

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**“REFORZAMIENTO DE VIVIENDAS DE LA ZONA MONUMENTAL DE
CAJAMARCA HECHAS CON ADOBE, CON ESTRUCTURAS METALICAS Y
MALLAS ELECTROSOLDADAS”**

TESIS

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

Presentado por:

Bach. DANY ROHEL TACILLA ALVARADO

Asesor:

Mg. Ing. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS

Cajamarca – Perú

2020

DEDICATORIA

A mis padres y familiares por sus consejos, su cariño y su apoyo en mis decisiones, en especial para mi hermana Diana a quien considero como una hija.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida e iluminarme el camino cada día, para lograr mis sueños.

A mi asesor M.Cs. Ing. Mauro A. Centurión Vargas, por su apoyo y orientación en el desarrollo de la presente investigación

A un gran consejero y amigo, Ing. Roberto Mosqueira Ramírez, por dedicar su tiempo y conocimientos en la presente tesis.

A la universidad nacional de Cajamarca en especial los docentes de EAP de ingeniería civil quienes contribuyeron en mi formación profesional.

INDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Formulación del problema	1
1.3 Justificación	1
1.4 Delimitación de la investigación.....	1
1.5 Limitación de la investigación	2
1.6 Hipótesis general.....	2
1.7 Objetivos de la investigación.....	2
1.7.1. Objetivo general.....	2
1.7.2. Objetivos específicos	2
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	4
2.1.2. Antecedentes nacionales	5
2.2 BASES TEÓRICAS	7
2.2.1. Tierra.....	7
2.2.2. Arcilla	7
2.2.3. Limo y arena	9
2.2.4. Superficie específica	9
2.2.5. Densidad	9
2.2.6. Paja o ichu.....	9
2.2.7. La Albañilería o Mampostería	10
2.2.8. Albañilería Estructural.....	10
2.2.9. Muros No Portantes	10
2.2.10. Los Muros Portantes	10

2.2.11. Muros No Reforzados o de Albañilería Simple.....	10
2.2.12. El espesor efectivo del muro.....	11
2.2.13. Muros Reforzados.....	11
2.2.14. Peligro (P).	11
2.2.15. Vulnerabilidad (V).	11
2.2.16. Riesgo (R).	12
2.2.17. Ensayos de control de calidad.....	12
2.2.18. Esfuerzos admisibles.....	12
2.2.19. Fuerzas Sísmicas Horizontales	13
2.2.20. MALLA ELECTROSOLDADA	13
2.2.21. ESTRUCTURAS METÁLICAS	14
Según (GTM, 2012)	14
2.2.22. Resistencia a la Compresión de la Albañilería	16
2.2.23. Rigidez lateral del muro.....	18
2.2.24. Reforzamiento de viviendas construidas con adobe	18
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	22
2.3.1. Adobe	22
2.3.2. Malla electrosoldada	22
2.3.3. Estructura metálica	22
2.3.4. Agua.....	22
2.3.5. Arriostre.....	22
2.3.6. Curado.....	22
2.3.7. Esbeltez.....	22
2.3.8. Mortero.	23
2.3.9. Resistencia a la compresión.....	23
2.3.10. Resistencia a la flexión.....	23
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	24

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	24
3.2 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.3 RECURSOS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	26
3.4 METODOLOGÍA A SEGUIR EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	28
3.4.1. Tipo, nivel, diseño y método científico	28
3.4.2. Metodología para selección de mejor alternativa la malla electrosoldada y estructura metálica, frente a la Geomalla.....	28
3.4.3. Metodología para el ensayo de muros reforzado y sin reforzar.....	37
3.5 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	43
3.5.1. Aplicación de metodologías para una edificación como alternativa de reforzamiento	44
3.5.2. Características locales.....	44
3.5.3. Arquitectura de la edificación.....	44
CAPÍTULO IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	47
4.1 RESULTADOS DE SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE REFORZAMIENTO.....	47
4.1.1. Factor Costo inicial F1: (De reforzamiento).....	47
4.1.2. Factor Seguridad y Comportamiento F2:.....	48
4.1.3. Factor Recursos y Facilidad de Construcción F3	50
4.1.4. Factor Disponibilidad de Materiales F4.....	50
4.1.5. Factor Impacto Ambiental F5	51
4.1.6. Factor Imaginario de la Población F6.....	54
4.1.7. Aplicación de la Fórmula del Índice de Factibilidad de Alternativas.....	55
4.2 RESULTADOS DEL ENSAYO EXPERIMENTAL DE DOS MUROS	57
4.2.1. Calculo de rigidez del muro.....	57
4.2.2. Calculo de Modulo de Elasticidad del muro.....	57
4.2.3. Grafica de resultados de muretes ensayados.....	62

4.2.1. Grafica de la curva promedio de muretes ensayados.....	63
4.3 MATERIALES Y PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO A ESCALA NATURAL DE MURO DE ADOBE:	64
4.3.1. Material utilizado:.....	64
4.3.2. Procedimiento de muros ensayados	65
4.3.3. RESULTADOS EN MURO SIN REFUERZO	67
4.3.4. RESULTADOS EN MURO REFORZADO	67
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
5.1 Conclusiones.....	72
5.2 Recomendaciones	73

Índice de tablas

Tabla 1: Resumen metodología de la investigación	28
Tabla 2: Factor Seguridad y Comportamiento (F2).....	33
Tabla 3: Factor Recursos y Facilidad de Construcción (F3)	34
Tabla 4: Factor Disponibilidad de Materiales (F4)	35
Tabla 5: Factor Sostenibilidad e Impacto Ambiental (F5)	36
Tabla 6: Factor Imaginario de la Población (F6).....	37
Tabla 7: Presupuesto de reforzamiento con malla Electrosoldada y Estructura metálica	47
Tabla 8: Presupuesto de reforzamiento con geomalla.	47
Tabla 9: Resumen de Índice de Factibilidad de alternativas	55
Tabla 10: Esfuerzo – Deformación Unitaria - Murete 01.....	58
Tabla 11: Esfuerzo – Deformación Unitaria - Murete 02.....	59
Tabla 12: Esfuerzo – Deformación Unitaria - Murete 03.....	60
Tabla 13: Esfuerzo – Deformación Unitaria - Murete 04.....	61
Tabla 14: Carga - Deformación en Muro Sin Refuerzo	67
Tabla 15: Carga - Deformación de Muro Reforzado.....	67
Tabla 16: Cuadro comparativo de principales cargas – deformaciones en punto de aplicación (Nudo 1)	71

Índice de figuras

Figura 1. Estructura de los tres minerales arcillosos más comunes y su distancia intralaminar (según Houben, Guillaud, 1984)	8
Figura 2. Ensayo de compresión axial	18
Figura 3: Eliminación del tarrajeo para reforzar muros con Malla Electrosoldada.....	19
Figura 4: Perforaciones @ 50cm. para reforzar muros con Malla Electrosoldada.....	19
Figura 5: Instalación del conector y taponado de la perforación.....	19
Figura 6: Instalación de la malla y fijación con clavo y chapa.....	20
Figura 7: Doble del conector y fijación con 2 clavos y lata.	20
Figura 8: Ejemplo de fijación de la malla longitudinal y sus conectores.	21
Figura 9: Tarrajeo de la malla con mortero 1:5.	21
Figura 10: Ubicación geográfica del lugar donde se desarrolló la investigación	25
Figura 11. Anclajes para fijación de cimentación	38
Figura 12. Encofrado y vaciado de concreto en cimentación.....	38
Figura 13. Asentado de adobes sobre cimentación.....	38
Figura 14. Vista de ambos muros ya construidos.....	39
Figura 15. Haciendo perforaciones.....	39
Figura 16. Instalación de conectores	40
Figura 17. Malla electrosoldada instalada	40
Figura 18. Fijación con chapas.....	41
Figura 19. Fijación con lata.	41
Figura 20. Muro terminado.....	41
Figura 21. Muro reforzado terminado vista posterior.....	42
Figura 22. Arquitectura básica de la edificación de adobe.....	45
Figura 23. Ensayos de muros reforzados con geomalla	49
Figura 24. Fabricación de los alambres de acero por trefilación.....	53
Figura 25. Reforzamiento de adobe con geomalla y reforzamiento de adobe con malla electrosoldada	54
Figura 26. Factibilidad de alternativas por factores.	55
Figura 27. Ensayo de compresión axial.....	57
Figura 28. Grafica de muretes ensayados	62
Figura 29. Grafica curva promedio de muretes ensayados.....	63
Figura 30. Esquema de muro ensayado a carga lateral.....	66
Figura 31. Resultados de Carga – Deformación en Nudo 1. En muro con y sin refuerzo.	69
Figura 32. Resultados de Carga – Deformación en Nudo 2. En muro con y sin refuerzo.	70

RESUMEN

La presente tesis se realizó para verificar que, la malla electrosoldada junto con la estructura metálica, es la mejor alternativa de reforzamiento para las viviendas del centro histórico de Cajamarca. El primer estudio consiste en que, a base de procesos teóricos de selección de mejor alternativa de reforzamiento para una vivienda construida con adobe, se selecciona la mejor alternativa de reforzamiento. Tomando como referencia diferentes estudios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, tanto como investigaciones y/o informes técnicos, donde la malla electrosoldada es considerada una de las mejores alternativas de reforzamiento. Estudios teóricos realizados demuestran que la malla electrosoldada y la geomalla son las mejores alternativas de reforzamiento. Es por ello que, para el análisis teórico, haremos una comparación de estas dos alternativas de reforzamiento para una vivienda ubicada en la Zona Monumental de Cajamarca ubicada en el Jr. Amalia Puga N° 360.

Además, se realizó un ensayo experimental; en el que se construyó dos muros similares de adobe, uno sin refuerzo y el otro con refuerzo de la malla electrosoldada y sistema metálico, el acero de la malla fue con cocadas de 2 pulgadas y 1.5mm de diámetro. Se reforzó el muro 50 cm en los bordes laterales y en la parte superior del muro, acompañado con un tubo metálico de 3pulg x 1.5pulg y de espesor de 2mm; las dimensiones de ambos muros fueron de 2.00m x 2.25m y de espesor de 30 cm, con una cimentación de concreto simple, fijado al piso a lo largo de toda la base del muro. Se aplicó, simulando una carga lateral estática, podríamos llamarlo así, a consecuencia de la rigidez de la estructura de adobe; la que se aplicó en el centro de una plancha de 60cm de alto y 30cm de ancho.

Obteniendo como resultados que; el reforzamiento de muros de adobe, con sistema metálico y malla electrosoldada es la mejor alternativa de reforzamiento para el centro histórico de Cajamarca. Además, aplicando dicho sistema aumenta la resistencia en 41.91% respecto a otro muro sin reforzamiento.

Palabras claves: Adobe, Modulo de elasticidad, carga lateral, malla electrosoldada, estructura metálica.

SUMMARY

This thesis was carried out to verify that the electrowelded mesh together with the metallic structure, is the best reinforcement alternative for the houses in the historic center of Cajamarca. The first study consists in that, based on theoretical processes for selecting the best reinforcement alternative for a house built with adobe, the best reinforcement alternative is selected. Taking as a reference different studies from the Pontifical Catholic University of Peru, as well as research and / or technical reports, where the electrowelded mesh is considered one of the best reinforcement alternatives. Theoretical studies carried out show that electrowelded mesh and geogrid are the best reinforcement alternatives. That is why, for the theoretical analysis, we will make a comparison of these two reinforcement alternatives for a home located in the Monumental Zone of Cajamarca located at Jr. Amalia Puga N ° 360.

In addition, an experimental trial was carried out; in which two similar adobe walls were built, one without reinforcement and the other with reinforcement of the electrowelded mesh and a metallic system, the steel of the mesh was with 2-inch and 1.5mm diameter cocadas. The wall was reinforced 50 cm in the lateral edges and in the upper part of the wall, accompanied by a metal tube of 3 "x 1.5" and 2mm thickness; the dimensions of both walls were 2.00m x 2.25m and 30 cm thick, with a simple concrete foundation, fixed to the floor along the entire base of the wall. It was applied, simulating a static lateral load, we could call it that, as a consequence of the rigidity of the adobe structure; the one that was applied in the center of a plate 60cm high and 30cm wide.

Obtaining as results that; The reinforcement of adobe walls, with a metallic system and electrowelded mesh, is the best reinforcement alternative for the historic center of Cajamarca. Furthermore, applying this system increases the resistance by 41.91% compared to another wall without reinforcement.

Keywords: Adobe, Modulus of elasticity, lateral load, welded mesh, metal structure.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

El centro histórico de Cajamarca necesita estudios de reforzamiento de diversos sistemas, con tal de prevenir el colapso de las estructuras. Con el fin de conservar nuestro patrimonio histórico. Es por ello que, en la presente tesis de investigación estudiaremos a la estructura metálica y malla electrosoldada en su conjunto, que pueden ser aplicadas al Centro Histórico, en las viviendas del centro de la ciudad de Cajamarca, a fin de reducir su vulnerabilidad, evitando daños materiales y humanos.

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es la mejor alternativa de reforzamiento, aplicado a la Zona Monumental de Cajamarca y en cuánto, el sistema de adobe reforzado, con sistema metálico y mallas electrosoldadas, es más resistente, respecto a otro sin reforzamiento?

1.3 Justificación

La presente tesis se argumenta a que, las edificaciones de adobe del Centro Histórico de la Ciudad de Cajamarca, conforme pasan los años, estas se debilitan y tienden a colapsar. Además, que necesitamos preservar nuestro patrimonio histórico.

Por lo tanto, se requiere de estudios de reforzamiento de estas viviendas o edificaciones, es así que la presente investigación estudia y experimenta una alternativa de reforzamiento como es el reforzamiento con estructura metálica y malla electrosoldada.

1.4 Delimitación de la investigación

La presente investigación se limitará a dos análisis, uno que es la selección de la mejor alternativa de reforzamiento, de acuerdo a una teoría de factores, comparada con la geomalla y otra que es la obtención de datos a carga lateral de un muro reforzado ante otro sin reforzamiento.

1.5 Limitación de la investigación

La presente investigación tiene como limitación principal; obtener la resistencia a cargas de las casas de adobe ya que no se cuenta con los datos exactos de las proporciones de materiales para adobe, tampoco se tiene con exactitud la resistencia de este.

1.6 Hipótesis general

El sistema de adobe reforzado, con sistema metálico y mallas electrosoldadas, es la mejor alternativa de reforzamiento. Además, aplicando este sistema de reforzamiento resistente en 30% respecto a un muro sin refuerzo.

1.7 Objetivos de la investigación.

1.7.1. Objetivo general

Evaluar el sistema de adobe reforzado con sistema metálico y malla electrosoldada aplicativas a las viviendas, ubicadas en la zona monumental de Cajamarca.

1.7.2. Objetivos específicos

- Establecer un procedimiento para la selección de la mejor alternativa de reforzamiento sin descuidar los temas técnicos, ambientales y sociales.
- Evaluar la Carga lateral – deformación, de un muro, construido con el sistema tradicional.
- Evaluar la Carga lateral – deformación, de un muro reforzado con el sistema metálico y malla electrosoldada.
- Comparar la carga lateral – deformación de un muro construido con el sistema de reforzamiento de estructura metálica y malla electrosoldada, respecto a otro construido con el sistema tradicional.

A continuación, se describe los contenidos de cada capítulo de la investigación.

El capítulo primero “INTRODUCCIÓN”, es de carácter informativo sobre el contexto, el problema, la justificación o importancia de la investigación, así como sus alcances, objetivos e hipótesis.

El segundo capítulo “MARCO TEÓRICO”, corresponde a un resumen general del adobe, adobe reforzado y del suelo o tierra como material de construcción; de tal manera que facilite al lector la comprensión de los capítulos posteriores. Así mismo se realiza el tratado de investigaciones anteriores relacionadas con el tema o problema en estudio con anotación de sus conclusiones más relevantes.

El capítulo tercero “MATERIALES Y MÉTODOS”, se indicará la ubicación geográfica donde se realizó la investigación, así como la época en la cual se enmarca, los diferentes recursos empleados; y el procedimiento seguido para el desarrollo del trabajo de investigación.

El capítulo cuarto “ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS”, abarca la interpretación y explicación de los resultados finales obtenidos (porcentajes, tablas, cuadros, gráficos o figuras).

El capítulo quinto “APORTES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”, da algunos aportes adquiridos en la investigación, desarrolla las conclusiones de la investigación experimental para cada objetivo propuesto; y las recomendaciones, que sugieren la ampliación de algunos aspectos, así como la mejora en materiales y equipos para futuros estudios en este campo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

En este ítem se presentan las investigaciones realizadas que guardan relación con esta investigación. Entre los cuales encontramos.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Flórez y López (2010) en su investigación *“Propuesta de reforzamiento de muros de adobe modificado con confinamiento de madera rolliza”*, aportaron un sistema constructivo con adobe ayudando al reglamento e implementación en el país de Colombia, mejorando las propiedades del adobe, adicionando materias para aumentar sus características, logrando finalmente determinar una cantidad y una longitud óptimas de fibra vegetal (fibra de fique) para realizar los ensayos de las probetas de adobe con fibra. Es así que determinaron trabajar con longitudes de 1cm, 1.5cm y 2cm y con porcentajes de 0.25%, 0.50% y 0.75 % del peso total de cada bloque de adobe. Llegando a la conclusión de que los adobes modificados con fique, demuestran un mejor comportamiento ante esfuerzos y deformaciones comparado con otras mezclas (emulsión asfáltica y cal) ante un adobe sin modificar. Los resultados obtenidos fueron: resistencia promedio de 26,000 kg y un esfuerzo a la compresión promedio de 45.1 kg/cm² lo cual demuestra un aumento aproximado de 24.5% en la resistencia a la compresión que presenta una unidad de adobe sin modificar.

Blondet, Villa y Brzev (2003), publicaron una investigación titulada *Construcciones de Adobe Resistente a los Terremotos*, en el que uno de los principios esenciales de la construcción de adobe sismo resistentes es el uso de distribuciones en planta compactas y tipo caja, las principales recomendaciones se resume en, construir la casa de solo un piso, como usar un techo liviano y aislado, en lugar de un techo de tierra pesado y compacto, disponer la distribución de muros para proveer soporte mutuo, y por medio de muros transversales e intervalos regulares en ambas direcciones, o usar contrafuertes, mantener los vanos de los muros pequeños y bien distribuidos, así como construir sobre una cimentación firme.

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2008), publicó el Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada, que tiene como propósito ilustrar la manera de las construcciones ancestrales para identificar las principales deficiencias ante los terremotos y sugerir la manera como intervenir o rehabilitar aquellas edificaciones existentes, muchos de ellos de reconocido valor patrimonial, pues el propósito es que sirva como una guía técnica eficiente, donde se presenten alternativas de intervención o rehabilitación sísmica, para disminuir la vulnerabilidad de las edificaciones existentes de adobe y así disminuir la pérdida de vidas humanas.

