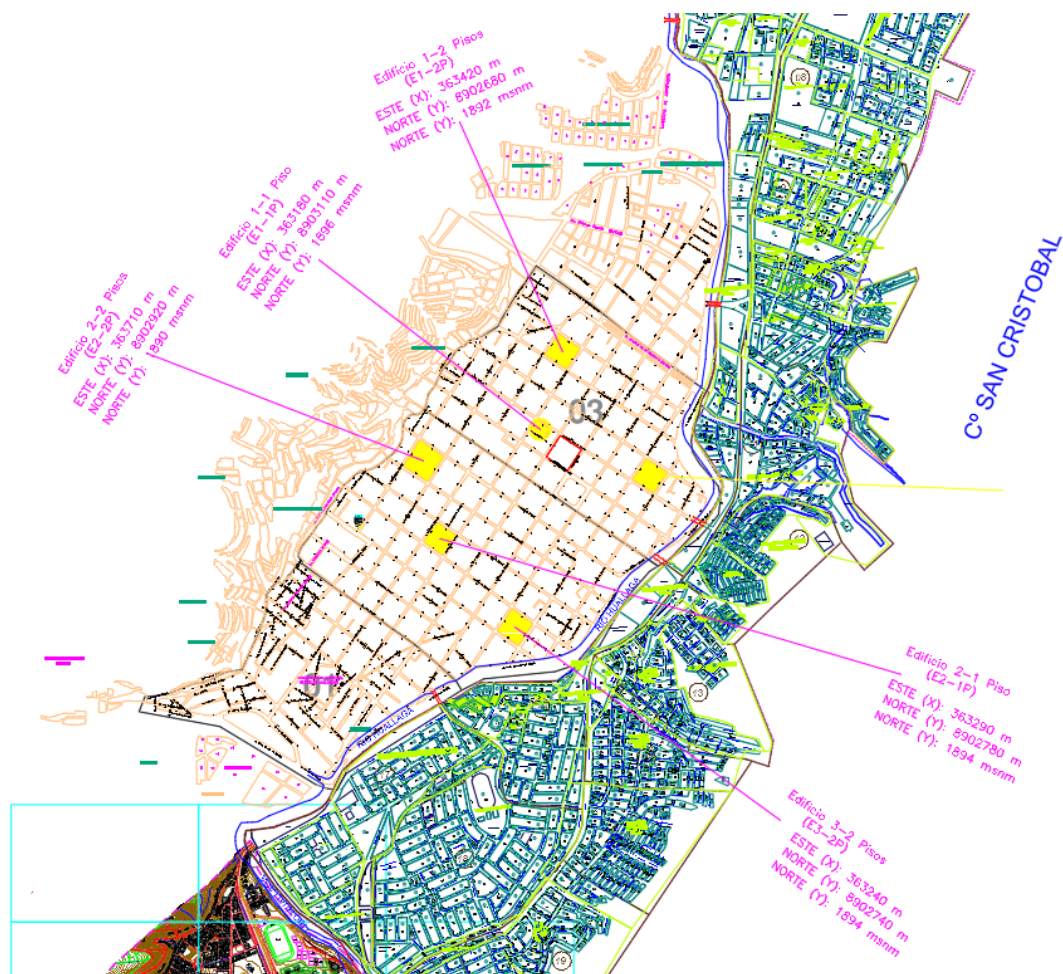
Edificio 2 – 2 pisos (Jr. General prado).

Estimación de datos geométrico para la idealización del modelo numérico



Edificio 3 – 2 pisos (Jr. General Prado).

Recolección de datos geométrico para la idealización del modelo numérico



Plano de ubicación de las edificaciones en estudio

CALCULO DE CANTIDADES POR MALLA

Nombre	MQ-478 (mm/m2)	MQ-541 (mm/m2)
E1-1P	41.76	75.88
E2-1P	72.00	132.37
E1-2P	106.76	193.96
E2-2P	73.63	133.77
E3-2P	28.40	51.60

CERTIFICADO DE COORDENADAS UTM Y PUNTOS DE REFERENCIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: *EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO EN EDIFICACIONES DE ADOBE – HUÁNUCO - 2025*

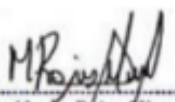
1. INFORMACIÓN GENERAL

- **Región:** Huánuco
- **Provincia:** Huánuco
- **Distrito:** Huánuco (Cercado)
- **Sistema de Referencia Geodésico:** WGS-84 (World Geodetic System 1984)
- **Proyección Cartográfica:** UTM (Universal Transversal de Mercator)
- **Zona de Proyección:** 18 Sur (18S)
- **Método de Obtención:** Cartografía Digital Integrada / Sistema de Posicionamiento Global (GPS Submétrico de Referencia Urbana)

