

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

PROPUESTA INTEGRAL DE REFORZAMIENTO PARA EDIFICACIONES DE ADOBE. APLICACIÓN AL CASO DE UN LOCAL ESCOLAR DE ADOBE EN LA PROVINCIA DE YAUYOS.

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:

José Alberto Quispe Acosta
Silvana Marilia Rondón Durand

ASESOR: Dra. Sandra Cecilia Santa Cruz Hidalgo

Lima, Marzo del 2012

Resumen

En muchas partes del Perú, sobre todo en los pueblos más alejados y en comunidades rurales en los Andes peruanos, se construye con adobe. Los pobladores de estas comunidades suelen construir sus edificaciones sin conocimiento técnico. Son conscientes de los diferentes peligros que amenazan su seguridad, sin embargo ignoran la vulnerabilidad de sus construcciones de tierra y de las formas para mitigarlos.

En esta tesis se 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 coherentes y factibles. 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. Durante la capacitación, los pobladores, tal como se puede apreciar en los videos, demostraron su potencialidad de diagnosticar fallas y problemas en sus propias edificaciones. Además dieron soluciones prácticas para corregir dichas deficiencias. A partir de esta experiencia se espera que el reforzamiento sea replicado en sus propias viviendas y en comunidades aledañas.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. Aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de Yauyos".

Área : Estructuras -Investigación-

Asesora : Dra. Sandra Santa Cruz

Alumno : JOSÉ ALBERTO QUISPE ACOSTA

Código : 2000.7293.N.412

Alumna : SILVANA MARILIA RONDÓN DURAND

Código : 2004.1150.7.412

Tema N° : 281

Fecha : Lima, 14 de setiembre de 2011



[Handwritten signature]
29.9.11

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las construcciones de adobe propias de las comunidades rurales en los andes peruanos son particularmente débiles ante acciones sísmicas. Algunos de los comportamientos indeseables más comunes de este tipo de construcciones son: falla frágil (súbita), y la falla de los muros en dirección perpendicular a su plano, ("el muro se voltea"). Estos problemas pone en riesgo a más de 7 millones de personas que habitan en este tipo de viviendas.

Existen técnicas probadas que ha sido desarrolladas en la PUCP para mejorar el comportamiento de las edificaciones de adobe y hacerlas seguras contra sismo. Es deseable que estas técnicas de reforzamiento sean implementadas por iniciativa propia de la población que habita este tipo de viviendas. Sin embargo, esto no ha sucedido de manera masiva.

OBJETIVOS

El objetivo es proponer una solución integral para disminuir la vulnerabilidad de edificaciones existentes de adobe de comunidades rurales del Perú que pueda ser implementada por la población y replicada en construcciones similares en comunidades aledañas.

La solución propuesta será aplicada al caso de un local escolar en el distrito de Chocos, provincia de Yauyos.

PLAN DE TRABAJO

Trabajos preliminares

Inspección y visita a la zona y el colegio a reforzar. Verificar disponibilidad de la población para el proyecto. Sondeos y entrevistas para determinar las prioridades, el nivel de percepción de riesgo de la población y autoridades.

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍAPONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚPropuesta técnica de reforzamiento

Análisis y diseño de los elementos estructurales de refuerzo: Tijera, cimentación, muros, viga collar y contrafuerte. Comparación de alternativas estructurales. Elaboración de planos constructivos y expediente técnico.

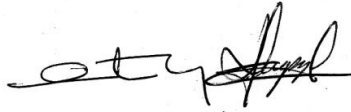
Propuesta de capacitación a la población mediante talleres participativos

Elaboración de talleres participativos para concientizar a la población. Explicación de posibles fallas de las edificaciones de adobe (teórico y práctico) Explicación de técnicas de reforzamiento y método de verificación (check list). Elaboración participativa de la propuesta de reforzamiento del local escolar. Presentación de la propuesta de reforzamiento del local escolar y adecuación de la propuesta elaborada en el taller.

Elaboración de reporte final

Redacción de propuesta final, estudio de caso, conclusiones y recomendaciones. Edición de videos y fotos de visitas y talleres.

V°B° A.S.B.
Ing. Angel San Bartolomé
Coordinador de Investigación



NOTA

Extensión máxima: 100 páginas

Los alumnos elaborarán un borrador de artículo con no más de 12 hojas con fines de publicación.



Agradecimiento Especial

Un agradecimiento especial a la Pontificia Universidad Católica del Perú que hizo posible nuestra participación en el proyecto “Reduciendo el Riesgo Sísmico de Escuelas en el Perú Rural”, porque se nos dio todas las herramientas e infraestructura educativa para llevar a cabo dicho proyecto.

No podemos dejar de agradecer a la ONG GeoHazards International quien encabezó el proyecto y financió nuestro traslado y estadía en la comunidad de Chocos - Yauyos. Desde esta misiva agradecemos especialmente a la Ing. Verónica Cedillos por darnos la oportunidad y su confianza, así como las facilidades para formar parte de este gran equipo multidisciplinario en donde nos sentimos partícipes de la solución del proyecto.



Agradecimientos

Agradecemos a todos los participantes del proyecto: “Reduciendo el Riesgo Sísmico de Escuelas en el Perú Rural”, es decir, a la Universidad Católica, Universidad de Stanford, GeoHazards International, Estrategia, y la Municipalidad de Chocos. Por parte de la Universidad Católica, a la Dirección Académica de Responsabilidad Social (DARS), a la Sección de Ingeniería Civil: Dr. Marcial Blondet, Ing. Alejandro Muñoz, Dra. Sandra Santa Cruz, Ing. Jesús Carpio y a los ex-alumnos tesistas Víctor Arana y José Málaga; del Departamento de Sociología: Lic. Vega Centeno y la estudiante Leonor Lamas; de la facultad de Arquitectura al estudiante Jorge Luján. Por parte de la Universidad de Stanford, agradecemos al profesor Dr. Eduardo Miranda y a los estudiantes Matt Busmann, Cody Wiesen, Katherine Donner. A GeoHazards International en especial a la Ing. Verónica Cedillos, a la ONG Estrategia y su directora Arq. Luz María Sánchez, a la Municipalidad de Chocos representado por el Sr. Alcalde Macedonio R. Aburto Gutiérrez y a la comunidad de Chocos-Yauyos por ofrecernos su confianza y facilidades para interactuar con los pobladores de la zona. Fruto de este trabajo en equipo es que se ha podido elaborar informes, cálculos y otros documentos que son la base de nuestra tesis.

Ofrecemos un agradecimiento de forma especial a nuestra asesora Dra. Sandra Santa Cruz por todo su apoyo incondicional en el ámbito personal, académico y profesional, de igual manera a Jesús Carpio Nolasco por sus invaluable aportes que fueron indispensables para la realización del Proyecto.

En general agradecemos la colaboración de los profesores de la Universidad Católica y a todos los que forman parte de ella por la confianza brindada y por sus valiosos aportes para el desarrollo de esta investigación.

Finalmente damos las gracias a nuestras familias, que fueron el soporte y la guía durante la carrera universitaria.

ÍNDICE

Resumen	I
Agradecimientos	IV
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	4
2. Estado del Arte	5
2.1. Refuerzo de Muros de Adobe con Malla Exterior Natural	6
2.2. Rehabilitación con Elementos de Madera Confinantes	7
2.3. Viga Collar de Madera y Barro	7
2.4. Viga Collar de Concreto Armado	8
2.5. Viga Collar de Madera Externa	9
2.6. Contrafuertes o Mochetas	10
2.7. Costura con Tablas en Línea de Debilidad para coser la Falla por Cumblera	11
2.8. Mallas Electrosoldadas como Refuerzo en Construcciones de Adobe	12
2.9. Las Geomallas como Refuerzo en Construcciones de Adobe	14
2.10. Reforzamiento con Tiras Cortadas de Llantas Radiales Usadas	16
3. Método Propuesto de Reforzamiento para Edificaciones de Adobe	17
3.1. Selección de Mejor Alternativa	17
3.1.1. Factores de Desempeño (Fi)	18
3.1.1.1. Factor Costo Inicial	20
3.1.1.2. Factor Seguridad y Comportamiento	21
3.1.1.3. Factor Recursos y Facilidad de la Construcción	22
3.1.1.4. Factor Disponibilidad de Materiales	23
3.1.1.5. Factor Impacto Ambiental	23
3.1.1.6. Factor Imaginario de la Población	24

3.2. Análisis y Diseño de la Alternativa Seleccionada	25
3.3. Taller de Capacitación	26
3.3.1. Estructura del Programa Propuesto para el Taller de Capacitación	26
4. Aplicación del Método Propuesto a un Local Escolar de Adobe	31
4.1. Selección de Mejor Alternativa	38
4.1.1. Factor Costo Inicial	38
4.1.2. Factor Seguridad y Comportamiento	40
4.1.3. Factor Recursos y Facilidad de la Construcción	41
4.1.4. Factor Disponibilidad de Materiales	41
4.1.5. Factor Impacto Ambiental	41
4.1.6. Factor Imaginario de la Población	45
4.1.7. Aplicación de la Fórmula de Índice de Factibilidad	46
4.2. Análisis y Diseño del Local Escolar	48
4.2.1. Análisis y Diseño de los Muros de Adobe con la Técnica de la Geomalla	48
4.2.1.1. Verificación con la Norma E.080 Adobe	48
4.2.1.2. Parámetros del Análisis Sísmico	49
4.2.1.3. Metrado de Cargas de la Escuela	51
4.2.1.4. Análisis de Cortante	54
4.2.1.5. Análisis por Flexión de la Edificación Actual	55
4.2.1.6. Análisis de Flexión con Geomalla	58
4.2.1.7. Análisis de Flexión con Geomalla y Contrafuertes de Adobe	62
4.2.1.8. Análisis Complementarios	63
4.2.2. Diseño Estructural de Techo de Madera	66
4.2.2.1. Diseño de Viguetas (Correas)	66
4.2.2.2. Diseño de Armadura	70
4.2.3. Propuesta Final del Diseño Estructural	76
4.3. Taller de Capacitación	78
4.3.1. Secuencia del Taller de Capacitación	78
4.3.2. Encuesta a Pobladores	87
4.3.3. Material Entregado en el Taller: Checklist	87
4.3.4. Presentación del Proyecto ante la Comunidad de Chocos	90

5. Conclusiones	92
------------------------	-----------

Referencias y Bibliografía	95
-----------------------------------	-----------

Anexos

Anexo A	Planos de Arquitectura del Edificio sin Intervención Planos de Arquitectura y Estructuras del Edificio con Intervención
Anexo B	Galería Fotográfica de la Escuela sin Intervención y Posibles Fallas
Anexo C	Presentación de la Propuesta de Reforzamiento del Local Escolar ante la Comunidad del Distrito de Chocos
Anexo D	Material Entregado: Lista de Chequeo para Reforzamiento Sismo Resistente de Casas de Adobe
Anexo E	Videos y Fotos de Capacitación
Anexo F	Costos Inicial de Alternativas: Geomalla y Malla Electrosoldada Cálculos de Pre factibilidad y Pre dimensionamiento
Anexo G	Diseño de Uniones Empernadas

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Los terremotos recientes en Haití, Chile, Indonesia (2010), y Japón, Turquía (2011) nos han mostrado lo susceptibles que son las estructuras y el riesgo en el que se encuentran las personas que viven en zonas sísmicas. En el Perú, el terremoto de Huaraz (1970) tuvo como consecuencia la pérdida de 70,000 personas y en el terremoto de Ica (2007) hubo 596 muertos (*INDECI, 2008*) y 48,208 viviendas destruidas. Los mayores daños se presentaron en edificaciones de adobe.

El Censo Nacional IX Población y IV Vivienda de 1993 reportó que el 43% (2'000,000) del total de viviendas eran de adobe y tapial (*INEI, 1993*). Según el Censo Nacional XI Población y VI Vivienda en el 2007, esta cifra llega a 34.8% (2'230,000) (*INEI, 2007*). Si bien el porcentaje de viviendas de adobe y tapial ha disminuido en 14 años en un 8.2%, la cantidad de las mismas ha crecido en 11.5%.

Según el Censo Escolar (2009), existen 17,573 colegios hechos de adobe en el Perú que representa un 34% del total. En el 2009 estos centros educativos albergaron 1.2 millones de estudiantes. A nivel de Lima Provincias son 384 los locales que están contruidos con base en adobe.

La Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) ha estado involucrada en el desarrollo de tecnologías y programas de capacitación y mitigación para reducir el riesgo sísmico en edificaciones de adobe.

Por iniciativa de las Naciones Unidas se declaró la última década del siglo XX como el “Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales (DIRDN)”. Ello permitió el proyecto de reforzamiento de construcciones de adobe CERESIS-GTZ-PUCP, realizado en Ica. Este proyecto consistió en colocar franjas de mallas electrosoldadas en las esquinas y en la parte superior de los muros clavadas e interconectadas entre sí, simulando una especie de columnas y vigas. Esto hace que aumente la resistencia sísmica de las viviendas y retarde el colapso. De esta forma, los habitantes tienen mayor tiempo de evacuar de sus hogares hacia zonas más seguras durante un sismo (*Zegarra, et al., 1999*). Este proyecto se

ejecutó con el financiamiento de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ), y la administración del Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS).