Minke (2005), realizó estudios en Viviendas Antisísmicas de Tierra, Resultados de Investigación y Ejecución en zonas Sísmicas de los Andes con participación de la Universidad Kassel de Alemania que resultó en el análisis de los daños presentados en viviendas de un piso afectadas por sismos de alta intensidad en diferentes zonas rurales de los andes, permite establecer que son siempre algunos de los mismos típicos errores de diseño estructural o de ejecución de obra; que conducen al colapso o a daños considerables. Para las investigaciones mencionadas se construyeron seis prototipos de viviendas con diferentes sistemas estructurales en Méjico, Ecuador, Guatemala, Bolivia, Chile y Argentina, con muros de tierra apisonada reforzados con bambú, muros dúctiles de bahareque (quincha), muros dúctiles de elementos textiles rellenos con tierra cúpula y bóveda de adobe pre tensado.

Minke (2001) publicó el Manual de construcción para viviendas Antisísmicas de Tierra con apoyo de la universidad de Kassel, se concluyó que; cuando la tierra húmeda se compacta en una prensa manual o mecánica se denominan bloques de suelo. Los ladrillos producidos mediante un extrusor en una ladrillera se denominan ladrillos crudos. Los bloques más grandes compactados en un molde se denominan adobones.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Serrano (2016) en su investigación *“Herramientas para la capacitación en reforzamiento con malla de cuerdas de viviendas de adobe autoconstruidas en áreas sísmicas”*, realizó el diseño y la aplicación de herramientas de transferencia tecnológica para la capacitación de una comunidad andina en construcción sismorresistente con

adobe. Eligió para este proyecto el distrito de Pullo (Ayacucho), ubicado en una zona altamente sísmica, donde más del 80% de pobladores reside en casas de adobe y más del 50% vive en condiciones pobreza extrema. El proyecto consistió en trabajar con los pobladores para que tomen conciencia de la vulnerabilidad de sus viviendas de adobe no reforzado y para que aprendan en forma práctica la técnica de refuerzo con mallas de cuerdas de nylon. Esperando que, el proyecto pueda ser aplicado con la misma efectividad en otras poblaciones ubicadas en zonas sísmicas donde la construcción en adobe sea predominante. Se empleó una mesa vibradora portátil para demostrar la efectividad del refuerzo propuesto y un manual de construcción sismorresistente en adobe. Luego se describe la experiencia de capacitación de la población de Pullo, y finalmente se discuten las conclusiones obtenidas sobre la efectividad del proceso de capacitación y la posibilidad de réplica del proyecto en otras comunidades en riesgo sísmico.

Quispe y Rondón (2012), ***“Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. Aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de Yauyos”***. Presenta una propuesta integral de reforzamiento para edificaciones existentes de adobe. Con esta propuesta se pretende que la solución adoptada sea adecuada y segura para la población beneficiada. De esta manera, se espera que la posibilidad de réplica sea mayor por parte de los pobladores en sus propias construcciones de adobe.

Dicha solución integral de reforzamiento se aplicó al caso de un local escolar existente de adobe de la comunidad de Chocos, Provincia de Yauyos. Primero, se hizo un análisis comparativo entre dos alternativas de reforzamiento para edificaciones existentes de adobe: Geomalla y Malla Electrosoldada, seleccionándose la mejor. Segundo, se hizo el análisis y diseño de los elementos estructurales de refuerzo de la mejor alternativa. Tercero, se presentó la propuesta de reforzamiento y se capacitó a los pobladores.

En la etapa de selección, se escogió la alternativa de la geomalla dado que tenía varios factores a favor. En la etapa del diseño del reforzamiento se realizó los respectivos cálculos, y de estos análisis se elaboraron planos constructivos de diseño coherente y factible. En la etapa de la capacitación se mostró las posibles fallas y problemas que se presentan en construcciones de tierra frente a los sismos y sus soluciones.

Miguel Hadzich (1999), presentó un manual de construcción titulado Vivienda antisísmica de adobe con la colaboración de la Pontífice Universidad Católica del

Perú (PUCP), en el cual detalla un modelo de vivienda de adobe antisísmico autosuficiente energéticamente que además puede ser adoptada con pequeñas modificaciones en zonas de la sierra como en la costa, el cual tiene mejoras en la calidad del adobe y en la estructura, contando con refuerzos horizontales(cañas partidas que forman parrillas colocadas cada tres o cuatro hiladas a lo largo de los muros) y verticales (cañas que van sobre sientos hasta la viga superior).

Neumann, Torrealva y Blondet, presentaron el proyecto Construcción de casas saludables y sísmo resistentes de adobe reforzado con geomallas para la zona Sierra con el respaldo de la PUCP, se propuso el refuerzo sísmico con geomallas para las edificaciones de adobe, con el proceso de diseño de los modelos de vivienda ya contribuido con las soluciones, saneamiento y cocina mejorada.

2.2 BASES TEÓRICAS

Como base para el desarrollo y comprender más a fondo la presente investigación, se exponen algunos temas y términos fundamentales.

2.2.1. Tierra

Para fabricar adobes es recomendable el uso de tierra areno-arcillosa con poco limo. Si la tierra tiene mucha arcilla, aumenta el riesgo de fisuración al secarse; si tiene demasiada arena o limo, puede carecer de cohesión interna adecuada y desgranar fácilmente, además de que disminuye su resistencia a compresión (Astorga y Aguilar, 2006, p. 35).

La Norma Peruana NTE E.080 (SENCICO, 2000) propone los siguientes porcentajes en volumen para la tierra: arcilla – 10% a 20%, limo – 15% a 25% y arena – 55% a 70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados (Vargas, Torrealva y Blondet, 2007, p. 21).

2.2.2. Arcilla

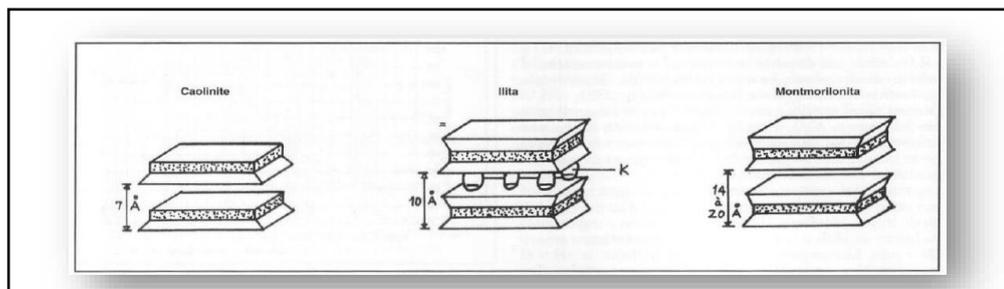
La arcilla es producto de la erosión del feldespato y otros minerales. El feldespato contiene óxido de aluminio, un segundo óxido metálico y bióxido de silicio. Uno de los más comunes tipos de feldespato tiene la fórmula química $Al_2O_3 \cdot K_2O \cdot 6SiO_2$. Si durante

la erosión, los componentes del potasio se disuelven, entonces una arcilla denominada caolinita es formada y tiene la fórmula $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Otro mineral arcilloso muy común es la montmorilonita con la fórmula $\text{Al}_2\text{O}_2 \cdot 4\text{SiO}_2$. Adicionalmente existe una amplia variedad de minerales arcillosos como la ilita que no se encuentra comúnmente. (Minke, 1994, p. 23 - 24).

Los minerales arcillosos se encuentran también mezclados con otros componentes químicos, particularmente con óxido de hierro hidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) y otros componentes de hierro dándole a la arcilla un color característico amarillo o rojo. El manganeso da un color marrón, la cal y el magnesio blanco mientras que las sustancias orgánicas dan un color marrón oscuro o negro. Los minerales arcillosos tienen usualmente una estructura laminar hexagonal y cristalina. Estas láminas están constituidas por diferentes capas que usualmente se forman alrededor de un núcleo de silicio o aluminio. En el caso del silicio estas están rodeadas de átomos de oxígeno; y en el caso del aluminio por grupos de hidróxidos (OH). Las capas de óxido de silicio tienen la carga negativa más fuerte lo que conlleva a una alta cohesividad interlaminar (Madueño, 2005, p. 31).

La caolinita está constituida por dos láminas y posee una capacidad aglutinante baja debido a que cada capa de hidróxido de aluminio está conectada a una capa de óxido de silicio, en cambio en el mineral montmorilonita constituido por tres láminas, una capa de hidróxido de aluminio está siempre entre dos capas de óxido de silicio, desplegando así una capacidad aglutinante alta. La mayoría de los minerales de arcilla tienen cationes intercambiables. La capacidad aglutinante y la resistencia a la compresión de la tierra dependen del tipo y cantidad de cationes (Neves y Borges, 2011, p. 43).

Figura 1. Estructura de los tres minerales arcillosos más comunes y su distancia intralaminar (según Houben, Guillaud, 1984)



Fuente: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. (1994)

2.2.3. Limo y arena

Las propiedades del limo y la arena son totalmente distintas a la arcilla. Estos son solo agregados sin fuerza aglutinante y están formados a partir de rocas erosionadas en cuyo caso tienen cantos filosos o por movimiento del agua en este caso son redondeados (Minke, 1994, p. 24).

2.2.4. Superficie específica

La superficie específica de un suelo es la suma de superficies de todas las partículas. La arena gruesa tiene una superficie específica de aproximadamente 23 cm²/g, el limo aproximadamente 450 cm²/g y la arcilla desde 10 m²/g (caolinita) hasta 1000 m²/g (montmorillonita). Mientras mayor sea la superficie específica de la arcilla mayor será las fuerzas internas de adhesión que resultan importantes para la capacidad aglutinante y la resistencia a la compresión y tensión (Minke, 1994, p. 25).

2.2.5. Densidad

La densidad se define por la relación de la masa seca con respecto al volumen (incluyendo los poros). Un suelo recientemente excavado tiene una densidad de 1200 a 1500 kg/m³. Si este suelo se compacta como en técnicas de tapial o en bloques de suelo, su densidad varía de 1700 a 2200 kg/m³ o más, si contiene considerables cantidades de grava o agregados gruesos (Minke, 1994, p. 25).

2.2.6. Paja o ichu.

Ichu (del quechua ichu, nombre indígena de la planta en cuestión). Formación de gramíneas de las punas y otros niveles altos de montaña, en que domina la gramínea *Stipa ichu*. El término procede del Perú y Bolivia, y el tipo de vegetación abarca también las alturas andinas del norte de Chile y noroeste de la Argentina. (Font, 1982, p. 39)

La paja, una vez seca, se pica en trozos de entre 5 cm a 10 cm de largo y se guarda en bolsas, quedando lista para agregar durante el batido. (Neves y Borges, 2011, p. 20)

Durante el proceso de mezclado, se añade paja al barro, aproximadamente en un 20 % en volumen, para controlar las fisuras. (Hasegawa, 2009, p. 19)

2.2.7. La Albañilería o Mampostería

Se define como un conjunto de unidades trabadas o adheridas entre sí con algún material, como el mortero de barro o de cemento. Las unidades pueden ser naturales (piedras) o artificiales (adobe, tapias, ladrillos y bloques).

Este sistema fue creado por el hombre a fin de satisfacer sus necesidades, principalmente de vivienda.

Bajo la definición indicada en el párrafo anterior, se llega la conclusión de que la albañilería existió desde tiempos prehistóricos y que su forma inicial podría haber sido los muros hechos con piedras naturales trabadas o adheridas con barro, lo que actualmente en nuestro medio se denomina "pirca". (Bartolomé, 2014)

2.2.8. Albañilería Estructural.

Son las construcciones de albañilería que han sido diseñadas racionalmente, de tal manera que las cargas actuantes durante su vida útil se transmitan adecuadamente a través de los elementos de albañilería (convenientemente reforzados) hasta el suelo de cimentación. (Bartolomé, 2014)

2.2.9. Muros No Portantes

Son los que no reciben carga vertical, como por ejemplo: los cercos, los parapetos y los tabiques. Estos muros deben diseñarse básicamente ante cargas perpendiculares a su plano, originadas por el viento, sismo u otras cargas de empuje. (Bartolomé, 2014)

2.2.10. Los Muros Portantes

Son los que se emplean como elementos estructurales de un edificio. Estos muros están sujetos a todo tipo de sollicitación, tanto contenida en su plano como perpendicular a su plano, tanto vertical como lateral y tanto permanente como eventual. (Bartolomé, 2014)

2.2.11. Muros No Reforzados o de Albañilería Simple

Son aquellos muros que carecen de refuerzo; o que, teniéndolo, no cumplen con las especificaciones mínimas reglamentarias que debe tener todo muro reforzado.

De acuerdo a la Norma E-070, su uso está limitado a construcciones de un piso; sin embargo, en Lima existen muchos edificios antiguos de albañilería no reforzada, incluso

de 5 pisos, pero ubicados sobre suelos de buena calidad y con una alta densidad de muros en sus dos direcciones, razones por las cuales estos sistemas se comportaron elásticamente (sin ningún tipo de daño) ante los terremotos ocurridos en los años de 1966, 1970 Y 1974. (Bartolomé, 2014)

2.2.12. El espesor efectivo del muro

Se define como su espesor bruto descontando los acabados (por el posible desprendimiento del tarrajeo producto de las vibraciones sísmicas, las bruñas u otras indentaciones. De acuerdo a la Norma E-070, el espesor efectivo mínimo a emplear en los muros no reforzados debe ser: $t = h/20$, donde "h" es la altura libre de piso a techo, o altura de pandeo. Esta fórmula proviene de considerar posibles problemas de pandeo cuando los muros esbeltos se ven sujetos a cargas perpendiculares a su plano, o a cargas verticales excéntricas. (Bartolomé, 2014)

2.2.13. Muros Reforzados

De acuerdo con la disposición del refuerzo, los muros se clasifican en:

- Muros Armados
- Muros Laminados ("Sandwich")
- Muros Confinados

Según la Norma E-070, en todo muro reforzado puede emplearse un espesor efectivo igual a: $t = h/26$ (para una altura libre $h = 2.4$ m, se obtendría $t = 9$ cm); sin embargo, se recomienda la adopción de un espesor efectivo mínimo igual a: $h/20$, a fin de evitar problemas de excentricidades accidentales por la falta de verticalidad del muro y para facilitar la colocación del refuerzo vertical y horizontal. (Bartolomé, 2014)

2.2.14. Peligro (P).

Se entiende por peligros o amenazas a aquellos fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos que, por razones de ocurrencia, severidad y frecuencia, pueden afectar adversamente a los seres humanos y a sus estructuras o actividades; es decir, son todos aquellos elementos del medio ambiente o entorno físico, perjudicial para el hombre y causado por fuerzas ajenas a él. (INDECI, 2000)

2.2.15. Vulnerabilidad (V).

La vulnerabilidad, es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político institucional, entre otros), pueda sufrir danos humanos y materiales. Se expresa en términos de probabilidad, en porcentaje de 0 a 100. (INDECI, 2000)

2.2.16. Riesgo (R).

Se entiende por Riesgo la probabilidad de daños sociales, ambientales y económicos por un peligro o evento natural, en un lugar y durante un tiempo de exposición determinado. El nivel de riesgos comprende una evaluación de los peligros naturales (amenazas a la ciudad por escenarios probables) y de la vulnerabilidad (susceptibilidad al daño) para estimar las probables pérdidas o daño en términos de costos (INDECI, 2000)

2.2.17. Ensayos de control de calidad.

Son pruebas a las que se someten las unidades de albañilería para poder limitar su aplicación en diseños estructurales. La Norma Técnica E.070 establece que para lotes de hasta 50 millares, debe seleccionarse como mínimo 10 unidades de albañilería. Para esta investigación se requirió de 152 unidades por cada marca de ladrillo, con la finalidad de tener un mejor control de calidad. (NTP)

2.2.18. Esfuerzos admisibles

Se obtienen dividiendo los esfuerzos de falla del material y tipo de sollicitación entre un factor de seguridad. Según la NTE 080 – ADOBE, del Reglamento Nacional de Edificaciones, ha de considerarse la variabilidad de los materiales a emplearse, en los ensayos que se realizan con fines de conseguir los esfuerzos admisibles de diseño. Se han de considerar esfuerzos mínimos como:

- Resistencia a la compresión de la unidad:

$$f_o = 12 \text{ Kg/cm}^2$$

- Resistencia a la compresión por aplastamiento:

$$F_m = 0,2 f'_m \text{ ó } 2\text{Kg/cm}^2$$

- Resistencia a la compresión por aplastamiento:

$$1,25 f'_m$$

- Resistencia al corte de la albañilería:

$$V_m = 0,25 \text{ Kg/cm}^2$$

2.2.19. Fuerzas Sísmicas Horizontales

La fuerza sísmica horizontal en la base para las edificaciones de adobe se determinará con la siguiente expresión: (NTE-080, 2006)

$$H = S \cdot U \cdot C \cdot P$$

Dónde:

S: Factor de suelo,

U: Factor de uso,

C: Coeficiente sísmico

P: Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50% de la carga viva.

2.2.20. MALLA ELECTROSOLDADA

Según (Prodac):

Las mallas electrosoldadas están conformadas por barras lisas o corrugadas, laminadas en frío, que se cruzan en forma ortogonal, las cuales están soldadas en todas sus intersecciones.

2.2.20.1. Aplicaciones y usos

Estas mallas reemplazan la armadura de fierro tradicional en cualquier elemento. Por ejemplo, en:

- Losas de Piso.
- Canales.
- Platea de Cimentación.
- Losas aligeradas, macizas, colaborante.

- Prefabricados.
- Muros de Contención.
- Muros de Concreto Armado.
- Cisternas.

2.2.20.2. Ventajas

- Menor tiempo de instalación del material.
- Mayor rapidez en la ejecución de las obras.
- Máxima calidad en obra. Sus uniones aseguran el exacto posicionamiento de las barras, disminuyendo la cantidad de controles.
- Se usan en todo tipo de estructura plana y no plana mediante su doblado en sencillas máquinas dobladoras.
- Adherencia efectiva al concreto por sus uniones sólidas.

2.2.20.3. Especificaciones técnicas.

DESCRIP.	MEDIDAS (m)	COCADA (mm)	DIAM. (mm)	PESO MALLA	PESO Kg/m ²
MALLAS PARA LOSAS, MUROS DE CONTENCIÓN, ZAPATAS					
MALLA SOLDADA R-80	2.40 x 6.00	200 x 330	4.5 / 3.0	11.387	0.949
MALLA SOLDADA QE-106	2.40 x 5.00	150 x 150	4.5	19.878	1.657
MALLA SOLDADA Q-139	2.40 x 6.00	100 x 100	4.2	31.200	2.167
MALLA SOLDADA Q-158	2.40 x 6.00	150 x 150	5.5	35.809	2.487
MALLA SOLDADA Q-188	2.40 x 6.00	150 x 150	6.0	42.621	2.960
MALLA SOLDADA Q-238	2.40 x 6.00	100 x 100	5.5	53.710	3.730
MALLA SOLDADA Q-257	2.40 x 6.00	150 x 150	7.0	58.004	4.028
MALLAS PARA MUROS DE EDIFIC. DE DUCTIBILIDAD LIMITADA (Con Puntas Largas)					
MALLA SOLDADA QE-159/196	2.40 x 3.05	100 x 100	4.5 / 5.0	17.643	2.410
MALLA SOLDADA QE-196	2.40 x 3.05	100 x 100	5.0	19.546	2.670
MALLAS PARA SUPLES (Encuentro de Muros) o DOWELS (Arranque de Muros)					
MALLA SOLDADA RE-61/196	0.80 x 2.40	150 x 100	3.4 / 5.0	3.294	1.716
MALLA SOLDADA RE-84/257	0.80 x 2.40	150 x 150	4.0 / 7.0	4.340	2.260

2.2.21. ESTRUCTURAS METÁLICAS

Según (GTM, 2012)

Bien es sabido que la edificación residencial está dominada por el hormigón armado mientras que el acero se utiliza básicamente en el sector industrial y cada vez más a menudo en edificios de uso público.