2. MATRIZ TÉCNICA DE PUNTOS DE CONTROL URBANO (ZONA 18S)

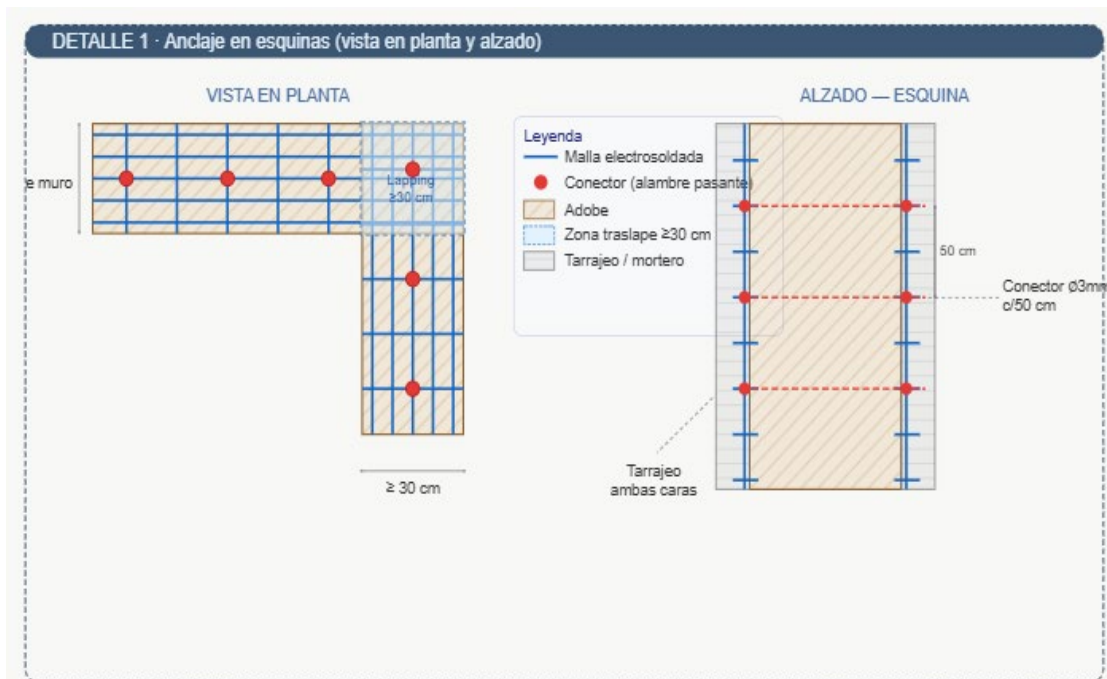
ID Punt o	Descripción del Vértice / Referencia Urbana	Este (X)(metros)	Norte (Y)(metros)	Altitud(msnm)	Estado de Conservación de Entorno
PC-01	Centro absoluto de la Plaza de Armas	363,240.00	8,902,740.00	1,894.00	Monumental / Pavimentado
PC-02	Frontis de la Catedral de Huánuco	363,290.00	8,902,780.00	1,894.00	Monumental / Pavimentado

ID Punt o	Descripción del Vértice / Referencia Urbana	Este (X)(metros)	Norte (Y)(metros)	Altitud(msnm)	Estado de Conservación de Entorno
PC-03	Estribo Oeste - Puente Calicanto	363,710.00	8,902,920.00	1,890.00	Histórico / Adobe y Piedra
PC-04	Atrio Central - Iglesia San Francisco	363,180.00	8,903,110.00	1,896.00	Histórico / Conservado
PC-05	Esquina Noreste - Mercado Central	362,980.00	8,902,680.00	1,898.00	Urbano / Alto Tránsito
PC-06	Eje Central - Plazuela Santo Domingo	363,420.00	8,902,230.00		