Otro trabajo ejecutado fue el proyecto especial COPASA (2005). En este proyecto se fabricaron nuevas unidades de adobe mejorado y se construyeron 400 viviendas reforzadas con malla electrosoldada y viga collar de concreto armado en la zona alto andina de Arequipa. La Pontificia Universidad Católica del Perú participó en este proyecto a través de ensayos de simulación sísmica como en la elaboración de manuales prácticos relacionados con la tecnología de la malla electrosoldada.

Después del sismo de Ica 2007 la PUCP en cooperación con CARE Perú, FORSUR (organismo creado para hacerse cargo de la reconstrucción de las áreas afectadas por el terremoto de Pisco), la Agencia Suiza para el Desarrollo y Cooperación (COSUDE), y GTZ diseñaron un programa de capacitación masiva dirigido a la población afectada por el terremoto con la finalidad de reducir la vulnerabilidad sísmica de construcciones de tierra (*Rubiños, 2009*).

Producto de las investigaciones se han elaborado manuales de capacitación para la construcción de viviendas de adobe tales como el Manual técnico para el reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la costa y sierra (*GTZ-CERESIS-PUCP, 1997*), Manual para elaborar adobes mejorados y Manual de construcciones sismo resistentes en adobe (*GTZ-PUCP, 2005*), Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas zona costa y zona sierra (*Vargas, et al., 2007*), Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludables y seguras (*Blondet, 2010*).

La gestión de capacitación y elaboración de manuales de construcción de adobe también ha sido llevada a cabo por otras instituciones como la Cruz Roja, Care Perú, Caritas Perú, Centro de Estudios y Prevención de Desastres – PREDES con su manual Construyendo Casas de Adobe más Resistentes (*PREDES, 2002*); y el Manual para el Desarrollo de Viviendas Sismorresistentes (*PNUD, 2008*) de las Naciones Unidas.

A pesar de que existen técnicas validadas, no han sido adoptadas por la población en forma masiva o en todo caso, no se ha reportado ninguna experiencia de réplica por iniciativa propia de la población en riesgo.

A inicios del año 2011 empezó un proyecto denominado “Reduciendo el Riesgo Sísmico de Escuelas en el Perú Rural” que consiste en el reforzamiento de edificaciones existentes de adobe. Este proyecto está encaminado en el reforzamiento sísmico de una escuela en una comunidad vulnerable con el objetivo de lograr la réplica de la técnica de reforzamiento por parte de los pobladores que habitan en viviendas de adobe en la comunidad y en pueblos aledaños. Este proyecto involucra a organizaciones no gubernamentales como Geohazards International y Estrategia, así como la Universidad de Stanford y la Pontificia Universidad Católica del Perú.

A partir de una lista de criterios de selección (vulnerabilidad, riesgo, replicabilidad, ayuda comunitaria, accesibilidad, etc.) y visitas de campo realizados a diferentes pueblos (Chincha, Grocio Prado, Pauna, San Pedro, Pilpa, Cañete, Viñac, Pallca Cruz, Chocos, San Miguel, Totorá, Pueblo Nuevo, etc.), se seleccionó, para el proyecto, un colegio de adobe muy representativo que tenía características similares al de los otros colegios visitados y en donde se pudiera ejecutar el proyecto de reforzamiento juntamente con la comunidad. Este local escolar es el colegio I.E. 20137 San Cristóbal de Chocos ubicado en el distrito de Chocos, provincia de Yauyos – Lima, construido con adobe en el año 1954 y que actualmente alberga a 75 alumnos y 6 docentes del distrito de Chocos.

El proyecto está compuesto por dos fases. La primera fase del proyecto es la de presentar una propuesta integral de reforzamiento y capacitación. Así mismo, la aplicación de esta propuesta a la comunidad del distrito de Chocos. Esta tesis presenta la metodología y los resultados de esta primera fase.

La segunda fase del proyecto de mitigación consiste en la ejecución de la obra de reforzamiento y de hacer las recomendaciones pertinentes del proceso constructivo. Asimismo, la de validar la propuesta que se presenta en esta tesis. La segunda fase queda fuera de los alcances de esta tesis.

1.2. Objetivos

El objetivo general es presentar una metodología integral para implementar proyectos de mitigación en edificaciones existentes de adobe ubicadas en zona de riesgo sísmico. Esta propuesta consiste en tres etapas:

1. Identificación y selección de mejor alternativa de reforzamiento para la edificación existente de adobe.
2. Análisis y diseño de la alternativa seleccionada.
3. Presentación del proyecto a la comunidad y taller de capacitación.

La metodología propuesta se aplicará al caso de un local escolar en una zona rural del Perú.

Los objetivos específicos de esta tesis son:

- Establecer un procedimiento para la selección de la mejor alternativa de reforzamiento tomando en cuenta factores técnicos, ambientales, económicos y sociales.
- Establecer lineamientos para el análisis y diseño de los elementos de la estructura por reforzar y realizar el proyecto de reforzamiento del local escolar de acuerdo a estos lineamientos.
- Elaboración de un programa para los talleres de capacitación y preparación de material de capacitación dirigido a los pobladores para que tomen conciencia del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo de sus edificaciones construidas con adobe sin ningún tipo de refuerzo
- Presentar y validar la propuesta técnica con la población beneficiada.

2. Estado del Arte

En muchos países donde la construcción con tierra es tradicional, los terremotos causan destrucción de las estructuras de adobe, producen pérdidas de vidas humanas, materiales y ocasionan daño a monumentos históricos de tierra (Figura 2.1).



Figura 2.1. Muro de adobe sosteniendo techo (Elnashai, et al., 2008)

En consecuencia, hoy en día, es importante difundir, discutir, compartir información y aprender sobre los desafíos de la construcción con tierra y técnicas de reforzamiento en zonas de alto peligro sísmico.

Dentro de las técnicas de refuerzo de construcciones existentes de adobe con las que se cuenta hoy, son:

- Refuerzo de muros de adobe con malla exterior natural, con utilización de cañas y sogas.
- Rehabilitación con elementos de madera confinantes.
- Vigas corona perimetrales de madera o concreto armado.
- Viga collar de madera externa.
- Refuerzo con columnas y vigas de concreto.
- Tensores de acero horizontales, especialmente usados en construcciones históricas.
- Llaves de madera en esquinas, usadas principalmente en construcciones históricas.
- Contrafuertes o mochetas.

- Costura con tablas en línea de debilidad para coser la falla por cumbreira.
- Mallas de acero electrosoldadas revestidas de mortero de cemento o cal y arena colocadas en ambas caras de los muros en forma equivalente a vigas y columnas esquineras.
- Reforzamiento con mallas de acero a los lados del muro (encamisado) sujetas por clavos y anclas de alambón, recubierto con mortero de cemento y arena.
- Uso de la geomalla como refuerzo en construcciones de adobe.
- Reforzamiento con tiras cortadas de llantas radiales usadas.

Todas estas técnicas de alguna manera incrementan la resistencia sísmica, rigidez y capacidad de deformación de las estructuras de adobe mejorando el comportamiento sísmico de las mismas. A continuación se describen de manera concisa algunos de estos tipos de reforzamiento para edificaciones existentes de adobe.

2.1. Refuerzo de Muros de Adobe con Malla Exterior Natural

El material de refuerzo, en este caso, es una malla compuesta por cañas, como elementos verticales, y por sogas tipo “cabuya” como elementos horizontales, en ambos lados del muro (Figura 2.2). La caña y la soga “cabuya” son conectadas a través del muro por soguillas de yute de diámetro pequeño. La caña se debe colocar verticalmente cada 50 cm a ambos lados del muro y la soguilla a 40 cm en la dirección horizontal (PNUD, 2008). Este refuerzo incrementa la resistencia a la tracción de la estructura de adobe.



Figura 2.2. Muro de adobe reforzado con malla natural (PNUD, 2008)

2.2. Rehabilitación con Elementos de Madera Confinantes

Esta técnica de reforzamiento consiste en la instalación de tablas de madera (horizontales y verticales) en la cara exterior e interior de los muros con el fin de aumentar la resistencia de los muros y mantener la consistencia y unidad de la estructura (AIS, 2010). Las tablas de madera de Grupo B (PADT-REFORT, 1984) se interconectan mediante pernos pasantes y mediante puntillas convencionales clavadas sobre las tablas hasta penetrar los muros. Las tablas están espaciadas tal como indica la Figura 2.3.



Figura 2.3. Rehabilitación con elementos de madera confinantes (AIS, 2010)

2.3. Viga Collar de Madera y Barro

Generalmente el sistema techo se apoya simplemente sobre la estructura de adobe generando esfuerzos locales. Una viga collar de madera a lo largo de todos los muros lograría transmitir de manera perimetral el peso total del techo evitando concentraciones de esfuerzos.

El procedimiento consiste primero, en armar la viga collar de la forma indicada (Figura 2.4 a), para ello utilizar largueros y travesaños de madera de 3"x3". Segundo, instalar la estructura en el muro (Figura 2.4 b) y tercero rellenar con barro los espacios entre travesaños y largueros (Figura 2.4 c) (Vargas et al, 2007).

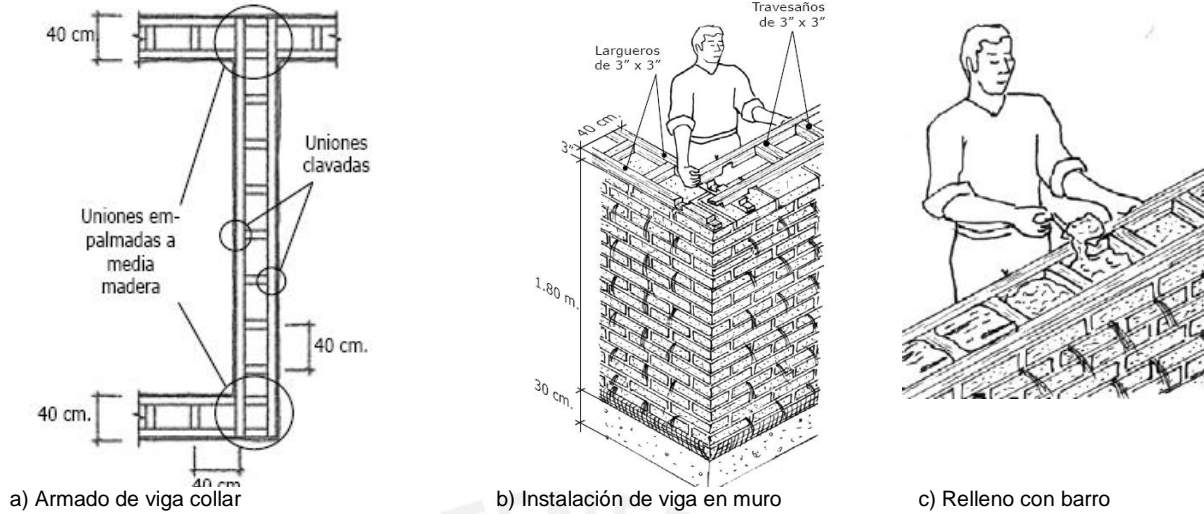
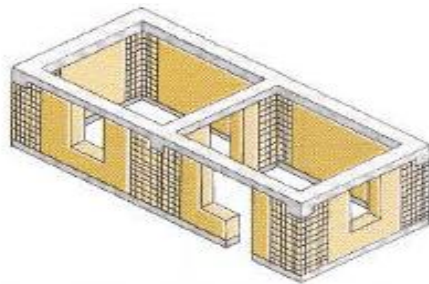


Figura 2.4. Viga de anillo de madera (Vargas et al., 2007)

2.4. Viga Collar de Concreto Armado

Su función es amarrar todas las paredes de tal manera que la casa se comporte como una sola unidad en caso de movimientos sísmicos. Esto fue propuesto por el proyecto COPASA en el año 2001, y se ejecutó para un total de 350 casas (Figura 2.5 y 2.6).

Se debe tener en cuenta que los diseños mostrados se utilizaron considerando la tipología de las viviendas piloto, en el que los ambientes sean multiusos, de 3.20 m en planta como máximo y 2.10 m de altura en la parte más baja, con techo inclinado ligeramente para ganar altura en la fachada posterior. El módulo es de 2 ambientes, con unos 36 m² de área techada.



La viga collar

*Esta viga es la que permite **amarrar** todas las paredes que acabamos de reforzar con malla, de tal manera que la casa ahora es como una casa sólida.*

Figura 2.5. Viga collar de concreto armado (GTZ, COPASA, PUCP, 2005)



Figura 2.6. Encofrado de viga solera de concreto armado

Para la viga de concreto reforzado con fierro necesitamos de fierro corrugado de 3/8", alambre N°8, clavos y madera (Figura 2.6). La preparación de la mezcla es de 1:6 (1 lata de cemento por 6 latas de hormigón) y la altura de la viga es de 10 cm. Si es que el área de la edificación fuese más grande, el peralte de esta viga solera debería ser mayor al igual que la cantidad de acero de refuerzo y diámetro.

2.5. Viga collar de Madera Externa

La técnica consiste en el reforzamiento con viga collar de madera la que se compone de dos tabloncillos colocados en el exterior y en el interior de los muros a la altura de las puertas y ventanas. Esto es con la finalidad de formar una sola unidad a través del efecto "aro" que proporciona esta viga externa y que al mismo tiempo produce un efecto de diafragma parecido al de un techo rígido uniendo firmemente los muros (Kuroiwa, 2004). Este tipo de reforzamiento es apropiado para edificaciones existentes de adobe sobretodo en zonas rurales. Las dos tablas de madera paralelas son de 12"x1" ó 8"x1" de sección transversal y con una longitud máxima de 5 m. Estas maderas son conectadas con ángulos de metal de 90° con un espesor mínimo de 1/16" (Figura 2.7). Una serie de ensayos experimentales de esta técnica fueron llevados a cabo en dos laboratorios: el Laboratorio de Estructuras del CISMID - FIC de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la FCI - LEDI de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Ver Figura 2.8.