El acero es moderno, contemporáneo y es un material que ofrece infinitas posibilidades. Se ha utilizado durante siglos porque tiene diferentes aplicaciones y sus excelentes características constructivas y funcionales hacen que arquitectos, ingenieros e inversores recurran a él con entusiasmo. Es apto para edificios industriales y de representación, y se utiliza mucho en proyectos en los que el diseño debe sufrir constantes modificaciones.

2.2.21.1. Ventajas del acero estructural.

A continuación, vamos a indicar, de manera general, algunas de las principales características que suponen la construcción de edificaciones con estructuras metálicas en acero:

- Es un material de gran resistencia. Esto significa que los elementos que formarán la estructura en cualquier construcción podrán ser de una sección transversal mucho menor que en el caso del hormigón, ocupando, por lo tanto, menos espacio.
- Avisan con grandes deformaciones antes de producirse un fallo debido a que el material es dúctil.
- Uniformidad, ya que las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo.
- Homogeneidad del material.
- Posibilidad de reforma de manera más sencilla para adaptarse a nuevos usos del edificio, lo cual es más habitual en el caso de equipamientos, edificios de oficinas... que en el caso de viviendas.
- Rapidez de montaje, con los consiguientes ahorros en costes fijos de obra.
- La estructura metálica puede ser preparada en taller, lo que se traduce en que los elementos llegan a obra prácticamente elaborados, necesitando un mínimo de operaciones para quedar terminados.
- El acero estructural puede laminarse de forma económica en una gran variedad de formas y tamaños. Además, se puede adaptar a necesidades concretas variando las propiedades mecánicas mediante tratamientos térmicos, termoquímicos...

- Reutilización del acero tras desmontar la estructura, lo que supone un ahorro de inversión considerable.
- Las vigas reticuladas permiten cubrir grandes luces, con los correspondientes beneficios.
- Las estructuras de acero son, por lo general, más ligeras que las realizadas con otros materiales; esto supone menor coste de cimentación.
- La adaptabilidad del acero es de especial relevancia en casos de rehabilitación ya sea para reforzar estructuras existentes o para una completa reconstrucción manteniendo las fachadas. El acero se entrega prefabricado en obra; no necesita ser apuntalado y tampoco sufre retracción o fluencia por lo que puede asumir carga de inmediato.
- El desarrollo de nuevos sistemas de protección contra la corrosión, garantizan con un mantenimiento mínimo, una vida casi ilimitada para las estructuras realizadas con acero.
- Cuando termina la vida útil del edificio, la estructura metálica de acero puede ser desmontada y posteriormente utilizada en nuevos usos o ser re-aprovechada con un fácil reciclaje.
- La estructura metálica en acero supone un peso reducido, segura en caso de sismo, rendimiento y montaje se controlan visualmente de forma fácil.

2.2.21.2. Desventajas del acero estructural.

- Corrosión. Este tipo de materiales pueden presentar problemas de corrosión dependiendo del lugar y los agentes corrosivos externos.
- Problemática en caso de incendios. Debido a esto, es conveniente, y en algún caso obligatorio, recubrir este tipo de estructuras con pintura ignífuga o intumescente para evitar el colapso de la misma.
- Pandeo, ya que se utilizan elementos esbeltos sometidos a compresión (soportes metálicos). No obstante, las estructuras se calculan evitando estos fenómenos.
- Coste económico de la estructura y su posterior mantenimiento: pinturas contra la corrosión, paneles de protección frente al fuego...
- Mano de obra especializada.

2.2.22. Resistencia a la Compresión de la Albañilería

La resistencia a la compresión de la albañilería es una propiedad muy importante que define no solo la calidad estructural, sino también en nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro.

La resistencia a la compresión de la albañilería podrá determinarse por:

a) Ensayos de pilas con materiales y tecnología a usar en obra.

- Las pilas estarán compuestas por el número entero de adobes necesarios para obtener un coeficiente de esbeltez (altura / espesor) del orden de aproximadamente tres (3), debiéndose tener especial cuidado en mantener su verticalidad.
- El número mínimo de adobes será de cuatro (4) y el espesor de las juntas será de 2 cm. La disposición del ensayo será la mostrada en la Figura 16.
- El tiempo de secado del mortero de las pilas será de 30 días y el número mínimo de pilas a ensayar será de tres (3).
- Mediante estos ensayos se obtiene el esfuerzo último $f'm$ en compresión de la pila, considerándose aquel valor que sobrepasa en 2 de las 3 pilas ensayadas.
- Es esfuerzo admisible a compresión del muro (f_m) se obtendrá con la siguiente expresión:

$$f_m = 0,25 f'_m$$

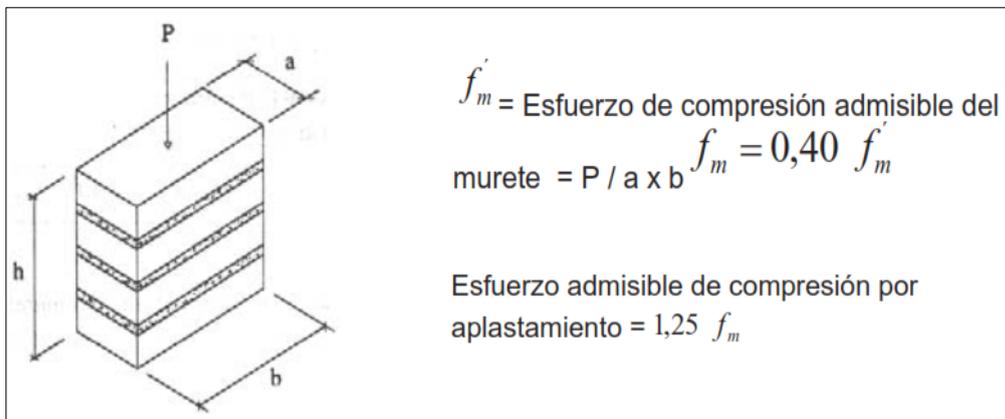
Donde:

$f'm$ = esfuerzo de compresión último de la pila

b) Alternativamente cuando no se realicen ensayos de pilas, se podrá usar el siguiente esfuerzo admisible:

$$f_m = 2,0 \text{ kg/cm}^2$$

Figura 2. Ensayo de compresión axial



Fuente: Norma técnica de edificación E.080.

2.2.23. Rigidez lateral del muro

La rigidez es la relación entre la fuerza cortante absorbida por el marco y el desplazamiento lateral relativo entre los dos niveles que lo limitan. En el caso de marcos regulares con elementos de sección constante es común considerar las fórmulas de Wilbur, que parten de las siguientes hipótesis (Bazán y Meli 2000)

$$K_{muro} = \frac{Et}{4\left(\frac{h}{L}\right)^3 + 3\left(\frac{h}{L}\right)}$$

Donde:

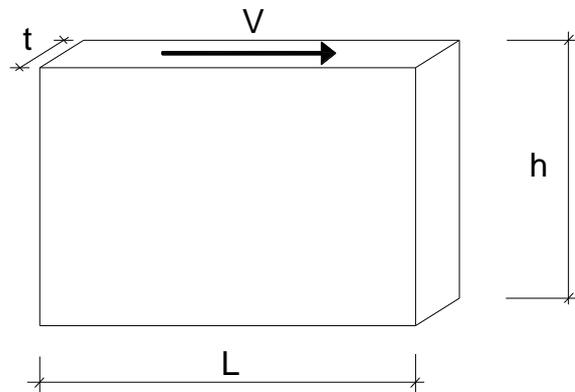
K = rigidez lateral del muro

E = Modulo de elasticidad del material

t = espesor del muro

h = altura del muro

L = longitud del muro



2.2.24. Reforzamiento de viviendas construidas con adobe

A continuación, se presenta el procedimiento de reforzamiento planteada por Ángel San Bartolomé y Daniel Quiun de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

1. Limpiar toda la zona donde irán las mallas. Para el caso de viviendas existentes, debe removerse el tarrajeo (Fig.21). Si es que existe.

2. Realizar las perforaciones de 5x5 cm @ 50cm donde irán los conectores (Fig.22).

Figura 3: Eliminación del tarrajeo para reforzar muros con Malla Electrosoldada



Figura 4: Perforaciones @ 50cm. para reforzar muros con Malla Electrosoldada



3. Instalar el conector y taponar la perforación con mortero 1:5 (Fig. 23).

Figura 5: Instalación del conector y taponado de la perforación.



4. Instalación de la malla fijándola con chapas (Fig. 24) o retazos de madera o lata, clavándola al muro @ 25cm. Se evitará la formación de bolsones. Luego se doblará el conector a 90° y se fijará al muro con chapas o retazos de lata o madera, clavándolo con doble clavo de 2 ½ pulgadas (figuras 25 y 26).

Figura 6: Instalación de la malla y fijación con clavo y chapa.

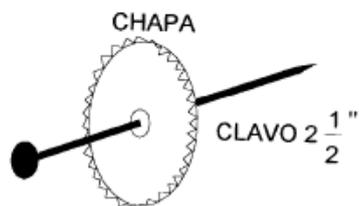


Figura 7: Doble del conector y fijación con 2 clavos y lata.

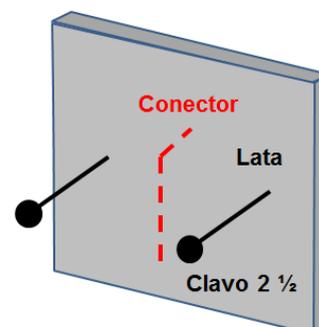
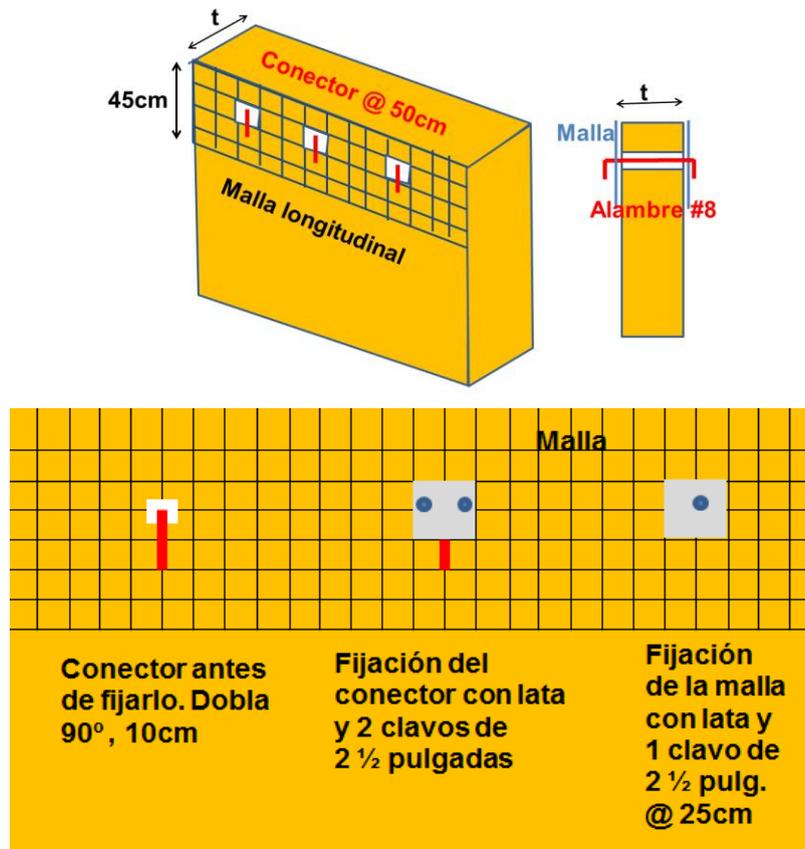
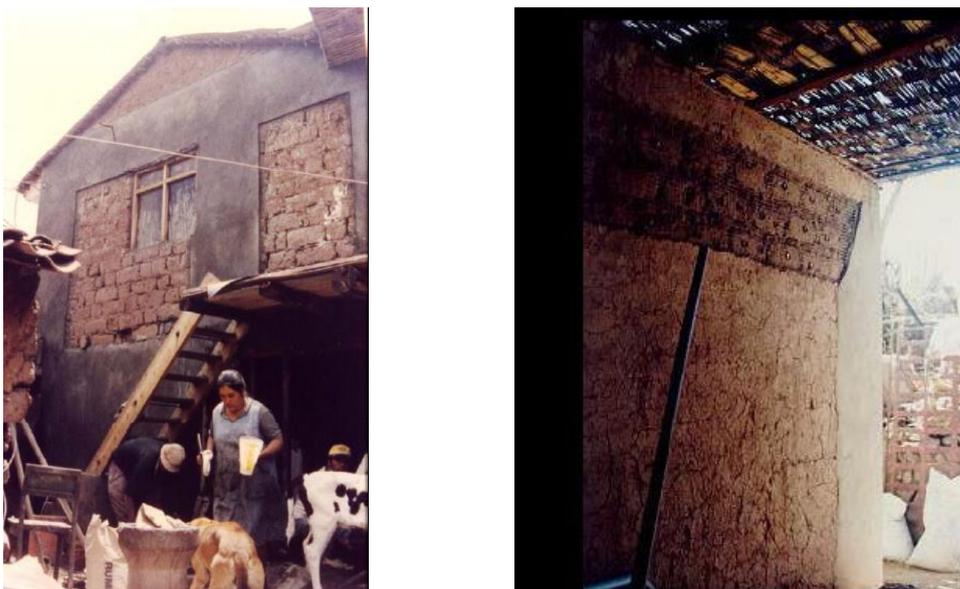


Figura 8: Ejemplo de fijación de la malla longitudinal y sus conectores.



5. Proteger a las mallas recubriéndolas con un tarrajeo cemento-arena fina 1:5 (Fig. 27).

Figura 9: Tarrajeo de la malla con mortero 1:5.



2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Adobe

Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010, p. 6)

2.3.2. Malla electrosoldada

Es una estructura de acero plana formada por alambres de aceros lisos, longitudinales y transversales -soldados en sus intersecciones, lo que la convierte en una estructura resistente (Mannise, 2012, p. 8).

2.3.3. Estructura metálica

Por estructura metálica se entiende cualquier estructura cuyas partes son en su mayoría materiales metálicos. Las estructuras metálicas son utilizadas habitualmente en el sector industrial debido a que aportan excelentes características para la construcción (Barona, 2010, p. 16).

2.3.4. Agua.

Activa las fuerzas aglutinantes del barro. Aparte del agua libre, existen tres tipos diferentes de agua en el barro: agua de cristalización (agua estructural), agua absorbida y agua capilar (agua de poros).

2.3.5. Arriostre.

Elemento que impide el libre desplazamiento del borde del muro. El arriostre puede ser vertical u horizontal. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010)

2.3.6. Curado.

La experiencia ha demostrado que la cohesión del barro incrementa mediante este proceso. Este fenómeno es probablemente debido a la atracción electroquímica entre los diferentes minerales arcillosos que lo fuerza a adoptar una estructura más compacta y ordenada (Kuroiwa, 2005, p. 10).

2.3.7. Esbeltez.

Relación entre la altura libre del muro y su espesor. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010, p. 7)

2.3.8. Mortero.

Material de unión de los adobes. Puede ser barro con paja o con arena, o barro con otros componentes como asfalto, cemento, cal, yeso, bosta, etc. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010, p. 6)

2.3.9. Resistencia a la compresión.

Resistencia a la compresión de elementos de construcción secos hechos de tierra compactada difiere generalmente de 5 a 50 kg/cm². (Minke, 1994, p. 40)

2.3.10. Resistencia a la flexión.

Depende fundamentalmente del contenido de arcilla y del tipo de minerales de arcilla.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

La ubicación del trabajo de investigación tanto temporal como geográfica será expuesto en este capítulo, además se identifican los diferentes recursos, equipos y herramientas, y se explica la metodología a seguir para desarrollar el trabajo experimental de laboratorio, con este fin, se establecen parámetros fijos y parámetros variables que permitan llevar un procedimiento de manera ordenada; indicando para cada caso el tratamiento y tipo de análisis de los datos y la forma en que se presentarán los resultados respectivos.

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

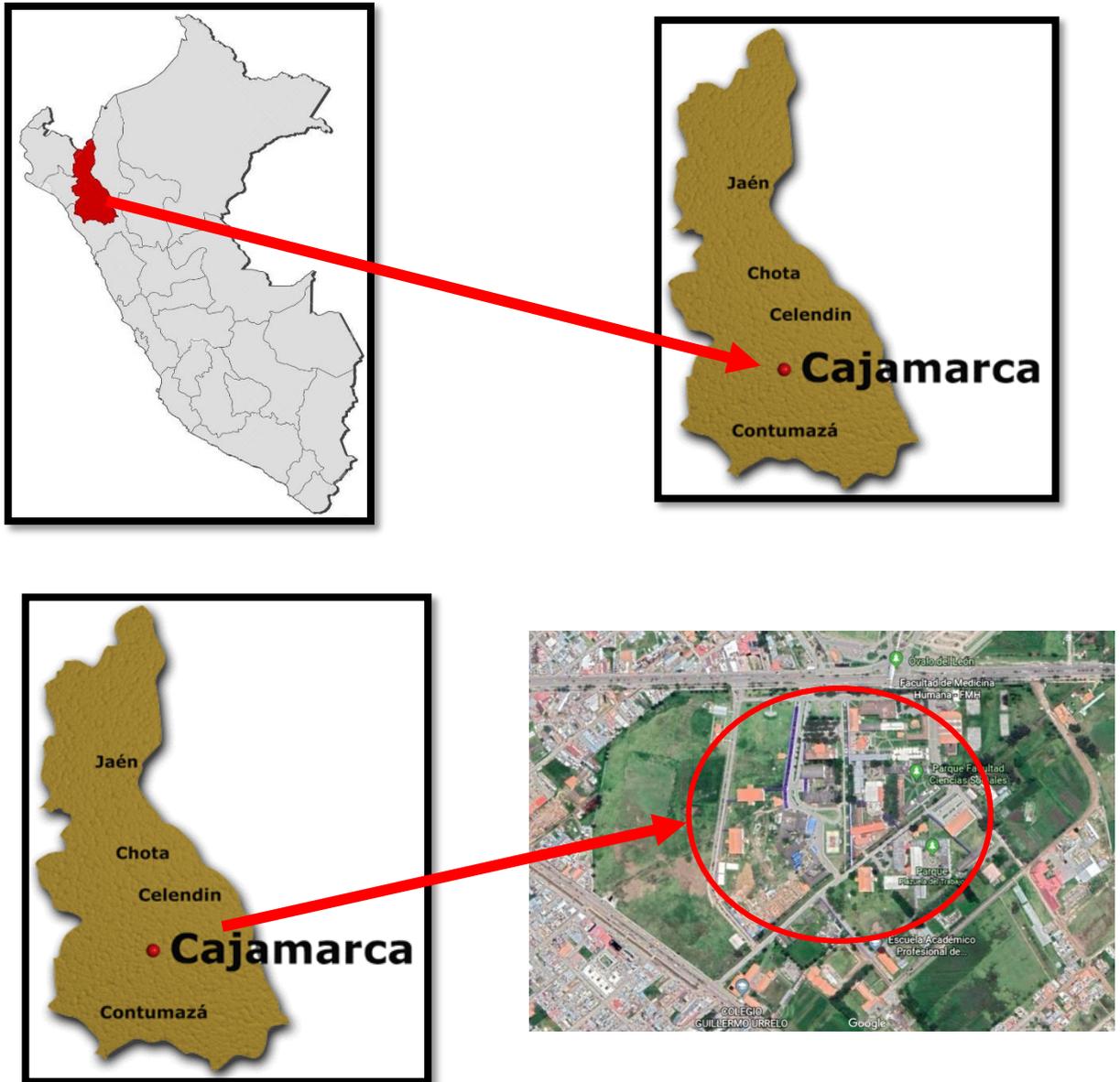
El proyecto de investigación está enmarcado dentro de los límites de la zona monumental “A” del centro histórico de la ciudad de Cajamarca, en el distrito, provincia y departamento del mismo nombre. El área de estudio está comprendida entre los 2719 y 2759 m.s.n.m.