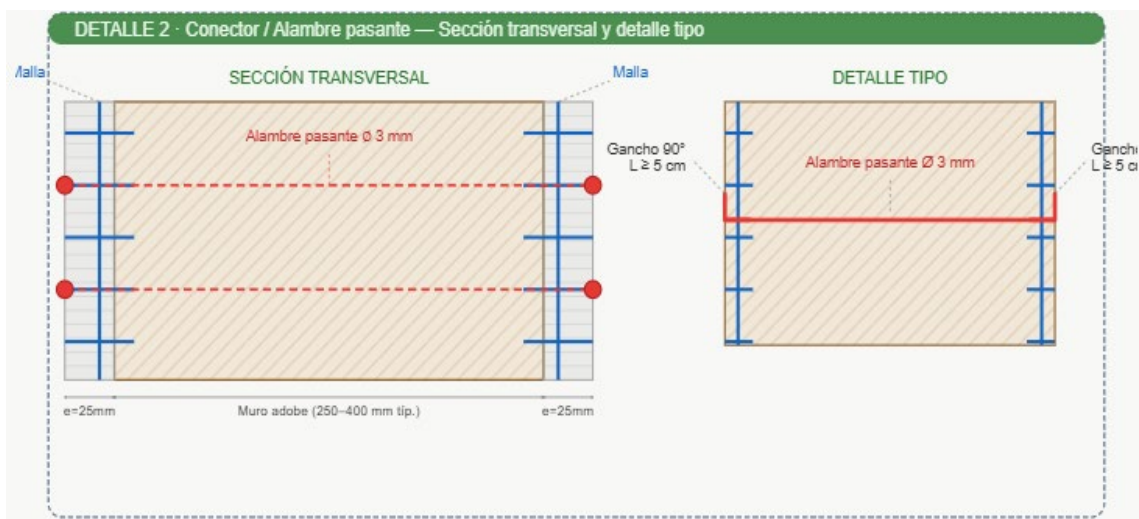


 Marco Rojas Miraval
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 300954

DETALLES CONSTRUCTIVOS (ESQUEMA DE INSTALACION) ANCLAJE



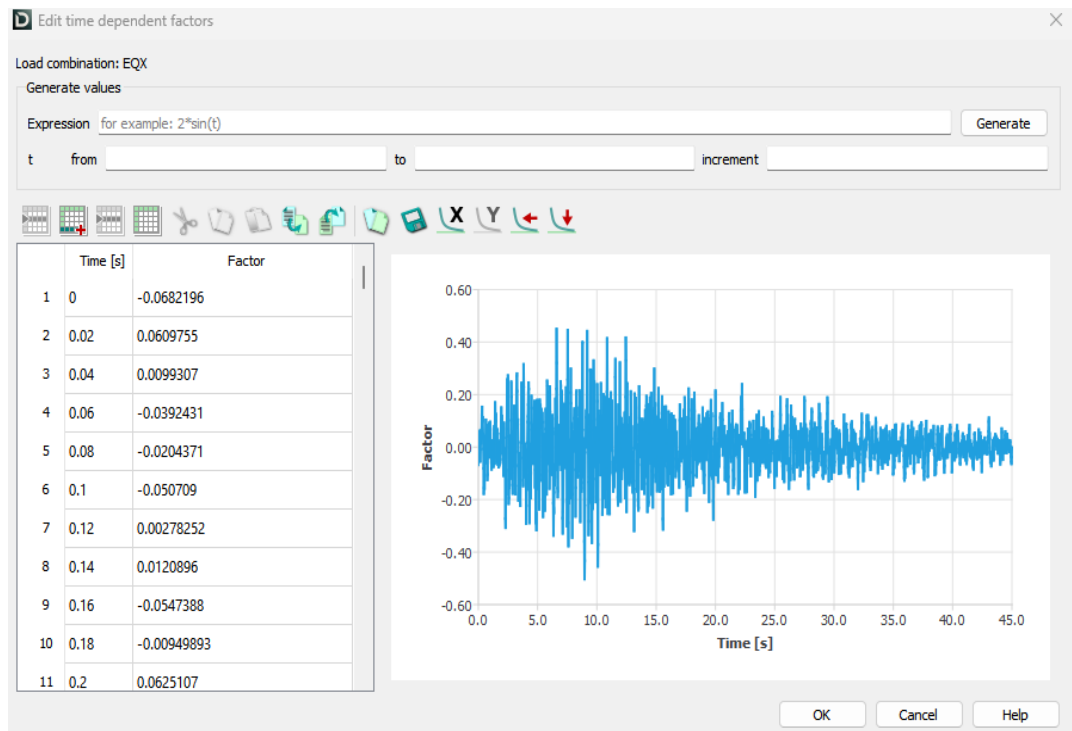
CONECTORES



ESPESOR DEL TARRAJEO



REGISTRO SISMICO DE AREQUIPA 2001



FACTOR DE ESCALA AJUSTADO AL ESPECTRO DE DISEÑO
DE LA CIUDAD DE HUANUCO, ESTE ESPECTRO DE DISEÑO SE
CONTRUYE CON LA FORMULA $ZUCS/R=1$, $S=SUELO$
CONCORDANTE A LA CIUDAD DE HUANUCO