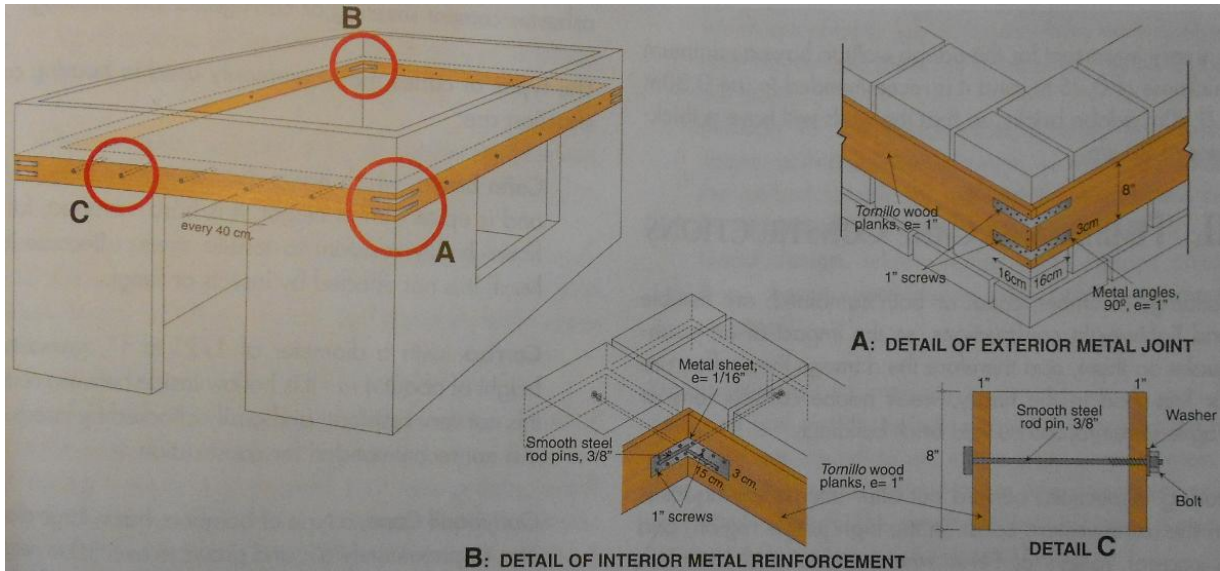


Figura 2.7. Viga collar de madera externa (Kuroiwa, 2004)

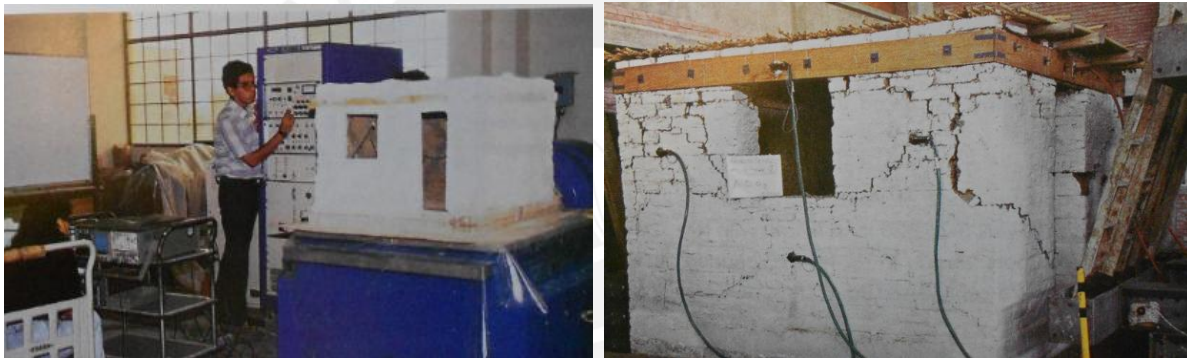


Figura 2.8. Ensayos realizados en los laboratorios de la UNI y la PUCP (Kuroiwa, 2004)

2.6. Contrafuertes o Mochetas

Quando los muros de adobe son muy largos, se recurre a una variante, que consiste en introducir elementos perpendiculares al muro, que unen la zapata con el muro. Estos elementos estructurales reciben el nombre de contrafuertes o mochetas, los cuales modifican el comportamiento del muro de tal forma que este ya no sea un voladizo sino una losa apoyada en tres bordes, con un comportamiento importante en la dirección horizontal (Figura 2.9 y 2.10).

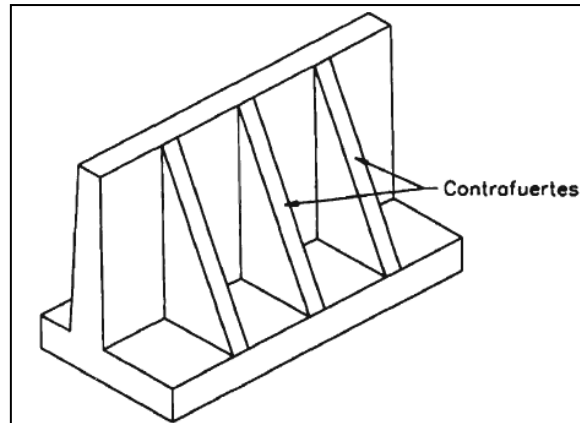


Figura 2.9. Esquema del comportamiento de muro con contrafuertes (Harmsen, 2005)

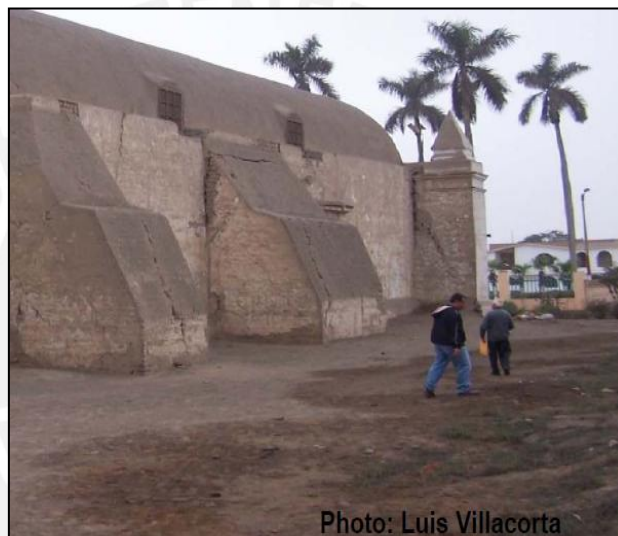


Figura 2.10. Uso de contrafuertes en la iglesia San Pedro de Carabayllo, Lima (Torrealva, 2009)

2.7. Costura con Tablas en Línea de Debilidad para coser la Falla por Cumbre

Como se muestra en la Figura 2.11, la línea formada en la parte inferior del triángulo que conforma al tímpano es una zona de debilidad, por lo que esa zona debe "coserse" con tablas verticales espaciadas cada 1 m, formando una especie de "sándwich", como se muestra en la Figura 2.12.

Preferentemente, la tabla debe ser de madera "tornillo" y debe colocarse embutida en una ranura, hecha previamente en el muro, de manera que la malla la cubra. Estas tablas tienen una altura de 30 cm por arriba y debajo de la línea de debilidad. A su vez, la tabla interior debe conectarse con la exterior mediante alambre (CERESIS-PUCP, 1997).

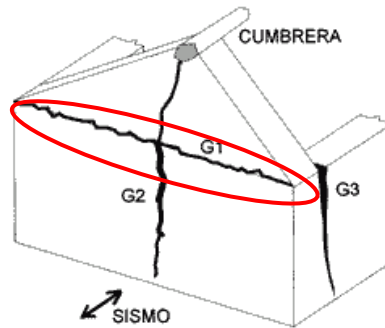


Figura 2.11. Falla por cumbrera (CERESIS, 2000)

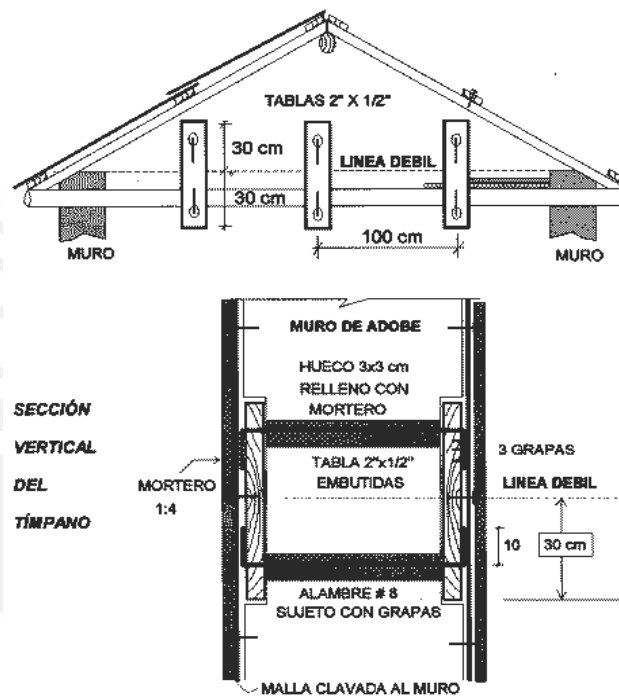


Figura 2.12. Refuerzo con listón de madera (CERESIS-PUCP, 1997)

2.8. Mallas Electrosoldadas como Refuerzo en Construcciones de Adobe

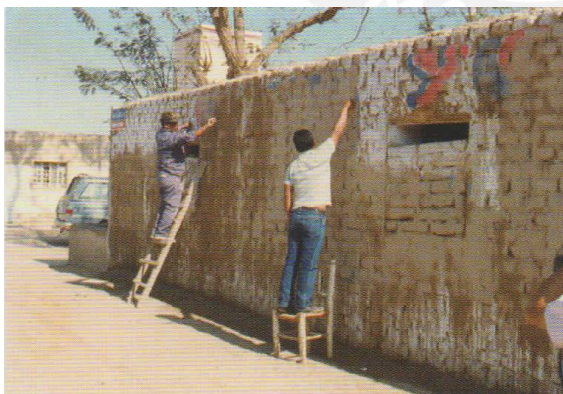
Desde el año 1971, la Sección de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú viene realizando varias soluciones sismorresistentes para construcciones de adobe. Entre las principales técnicas de refuerzo de edificaciones existentes de adobe se tiene a la malla electrosoldada. Estudios realizados indican que la malla electrosoldada incrementa considerablemente la resistencia a corte de los muros de adobe en comparación con la de otros muros estudiados con otro sistema de refuerzo (Madueño, 2005). Ensayos de flexión

lateral en muretes de adobe con mallas de acero realizados en México, confirman también el incremento significativo en la resistencia de los muros (Juárez, 2004).

La propuesta de Quiun et al., (2009) de utilizar la malla electrosoldada como refuerzo de estructuras de adobe consiste en colocar franjas de mallas electrosoldadas en las esquinas y parte superior de los muros, clavadas e interconectadas entre sí, las que luego se recubren con mortero de cemento y arena. La idea es simular una especie de columnas y vigas que aumenten la resistencia sísmica de las edificaciones de adobe (Figura 2.13).

El proceso constructivo es el siguiente:

1. Trazado de las franjas donde se ubicarán las mallas sobre los muros.
2. Limpieza de la superficie de las franjas, si existe enlucido previo este tiene que ser removido.
3. Perforación de agujeros en las zona de las franjas verticales cada 0.50 m.
4. Preparación de los alambres de conexión y cortado de las mallas.
5. Taponado de las perforaciones con mortero con alambres embebidos.
6. Colocación de las franjas de las mallas verticales, fijación al muro con clavos y chapitas metálicas, y doblado de conectores.
7. Colocación y fijación de las franjas de mallas horizontales.
8. Enlucido de las franjas con mortero de cemento y arena.



(a) Trazado de una franja horizontal



(b) Casa reforzada con malla electrosoldada

Figura 2.13. Casa reforzada en Guadalupe sin daños después del sismo de 15 de agosto de 2007 (Quiun, et al., 2008)

Esta técnica de mallas de acero electrosoldadas ha sido aplicada en 20 edificaciones sin refuerzo y mantenimiento, ubicadas en distintas partes del Perú. Algunas de ellas han demostrado su eficacia durante el sismo de Atico 2001 en Arequipa cuya magnitud fue de $M_w=8.4$ y en el terremoto del 15 de agosto de 2007 en Ica (Figura 2.13) $M_w=8$, en donde estas viviendas reforzadas no presentaron fisuras ni daños, en tanto que las viviendas vecinas no reforzadas colapsaron o sufrieron fuertes daños (*San Bartolomé, et al., 2011*).

2.9. La Geomalla como Refuerzo en Construcciones de Adobe

Las geomallas como refuerzo de estructuras de tierra para obras de ingeniería son muy usadas por tener propiedades estándar de rigidez y resistencia, fácil de implementar y con diversas características mecánicas (*Torrealva, 2009*).

La geomalla viene en rollos de 3 ó 4 metros de ancho por 50 ó 75 m de longitud. Una ventaja de la geomalla como refuerzo en construcciones de adobe es que existe una compatibilidad con el material base y su durabilidad frente a agentes externos (Figura 2.14).