En el caso de la ciudad de Cajamarca, mediante Resolución Suprema N° 2900-72-ED, del 28 de diciembre de 1972, se fijaron los límites de la zona monumental de la ciudad de Cajamarca; Asimismo, por Ley N° 23494 del 18 de noviembre de 1982 se declara a la ciudad de Cajamarca monumento histórico, y por Ordenanza Municipal N° 007-94-CMPC, del 04 de octubre de 1994, y Resolución Directoral N° 020-94-INC/FC, del 07 de julio de 1994, se aprueba el Reglamento para la zona monumental de la ciudad de Cajamarca; por tanto la zona monumental de Cajamarca comprendida dentro del perímetro siguiente: jirón Ucayali que se convierte en Hualgayoc, Avenida Mario Urteaga . Av. El maestro, Av. Casanova, jirón San Sebastián, doblando sobre la Av. Perú, incluyendo el Cerro Santa Apolonia y cerrando con el jirón Sullana hasta empalmar nuevamente con el jirón Ucayali; forma parte del Patrimonio Cultural de la Nación, siendo, por tanto, fundamental su protección y conservación.

En la presente investigación, para cumplir uno de los objetivos, los adobes fueron fabricados en el centro poblado Aylambo para su construcción de dos muros uno reforzado y otro sin reforzar, en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), la cual se encuentra ubicada

en la Av. Atahualpa N° 1050, en la ciudad de Cajamarca, Norte del Perú. Con coordenadas UTM: 9 206 975-N y 776 618-E y una altitud de 2687 msnm.

Figura 10: Ubicación geográfica del lugar donde se desarrolló la investigación



Fuente: Google Earth (2019)

La cantera adobera Aylambo, se encuentra ubicada la salida a la costa de la ciudad de Cajamarca, Norte del Perú. Con coordenadas UTM: 9 204 820-N y 774 710-E.

3.2 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se desarrolló en la Región, Provincia y Distrito de Cajamarca y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, en las instalaciones de los laboratorios de materiales.

La investigación ha sido transversal, y se desarrolló en el lapso comprendido entre los meses de enero a octubre del 2019.

3.3 RECURSOS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

- ***Recursos Humanos:***

- Tesista: Bach. Ing. DANY ROHEL TACILLA ALVARADO
- Asesor: Mag. Ing. MAURO CENTURION VARGAS
- Otros colaboradores.

- ***Recursos Materiales:***

- Tierra (arena, arcilla y limo).
- Paja o ichu.
- Agregados: Piedra de ½ pulg y arena gruesa
- Cemento Portland Tipo 1 – Pacasmayo.
- Agua Potable.
- Malla electrosoldada
- Tubos metálicos
- Chapas de botella de vidrio
- Clavos de 2, 2 ½ y de 3 pulg
- Plancha metálica de 3/8 pulg
- Probetas de concreto (para sobrecarga)
- Alambre #8

- Aceite, para máquina de corte lateral.
- Aluminio de 15cm x 15cm

- ***Maquinaria Utilizada:***
 - Máquina Universal para Compresión.
 - Maquina cortadora (moladora).

- ***Equipo Utilizado:***
 - Adoberas de madera mellizas, espátula, cucharón, badilejos, baldes graduados, jarras graduadas, planchas de triplex, frascos de vidrio, Brocha
 - Computadora, cámara fotográfica, filmadora.
 - Deformímetro (micrómetro).
 - Vernier (Para medir ancho de grietas)
 - Guantes, botas de jebe, franelas, plásticos, sacos (costales), bolsas, baldes, latas.
 - Cronómetro o reloj
 - Carretillas
 - Nivel de ingeniero

- ***Herramientas Utilizadas:***
 - Palana (pala), pico, martillo, comba, cincel, wincha, regla, alicate, nivel

- ***Herramientas Eléctricas***
 - Máquina de soldar
 - Amoladora

- Taladro
- Rotomartillo

3.4 METODOLOGÍA A SEGUIR EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. Tipo, nivel, diseño y método científico

La investigación es una investigación aplicada, cuantitativa, experimental, transversal y descriptiva comparativa.

Tabla 1: Resumen metodología de la investigación

CRITERIO	TIPO
Finalidad	Aplicada
Enfoque metodológico	Cuantitativo
Objetivos	Descriptiva
Fuente de datos	Primaria
Diseño de prueba de hipótesis	Experimental

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2. Metodología para selección de mejor alternativa la malla electrosoldada y estructura metálica, frente a la Geomalla.

Para la selección de mejor alternativa se propone cuatro procesos:

El primer proceso consiste en usar la técnica general del Brainstorming o Tormenta de ideas para recabar todas las posibilidades, y alternativas de reforzamiento para su posterior evaluación. Los miembros del equipo del proyecto de reforzamiento deben registrar esta lista.

El segundo proceso trata de la evaluación y refinación de esta lista de posibilidades con la finalidad de que queden dos o tres alternativas consideradas como las mejores candidatas de alternativas de reforzamiento de llevarlos a cabo.

El tercer proceso estriba en un diseño preliminar de las alternativas consideradas como las mejores candidatas para fines de estudios comparativos.

Finalmente, el cuarto proceso implica la comparación de dichas alternativas con sus respectivos diseños preliminares. Para ello se utiliza un índice de factibilidad (INDECI, 2006 y CENAPRED, 2006). Este índice mide la viabilidad de llevar a cabo una alternativa de mitigación en la comunidad. Para determinar este índice se deben de identificar factores técnicos, sociales y económicos que influyan en el desempeño y la posibilidad de réplica. Cada factor tendrá un valor y un peso en el cálculo del índice. El valor del índice se obtendrá de la suma ponderada de cada factor tal como indica la siguiente fórmula:

$$I = W_1.F_1 + W_2.F_2 + W_3.F_3 + \dots + W_n.F_n \quad , \quad \sum_{i=1}^n W_i = 1$$

- I : Índice de factibilidad,
 Wi : Peso asignado al Factor “i” (Fi),
 Fi : Factor de desempeño “i”.

Este índice de factibilidad (I) tendrá valores entre 0 y 100, donde el 0 representa una alternativa de reforzamiento poco viable de implementarlo, y por el contrario, un índice del 100 indicaría que la alternativa es bastante buena y viable para llevarlo a cabo y sea aceptada totalmente. De esta forma si se analiza dos o tres alternativas evaluando sus respectivos índices de factibilidad, la mejor alternativa será la de mayor puntaje (Acosta y Durand, 2012, p. 34).

Si se verifica que la estructura no es segura frente a terremotos se debe realizar las siguientes dos etapas:

1. Selección de mejor alternativa de reforzamiento para la edificación de adobe.
2. Análisis y diseño de la alternativa seleccionada.

Previamente a la selección de la mejor alternativa, se deben realizar una a dos visitas in situ, para conocer la situación actual y reconocer qué factores pueden incidir a favor o en contra durante el trabajo de reforzamiento. El levantamiento de información de la estructura a reforzar servirá también para elaborar planos de arquitectura. Además de consultar con los pobladores del lugar sobre posibles sucesos que puedan afectar de manera directa o indirectamente a la estructura (Acosta & Durand, 2012, p. 36)

3.4.2.1. Selección de Mejor Alternativa

(a) Factores de Desempeño (Fi).

Para la obtención del índice (I) se han considerado factores que tienen una relación directa con las condiciones sociales y económicas de la comunidad, la calidad y seguridad de la edificación a reforzar, y en general el nivel de sostenibilidad de las diferentes alternativas. (Acosta y Durand, 2012, p. 19).

A continuación, se presenta un listado de seis factores, identificados en la literatura y a nuestro juicio como los más influyentes en el proceso de seleccionar una alternativa de mitigación:

(b) F1: Factor Costo Inicial de reforzamiento.

El costo inicial de reforzamiento es importante dado que permite tomar una decisión en base a establecer una comparación de presupuesto entre el costo de un reforzamiento con el costo de una casa nueva de adobe (Harmsen, 2005, p. 24).

(c) F2: Factor Seguridad y Comportamiento.

Según Madueño (2005) la mayoría de los códigos de diseño sísmico establecen requerimientos mínimos de diseño que permiten que la mayoría de los proyectos o edificios cumplan con lo siguiente:

- Resistir sin daños sismos pequeños.
- Resistir sismos moderados sin que haya daño estructural de importancia, siendo admisible daños en elementos no estructurales.
- Resistir un sismo fuerte sin falla grave del sistema estructural del edificio, manteniendo la seguridad de la vida.

Estos objetivos generales de desempeño han sido propuestos por el Comité Visión 2000 - SEAOC. Últimamente se incluyen aspectos relacionados como la continuidad de los servicios y la reparación futura. Por ello, uno de los principales factores que debe tomarse en cuenta para evaluar una alternativa de reforzamiento es la seguridad que la

edificación proporcione a sus habitantes y el buen comportamiento que tendrá durante los distintos niveles de sismos (Quiun, Bartolomé, Zegarra y Giesecke, 2008, p. 43).

(d) F3: Factor Recursos y Facilidad en la Construcción.

En los últimos años, muchos manuales y guías prácticas de construcción de casas de adobe, tapial y quincha están orientados para que sean usados por la comunidad en general. De lo contrario se necesitaría mayor capacitación o la asesoría de un profesional en la materia (agente externo) permanente durante la construcción (Juárez, 2004, p. 12).

(e) F4: Factor Disponibilidad de Materiales.

Es imprescindible que los materiales sean de fácil acceso y disponibilidad. En un refuerzo sísmico de viviendas de adobe es posible utilizar materiales naturales debido a su disponibilidad en el lugar. En otros casos se puede optar por materiales de refuerzo alternativo y de producción industrial que son factibles de conseguir y que a la vez permiten implementarlo de forma masiva. El mayor acceso al abastecimiento de materiales en cuanto a distancia, forma de transporte y tiempo hacen de la alternativa más manejable por parte de quienes lo van a implementar (Charleson, 2011, p. 16).

(f) F5: Factor Impacto Ambiental.

El crecimiento exponencial de la construcción altera significativamente el ambiente (ejemplo: las emisiones tóxicas de las fábricas de cemento, acero, ladrillo), por ello es necesario exponer la problemática de los aspectos ambientales que son originados en dicho sector (*Valdivia, 2004*). Por tanto, el factor ambiental es considerado en la evaluación y selección de una alternativa de reforzamiento en edificaciones de adobe (Torrealva, 2009, p. 15).

(g) F6: Factor Imaginario de la Población.

El imaginario de una población son las relaciones entre los seres humanos, grupos sociales y las instancias de poder económico y político, así como también la cultura, los valores y estética de la población. Un programa de mitigación introducido por un agente externo en una población no sólo debe involucrar el imaginario formal propio de los ingenieros o técnicos, sino que deberían incluir los imaginarios reales de la población

(Lavell, 1997). Cuando el programa no encuentra forma de acomodarse en estos imaginarios reales entonces ocurre que es rechazado o abandonado. Entonces, el proyecto tiene éxito en la comunidad solo cuando la propuesta llega a integrarse conjuntamente con el imaginario real de la población. Por todo ello, se considera este factor importante para la selección de la mejor alternativa de reforzamiento (Quiun, et al, 2008, p. 56).

En los capítulos siguientes se propone la escala de valores para los seis factores mencionados. En el caso del factor costo inicial, el valor se obtiene directamente aplicando una fórmula. Para los demás factores se crearon tablas de rangos y valores con puntajes entre 0 y 100 de acuerdo a su desempeño. La elección del valor entre un rango de valores será a criterio del ingeniero.

i. Factor Costo Inicial (F1)

El factor de costo inicial (F1), depende de la viabilidad económica definida en la ecuación (a) como el cociente del costo inicial de reforzamiento por metro cuadrado de área construida, entre el valor unitario oficial de muros de adobe para zonas rurales publicado por el Ministerio de Vivienda 2011. El resultado nos indica qué tan viable es económicamente la técnica de reforzamiento con relación a construir una nueva estructura (Acosta y Durand, 2012)

$$Viabilidad\ de\ costo = \left(\frac{COSTO\ INICIAL\ DEL\ REFORZAMIENTO/M2}{VALOR\ UNITARIO\ OFICIAL\ DE\ CONSTRUCCION\ DE\ ADOBE/M2} \right) \% \quad \dots(a)$$

La viabilidad de costo se aplica para comparar costos iniciales de alternativas de reforzamiento, y no refleja la viabilidad económica del reforzamiento con respecto a un presupuesto familiar.

Luego de determinada la viabilidad, calculamos el factor de costo inicial (F1) con la siguiente ecuación (b):

$$F_1 = 100 - Viabilidad\ de\ costo \quad (F_1 \geq 0) \quad \dots (b)$$

Los valores obtenidos son desde 0 a 100. La alternativa que tenga mayor puntaje será la más adecuada económicamente con relación a construir una edificación nueva de adobe.

ii. Factor seguridad y Comportamiento (F2)

La seguridad se relaciona con el tipo de falla de la edificación. Las fallas frágiles se caracterizan por la rotura o colapso de los elementos, la cual se produce de forma súbita. La falla ocurre cuando la demanda iguala a la resistencia. Mientras no se sobrepase la resistencia, la estructura se mantendrá intacta. Las estructuras con falla dúctil se caracterizan por permitir que se produzcan grandes deformaciones en la estructura antes de colapsar. Físicamente la estructura se degrada (por liberación de energía) antes de llegar a la rotura (Neves y Borges, 2011, p. 51).

La falla dúctil da a los ocupantes suficiente tiempo para salir de sus casas durante un sismo. Lo importante de la falla dúctil es que avisa o se puede apreciar como poco a poco el muro va degradándose antes de colapsar. Sin embargo, la estructura podría quedar deteriorada y requerir de reparaciones. La falla frágil, al ocurrir de manera súbita, pone en riesgo a las personas que están próximos a la edificación (Acosta y Durand, 2012, p, 23).

En sismos pocos severos, pero más frecuentes las edificaciones de adobe son afectadas en mayor o menor proporción en función de la resistencia, rigidez o regularidad estructural. Los costos de reparación de daños serán menores o nulos cuando se tenga buena resistencia estructural (comportamiento ideal de una edificación). Por el contrario, en sismos frecuentes o moderados se deberá realizar reparaciones futuras que pueden comprometer la continuidad de los servicios y la economía de los usuarios si es que no se cuenta con una resistencia estructural adecuada. (Acosta y Durand, 2012)

La escala de valores propuestos para el factor seguridad y comportamiento son mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2: Factor Seguridad y Comportamiento (F₂)

Características propias de las alternativas de reforzamiento	Valor Asignado (F2)
Falla frágil y poca resistencia (reparaciones continuas)	0 - 25
Falla frágil y buena resistencia (reparaciones ocasionales)	25 - 50
Falla dúctil y poca resistencia (reparaciones frecuentes)	50 - 70
Falla dúctil y buena resistencia (muy pocas reparaciones)	70 - 100

Justificación de los valores asignados:

A la falla dúctil con buena resistencia se le da un valor de 100 porque corresponde a un buen comportamiento estructural de la edificación y es segura para los habitantes. Asimismo, no va a requerir de reparaciones en sismos frecuentes. A la falla frágil y buena resistencia se le puede asignar un valor entre 25 y 50 porque la estructura no va a sufrir gran daño debido a sismos moderados manteniendo segura a la estructura, sin embargo, en el caso de sismo muy severo la estructura tiene una alta posibilidad de colapso súbito. A la falla dúctil y poca resistencia se le asigna un valor de 50 a 70 porque, aunque no tenga suficiente resistencia para sismos frecuentes y severos (motivo de reparaciones en la estructura), la estructura sí tiene buena capacidad de deformación en sismos severos sin colapso súbito o un posible colapso retardado avisando a los ocupantes de las edificaciones de adobe la evacuación progresiva antes de un posible colapso (Madueño, 2005, 65).

iii. Factor Recursos y Facilidad de Construcción (F3)

Este factor F3 mide cualitativamente la facilidad de las alternativas de reforzamiento para que sea llevado a cabo por los propios pobladores de la comunidad. En la Tabla 4. Se propone la escala de valores para el factor F3 (Astorga y Aguilar, 2006, p. 23).