Figura 2.14. Geomalla BX 1100 (Torrealva, 2009)

El reforzamiento de construcciones de tierra con geomalla consiste en incorporar la geomalla a lo largo de todos los muros de adobe amarradas con cintas plásticas (Figura 2.15). La geomalla debe tratar de cubrir en forma continua la mayor cantidad de área del muro de forma horizontal. Se realizan perforaciones cada 30 cm que atraviesan la pared, por el cual se introduce rafia o nylon para amarrar la geomalla en ambas caras del muro. La malla debe ser continua en esquinas y bordes exteriores e interiores. (*Torrealva, 2008*). La geomalla debe estar anclada a su propia cimentación y a una viga collar de madera o de concreto reforzado con fierro.



Figura 2.15. Instalación de la geomalla en muros de adobe

Se han desarrollado ensayos sísmicos del conjunto adobe-malla en las que se demuestra la casi perfecta compatibilidad de ambos materiales para la transmisión de esfuerzos donde las geomallas toman las tracciones y el adobe las compresiones en la misma forma que las varillas de acero son refuerzo del concreto (Figura 2.16). Todo esto abre la posibilidad de realizar ensayos de caracterización de propiedades estructurales como la resistencia a la flexión y fuerza cortante cíclica coplanar en forma similar a los que se utilizan en materiales normales de ingeniería. Proyectos de investigación realizados en la PUCP por alumnos de tesis de pre y posgrado muestran que ensayos de flexión y corte de muros de adobe con refuerzo de geomalla arrojan resultados que indican un buen comportamiento dúctil con gran capacidad de deformación manteniendo el nivel de resistencia elástica (*Torrealva, 2009*).



Figura 2.16. Ensayo dinámico de módulo de adobe con geomalla en laboratorio de Estructuras de la PUCP

2.10. Reforzamiento con Tiras Cortadas de Llantas Radiales Usadas

Este sistema de reforzamiento consiste en colocar tiras de llantas radiales de aproximadamente 6.0 m de largo por 0.4 m de ancho. Estas tiras de llanta son colocadas de forma horizontal (espaciadas cada 0.6 m en sentido vertical) y vertical (espaciadas cada 1.2 m en sentido horizontal) alrededor de todos los muros de adobe tanto en la parte interna como en la parte externa anclándolas en la parte de abajo a través de una cimentación y en la parte de arriba con la viga collar. Este sistema puede aplicarse a estructuras existentes de adobe (Charleson, 2011). Ensayos dinámicos realizados en la PUCP indicaron el tipo de falla en la estructura esquematizados en la Figura 2.17 sin llegar al colapso, pero con serios daños en la estructura (Figura 2.18).

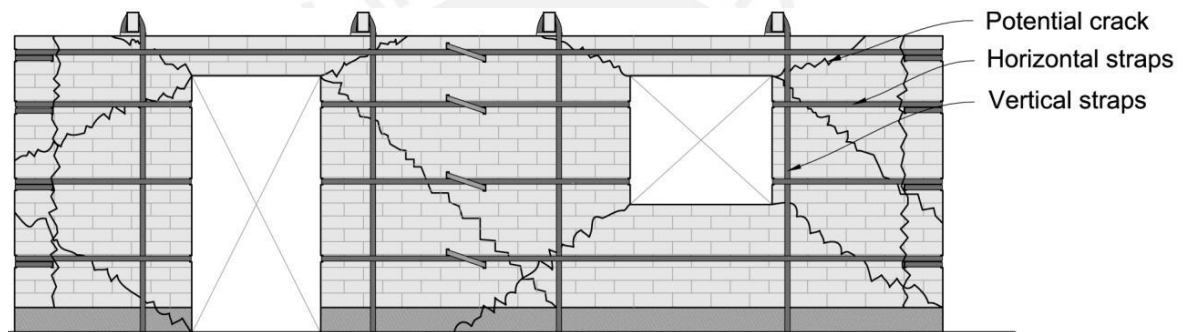


Figura 2.17. (Elevación) Modelo de falla de casa de adobe reforzado con tiras de llantas usadas (Charleson, 2011)



Figura 2.18. Ensayo dinámico de casa reforzada con tiras de llantas radiales usadas (Charleson, 2011)

3. Método Propuesto de Reforzamiento para Edificaciones de Adobe

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

1. Selección de mejor alternativa de reforzamiento para la edificación de adobe.
2. Análisis y diseño de la alternativa seleccionada.
3. Presentación del proyecto a la comunidad y taller de capacitación.

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.

3.1. Selección de Mejor Alternativa

Para la selección de mejor alternativa se propone tres procesos:

El primer proceso consiste en usar la técnica general del *Brainstorming* o Tormenta de ideas para recabar todas las posibilidades, opiniones 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:

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

I : Índice de factibilidad,

W_i : Peso asignado al Factor "i" (F_i),

F_i : 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 en la comunidad, y por el contrario, un índice del 100 indicaría que la alternativa es bastante buena y viable para llevarlo a cabo en la comunidad y esta lo acepte 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.

3.1.1. Factores de Desempeño (F_i)

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.

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:

F_1 : 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.

F₂: Factor Seguridad y Comportamiento. 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.

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.

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.

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.

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.

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.

3.1.1.1. 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.

$$\text{Viabilidad de costo} = \left(\frac{\text{COSTO INICIAL DEL REFORZAMIENTO / M}^2}{\text{VALOR UNITARIO OFICIAL DE CONSTRUCCION DE ADOBE / M}^2} \right) \% \dots (a)$$

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 (F_1) con la siguiente ecuación (b):

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

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.

3.1.1.2. Factor seguridad y Comportamiento (F_2)

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.

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.

En sismos pocos severos pero más frecuentes las edificaciones de adobe son afectados 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.

La escala de valores propuestos para el factor seguridad y comportamiento son mostrados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Factor Seguridad y Comportamiento (F_2)

Características propias de las alternativas de reforzamiento	Valor Asignado (F_2)
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.

3.1.1.3. Factor Recursos y Facilidad de Construcción (F_3)

Este factor F_3 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 3.2 se propone la escala de valores para el factor F_3 .

Tabla 3.2. Factor Recursos y Facilidad de Construcción (F_3)

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 - 75
Capacitación mínima. Requiere el uso de herramientas menores	75 - 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.

3.1.1.4. Factor Disponibilidad de Materiales (F_4)

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 F_4 los siguientes valores presentados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Factor Disponibilidad de Materiales (F_4)

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 - 75
Disponibilidad inmediata (Los materiales se encuentran disponibles a nivel local)	75 - 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.

3.1.1.5. Factor Impacto Ambiental (F_5)

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. La escala de valores para el factor F_5 son presentados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Factor Sostenibilidad e Impacto Ambiental (F_5)

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 y/o 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 - 75
No hay impacto ambiental por actividad antrópica	75 - 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 F_5 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.

3.1.1.6. Factor Imaginario de la Población (F_6)

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 F_6 se presenta en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Factor Imaginario de la Población (F_6)

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 F_6 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 la asigna un valor entre 25 a 75 al factor F_6 . 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 F_6 un valor entre 75 a 100 porque la posibilidad de réplica por iniciativa propia de la comunidad es mayor.

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.

3.2. Análisis y Diseño de la Alternativa Seleccionada

Luego de la selección de la mejor alternativa, se procede al análisis y diseño del reforzamiento de la edificación con la alternativa seleccionada. Todo proyecto de reforzamiento debe de estar acorde con las bases consideradas en normas vigentes, por ejemplo la Norma E.080, o en su defecto debe contar con un estudio técnico. La parte de diseño, propio de cada reforzamiento, puede involucrar entre otras cosas: muros, cimentación, contrafuertes, mochetas, viga collar, tijeral y/o drenaje. Esto básicamente dependerá de los alcances del proyecto.

Los pasos para realizar el análisis serían los siguientes:

Verificación con la Norma E.080 Adobe de la estructura existente

Metrado de cargas muertas y vivas y parámetros para el análisis sísmico

Análisis de cortante

Análisis de flexión

Análisis complementarios

Dichos pasos se realizarán tanto para la edificación sin intervenir y la reforzada (diseño propio de la alternativa de reforzamiento). Para la edificación intervenida, se comprobará que los valores obtenidos en corte y flexión sean resistidos por el sistema de refuerzo con el adobe.

3.3. Taller de Capacitación

La finalidad de un taller de capacitación es que brinde las herramientas técnicas necesarias y los conceptos básicos para que ayuden a afianzar la propuesta de reforzamiento y haga factible la posibilidad de réplica por parte de los pobladores en sus propias viviendas y en comunidades aledañas. Un taller de capacitación debe de estar compuesta de sesiones y salidas al campo con temas y actividades específicas con su respectiva audiencia. Principalmente la capacitación estará dirigida a las personas involucradas en el reforzamiento de las edificaciones de adobe.

A continuación se presenta, como parte del método propuesto de mitigación integral, un programa de capacitación y preparación de material de capacitación dirigido a los pobladores de la comunidad para que tomen conciencia del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo de sus edificaciones construidas con adobe sin ningún tipo de refuerzo así como dar hincapié también a políticas y estrategias para reducir la vulnerabilidad de la comunidad en general.

3.3.1. Estructura del Programa Propuesto para el Taller de Capacitación

Taller de capacitación Sesión 1

1. Temas y/o actividades:

- Tierra y Vivienda: Derecho a una vivienda, lotes abandonados, desarrollo urbano, saneamiento físico legal de las propiedades para la titulación respectiva.
- Promoción y fortalecimiento de organizaciones comunales.
- Trabajo de campo: Recorrido e identificación de zonas seguras y vulnerables, riesgos y obstáculos, en toda la comunidad en caso de emergencia o sismo, así mismo identificación tipos de viviendas, espacios libres, áreas verdes, establecimientos municipales, comunales, desmontes, etc.

- Elaboración de mapas comunales en papelógrafos donde se señale los riesgos identificados en el trabajo de campo.
 - Seguridad rural y/o urbana: Por ejemplo la falta de iluminación en las calles, buzones sin tapa, casas a medio construir, etc.
 - Ordenanzas municipales: prohibiciones y autorizaciones.
2. Expositores: Dos o un arquitecto, ingeniero civil, sanitario o afín (abogados) con dominio en el tema de habilitaciones urbanas, rurales y gestión de riesgos así como derechos y deberes de acceso a la tierra y vivienda.
 3. Tiempo: 2 días
 4. Audiencia: La comunidad en general
 5. Materiales y equipo:
 - Papelógrafos, cuadernos, lapiceros, lápices, tablas de apuntes.
 - Proyector, banners de publicidad de capacitación.
 6. Lugar: Local de buena capacidad para albergar a la mayoría de la comunidad.
Salidas al campo.

Taller de capacitación Sesión 2

1. Tema: Seguridad en caso de sismos y ensayo de simulacro ante posibles eventos sísmicos. Dinámicas grupales.
2. Expositores: Psicóloga o Socióloga con empatía al tratar con niños y adultos.
3. Tiempo: 1 a 2 días
4. Audiencia: Niños y comunidad en general.
5. Materiales y equipo:
 - Papelógrafo plumones
 - Proyector
 - Juguetes y/o herramientas educativas relacionadas al tema.
6. Lugar: casas y/o colegios.

Taller de Capacitación Sesión 3

1. Tema: Capacitación técnica para la adecuada fabricación del adobe como material de construcción.
2. Expositores: Ingeniero civil, arquitecto o un técnico con dominio práctico en el tema y buena capacidad de expresión.

3. Tiempo: de 1 a 2 días
4. Audiencia: La comunidad en general.
5. Materiales: Materiales y equipos necesarios para la fabricación de adobes.
6. Lugar: Se requiere de un área amplia y expuesta al ambiente, y cercano a la estructura a reforzar.

Taller de Capacitación Sesión 4

1. Temas y/o actividades:
 - Riesgos en la zona y experiencia en sismos pasados
 - Identificación de fallas en las estructuras de adobe durante un terremoto
 - Evaluación de fallas en las edificaciones de adobe de la comunidad y elaboración de una lista de las principales fallas identificados en sus viviendas (Salida al campo en grupos de máximo 10 pobladores cada uno con mujeres, niños y adultos mayores liderados por los expositores).
2. Expositores: Dos ingenieros civiles o más, con habilidades de docencia y liderazgo para manejar grupos de personas.
3. Tiempo: 1 día
4. Audiencia: La comunidad en general
5. Materiales:
 - Videos o animaciones de fallas típicas de viviendas de adobe.
 - Esquemas, fotos, videos de daños en estructuras de adobe debido a terremotos.
 - Diapositivas
 - Tizas, plumones, Papel o papelógrafos.
6. Equipo: Proyector y linternas para visitas a estructuras sin iluminación.
7. Lugar: Auditorio y salidas al campo.

Taller de Capacitación Sesión 5

1. Temas y/o actividades:
 - Cómo reforzar una estructura de adobe
 - Entrega de guías o manuales de reforzamiento para edificaciones de adobe

- Visitar edificaciones de adobe de la comunidad y evaluar soluciones de reforzamiento. Elaboración de una lista de las principales modificaciones o refuerzos que se harían en una edificación de adobe.
 - Realizar esquemas en papelógrafos y/o de forma directa en las paredes de la edificación a reforzar, de esta forma se pone en práctica los conocimientos adquiridos a través de las guías entregadas durante la capacitación.
2. Expositores: Dos ingenieros civiles o más con conocimientos de reforzamiento estructural. Liderazgo para manejar grupos de personas.
 3. Tiempo: 1 día
 4. Audiencia: La comunidad en general
 5. Materiales y/o equipo:
 - Diapositivas y/o videos de casas reforzadas
 - Proyector de diapositivas y videos
 - Video de procedimientos constructivos
 - Manuales o guías practicas de reforzamiento
 - Tizas o crayolas para el pintado en las paredes de adobe
 - Papelógrafos y plumones
 - Linternas
 6. Lugar: La exposición en un auditorio y las salidas al campo en las respectivas viviendas o estructuras de adobe.

Taller de Capacitación Sesión 5

1. Tema: Presentación y validación de la propuesta técnica con la población beneficiada
 - Crear esquemas del reforzamiento de la estructura; tales como fotografías modificadas digitalmente para reflejar los cambios que se realizarán a la estructura. (Software recomendado: Paint y Photoshop)
 - Analogías del reforzamiento con procedimientos comunes o situaciones cotidianas de la comunidad tales como: comida, fiestas o lugares conocidos por la comunidad.
2. Expositores: Dos ingenieros civiles o más especialistas en el tema de reforzamiento y con formación de responsabilidad social y habilidades de docencia.
3. Tiempo: 1 - 2 horas

4. Audiencia: Preferentemente personal encargado de la construcción (mujeres y hombres)
9. Materiales y/o equipo:
 - Diapositivas con un lenguaje sencillo e ilustrativo
 - Proyector de diapositivas
 - Puntero retráctil o láser
 - Plumones, papelógrafos
 - Afiches, programas, trípticos
10. Lugar: Auditorio con buena capacidad de audiencia



4. Aplicación del Método Propuesto a un Local Escolar de Adobe

A inicios del presente año empezó el proyecto denominado “Reducción del Riesgo Sísmico en Escuelas del Perú Rural”. El proyecto consistió en el refuerzo del local escolar de adobe San Cristóbal I.E. 20137, ubicado en el distrito de Chocos, provincia de Yauyos – Lima. La ONG GeoHazards International financió y dirigió el proyecto, así mismo, se tuvo la participación de la ONG Estrategia, la Universidad de Stanford, la Pontificia Universidad Católica del Perú y la Municipalidad de Chocos (Figura 4.1).

El proyecto en mención se pone como ejemplo de aplicación del método propuesto, el cual consistió en:

- Selección de la mejor alternativa de reforzamiento para la edificación de adobe existente.
- Análisis y diseño de los elementos estructurales de refuerzo de la alternativa seleccionada.
- Taller de capacitación y presentación del reforzamiento a la comunidad.
- Ejecución y entrega de la obra. Esta etapa esta fuera de los alcances de esta tesis.



Figura 4.1. Mural del Proyecto

a) Trabajos Preliminares

Según el Censo Escolar (2009), existen 17,573 colegios hechos de adobe en el Perú que representa un 34% del total. A nivel de Lima Provincias son 384 los locales escolares que

están contruidos con base en adobe de los cuales 75 colegios pertenecen a la provincia de Yauyos y 5 de ellos se encuentran en el distrito de Chocos (Escale, 2009). El local escolar San Cristóbal I.E. 20137 - UGEL 13 - YAUYOS (Figura 4.2) fue seleccionado para el proyecto “Reduciendo el Riesgo Sísmico de Escuelas en el Perú Rural”.

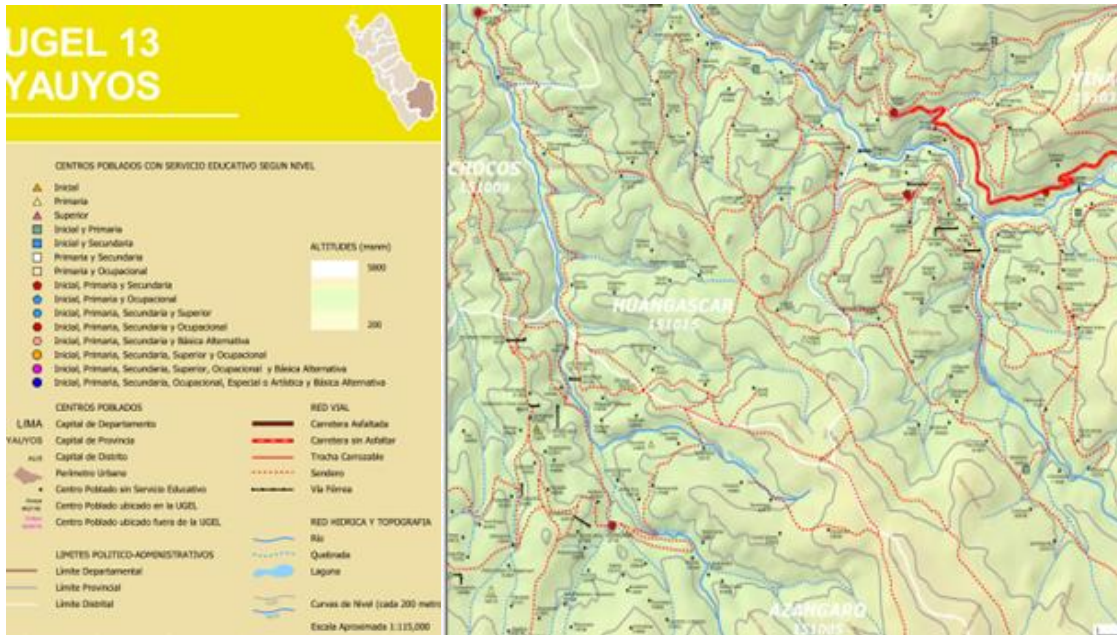


Figura 4.2. UGEL 13 Yauyos Codigo Chocos 151009 (Escale, 2009)

Se realizó una visita de campo el día sábado 12 de marzo del 2011 con la finalidad de realizar un levantamiento de información para la elaboración de planos arquitectónicos actuales (ver anexo A, Plano A-01 y A-02) y futuros planos de intervención estructural. Asimismo, se conoció in situ las condiciones en que se encontraba el local escolar en el distrito de Chocos.

El distrito de Chocos tiene aproximadamente una población de 300 personas y la mayoría de sus edificaciones son construcciones de adobe. Las principales actividades de la comunidad rural de Chocos son la agricultura y la ganadería, complementada en pequeña escala del comercio, artesanía y pesquería.

b) Situación Actual del Local Escolar

Ubicación geográfica:

El local escolar se encuentra ubicado en el departamento de Lima, provincia de Yauyos, Distrito de Chocos (Figura 4.3). La longitud, latitud y la altitud son (*Google Earth, 2011*):

Latitud: -12.914
 Longitud: -75.863
 Altitud: 2700 msnm

La zona donde se encuentra el colegio pertenece a la zona rural de Lima que se caracteriza por tener un clima templado seco con presencia de lluvia (Figura 4.4), característico de la región Quechua 2,500 a 3,500 m.s.n.m. El Relieve es escarpado, conformado por valles interandinos (*Pulgar, 1981*).



Figura 4.3. Ubicación geográfica



Figura 4.4. Distrito de Chocos

Peligros existentes en la zona:

- Naturales: Sismos, lluvias torrenciales, vientos (ventarrones), huaycos, sequías, friaje, granizo.
- Humanos: Contaminación por desagües domésticos.

Edificación actual:

La estructura seleccionada para este proyecto, es la Escuela Estatal 20137 del distrito de Chocos. La escuela cuenta con tres pabellones, dos de los cuales son similares estructuralmente. La escuela a reforzar colinda con una losa deportiva y posee un patio interior conformado por terreno natural (Figura 4.5).



Figura 4.5. Vista frontal de la escuela

El pabellón que será intervenido es el que se puede apreciar en la Figura 4.6. Este pabellón tiene un área construida aproximadamente de 160 m² y está compuesto por tres aulas. Fue construido en el año 1954, por lo cual, la escuela no se diseñó con ninguna norma. La primera norma de seguridad sísmica nacional publicada fue en 1970 (Blanco, 2010) por lo que estos colegios no cumplen con las exigencias mínimas para seguridad contra el efecto destructivo de los sismos. El pabellón posee tres puertas para el ingreso a las aulas, tiene tres ventanas frontales y seis ventanas posteriores, dos por cada aula. Las instalaciones eléctricas se encuentran superpuestas y sin protección.



Figura 4.6. Vista frontal del pabellón seleccionado

-**Cimentación:** La cimentación corrida se encuentra conformada por material granular grueso, como piedras recogidas de la zona unidas por cementante de barro. Además tiene una sobrecimentación, también del mismo material y dispuesto como pirca en la base de los muros. La sobrecimentación está tarrajada y en mal estado a causa de la erosión producida por lluvias. Las dimensiones obtenidas en campo se muestran en la Figura 4.7 y 4.8.



Figura 4.7. Vista del sobrecimiento con tarrajeo erosionado

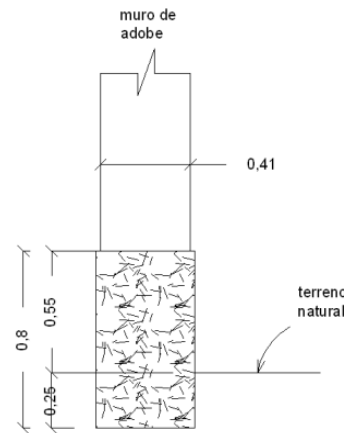


Figura 4.8. Dimensiones de la cimentación en metros

-**Muros:** Compuesto por bloques de adobe, unidos por cementante de barro. Los muros tienen una altura de 2.9 m hasta 3.70 m, en las zonas de las cumbres. Las unidades de adobe, producidas de forma artesanal, están conformadas por material granular con tierra propia de la zona. Los muros se encuentran tarrajados con barro, excepto las dos caras exteriores de los dos muros laterales del pabellón.

Los muros fueron reparados en el año 2008, dado que se formaron grietas y fisuras a causa del terremoto del 15 de Agosto del 2007. La reparación consistió en rellenar con mortero las zonas con grietas y volver a tarrajearlas.

-**Techo:** En general, las edificaciones de adobe tienen techos con coberturas de calamina, y la armadura de soporte son de maderas muy deterioradas que tienen forma de par y nudillo (Figura 4.9). El sistema del techo de cada aula está conformado por 5 tijerales que soportan el peso de las correas y la cobertura de calaminas de 2 mm de espesor. A la vez sirven de soporte para las instalaciones eléctricas de iluminación del aula. Durante el levantamiento de información del local escolar se obtuvo que las armaduras y correas son de madera Copaiba

espaciadas cada 1.65 m y 1 m respectivamente (ver Figura 4.10). La pendiente de la escuela es de 1/4, cuando lo recomendable para este tipo de configuración (par y nudillo), según los programas de investigación de componentes estructurales llevados a cabo por los países del Grupo Andino, debería ser de 1/2 a 1/1.

La armadura del techo a dos aguas se encuentra simplemente apoyada sobre los muros de adobe sin ninguna restricción horizontal o vertical que garanticen el no desplazamiento del techo debido a fuerzas sísmicas o de viento.

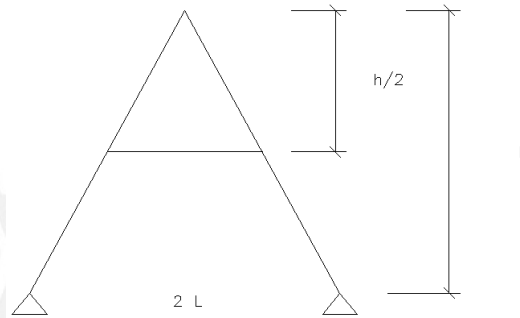


Figura 4.9. Forma de par y nudillo

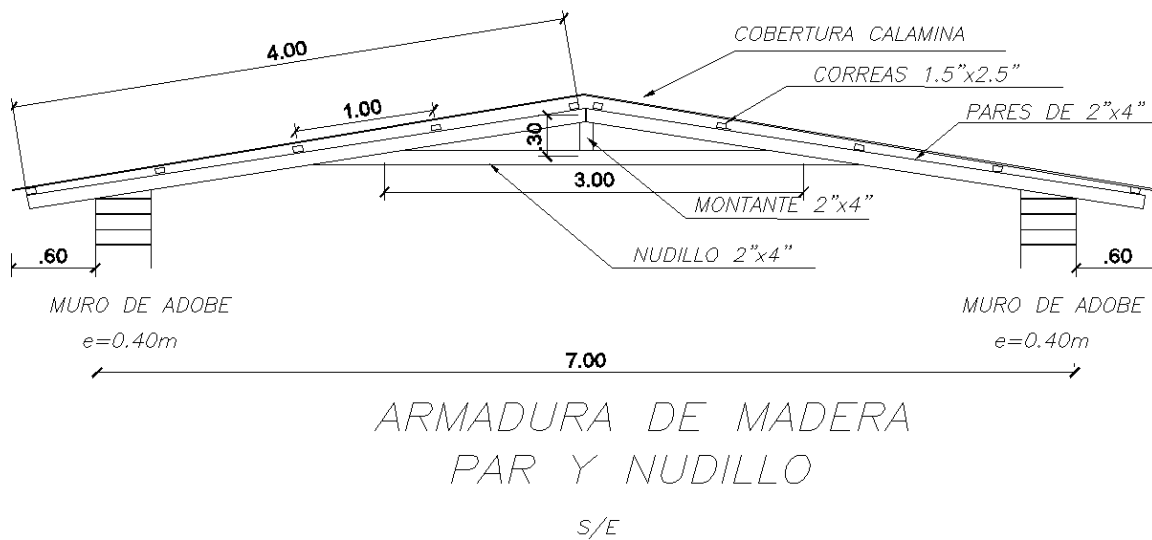


Figura 4.10. Dimensiones del techo del local escolar (sin intervención).