Tabla 3: Factor Recursos y Facilidad de Construcción (F₃)

Descripción	Valor
Asesoría permanente de técnicos y/o profesional. Requiere el uso permanente de equipos mayores (mixers, retroexcavadoras, etc.)	0 - 25
Asesoría parcial de técnicos y/o profesionales requiere relativamente el uso de equipos (compactadoras manuales, vibradoras, etc.)	25 - 50
Capacitación mínima. Requiere equipos menores (trompos, winches, etc.)	50 - 70
Capacitación mínima. Requiere el uso de herramientas menores	70 - 100

Justificación de los valores asignados:

A la asesoría técnica permanente y al uso de equipos mayores como maquinarias pesadas se le asigna un valor de 0 a 25 dado que la comunidad dependería de profesionales

durante la construcción y lo que se desea es que los pobladores sean los protagonistas del reforzamiento. Cuando una alternativa de reforzamiento requiera de capacitación mínima y uso de herramientas menores tiene mayor probabilidad de aceptación y de ejecutarse en la comunidad y con posibilidad de réplica. Una alternativa en estas condiciones se le puede asignar un valor comprendido entre 75 a 100 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

iv. Factor Disponibilidad de Materiales (F4)

Las comunidades en donde se construye estructuras de adobe generalmente se encuentran en provincias fuera de Lima, en donde la mayoría de los casos la disponibilidad de los materiales para reforzamiento es un problema real. Es por ello que se le asigna al factor disponibilidad F4 los siguientes valores presentados en la Tabla 4. (Acosta y Durand, 2012)

Tabla 4: Factor Disponibilidad de Materiales (F₄)

Descripción	Valor
Disponibilidad remota (Distribuidores y fabricantes extranjeros)	0 - 25
Disponibilidad mínima (Distribuidores en pocas ciudades a nivel nacional: Lima, Arequipa, Pacasmayo, etc.)	25 - 50
Disponibilidad regular (Proveedores en poblados aledaños)	50 - 70
Disponibilidad inmediata (Los materiales se encuentran disponibles a nivel local)	70 - 100

Justificación de los valores asignados:

Cuando los materiales se adquieren mediante proveedores y/o fabricantes en el extranjero, la disponibilidad de los materiales es casi remota y por ello se le asigna un valor de 0 a 25 (a criterio de quien lo evalúa). Mientras que para los materiales que se pueden adquirir dentro de la misma comunidad o zona, la disponibilidad es casi inmediata y se le puede asignar un valor de 75 a 100 (Barona, 2016, p. 45).

v. Factor Impacto Ambiental (F5)

Para poder evaluar el impacto ambiental, específicamente sobre el medio ambiente de cada alternativa se usará el análisis de ciclo de vida (ACV) de los principales insumos de cada alternativa. El principio de análisis de ciclo de vida, implica que los insumos de la construcción sean analizados desde la etapa de explotación de los recursos naturales y generación de energía requerida, hasta la disposición final de los residuos generados directa o indirectamente (Valdivia, 2009). Haciendo uso de esta metodología ACV se puede tener ciertos criterios de selección de materiales a usar; o utilizar esta herramienta con fines de análisis comparativos entre alternativas (Harmsen, 2005, p. 44). La escala de valores para el factor F5 son presentados en la Tabla 5. (Acosta y Durand, 2012)

Tabla 5: Factor Sostenibilidad e Impacto Ambiental (F5)

Descripción	Valor
Impacto ambiental negativo, en especial sobre agua, suelo. La mayoría de materiales que componen la técnica no son reutilizables	0 - 25
Impacto ambiental negativo, en especial sobre agua, suelo. La mayoría de materiales que componen la técnica son reutilizables	25 - 50
Impacto ambiental mínimo en el agua y en el suelo. Todo el material que compone la técnica es reutilizable	50 - 70
No hay impacto ambiental por actividad antrópica	70 - 100

Justificación de los valores:

A las alternativas de reforzamiento que impactan negativamente en el ambiente, sobre todo en el uso del agua, que es muy escasa en comunidades rurales alejadas, se le asigna al factor F5 un valor de 0 a 25. Si la alternativa tiene un mínimo impacto sobre el agua o suelo y si los materiales a utilizar son reciclables se le asigna un valor de 25 a 75 dependiendo de cada caso y del criterio de quien lo evalúa. Por otro lado, pueden existir alternativas cuyo impacto sea nulo, en este caso se le asigna un valor de 75 a 100 (Astorga y Aguilar, 2006, p. 56).

vi. Factor Imaginario de la Población (F6)

Para el factor imaginario de la población se ha considerado alguna experiencia que haya tenido la población con algún tipo de reforzamiento y este le haya parecido aceptable. La escala de valores del factor F6 se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6: Factor Imaginario de la Población (F₆)

Descripción	Valor
No se conoce de la alternativa de refuerzo	0 - 25
Se conoce el reforzamiento y no se ha tenido experiencia o no es aceptado por la comunidad	25 - 75
Se conoce el reforzamiento se ha tenido experiencia y ha sido aceptado por la comunidad	75 - 100

Justificación del valor:

Cuando no se conoce la técnica de reforzamiento se le puede dar al factor F6 un valor entre 0 a 25 porque no incide mucho en la elección de una alternativa que pueda ejecutarse o replicarse en la comunidad. Por otra parte si se conoce la alternativa de reforzamiento y no se ha tenido experiencia con el método puede ser que sea evaluado por la comunidad como una opción eficaz para considerarlo como la mejor de las propuestas de reforzamiento. En ese caso se le asigna un valor entre 25 a 75 al factor F6. En cambio, si la población se siente identificada con una propuesta que ha sido ejecutada previamente, han tenido la experiencia de haber trabajado con dicha propuesta y va acorde con sus necesidades e imaginario propia de la población, entonces se le asigna al factor F6 un valor entre 75 a 100 porque la posibilidad de réplica por iniciativa propia de la comunidad es mayor (PNUD, 2008).

Luego de la evaluación de los seis factores para cada alternativa, se aplica la fórmula del Índice de Factibilidad, obteniéndose valores entre 0 y 100, los cuales decidirán la mejor alternativa de reforzamiento para la comunidad.

3.4.3. Metodología para el ensayo de muros reforzado y sin reforzar

Se realizó una comparación experimental entre un muro reforzado con malla electrosoldada y estructura metálica ante otro sin reforzar, cabe señalar que los adobes fueron comprados del Centro Poblado Aylambo. Para poder analizar las cargas –

Deformaciones, respectivas. La secuencia que se ha utilizado para instalar la malla es la siguiente (Fuente propia):

1. Se fijó tubos metálicos en los pernos anclados al piso del laboratorio, con la finalidad de fijar la cimentación del muro.



Figura 11. Anclajes para fijación de cimentación

2. Se construyó la cimentación del muro con concreto simple.



Figura 12. Encofrado y vaciado de concreto en cimentación

3. Se procedió a levantar el muro de adobe, juntas de 1.5cm.



Figura 13. Asentado de adobes sobre cimentación



Figura 14. Vista de ambos muros ya construidos

4. Se procedió a hacer las perforaciones (5cm x 5cm) del muro a reforzar para la instalación de los conectores cada 50 cm. Ayudado de un taladro, la separación de estas perforaciones tiene que ser de 50 centímetros.



Figura 15. Haciendo perforaciones.

5. Se instaló los conectores (Alambre de amarre Nro 8), sellado y rellenado cada agujero con confitillo y cemento. Asegurando que el alambre sobre 15 cm a cada lado del muro.



Figura 16. Instalación de conectores

6. Se instaló la malla electrosoldada en los bordes del muro y en ambas caras (50cm del borde), teniendo cuidado que los pasantes (alambre Nro 8) queden rectos.



Figura 17. Malla electrosoldada instalada

7. Se pintó el muro de color blanco y se aseguró la malla y el muro con chapas y clavos de 3 pulgadas cada 25 cm



Figura 18. Fijación con chapas.

8. Se aseguró en cada conector con lata de 15cm x 15cm, asegurado con clavos de 3pulg. Así como se muestra la figura



Figura 19. Fijación con lata.

9. Se instaló la estructura metálica asegurada a la malla electrosoldada y al muro. Además, se colocó una sobrecarga con probetas de concreto, simulando una carga repartida de 175 kg/cm²

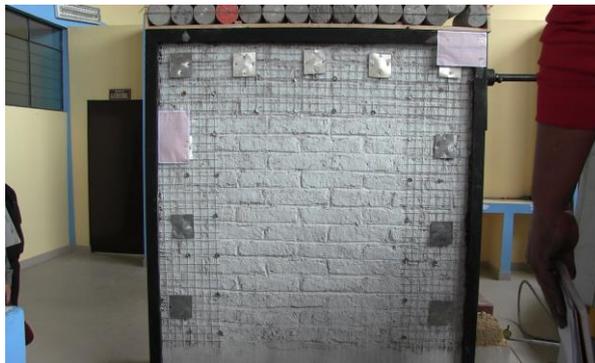


Figura 20. Muro terminado



Figura 21. Muro reforzado terminado vista posterior

3.5 TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Después de un estudio realizado por la PUCP, que determina que los mejores métodos de reforzamiento son la Geomalla y la Malla electrosoldada de acuerdo al proceso de Brainstorming y por ser alternativas con sustento teórico experimental, aplicadas en proyectos anteriores y que han demostrado eficacia en terremotos reales (Astorga y Aguilar, 2006, p. 61).

Para la realización de la presente tesis, se consultó a 5 ingenieros civiles. La pregunta planteada considerando solo las dos alternativas fue la siguiente:

¿Qué técnica de reforzamiento externo, aplicaría a las viviendas de adobe ubicadas en el Centro Histórico de la ciudad de Cajamarca? Indicar por qué.

- a) Geomalla
- b) Malla electrosoldada

Respuesta Ingeniero A: “Geomalla, porque hay varios estudios de este tipo de refuerzo en la Pontificia Universidad Católica del Perú”.

Respuesta Ingeniero B: “Geomalla, porque se ha comprobado que es muy resistente en este tipo de viviendas”.

Respuesta Ingeniero C: “Malla electrosoldada, porque afecta mucho menos al medio ambiente además hay estudios que resultaron ser eficientes como refuerzo”

Respuesta Ingeniero D: “Malla electrosoldada, porque se necesitaría menos anclajes de amarre”

Respuesta Ingeniero E: “Malla electrosoldada, porque son más económicas y más resistentes”

A continuación, se procede a determinar la mejor alternativa (Geomalla o Malla electrosoldada) de reforzamiento, para un caso particular de una edificación de adobe, en

la dirección jirón Amalia Puga N° 360, entre los jirones de Tarapacá y Amalia Puga, en el local del partido político APRA. Ubicado en el Centro Histórico de la Ciudad de Cajamarca

3.5.1. Aplicación de metodologías para una edificación como alternativa de reforzamiento

3.5.2. Características locales

3.5.2.1. Ubicación

Región	:	Cajamarca
Provincia	:	Cajamarca
Distrito	:	Cajamarca
Dirección	:	Jr. Amalia Puga N° 360 Intersección con el Jr. Tarapacá

La edificación de adobe se encuentra ubicada en la zona monumental de la ciudad de Cajamarca, en el jirón Amalia Puga N° 360, entre los jirones de Tarapacá y Amalia Puga, en el local del partido político APRA.

3.5.2.2. Altitud.

La ciudad se encuentra a una altitud de 2,708 m.s.n.m.

3.5.2.3. Topografía

La topografía de la ciudad es llana y ondulada.

3.5.2.4. Clima

El clima, es templado húmedo con precipitaciones entre los meses de Octubre - Abril y épocas de estiaje en los meses de Junio y Agosto, con una temperatura promedio de 14.0 °C.

3.5.3. Arquitectura de la edificación

3.5.3.1. Levantamiento arquitectónico

Se tomó medidas necesarias para el levantamiento arquitectónico para su posterior análisis de reforzamiento.

El equipo utilizado para el levantamiento:

- Wincha de 50 m.
- Wincha metálica de 5 m.
- Tablero de apuntes.

Después de realizar el trabajo de campo, se procedió al trabajo de gabinete donde se hizo uso del software Autocad para la elaboración de los planos de la edificación.

3.5.3.2. Arquitectura básica

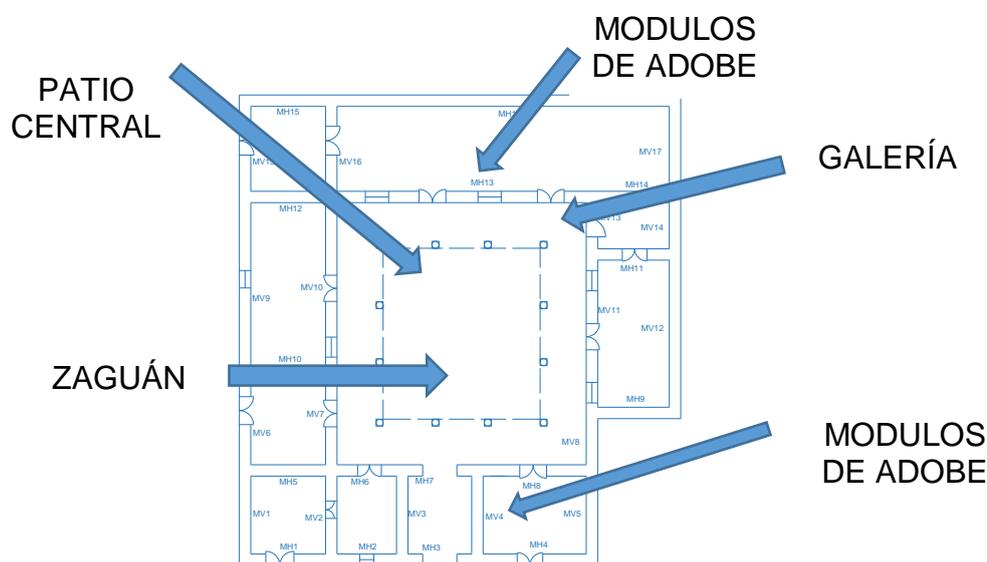
La edificación está conformada por un patio central, rodeado de ambientes propios de una edificación de adobe, también presenta un zaguán que conecta la calle con el patio central.

Además, presenta una galería que rodea al patio central, con pilares de madera soportadas por pedestales de piedra labrada.

La cobertura es de teja artesanal al igual que en la mayoría de las casonas que se encuentran en la zona monumental de la ciudad de Cajamarca.

La puerta principal presenta una portada elaborada de piedra labrada.

Figura 22. Arquitectura básica de la edificación de adobe.



Fuente: Propia

3.5.3.3. Características estructurales de la edificación

(a) Muros

Los muros son de abobe con ancho de 0.65 metros y presentan una altura de 5.15 metros.

Los muros no cuentan con ningún tipo de refuerzo, salvo por los muros ortogonales que sirven como arriostres verticales.

(b) Pilares

Son de madera eucalipto y se encuentran cubriendo la galería en el borde del patio central soportando parte del peso del techo. La edificación presenta 16 pilares de madera, 4 pilares por cada lado del patio. Estos pilares se encuentran apoyados sobre pedestales de piedra labrada.

(c) Entrepiso

Es de carrizo de 1 1/2" revestido con un cielorraso de yeso. Este entrepiso de carrizo esta soportado por vigas de madera de sección rectangular de 10x14 cm.

(d) Techo

Es a dos aguas con una pendiente aproximada de 22°. Está formado por una estructura de tijerales de madera rolliza de 6" de diámetro, con una viga cumbrera de 8" de diámetro y con viguetas de 3" de diámetro.

La cobertura en su mayoría es de teja artesanal colocada sobre una superficie de carrizo con torta de barro, y de calamina en los bordes del techo de las fachadas que dan a la calle.

El apoyo del techo en el muro no cuenta con una viga solera que refuerce el anclaje del techo en el muro.

CAPÍTULO IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE REFORZAMIENTO

A continuación, se procederá a realizar la selección de la mejor alternativa para la edificación señalada, siguiendo el procedimiento detallado en el Capítulo 3.1.

4.1.1. Factor Costo inicial F1: (De reforzamiento)

En estos casos de edificaciones en zona monumental no está permitido ninguna demolición, salvo en casos extremos como derrumbe de la edificación. Pero aun así consideramos el método propuesto para hallar el Factor de Costo Inicial.

Los costos iniciales por metro cuadrado de reforzamiento para vivienda del centro histórico, de ambas alternativas son mostrados en las Tablas 8 y 9.

El área total a reforzar es 117.47m²

Tabla 7: Presupuesto de reforzamiento con malla Electrosoldada y Estructura metálica

Elemento	Und	Cant	P.U	Parcial
Tubo metalico 4"x2"x2mm	Ml	115.6	18.4	2127.04
Malla electrosoldada	m2	115.6	16.25	1878.5
Concreto F'c=210 kg/cm2	m3	0.9387	320	300.384
Clavos + lata	Und	227.6	0.5	113.8
				4419.724

Tabla 8: Presupuesto de reforzamiento con geomalla.

Elemento	Und	Cant	P.U	Parcial
Geomalla	m2	554.14	5.73	3175.2222
Concreto F'c=210 kg/cm2	m3	1.8774	320	600.768
Pasadores	und	455.2	0.5	227.6
Anclajes a Cimentacion	und	269	2	538
				4541.5902

- El precio por metro cuadrado de reforzamiento con malla electrosoldada y estructura metálica es de 37.62 soles por metro cuadrado.
- El precio por metro cuadrado de reforzamiento con geomalla es de 38.66 soles por metro cuadrado.

Aplicando la fórmula de viabilidad de costos tenemos:

Por dato de diario oficial el peruano el valor unitario oficial de muros de adobe para la sierra publicado por el Ministerio de Vivienda 2019 es de S/. 172.54 (Ciento setenta y dos con 54/100 soles) por metro cuadrado

Reforzamiento con Malla electrossoldada y estructura metálica:

$$\text{Costo inicial con relacion al valor unitario oficial} = \left(\frac{37.62}{172.54} \right) \% = 22\%$$

Reforzamiento con Geomalla:

$$\text{Costo inicial con relacion al valor unitario oficial} = \left(\frac{38.66}{172.54} \right) \% = 22\%$$

Determinación del Factor de costo inicial. Aplicando la ecuación:

$$F_1 = 100 - \text{Viabilidad de costo}$$

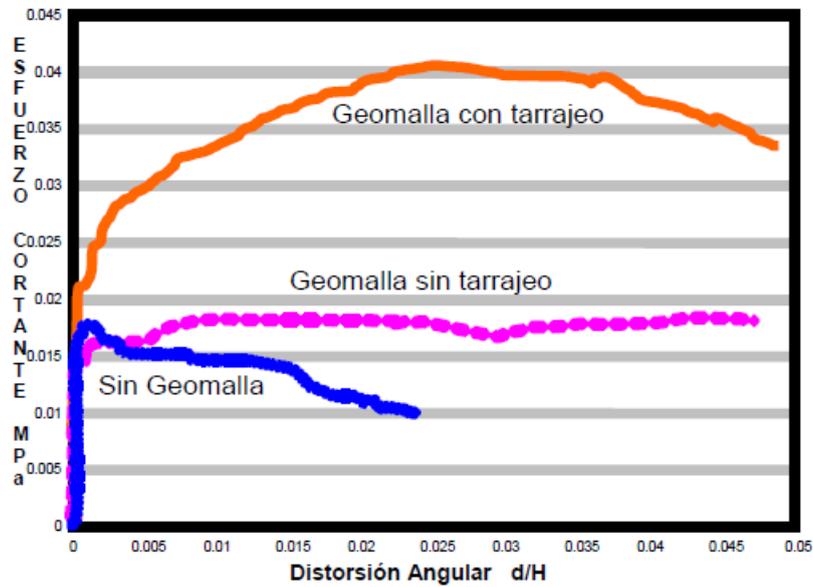
$$F_1(\text{Malla electrosoldada + estructura metálica}) = 78$$

$$F_1(\text{Geomalla}) = 78$$

4.1.2. Factor Seguridad y Comportamiento F2:

En el caso de la geomalla, esta garantiza un comportamiento post elástico adecuado tal como se comprobó experimentalmente durante los ensayos de muros reforzados con geomalla (Torrealva, 2009) realizado en los laboratorios de la PUCP (Ver Fig. 29).