Las armaduras y cubiertas del local escolar de Chocos se encuentran en una condición precaria y deteriorada debido a la humedad en épocas de lluvia, y según pobladores estos techos tienen más de 50 años de instalado. Las calaminas expuestas a la intemperie con el

tiempo se han agujereado dejando pasar gotas de lluvia al interior de los salones provocando erosión en los pisos (Figura 4.11 y 4.12). Al momento de llover, se genera ruido tanto por la caída de la lluvia como también por el viento que levanta algunas calaminas de su posición, dado que estas planchas de calamina solo estaban sujetas por algunos lados. La calamina no proporciona nada de luz al interior de las aulas y el techo, en general, no tiene un sistema de drenaje para la evacuación de las lluvias.



Figura 4.11. Fotografía del techo deteriorado del local escolar (Forma de par y nudillo)



Figura 4.12. Goteras provocan erosión en los pisos del local escolar.

-*Piso*: Se tiene tres losas de cemento pulido pertenecientes a las tres aulas a reforzar. Cada una tiene dimensiones de 43.4 m^2 (7 m x 6.2 m).

-*Escalera*: No existe escalera para el ingreso al local escolar, solo existe un peldaño de aproximadamente 0.50 m de alto, lo cual dificulta el tránsito de los alumnos.

-*Puertas y Ventanas*: El centro educativo cuenta con tres puertas y nueve ventanas compuestas de marco de fierro y vidrio crudo de 4 mm de espesor.

Con base en las experiencias de sismos pasados y en el análisis sísmico de la estructura se determinó que el local escolar de Chocos no era seguro y que debía ser reforzado. A continuación se aplica el método propuesto de reforzamiento estructural para edificaciones de adobe.

4.1. Selección de la Mejor Alternativa

Después de un estudio de las diferentes técnicas disponibles y validadas de reforzamiento en edificaciones existentes de adobe dados en el proceso del *Brainstorming* se escogieron dos alternativas consideradas como las mejores candidatas: la malla electrosoldada y la geomalla por ser alternativas con sustento teórico experimental, aplicadas en proyectos anteriores y que han demostrado eficacia en terremotos reales.

Así mismo, se realizó el diseño preliminar de reforzamiento a nivel de prefactibilidad de las dos alternativas mencionadas.

A continuación se procede a determinar la mejor alternativa para el caso particular de la Comunidad de Chocos para reforzar la edificación del local escolar I.E. 20137 San Cristóbal siguiendo el procedimiento detallado en el Capítulo 3.1.

4.1.1. Factor Costo inicial F_1 :

Los costos iniciales por metro cuadrado de reforzamiento para el local escolar I.E. 20137 de ambas alternativas son mostrados en la Tabla 4.1. Es importante indicar que estos valores no son representativos para vivienda, dado que la naturaleza de la edificación es un colegio con luces mayores a los normales de una vivienda y cuya importancia es alta (edificación esencial). Por ello es que se ha modificado la configuración estructural o la tipología de la edificación (ver Capítulo 4.2.1) (v.g. la implementación de contrafuertes en los muros de las aulas en la que estos han sido reforzados por cada una de las alternativas de reforzamiento). Esto incrementa el costo de recursos para cada alternativa de reforzamiento (materiales, mano de obra, etc.).

Tabla 4.1. Costo inicial de las alternativas

MATERIALES	COSTO INICIAL EN MATERIALES
	S/. / M ² (¹)
GEOMALLA	
Rollos de geomalla y cemento para la cimentación de anclaje	31.2
MALLA ELECTROSOLDADA	
Rollos de malla electrosoldada, cemento y clavos	21.9

- (¹) El área total de la edificación existente es de 158 m² (ver sección 4.2.1.)

- (¹) La justificación de los valores se encuentran en el Anexo E

Viabilidad Económica: De la Tabla 4.2 se ve que los costos iniciales de ambas alternativas tienen un costo menor con relación a que si se demoliera el muro de adobe y construirlo nuevamente. Por lo tanto ambas alternativas de reforzamiento son viables con relación al costo que implicaría construir una estructura nueva.

Tabla 4.2. Costo inicial con relación a los valores unitarios oficiales de edificaciones rurales 2011 (¹)

MATERIALES	COSTO INICIAL CON RELACION AL VALOR UNITARIO OFICIAL
GEOMALLA	
Rollos de geomalla, cemento para la cimentación de anclaje	23 %
MALLA ELECTROSOLDADA	
Cemento, clavos, rollos de malla electrosoldada	16 %

(¹) Valores obtenidos aplicando la ecuación (a) del Capítulo 3.1.1.1.

Determinación del Factor Costo Inicial: Aplicando la ecuación (b) del Capítulo 3.1.1.1 se obtiene los valores del factor F_1 , mostrados en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Valor asignado para el factor costo inicial (F_1) de cada alternativa

MATERIALES	FACTOR COSTO INICIAL (F_1)
GEOMALLA	
Rollos de geomalla, cemento para la cimentación de anclaje	77
MALLA ELECTROSOLDADA	
Cemento, clavos, rollos de malla electrosoldada	84

4.1.2. Factor Seguridad y Comportamiento F_2 :

La geomalla 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 Figura 4.13).

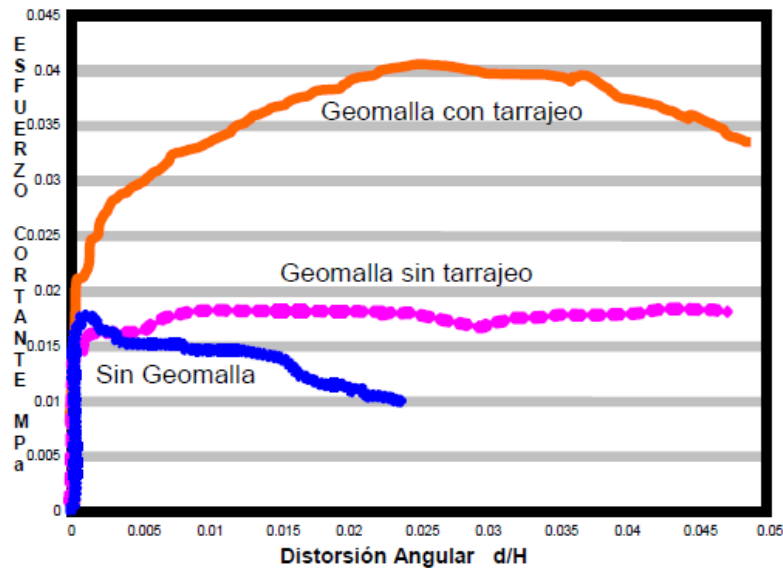


Figura 4.13. Gráfica de Esfuerzo cortante vs. Distorsión Angular con geomalla más tarrajeo de barro, con geomalla sin tarrajeo y sin geomalla (Torrealva, 2009)

Según la Tabla 3.1, a la alternativa de la geomalla se le asigna un valor F_2 de 70, dado que no aumenta la resistencia de la estructura de forma considerable pero sí favorece a la falla dúctil dándoles a los estudiantes la posibilidad de una evacuación progresiva sin colapso súbito pero con posibles reparaciones futuras en la estructura.

Así mismo, los resultados de ensayos realizados en la PUCP con la técnica de la malla electrosoldada y la evaluación post sismo de viviendas reforzadas con esta alternativa (Capítulo 2.8), muestran que esta técnica resulta ser segura y aunque no provee capacidad de deformación adicional, 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 F_2 de 50.

4.1.3. Factor Recursos y Facilidad de Construcción F_3

Según la Tabla 3.2 a la geomalla se le asignan un valor de 60 por requerir muchas perforaciones a lo largo y ancho de todos los muros de adobe mas no para la malla electrosoldada que se le asigna un valor de 75 por requerir un números mucho menor de agujeros en los muros del colegio. Sin embargo para ambas alternativas, 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 F_4

De acuerdo a la Tabla 3.3 a la geomalla se le asigna el valor de 50, debido a que es un material geosintético importado que solo puede ser adquirida en proveedores autorizados dentro de la ciudad de Lima. Mientras que la malla electrosoldada le corresponde 75, dado que se obtiene de poblados aledaños, en el caso particular de la escuela de Chocos, se consigue en la ciudad de Cañete. 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 ciudad de Cañete.

4.1.5. Factor Impacto Ambiental F_5

a) Principal insumo de la alternativa de la geomalla que afecta al medio ambiente: Geosintéticos

-Fabricación

La producción de la geomalla 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 climas húmedos o calientes la geomalla mantiene su estructura y composición original. El control de fabricación de este material cuenta con estándares internacionales certificados por organizaciones internacionales. (Figura 4.14.)

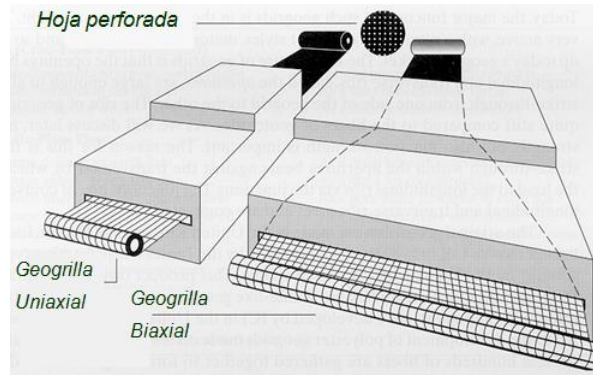


Figura 4.14. Fabricación de la geomalla a extrusión (Koerner, 2005)

-Uso

Su instalación para el reforzamiento de edificaciones de adobe es simple no requiere de mayor destreza para su implementación en el proyecto. La geomalla es extremadamente resistente a la influencia del clima tales como periodos de heladas o a los rayos ultravioletas, sus propiedades relativas a la degradación y durabilidad hacen que estos factores ambientales no afectan de ninguna manera la resistencia y calidad del geosintético.

-Fin de vida

La geomalla se compone 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.

b) Principal insumo de la alternativa Malla Electrosoldada que afecta al medio ambiente: Malla electrosoldada

-Fabricación

Para la producción de las mallas electrosoldadas se usa el acero de grado CA50 y es fabricada por trefilación (Figura 4.15). Estos alambrones 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:

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/cm^2 , con una reducción de sección no mayor del 30%. (Prodac, 2008)

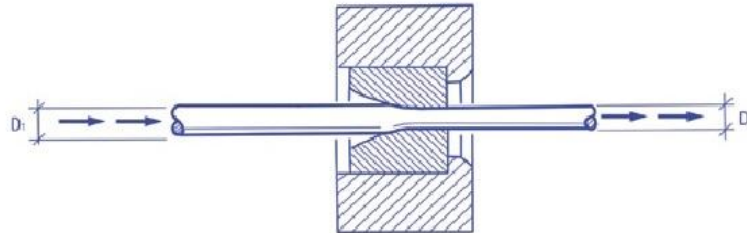


Figura 4.15. Fabricación de los alambres de acero por trefilación (Prodac, 2008)

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.

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.

-Uso

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)

-Fin de vida

El principal componente del alambre, el acero, 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).

c) Principal insumo de la alternativa Malla Electrosoldada y Geomalla que afecta al medio ambiente: Cemento**-Fabricación**

Generalmente las fábricas de cementos se encuentran cercanas a ciudades y son un tema de preocupación de todos los habitantes dentro y fuera de esa zona. Las plantas cementeras degradan el suelo, topografía, flora y algunas veces la fauna.

La elaboración de esta materia prima de la construcción implica la explotación de suelo y subsuelo para la extracción de los agregados y mucha energía calorífica para su proceso de secado y quemado. Todo el proceso utiliza aproximadamente 3305 MJ de combustible y 147.6 Kwh. de corriente por tonelada de klinker (Valdivia, 2009). Esto produce emisiones ambientales como la combustión y residuos que se van directamente al aire, y en forma distribuida, se esparcen a lo largo de la zona.

-Uso

El uso de materiales de construcción como el cemento, en el momento inicial del colocado, siempre se expande como polvo contaminando el aire. La eliminación en la calle de mezclas de cemento es otro problema que afecta al ambiente. Por ejemplo al momento de la dosificación del cemento se genera mucha merma y residuos que van a parar en el desmonte de la construcción si es que no se le utiliza en reparar veredas o pistas. Además parte de la dosificación (lechada) se puede infiltrar a través del subsuelo pudiendo llegar a las aguas subterráneas o pozos acuíferos de la zona. Esto naturalmente pone en riesgo la calidad del agua subterránea y por ende la salud de los pobladores.

-Fin de vida

El cemento en edificaciones, no es reutilizable para el mismo fin, de modo que en la terminación de su vida útil se convierte en escombros generando una contaminación

ambiental. Todavía no existen mecanismos de reciclaje para este tipo de material sin embargo, existen opciones de reciclaje para el caso de carpetas asfálticas (Valdivia, 2009).

Para la alternativa 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 3.4, a la técnica de la geomalla se le asigna el valor de 25, al igual que la malla electrosoldada.

4.1.6. Factor Imaginario de la Población F_6

La alternativa de la geomalla ha sido utilizada y aceptada por la comunidad del distrito de Chocos durante la reconstrucción ejecutada por la empresa ROCHE después del sismo de Ica 2007. Al final de la reconstrucción en Chocos se obtuvo un total de 29 viviendas reforzadas con geomalla. Ver Figura 4.16.



Figura 4.16. Viviendas reforzadas con geomalla en el distrito de Chocos.

En este caso muy particular del distrito de Chocos a la alternativa de la geomalla se le asigna para su factor imaginario F_5 el valor de 100 (Tabla 3.5) por ser aceptado en su totalidad por la comunidad de Chocos y haber tenido la experiencia con esta alternativa y porque los pobladores desean seguir usando como tarrajeo el barro propio de sus comunidades. En cuanto a la alternativa de la malla electrosoldada no tenían conocimiento de tal alternativa por lo que no incidió mucho en la selección de la mejor propuesta en este aspecto. Por ello a

la alternativa de la malla electrosoldada se le asigna para el factor imaginario F_5 , el valor de 0. Cabe resaltar que este caso es muy singular y único en esta región de Yauyos. En otras zonas puede ocurrir lo contrario, es decir que la población prefiera la malla electrosoldada a cambio de emplear otra técnica ajena a su imaginario.

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 (Capítulo 3.1) se llega a la matriz de la Tabla 4.4 que involucra los seis factores principales de cada alternativa con su propio peso. Se determina la mejor opción para este caso específico del local escolar de Chocos pudiendo realizar esta evaluación y/o estudio para otro tipo de proyecto.

Tabla 4.4. Matriz de factores

Factor	Peso	Malla		Óptimo	Pésimo
		Geomalla	Electrosoldada	Máximo	Mínimo
Costo Inicial	0.17	77	84	100	0
Seguridad y Comportamiento	0.17	70	50	100	0
Recursos y Facilidad de Construcción	0.17	60	75	100	0
Disponibilidad de Materiales	0.17	50	75	100	0
Impacto Ambiental	0.17	25	25	100	0
Imaginario de la Población	0.17	100	0	100	0
Total	1	65	53	100	0

La alternativa que tiene mayor puntaje es el óptimo para llevar a cabo en el proyecto y sea aceptado en su totalidad por la población.

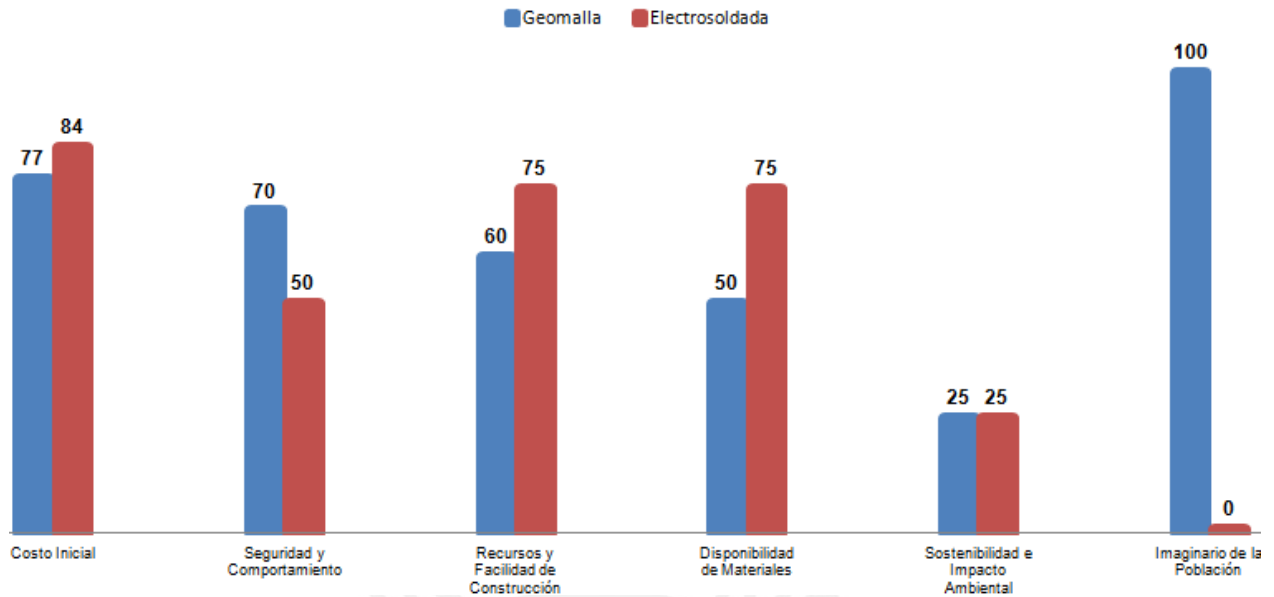


Figura 4.17. Factibilidad de alternativas por factores.

En la Figura 4.17 se visualiza todos los factores involucrados para ambas alternativas. Se aprecia que en el factor económico la alternativa de la malla electrosoldada es la más económica en su costo inicial que la geomalla, mientras que en el factor de seguridad la geomalla dota a la estructura un comportamiento dúctil. 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 a los muros mientras que la malla electrosoldada no requiere de tantas perforaciones. De aquí que la malla electrosoldada tiene una facilidad de construcción más llevadera que 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. En el factor impacto ambiental, ambas alternativas tienen prácticamente el mismo impacto ambiental, dado que el cemento es parte de sus principales insumos. Así mismo, en el caso particular del poblado de Chocos, el factor imaginario de la geomalla indica la aceptación por parte de los pobladores de la comunidad.

Por tanto, la Figura 4.17 permite analizar qué decisión tomar para el reforzamiento del colegio, y el resultado obtenido es la alternativa de la geomalla. Cabe indicar que en otros sitios puede resultar ganadora la alternativa de la malla electrosoldada. Ello dependerá de varios factores descritos anteriormente.

4.2. Análisis y Diseño del Local Escolar

4.2.1. Análisis y Diseño de los Muros de Adobe con la Técnica de la Geomalla

Para dicho análisis contamos con el ejemplo de la escuela de Chocos, como caso típico de estructura de un colegio de la sierra. Los pasos para realizar el análisis serán los siguientes:

- Verificación con la norma E. 080 Adobe de la estructura actual
- Metrado de cargas muertas y vivas del: techo y muros.
- Parámetros para el análisis sísmico
- Análisis de cortante
- Análisis de flexión
- Análisis complementarios

Dichos pasos se realizarán tanto para la edificación sin intervenir y la reforzada con geomalla. Para la edificación intervenida, comprobaremos que los valores obtenidos en corte y flexión sean resistidos por el sistema de refuerzo de geomalla-adobe.

4.2.1.1. Verificación con la Norma E.080 Adobe de la estructura actual

La edificación cumple con el límite de pisos permitido, además se encuentra libre de problemas de asentamientos.

Según la norma E.080 Adobe, y para un mejor comportamiento de los muros como elemento estructural sismorresistente, se debe tener en cuenta para el refuerzo:

- Los muros no deben ser muy largos. La longitud máxima que debe existir entre cada arrioste debe ser de 12 veces el espesor del muro.
- El ancho máximo de los vanos será de $1/3$ de la longitud del muro (Figura 4.18).

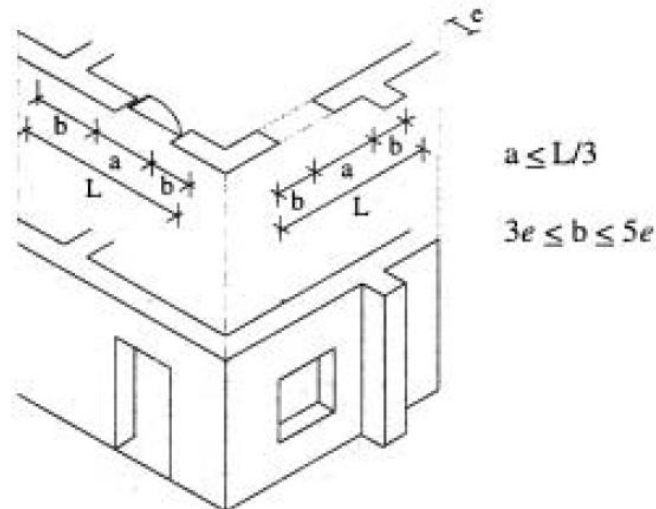


Figura 4.18 . Relación de ancho de vanos 1/3 de la longitud del muro (Norma E.080 Adobe)

De acuerdo a lo presentado en los puntos anteriores, para el local escolar, y para un espesor de muro de adobe de 40 cm:

Longitud máxima entre arriostres debe ser:

$$12 \times 0.4 = 4.80 \text{ m}$$

Ancho máximo para vanos de puertas y ventanas, por aula:

En X:

$$1/3 \times 6 = 2.00 \text{ m (muro colindante patio interior)}$$

$$1/3 \times 7 = 2.33 \text{ m (muro colindante a losa deportiva)}$$

En Y:

$$1/3 \times 6.2 = 2.07 \text{ m}$$

De acuerdo al Plano de Arquitectura 1 (ver anexo A) los muros del local escolar no cumplen con el arriostramiento, ni con la longitud máxima de vanos según los cálculos obtenidos de la verificación con la norma E.080 Adobe.

4.2.1.2. Parámetros del Análisis Sísmico

Utilizando los parámetros mencionados en la Norma E.080 Adobe tales como, factor de suelo, uso y coeficiente sísmico, se obtendrá la fuerza horizontal (H) debido al sismo:

$$H=SUCP$$

H: Fuerza horizontal sísmica

S: Factor de suelo

U: Factor de uso

C: Coeficiente sísmico

P: Peso total de la estructura

Factor de suelo (Tabla 4.5.): Para ello asumimos un suelo intermedio, por las condiciones in situ que se inspeccionaron durante las visitas a la escuela.

Tabla 4.5. Factor de suelo (Norma E.080 Adobe)

Tipo	Descripción	Factor S
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible $\geq 3 \text{ Kg/cm}^2$	1,0
II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible $\geq 1 \text{ Kg/cm}^2$	1,2

Factor de uso (Tabla 4.6.): Llamado también factor de importancia de la edificación, se denota con el factor más alto correspondiente para estructuras escolares.

Tabla 4.6. Factor de uso (Norma E.080 Adobe)

Tipo de las Edificaciones	Factor U
Colegios, Postas Médicas, Locales Comunes, Locales Públicos	1,3
Viviendas y otras edificaciones comunes	1,0

Coeficiente sísmico (Tabla 4.7.): En este caso el coeficiente es el de la zona 3 (Figura 4.19), por ubicarse en la provincia de Yauyos (Norma E.080 Adobe). Este es el coeficiente más alto, debido a la magnitud de los sismos registrados en dicha zona.

Tabla 4.7. Coeficiente Sísmico (Norma E.080 Adobe)

Zonas Sísmica	Coeficiente Sísmico C
3	0,20
2	0,15
1	0,10



Figura 4.19. Zonificación sísmica del Perú

Peso total: Se analiza el peso por cada muro existente. Para ello se hizo el metrado de carga muerta y viva por muro. La fuerza horizontal obtenida por muro es:

$$S = 1.2$$

$$U = 1.3$$

$$C = 0.2$$

P = Peso total del muro

$$SUCP = H = 0.312P \dots (1)$$

4.2.1.3. Metrado de Cargas de la Escuela

Se debe considerar como cargas el peso de los muros y de toda la estructura del techo, incluyendo las cargas vivas aplicadas al techo.

Muros: Utilizando la densidad volumétrica del adobe igual a 1.83 ton/m^3 (18000 N/m^3) y el volumen de los muros sin incluir los vanos, obtendremos el peso total en los muros (Tabla 4.8.).

Para identificar los muros se les nombra por los ejes en los que se ubican, ver Figura 4.20.

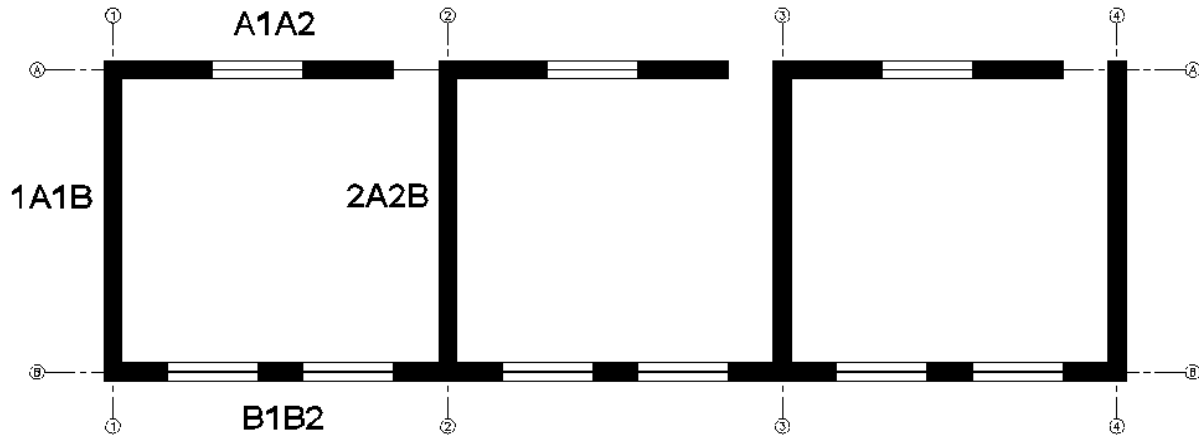


Figura 4.20. Denominación de los muros por ubicación de ejes

Tabla 4.8. Peso de muros de edificación actual

MUROS	Peso propio (kg)
A1A2	11,787
1A1B	16,469
2A2B	16,469
B1B2	11,346

Techo: La madera utilizada en el techo es la madera grupo C y posee una densidad de 440 kg/m³ según el Manual de Diseño del Grupo Andino. Las densidades, dimensiones y los pesos de los elementos que conforman el techo son mostrados en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Pesos distribuidos del techo en edificación actual

Descripción	Unidad	Actual
Peso de madera tipo C	Kg/m ³	440
Peso de la calamina o tejado	m	1.5
Separación entre tijerales	m	1.4
<i>Dimensiones de los elementos:</i>		
Sección de los pares:	m	0.04x0.09
Sección del nudillo:	m	0.04x0.09
Sección de los tirantes:	m	0.04x0.09
Viga escalerilla:	m	No tiene
Arriostres:	m	No tiene
Correas:	m	0.04x.14

Para un área de:	m	1.40x6.6
Peso del tijeral:	kg	19.39
Peso de los arriostres	kg	No tiene
Peso de la escalerilla	kg	No tiene
Peso de las correas	kg	9.24
Peso calamina	kg	17.51
Peso total (kg) para el área dada	kg	46.14
Peso techo por área (kg/m²)	kg/m²	4.99
Carga viva	kg/m ²	50
Según la norma E.080, 50% CV	kg/m ²	25
Carga total del techo	Kg/m²	30

Para determinar cuánto peso de la estructura del techo es tomada por cada muro de la escuela, sectorizamos de manera proporcional el peso (Figura 4.21), considerando áreas de influencia de acuerdo a la forma en que la estructura del techo se apoya en los muros.