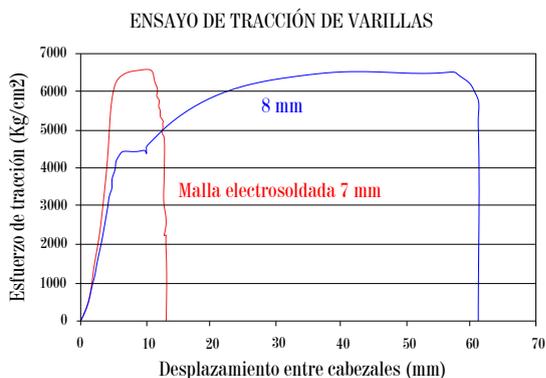
Figura 23. Ensayos de muros reforzados con geomalla



Gráfica de Esfuerzo cortante vs. Distorsión Angular con geomalla más tarrajeo de barro, con geomalla sin tarrajeo y sin geomalla (Torrealva, 2009)

- (1) El Valor Máximo del Esfuerzo Cortante = 0.4 kg/cm^2 .
- (2) La Distorsión Angular Máxima = 2.5%. (Asociada a 1)
- (3) Esfuerzo Cortante Máximo etapa plástica = 0.2 kg/cm^2

En un ensayo de concreto de placa con malla electrosoldada, el incremento de resistencia al corte proporcionado por la malla electrosoldada fue prácticamente lineal, hasta que se produjo su fractura (por una u otra acción), esto se refleja también en los ensayos de tracción que se hicieron sobre las varillas de la malla, a diferencia del acero convencional que tiene un escalón de fluencia, como se muestra a continuación (San Bartolomé, 2010, p. 15).



Dado que la geomalla no aumenta la resistencia de la estructura de forma considerable pero si favorece a la falla dúctil dando a los habitantes la posibilidad de una evacuación progresiva evitando el colapso súbito, Según la Tabla 3, la alternativa de la geomalla se le asigna un valor F2 de 70.

Por otro lado, los resultados de ensayos realizados en la PUCP el reforzamiento de muros con la técnica de la malla electrosoldada y la evaluación post sismo de viviendas reforzadas con esta alternativa, indican que esta técnica resulta ser segura y aunque la malla electrosoldada no tiene la capacidad de deformación adicional, esta sí dota de suficiente resistencia a la estructura que en sismos frecuentes a moderados las reparaciones de daños y/o el costo social es casi nulo, es decir tiene un buen comportamiento. Pero si la demanda supera dicha resistencia en sismos fuertes o severos la falla es grave y súbita (comportamiento frágil). Por eso a la malla electrosoldada se le asigna un valor F2 de 50.

4.1.3. Factor Recursos y Facilidad de Construcción F3

La geomalla requiere muchas perforaciones a lo largo y ancho de todos los muros de adobe, no es así, para la malla electrosoldada por requerir un número mucho menor de agujeros en los muros de la edificación. Según la Tabla 4. A la geomalla asignamos un valor de 60 y a la malla electrosoldada un valor de 75. Sin embargo, para ambas se puede usar un taladro para la perforación de agujeros que se utilizan para la colocación de la malla. Así mismo tanto la malla electrosoldada como la geomalla requieren el uso de trompo, capacitación mínima y mano de obra con experiencia para la dosificación de tarrajeo de cemento (malla electrosoldada) y la dosificación de la cimentación de anclaje (geomalla).

4.1.4. Factor Disponibilidad de Materiales F4

Según la Tabla 5. a la geomalla asignamos un valor de 50, debido a que es un material geosintético importado que solo puede ser adquirida en proveedores autorizados de la ciudad de Lima. Mientras que a la malla electrosoldada asignamos un valor de 75, puesto que se obtiene de la misma ciudad de Cajamarca. En ambas alternativas el cemento

requerido, tanto para el tarrajeo de la malla electrosoldada como para la cimentación de la geomalla, se puede obtener en la misma ciudad de Cajamarca.

4.1.5. Factor Impacto Ambiental F5

4.1.5.1. Principal insumo de la geomalla que afecta al medio ambiente: Geosintéticos

Las geomallas son materiales geosintéticos que consisten en una superficie uniforme formada principalmente por poliéster, polipropileno y/o polietileno de alta intensidad presentada en forma de rectángulo en forma de tiras y unida por un punto llamado nodo (Lazo, 2016, p. 12).

Los geosintéticos son materiales, principalmente fabricados con productos derivados del petróleo, originalmente usados en aplicaciones de ingeniería geotecnia, utilizados para mejorar, cambiar o mantener las características del suelo con el que interactúan (Manisse, 2012, p 40).

Los materiales geosintéticos son los fabricados a partir de varios tipos de polímeros derivados del petróleo y que son usados para mejorar y hacer posible la ejecución de ciertos proyectos de construcción de ingeniería civil y geotécnica, como anticontaminación, redistribución de esfuerzos, refuerzo de tierra, filtración, drenaje, protección, control de la permeabilidad y otras funciones (Lazo, 2016, p. 23).

Los geosintéticos son productos de última tecnología, cuyo campo de acción abarca temas como el control de la erosión, drenaje y filtración, o relleno sanitario, entre otros.

4.1.5.2. Fabricación geomalla

Para la producción de la geomalla se utiliza como materia prima resina de polímeros estabilizados. Entre sus principales propiedades están las de resistencia a la tracción, propiedades de durabilidad y propiedades relativas a la degradación de rayos UV y agentes agresivos externos. En los climas húmedos o calientes la geomalla mantiene su estructura y composición original (Acosta y Durand, 2012, p. 64).

Inicialmente se tienen laminas del material en el que se realizan perforaciones, cuadradas o elípticas, de forma uniforme y controlada sobre toda la lámina, según el caso la lámina perforada recibe un estiramiento en una o dos direcciones, el cual se realiza a temperaturas y esfuerzos controlados para evitar la fractura del material mientras que se orientan las moléculas en el sentido de la elongación (Kuroiwa, 2004, p. 28).

4.1.5.3. Uso de geomalla

Su instalación para el reforzamiento de adobe es simple no requiere de mayor destreza para su implementación en el proyecto. La geomalla es muy resistente a la influencia del clima tales como las heladas o a los rayos ultravioletas, sus propiedades relativas a la degradación y durabilidad hacen que estos factores ambientales no afecten de ninguna manera la resistencia y calidad del geosintético (Vargas, et al, 2007, p. 46).

4.1.5.4. Fin de vida geomalla

Su composición de la geomalla es de polipropileno de primera selección pura, por lo que es durable en el tiempo y puede ser reutilizable siempre y cuando no se haya sobrepasado su resistencia última (Torrealva, 2009, p. 19).

4.1.5.5. Principal insumo de la alternativa Malla Electrosoldada que afecta al medio ambiente: Malla electrosoldada

4.1.5.6. Fabricación malla electrosoldada

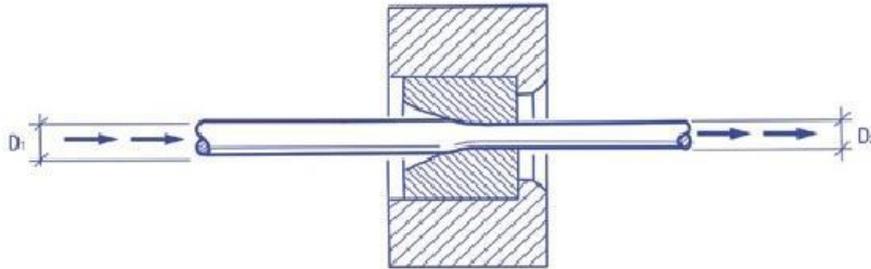
Para la fabricación de las mallas electrosoldadas se usa el acero de grado CA50 y es fabricada por trefilación (Figura 30). Estos alambres poseen un bajo contenido de carbono, lo que los hacen soldables así como más resistentes a la oxidación. Las características que deben cumplir las mallas para su fabricación son (Altamirano, 2012, p 33):

Contenido de carbono: 0.10 máx.

Contenido de manganeso: 0.30 a 0.50%

La fabricación de alambres para las mallas, se hacen mediante el proceso del estirado en frío de modo de obtener una resistencia a la rotura de 5600 Kg/cm², con una reducción de sección no mayor del 30%. (Prodac, 2008)

Figura 24. Fabricación de los alambres de acero por trefilación



Fuente: (Prodac, 2008)

La malla electrosoldada está conformada por varillas de acero estirados en frío formando ángulos rectos y unidos mediante soldadura eléctrica en sus puntos de contacto, en un proceso de producción en serie (Acosta y Durand, 2012, p. 68).

El acero: El alambre utilizado para la malla electrosoldada tiene como principal componente al acero, que es fabricado a partir de las siguientes materias primas:

- El arrabio, obtenido a partir de mineral en instalaciones dotadas de alto horno (proceso integral);
- Las chatarras tanto férricas como inoxidable.

Para la obtención del acero se eliminan las impurezas que se encuentran en el arrabio o en las chatarras, según los límites especificados de acuerdo al tipo de acero. Las reacciones químicas que se producen durante el proceso de fabricación del acero requieren temperaturas superiores a los 1000°C para poder eliminar las sustancias perjudiciales, de forma gaseosa o trasladándolas del baño a la escoria (Neves y Borges, 2011, p. 26).

4.1.5.7. Uso malla electrosoldada

Pisos, plateas de cimentación, muros de contención, muros para edificios de ductilidad limitada, cisternas, tanques elevados, piscinas, losas macizas y aligeradas, vigas y columnas de amarre, canales, prefabricados. (Prodac, 2008)

4.1.5.8. Fin de vida (malla electrosoldada y Estructura metálica)

El alambre de la malla electrosoldada se compone principalmente de acero, que es un material que se puede reutilizar como chatarra para la fabricación del mismo acero, luego de retirado sus impurezas mediante procesos al calor a temperaturas superiores a los 1000°C (IPAC, 2012).

Para el reforzamiento con la técnica de la geomalla, se utiliza el barro como recubrimiento del muro con fines de protección de la geomalla y de la rafia. Esta torta de barro sí es reutilizable para nuevamente elaborar con ella nuevos bloques de adobe. Sin embargo, esta alternativa utiliza el cemento para el anclaje de la geomalla, lo cual afecta directamente al ambiente. De igual manera ocurre con la alternativa de la malla electrosoldada la cual utiliza al cemento para el tarrajeo respectivo con malla. Por ello. Según la Tabla 6, a la técnica de la geomalla se le asigna el valor de 25, al igual que la malla electrosoldada (Harmsen, 2005, p. 34).

4.1.6. Factor Imaginario de la Población F6

La malla electrosoldada y la geomalla son aceptadas para el reforzamiento por los pobladores del centro histórico, ya que varios indican que es importante tener una opción de reforzamiento para sus viviendas. Teniendo en cuenta que estamos en una zona sísmica. Por lo que al utilizar la tabla 7. El valor F6 que tendrían ambas alternativas el valor de 70. Puesto que se conoce de los reforzamientos, pero nunca se han aplicado en la ciudad. Cabe indicar que la población apenas conoce estos reforzamientos.

Figura 25. Reforzamiento de adobe con geomalla y reforzamiento de adobe con malla electrosoldada



Fuente: Internet – Civil geeks

El resultado final de la selección de la mejor alternativa puede ser distinto en cada comunidad e incluso en la misma comunidad, pero en otras circunstancias donde es posible que los factores o los pesos de los factores cambien por distintas razones o variables que no han sido considerados en el proyecto.

4.1.7. Aplicación de la Fórmula del Índice de Factibilidad de Alternativas

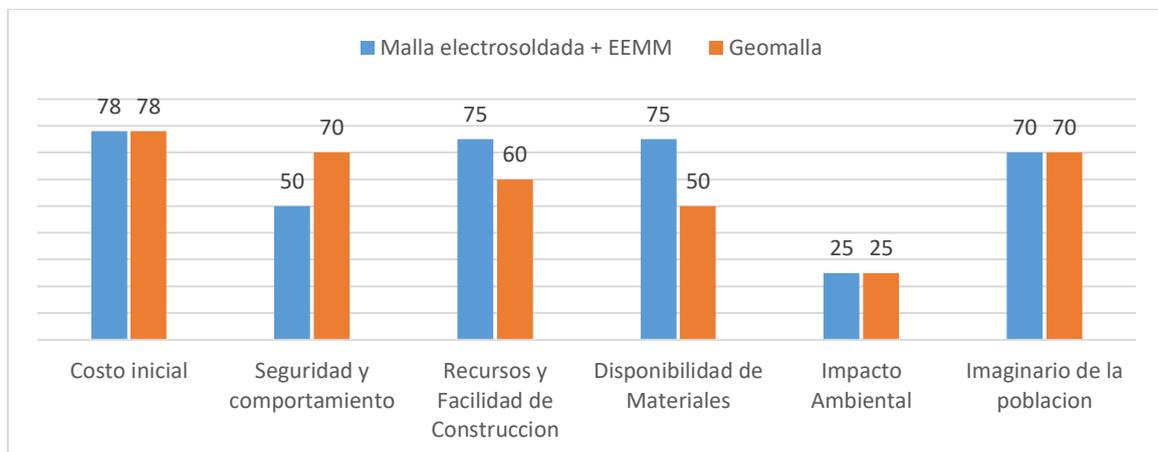
Al aplicar la fórmula de Índice de factibilidad, se llega a la matriz de la Tabla 10. Que involucra los seis factores principales de cada alternativa con su propio peso. Se determina la mejor opción para este caso específico del local de Jr. Amalia Puga N° 360 Intersección con el Jr. Tarapacá pudiendo realizar esta evaluación y/o estudio para otro tipo de proyecto.

Tabla 9: Resumen de Índice de Factibilidad de alternativas

Factor	Peso	Malla		Óptimo Máximo	Pésimo Mínimo
		electrosoldada + EEMM	Geomalla		
Costo inicial	0.17	78	78	100	0
Seguridad y comportamiento	0.17	50	70	100	0
Recursos y Facilidad de Construcción	0.17	75	60	100	0
Disponibilidad de Materiales	0.17	75	50	100	0
Impacto Ambiental	0.17	25	25	100	0
Imaginario de la población	0.17	70	70	100	0
Total	1	62	59	100	0

Fuente: Propia

Figura 26. Factibilidad de alternativas por factores.



Fuente: Propia

La figura anterior permite visualizar todos los factores involucrados para ambas alternativas. Se observa en el factor económico, que ambas alternativas tanto la malla electrosoldada y Estructura Metálica, como la geomalla resultaron del mismo valor. En el factor de seguridad la geomalla dota a la estructura un comportamiento dúctil, mientras que la malla electrosoldada a pesar de tener suficiente resistencia cuando la estructura sea sometida a sismos severos la malla electrosoldada + EEMM tendría una falla frágil o súbita, esto indicaría que al utilizar la malla electrosoldada la falla de la estructura en su conjunto será más severa. En el factor recursos y facilidad de construcción la alternativa de la geomalla resulta ser un poco laboriosa al realizar un sinnúmero de perforaciones para el amarre de la geomalla con rafia a los muros mientras que la malla electrosoldada no requiere de tantas perforaciones. Por lo tanto, la malla electrosoldada es más fácil de construir que con la geomalla. En cuanto a la disponibilidad de materiales la alternativa de la malla electrosoldada posee los insumos más accesibles en comparación a la geomalla puesto que la geomalla no vende directamente en la ciudad de Cajamarca y esta debe ser solicitada vía correos a la ciudad de Lima. En el factor impacto ambiental, ambas alternativas tienen prácticamente el mismo impacto ambiental, dado que el cemento es parte de sus principales insumos. Por último, en cuanto al factor imaginario de la población la geomalla y malla electrosoldada y Estructura metálica, tienen la misma aceptación de la población ya que no se ha experimentado con ninguna de las alternativas.

En consecuencia, la Figura 32 permite analizar qué decisión tomar para el reforzamiento de la edificación estudiada, y el resultado obtenido es la alternativa de la Malla Electrosoldada y Estructura metálica. Cabe indicar que en otros sitios puede obtener mayor puntaje la alternativa de la geomalla. Ello dependerá de varios factores descritos anteriormente.

Para cumplir con nuestro objetivo se hizo un ensayo experimental se comparó un muro sin reforzamiento y otro reforzado con la alternativa seleccionada, el material utilizado y procedimiento de ejecución fue la siguiente:

4.2 RESULTADOS DEL ENSAYO EXPERIMENTAL DE DOS MUROS

4.2.1. Calculo de rigidez del muro

$$K_{muro} = \frac{Et}{4\left(\frac{h}{L}\right)^3 + 3\left(\frac{h}{L}\right)}$$

Donde:

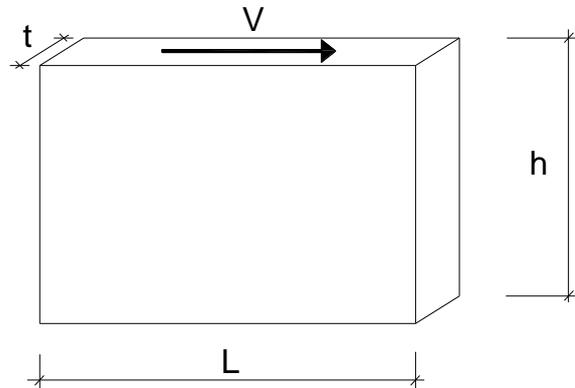
K = rigidez lateral del muro

E = Modulo de elasticidad del material

t = espesor del muro

h = altura del muro

L = longitud del muro

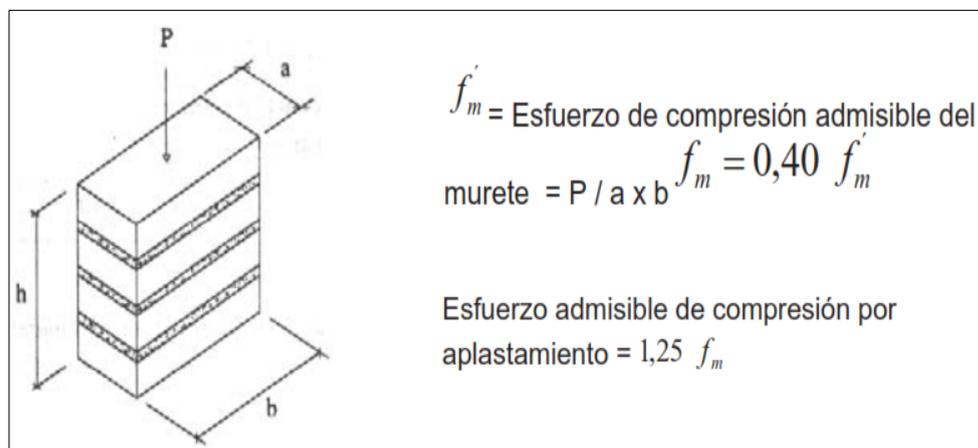


4.2.2. Calculo de Modulo de Elasticidad del muro

4.2.2.1. Ensayo de compresión axial

Estas pruebas son de ejecución bastante simple y permite determinar la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad de la albañilería de adobe, puesto que la sollicitación de compresión no es la más crítica durante la acción sísmica. La resistencia obtenida del ensayo de compresión de pilas no parece de por si un buen indicador de la calidad de la mampostería. En este ensayo se construyeron 4 pilas, cada pila construida por 4 adobes de medidas de 30cm x 40cm

Figura 27. Ensayo de compresión axial



Fuente: Norma técnica de edificación E.080.

Tabla 10: Esfuerzo – Deformación Unitaria - Murete 01

	FUERZA		Deformación	Def.
	(Kg)	ESFUERZO(Kg/cm2)	(mm)	Unitaria
MURETE 01	0	0.0	0.0	0.000
	200	0.2	0.0	0.000
	400	0.3	0.1	0.000
	600	0.5	0.4	0.001
	800	0.7	0.9	0.002
	1000	0.8	1.2	0.003
	1200	1.0	1.5	0.003
	1400	1.2	1.9	0.004
	1600	1.3	2.2	0.005
	1800	1.5	2.5	0.006
	2000	1.7	2.7	0.006
	2200	1.8	3.2	0.007
	2400	2.0	3.3	0.007
	2600	2.2	3.5	0.008
	2800	2.3	3.8	0.009
	3000	2.5	4.0	0.009
	3200	2.7	4.2	0.009
	3400	2.8	4.3	0.010
	3600	3.0	4.5	0.010
	3800	3.2	4.7	0.011
4000	3.3	4.9	0.011	
4200	3.5	5.2	0.012	
4400	3.7	5.4	0.012	
4600	3.8	5.7	0.013	
4680	3.9	5.7	0.013	

Fuente: Propia

Tabla 11: Esfuerzo – Deformación Unitaria - Murete 02

	FUERZA		Deformación	Def.
	(Kg)	ESFUERZO(Kg/cm2)	(mm)	Unitaria
MURETE 02	0	0.0	0.0	0.000
	200	0.2	0.0	0.000
	400	0.3	0.1	0.000
	600	0.5	0.2	0.000
	800	0.7	0.6	0.001
	1000	0.8	0.9	0.002
	1200	1.0	1.2	0.003
	1400	1.2	1.7	0.004
	1600	1.3	1.9	0.004
	1800	1.5	2.3	0.005
	2000	1.7	2.5	0.006
	2200	1.8	3.1	0.007
	2400	2.0	3.4	0.008
	2600	2.2	3.7	0.008
	2800	2.3	4.1	0.009
	3000	2.5	4.5	0.010
	3200	2.7	5.0	0.011
	3400	2.8	5.3	0.012
	3600	3.0	5.8	0.013
	3800	3.2	6.3	0.014
4000	3.3	6.7	0.015	
4200	3.5	7.1	0.016	
4400	3.7	7.6	0.017	
4600	3.8	8.1	0.018	
4680	3.9	8.5	0.019	

Fuente: Propia

Tabla 12: Esfuerzo – Deformación Unitaria - Murete 03

	FUERZA		Deformación	Def.
	(Kg)	ESFUERZO(Kg/cm2)	(mm)	Unitaria
MURETE 03	0	0.0	0.0	0.000
	200	0.2	0.1	0.000
	400	0.3	0.1	0.000
	600	0.5	0.2	0.000
	800	0.7	0.7	0.002
	1000	0.8	1.0	0.002
	1200	1.0	1.3	0.003
	1400	1.2	1.6	0.004
	1600	1.3	2.1	0.005
	1800	1.5	2.5	0.006
	2000	1.7	2.8	0.006
	2200	1.8	3.3	0.007
	2400	2.0	3.5	0.008
	2600	2.2	3.8	0.009
	2800	2.3	4.3	0.010
	3000	2.5	4.7	0.011
	3200	2.7	4.9	0.011
	3400	2.8	5.1	0.011
	3600	3.0	5.3	0.012
	3800	3.2	5.6	0.013
4000	3.3	6.0	0.013	
4200	3.5	6.5	0.015	
4400	3.7	6.8	0.015	
4600	3.8	7.8	0.018	
4680	3.9	8.0	0.018	

Fuente: Propia

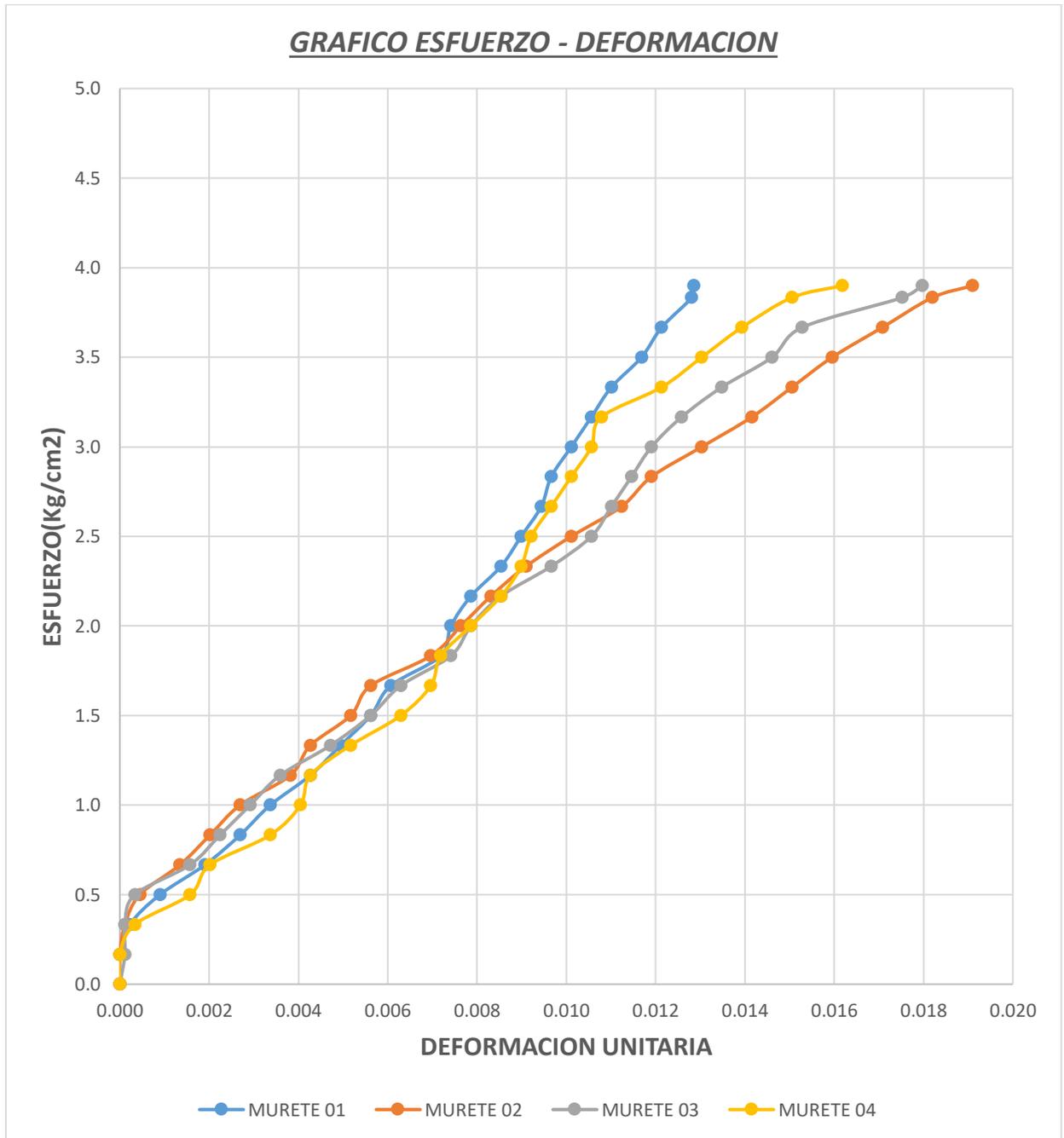
Tabla 13: Esfuerzo – Deformación Unitaria - Murete 04

	FUERZA		Deformación	Def.
	(Kg)	ESFUERZO(Kg/cm2)	(mm)	Unitaria
MURETE 04	0	0.0	0.0	0.000
	200	0.2	0.0	0.000
	400	0.3	0.2	0.000
	600	0.5	0.7	0.002
	800	0.7	0.9	0.002
	1000	0.8	1.5	0.003
	1200	1.0	1.8	0.004
	1400	1.2	1.9	0.004
	1600	1.3	2.3	0.005
	1800	1.5	2.8	0.006
	2000	1.7	3.1	0.007
	2200	1.8	3.2	0.007
	2400	2.0	3.5	0.008
	2600	2.2	3.8	0.009
	2800	2.3	4.0	0.009
	3000	2.5	4.1	0.009
	3200	2.7	4.3	0.010
	3400	2.8	4.5	0.010
	3600	3.0	4.7	0.011
	3800	3.2	4.8	0.011
4000	3.3	5.4	0.012	
4200	3.5	5.8	0.013	
4400	3.7	6.2	0.014	
4600	3.8	6.7	0.015	
4680	3.9	7.2	0.016	

Fuente: Propia

4.2.3. Grafica de resultados de muretes ensayados

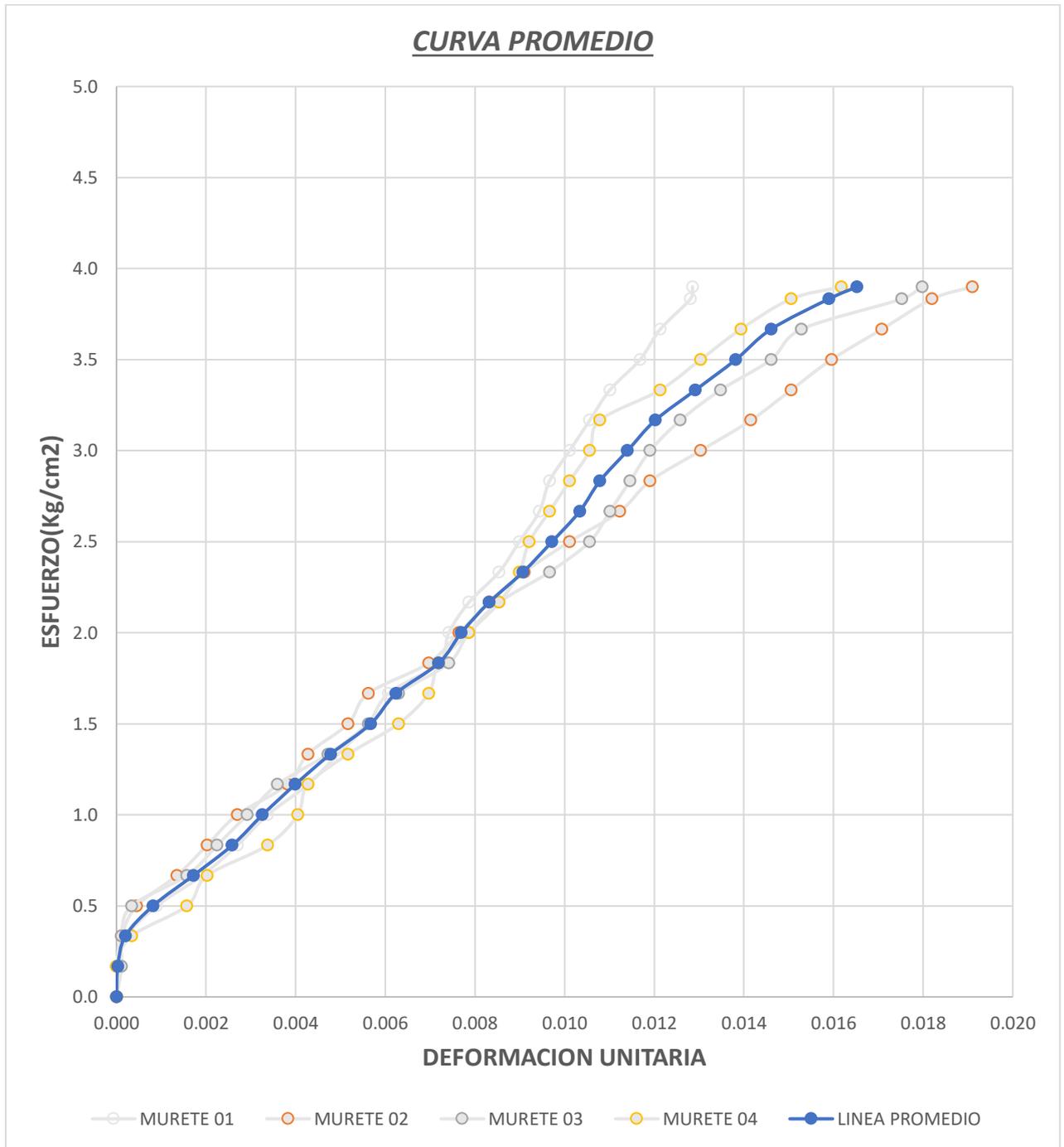
Figura 28. Grafica de muretes ensayados



Fuente: Propia

4.2.1. Grafica de la curva promedio de muretes ensayados

Figura 29. Grafica curva promedio de muretes ensayados



Fuente: Propia

Hallando el Módulo de elasticidad de la Muestra de adobe:

CARGA	ESFUERZO (Kg/cm ²)	DEFORMACION UNITARIA	MODULO DE ELASTICIDAD
2200	1.8333	0.00719	265.6716
2800	2.3333	0.00907	

$$E = \frac{2.3333 - 1.8333}{0.00907 - 0.00719} = 265.6716 \text{ Kg/cm}^2$$

$$K_{muro} = \frac{Et}{4\left(\frac{h}{L}\right)^3 + 3\left(\frac{h}{L}\right)}$$

$$K_{muro} = \frac{265.6716 \times 30}{4\left(\frac{2}{2.25}\right)^3 + 3\left(\frac{2}{2.25}\right)} = 1455.47$$

4.3 MATERIALES Y PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO A ESCALA NATURAL DE MURO DE ADOBE:

4.3.1. Material utilizado:

- Unidades de adobe de medidas 30 x 40 cm
- Malla electrosoldada de 50 x 50 mm de abertura
- Tubo metálico de 3" X 1.5" X 2mm
- Concreto de f'c=210kg/cm² para cimentación
- Planchas de aluminio de medidas 15cm x 15cm
- Chapas
- Clavos de 2 ½"
- Probetas de concreto (para carga repartida sobre el muro)
- Madera
- Plancha metálica (Para aplicación de carga lateral)

- Pintura latex color blanco

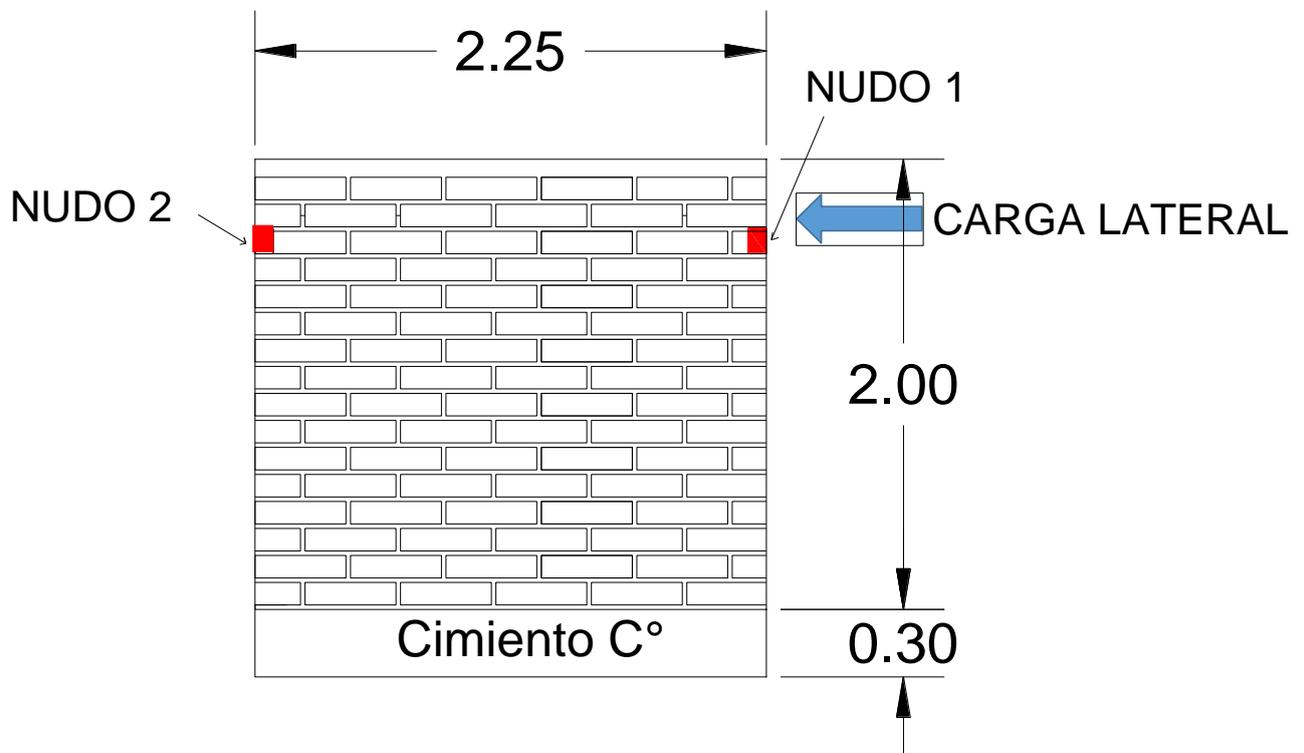
4.3.2. Procedimiento de muros ensayados

- 1- Se Fabricaron los adobes de medidas de 30cm x 40cm en el Centro Poblado Aylambo para luego trasladarlo en un camión a la Universidad Nacional de Cajamarca.
- 2- En el laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca se realizó Anclajes con tubos metálicos para fijar la cimentación con el piso.
- 3- Se procedió al encofrado y vaciado de concreto de resistencia 210kg/cm²
- 4- A los dos días de vaciado de concreto se procedió el asentado de adobes sobre cimentación. Ancho del muro = 2.25m, Altura del muro = 2.00, Espesor del muro = 0.30m
- 5- Ambos muros se construyeron de las mismas características, dejando unos anclajes adicionales para el muro que será reforzado con malla electrosoldada y estructura metálica.
- 6- Ya para el muro reforzado se hizo perforaciones (5cm x 5cm) al muro para la instalacion de los conectores cada 50 cm. Los conectores seran de alambre Nro 8, teniendo en cuenta que sobresalga 15 cm a cada lado del muro.
- 7- Una vez instalados los conectores se selló el agujero con concreto.
- 8- Se dejó fraguar por una semana, el concreto de los agujeros, para proceder a la instalación de la malla electrosoldada en los bordes del muro, una franja de 50cm.
- 9- Se Fijó chapas con clavos de 2 ½” entre el muro y la malla electrosoldada cada 25cm

- 10- En cada uno de los conectores se fijó con lata de 15cm x 15cm, doblando el alambre Nro 8 de forma vertical hacia abajo.
- 11- Se procedió a la instalación del tubo metálico de medidas 3" X 1.5" X 2mm en los bordes del muro cara interior del muro.
- 12- Se pintó los muros a ensayar para tener mejor visualización de las fallas.
- 13- Se colocó probetas de concreto sobre los muros con tal de generar una sobrecarga de 175kg/cm².
- 14- Ya para el ensayo se colocó en cada extremo del muro hojas milimetradas, verificadas con nivel de ingeniero para anotar su desplazamiento con cada carga aplicada.

Dimensiones de los muros a ensayar

Figura 30. Esquema de muro ensayado a carga lateral



Fuente: Propia

4.3.3. RESULTADOS EN MURO SIN REFUERZO

Tabla 14: Carga - Deformación en Muro Sin Refuerzo

MURO SIN REFUERZO		
Carga (Kg)	Deformación	
	Nudo 1	Nudo 2
100	0.05	0
200	0.05	0
300	0.05	0
400	0.05	0
500	0.05	0
700	0.05	0
900	0.05	0.01
1000	0.05	0.01
1100	0.05	0.01
1300	0.1	0.02
1400	0.09	0.02
1500	0.09	0.04
1600	0.09	0.05
1700	0.1	0.09
1800	0.17	0.15
1900	0.5	0.35
2000	0.56	0.49
2100	0.75	0.6
2200	0.94	0.72
2300	2	1.6
2400	2.75	2.22
2500	3.32	2.6
2600	3.25	2.64
2700	3.25	2.8
2720	3.71	3

Fuente: Propia

4.3.4. RESULTADOS EN MURO REFORZADO

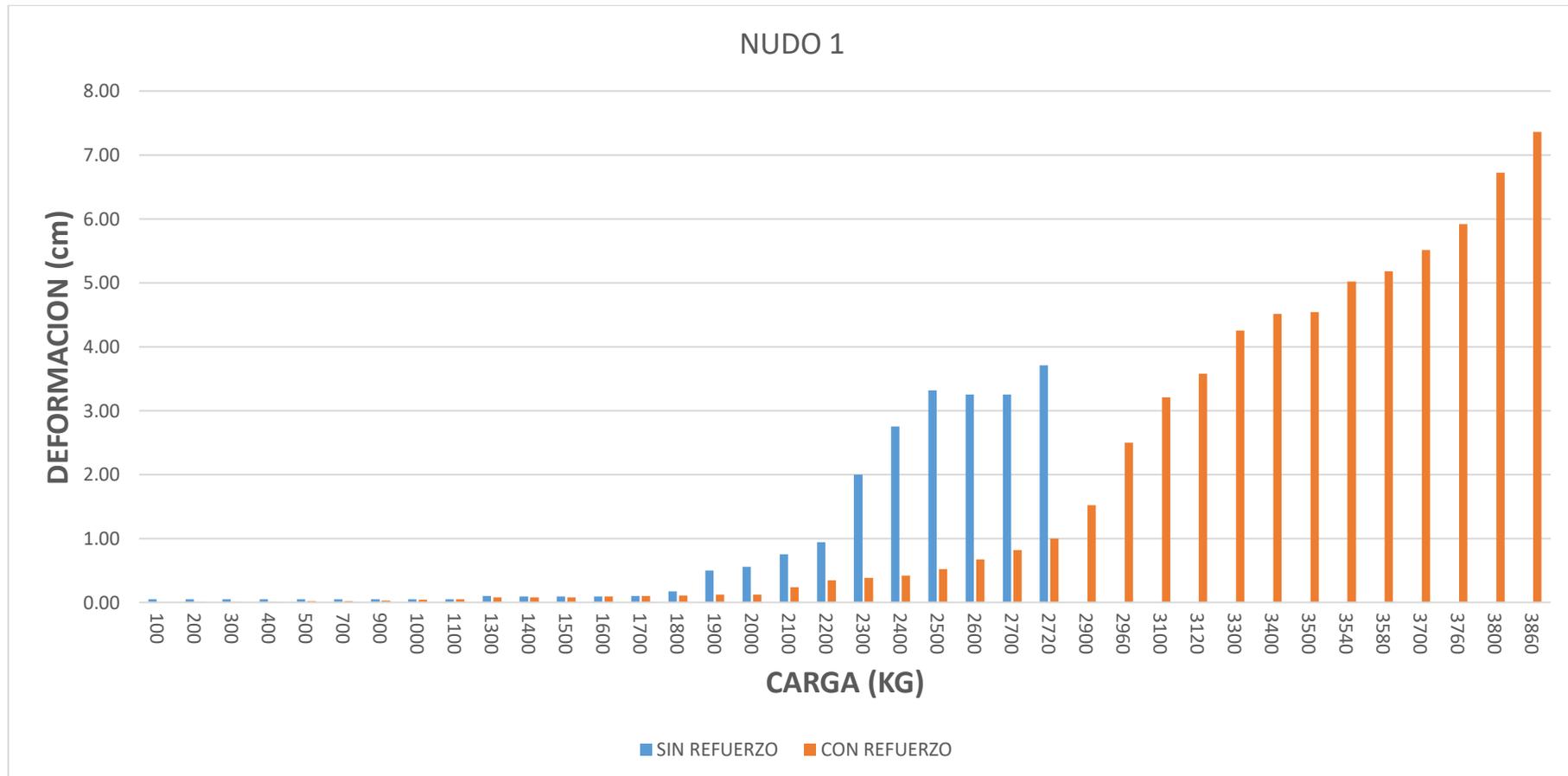
Tabla 15: Carga - Deformación de Muro Reforzado

MURO CON REFUERZO		
Carga (Kg)	Deformación	
	Nudo 1	Nudo 2
100	0	0.00
200	0.01	0.00
300	0.01	0.01
400	0.01	0.01
500	0.02	0.01
700	0.02	0.02
900	0.03	0.02
1000	0.04	0.02
1100	0.05	0.02
1300	0.08	0.02
1400	0.08	0.02
1500	0.08	0.02
1600	0.09	0.02
1700	0.1	0.03
1800	0.11	0.03
1900	0.12	0.04
2000	0.12	0.05
2100	0.235	0.13
2200	0.35	0.20
2300	0.385	0.28
2400	0.42	0.36
2500	0.52	0.50
2600	0.67	0.63
2700	0.82	0.75
2720	1	0.90
2900	1.52	2.55
2960	2.5	2.31
3100	3.21	2.96
3120	3.58	3.58
3300	4.25	3.87
3400	4.51	4.18
3500	4.54	4.45
3540	5.02	4.55
3580	5.18	4.77
3700	5.51	5.00
3760	5.92	5.30
3800	6.72	6.18
3860	7.36	6.65

Fuente: Propia

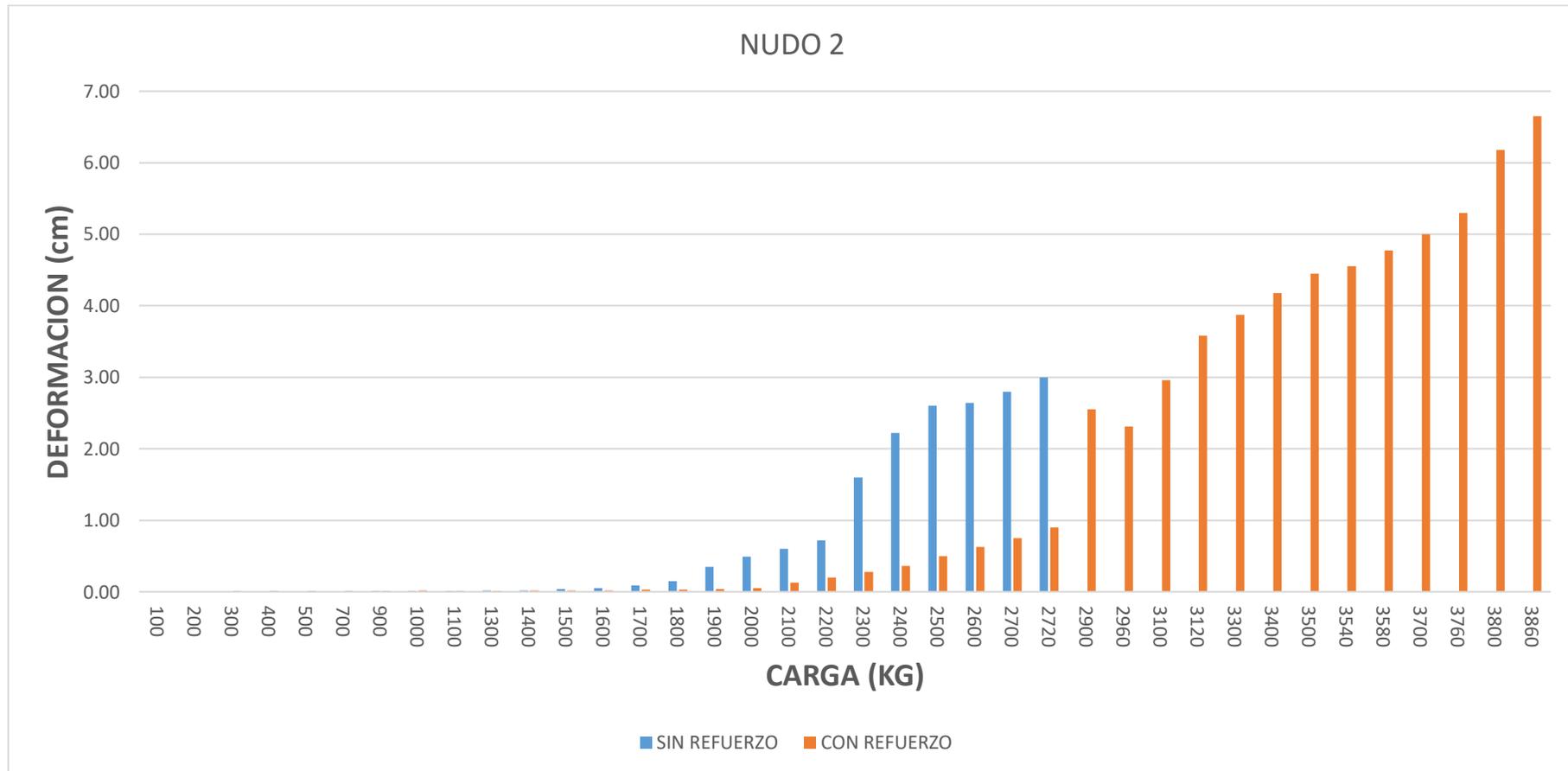
4.3.4.1. GRAFICA DE LOS RESULTADOS

Figura 31. Resultados de Carga – Deformación en Nudo 1. En muro con y sin refuerzo.



Fuente: Propia

Figura 32. Resultados de Carga – Deformación en Nudo 2. En muro con y sin refuerzo.



Fuente: Propia

Tabla 16: Cuadro comparativo de principales cargas – deformaciones en punto de aplicación (Nudo 1)

CARGA	DEFORMACION	CONDICION
1000	0.04	Con Refuerzo
	0.05	Sin Refuerzo
2000	0.12	Con Refuerzo
	0.56	Sin Refuerzo
2720	1	Con Refuerzo
	3.71	Sin Refuerzo
3860	7.36	Con Refuerzo
	---	Sin Refuerzo

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se concluye que; el sistema de reforzamiento con malla electrosoldada y estructura metálica es la mejor alternativa a ser utilizada en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca. Y al ser utilizada, aumenta la resistencia a carga lateral en 41.91% respecto a otro sin reforzamiento.
- Se estableció un procedimiento de selección de la mejor alternativa para reforzamiento de viviendas de adobe de la ciudad de Cajamarca, donde el sistema metálico junto con la malla electrosoldada resultó ser la mejor alternativa de reforzamiento básicamente por dos factores, uno que es más fácil de construir y también porque el recurso se encuentra en la ciudad de Cajamarca, lo que no ocurre con la geomalla.
- La carga lateral máxima soportada por el muro de adobe sin reforzamiento fue de 2720 kg, y su deformación fue de 3.71 cm.
- La carga lateral máxima soportada por el muro de adobe reforzado con el sistema metálico y malla electrosoldada fue de 3860 kg, y su deformación máxima fue de 7.36 cm.
- Al llegar a la carga lateral de 2720 Kg en el ensayo, el nudo 1 del muro sin refuerzo se deformó 3.71 cm, mientras que en el reforzado fue de 1cm. Lo que quiere decir que, al reforzar los muros de adobe con el sistema metálico y malla electrosoldada reduce su deformación en 3.71 veces, respecto al no reforzado.

5.2 Recomendaciones

- Hacer diferentes estudios de reforzamiento de la zona monumental de la ciudad de Cajamarca, con el fin de conservar nuestro patrimonio histórico.
- Realizar reforzamientos de modelos de adobe experimentales con diferentes tipos de carga.
- Al momento de hacer el anclaje para fijar la cimentación, esta debe ser muy segura con el fin de que no falle el experimento.
- Que, siendo un objetivo principal de la Universidad Nacional de Cajamarca, la investigación tecnológica de la ingeniería, proponer otras investigaciones inherentes a la mejora de resistencia de las viviendas construidas con adobe de la ciudad de Cajamarca.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, J. A., & Durand, S. M. (2012).** PROPUESTA INTEGRAL DE REFORZAMIENTO PARA EDIFICACIONES DE ADOBE. APLICACION AL CASO DE UN LOCAL ESCOLAR DE ADOBE EN LA PROVINCIA DE YAUYOS. Tesis Ingeniería Civil. PUCP, Lima, Perú.
- Acosta, J. A., & Durand, S. M. (2012).** PROPUESTA INTEGRAL DE REFORZAMIENTO PARA EDIFICACIONES DE ADOBE. APLICACION AL CASO DE UN LOCAL ESCOLAR DE ADOBE EN LA PROVINCIA DE YAUYOS. Tesis Ingeniería Civil. PUCP, Lima, Perú.
- Altamirano, Oscar. (2018).** Arquitectura de Tierra: Caracterización de los Tipos Edificatorios. Universidad Nacional de Cajamarca. 2018, from https://mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/2009-10-tesinas-pres/26-beatriz-yuste-miguel-arquitectura-de-tierra_completo.pdf
- Ángel San Bartolomé, A. M. (2010).** CONTROL DE LA FALLA POR DESLIZAMIENTO EN PLACAS DE. Lima - Peru.
- Angel San Bartolome, Daniel Quiun y Luis Zegarra. (10 de 08 de 2005).** blog.pucp.edu.pe. Obtenido de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/617/2007/04/Reforzamiento-Adobe---Guanajuato.pdf>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010).** Manual para la rehabilitación de. Colombia: Red de Solidaridad Social.
- Astorga, M., & Aguilar, R. (2006).** Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones. Tesis de Maestría en. Ing. Civil. PUCP, Lima, Perú.
- Barona Zaldumbide, D. M. (2010).** Vulnerabilidad sísmica del centro histórico de Sangolquí. (Tesis Ing. Civil). Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- BARTOLOME, S. (2014).**
- Bartolomé, S. (2014).**
- Blondet M., Villa García G., Brzev S. y Rubiños A.; 2011.** ‘Earthquake-resistant construction of adobe buildings: a tutorial’. Earthquake Engineering Research Institute. Oakland, U.S.A
- Blondet, M., & Vargas Neuman, J. (2015).** Casas sismorresistentes y saludables de adobe reforzado con cuerdas. Lima-Perú.

- Flórez, C., & López, O. (2010).** Propuesta de Reforzamiento de muros de Adobe Modificado con confinamiento de madera rolliza. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- GTM, I. (2012).** ESTRUCTURAS METALICAS - VENTAJAS E INCONVENIENTES. Obtenido de <http://gtmingeneria.blogspot.com/2012/03/estructuras-metalicas-ventajas-e.html>
- IGARASHI Hasegawa, Lucia Isabel. 2009.** Reforzamiento estructural de muros de adobe. Lima : s.n., 2009.
- INDECI. (2000).**
- Ing. Miguel Hadzich (1999).** “Vivienda Antisísmica de Adobe: Manual de Construcción”
- Instituto Nacional de Defensa Civil; 2014.** ‘Movimiento sísmico en el Departamento de Ayacucho’. Reporte de Emergencia N° 592 – 26/08/2014/COEN-INDECI/13:00. Lima, Peru.
- Lazo, M. A. (2016).** Herramientas para la capacitacion en reforzamiento con malla de cuerdas de viviendas de adobe autoconstruidas en areas sismicas. Cajamarca.
- MADUEÑO, Ivonne (2005).** Reforzamiento de Construcciones de Adobe con Elementos Producidos Industrialmente. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- Mannise, R. (16 de 07 de 2012).** ecocosas.com. Obtenido de <https://ecocosas.com/construccion/el-adobe/>
- Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (s.f.).** Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E. 080 Adobe. Lima, Perú.
- Minke G. (1994).** Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. Teruel: EcoHabitar D.L.
- NTP. 339.078. (22 de Diciembre de 1999).** Norma Técnica Peruana. Resistencia a la Flexión o Módulo de rotura. Lima- Perú: Indecopi. Obtenido de <http://ecocosas.com/arq/el-adobe/>
- Neves, C., & Borges Faria, O. (2011).** Técnicas de construcción con tierra. Brasil: PROTERRA
- ORGANIZACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS. (14 de 11 de 1986).** DECIMOSEXTO PERÍODO ORDINARIO DE SESIONES CIUDAD DE

GUATEMALA, GUATEMALA Del 11 al 15 de noviembre de 1986. Obtenido de <http://www.oas.org/es/sla/docs/ag03800S01.pdf>

PNUD. (2008). Manual para el Desarrollo de Viviendas Sismorresistentes. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Prodac. (s.f.). Ficha Técnica Malla Electrosoldada.

Quispe Acosta y Rondón Durand. (2012) “Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de Yauyos.”

ANEXOS

Anexo N° 01:

Plano de edificación
analizada para la
selección de mejor
alternativa.

Anexo N° 02:

Fotografías



Fotografía 01: Fachada exterior del Jr. Amalia Puga N° 360



Fotografía 02: Interior de la casona del Jr. Amalia Puga N° 360



Fotografía 03: Interior de la casona del Jr. Amalia Puga N° 360.



Fotografía 04: Interior de la casona del Jr. Amalia Puga N° 360.



Fotografía 05: Tesista en casona del Jr. Amalia Puga N° 360.



Fotografía 06: Fabricación de adobe de medidas de 30cm x 40cm. Centro poblado Aylambo



Fotografía 07: Transporte en camión del adobe fabricado Aylambo – UNC



Fotografía 08: Con mi asesor Ing. Mauro Centurión



Fotografía 09: Con mi jurado Ing. Roberto Mosqueira