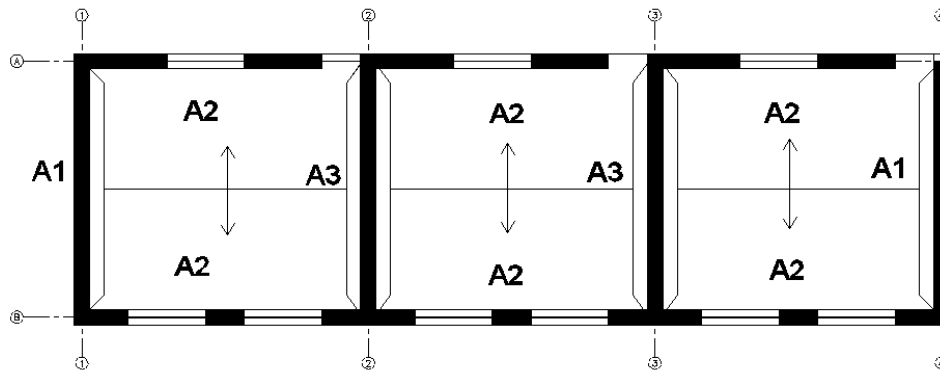


Figura 4.21. Áreas de influencia del techo

Por lo tanto, para obtener el peso total de cada muro se suman el peso del techo distribuido 30 kg/m² por su área de influencia, adicionando el peso de los muros (Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Pesos de muros más techo

MUROS	Ptotal (Kg)
A1A2	12,489
1A1B	16,616
2A2B	16,682
B1B2	12,049

4.2.1.4. Análisis de Cortante

a) Esfuerzo cortante en la edificación actual:

En primer lugar, se necesitan las fuerzas cortantes para el análisis sísmico (Figura 4.11). Las fuerzas de corte horizontales para cada muro se determinan de la ecuación (1):

Tabla 4.11. Fuerzas cortantes en muros actuales

MUROS	H (Kg)
A1A2	3,896
1A1B	5,184
2A2B	5,205
B1B2	3,759

El análisis se realiza con los pesos totales de cada muro, dado que se trata de un techo con diafragma flexible, donde los muros actúan por separado durante un sismo.

El esfuerzo cortante será igual a la fuerza cortante entre el área transversal mínima del muro, ello significa que se descuentan el área de las ventanas y puertas. Los resultados son mostrados en la Tabla 4.12.

$$\tau = \text{SUCP} / \text{Área transversal}$$

Tabla 4.12. Esfuerzos cortantes en los muros

MUROS	H (Kg)	A (m ²)	V (Kg/cm ²)	V (MPa)
A1A2	3,887	1.76	0.22	0.0217
1A1B	5,184	2.64	0.19	0.0187
2A2B	5,205	2.64	0.19	0.0188
B1B2	3,749	1.36	0.28	0.0270

Si el esfuerzo cortante obtenido es mayor que la resistencia del adobe, que es 0.02 MPa, el muro fallará. Por lo tanto se necesita disminuir los vanos de los muros largos A1A2 y B1B2, de esta forma se estaría aumentando el área transversal, minimizando los esfuerzos cortantes actuantes.

b) Esfuerzo cortante en muros con reducción de vanos:

Se redujo en longitud 0.40 m y 0.90 m a los vanos para poder cumplir con los mínimos que establece la norma y disminuir el esfuerzo en los muros.

Con la reducción de los vanos, aumentó el peso (Tabla 4.13) y la sección transversal. Además, en el metrado de cargas, se incluyó la reducción de altura del muro, el peso del nuevo techo (ver Capítulo 4.2.2.) y viga collarín de concreto armado de densidad volumétrica de 2.4 ton/m³.

Tabla 4.13. Pesos en muros con reducción de vanos

MUROS	Ptotal (Kg)
A1A2	11,966
1A1B	16,076
2A2B	16,158
B1B2	12,516

Realizando el análisis de corte se obtiene los siguientes esfuerzos en los muros. Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Esfuerzos cortantes en muros con reducción de vanos

MUROS	H (Kg)	A (m2)	V (Kg/cm2)	V (MPa)
A1A2	3,733	1.92	0.19	0.0191
1A1B	5,015	2.72	0.18	0.0181
2A2B	5,041	2.72	0.19	0.0182
B1B2	3,905	2.08	0.19	0.0184

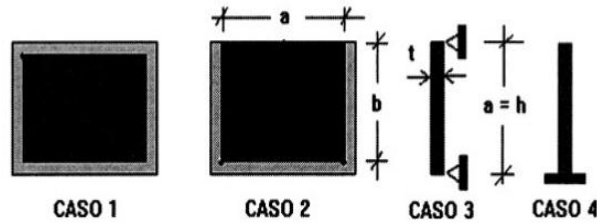
De los valores obtenidos se concluye que con la reducción de vanos el esfuerzo cortante esta dentro del límite que resiste el adobe dado que los resultados son menores que 0.02 MPa.

4.2.1.5. Análisis por Flexión de la Edificación Actual

Para el análisis de flexión se utilizará las tablas de Kalmanok propuestas en la Norma E.070 Albañilería. En él se clasifican los muros de acuerdo a su condición de apoyo, en nuestro caso tanto para los muros intervenidos como aquellos sin refuerzo se considerara arriostramiento en sus tres bordes (Caso 2). Es decir se considera arriostre el encuentro entre muros, los contrafuertes y la cimentación. Tabla 4.15.

Tabla 4.15. Coeficientes de momentos (Norma E070 Albañilería)
VALORES DEL COEFICIENTE DE MOMENTOS «m» Y DIMENSIÓN CRÍTICA «a»

CASO 1. MURO CON CUATRO BORDES ARRIOSTRADOS								
a = Menor dimensión								
b/a = 1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	∞	
m = 0,0479	0,0627	0,0755	0,0862	0,0948	0,1017	0,118	0,125	
CASO 2. MURO CON TRES BORDES ARRIOSTRADOS								
a = Longitud del borde libre								
b/a = 0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	∞
m = 0,060	0,074	0,087	0,097	0,106	0,112	0,128	0,132	0,133
CASO 3. MURO ARRIOSTRADO SOLO EN SUS BORDES HORIZONTALES								
a = Altura del muro								
m = 0,125								
CASO 4. MURO EN VOLADIZO								
a = Altura del muro								
m = 0,5								



La fórmula propuesta por Kalmanok para determinar el momento en los bordes de los muros es:

$$M = m \times a^2 \times w$$

Donde:

m: Coeficiente del momento obtenido de la tabla 4.15

a: Dimensión menor, del borde libre o altura del muro

w: Fuerza distribuida perpendicular al plano del muro

Tabla 4.16. Momentos máximos en los muros solo con reducción de vanos

MUROS	w (Kg/m)	Caso (Ver Tabla 4.15.)	a	b/a	m	M (Kg.m/m)	M (KN.m/m)	T (Kg/m)	T (KN/m)
A1A2	210.21	CASO 2	7	0.34	0.0376	387.30	3.87	968.25	9.68
1A1B	250.04	CASO 2	6.2	0.48	0.0572	549.77	5.50	1374.43	13.74
2A2B	251.32	CASO 2	6.2	0.48	0.0572	552.59	5.53	1381.46	13.81
B1B2	219.88	CASO 2	7	0.34	0.0376	405.12	4.05	1012.79	10.13

De los resultados obtenidos para la edificación sin el refuerzo (Tabla 4.16), se concluye que los muros de adobe fallarán por volteo, dado que el adobe es un material frágil que no tiene resistencia a la tracción, por ende necesita refuerzo. Recientes experimentos realizados en la PUCP, han demostrado que el uso de la geomalla como refuerzo para el adobe, forman con ella un material compuesto donde la geomalla toma las tracciones y el adobe las compresiones (*Torrealva, 2009*). Por lo tanto se propone el uso de la geomalla como material de refuerzo para la escuela de Chocos.

Refuerzo con geomalla:

Utilizando la geomalla podemos darle ductilidad y resistencia a la tracción a la estructura como se demuestra en los ensayos realizados por el Ing. Daniel Torrealva (Figura 4.22 y 4.23):

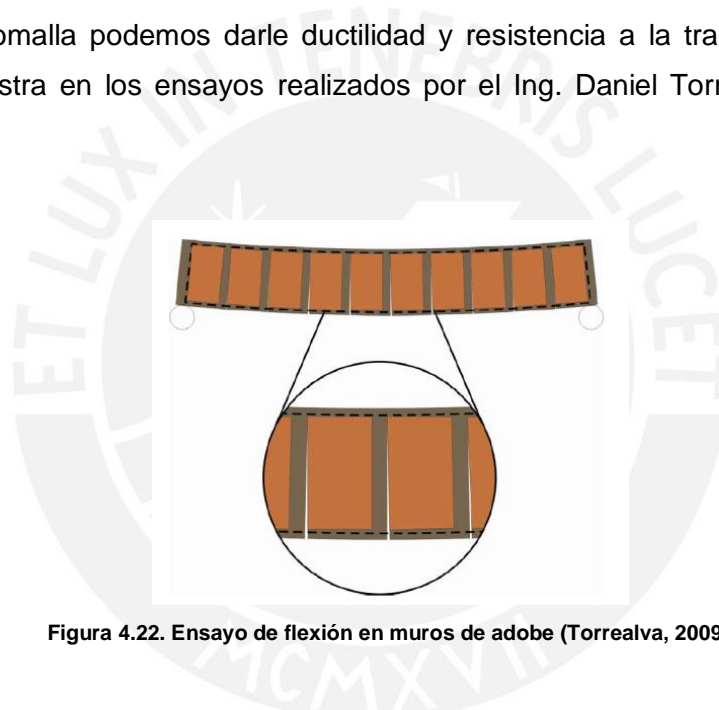


Figura 4.22. Ensayo de flexión en muros de adobe (Torrealva, 2009)

De los ensayos realizados se puede concluir que los esfuerzos a corte para muros sin geomalla es de 0.20 kg/cm^2 , con geomalla sin tarrajeo es la misma resistencia sin embargo presenta cierta ductilidad, y para la geomalla reforzada con tarrajeo en promedio se obtuvo una resistencia de 0.4 kg/cm^2 presentando gran capacidad de deformación (*Torrealva, 2009*).

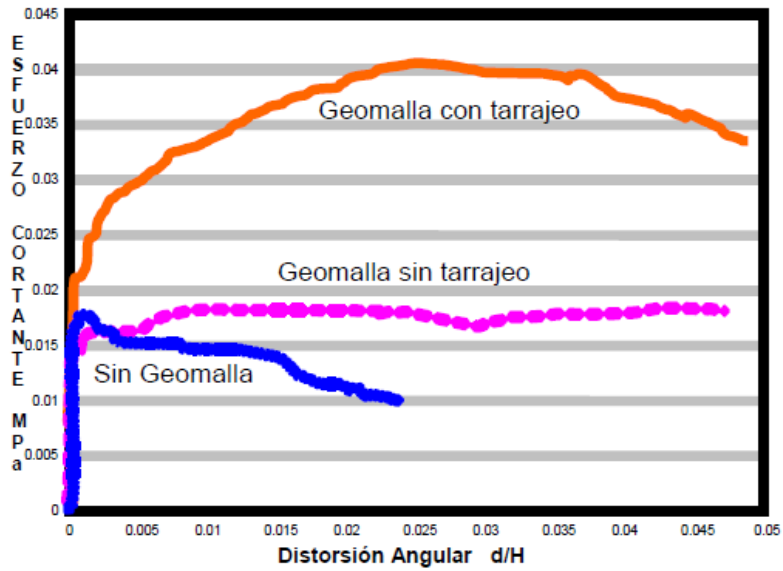


Figura 4.23. Gráfica de Esfuerzo cortante vs. Distorsión Angular con geomalla más tarrajeo de barro, con geomalla sin tarrajeo y sin geomalla (Torrealva, 2009) (repetida)

4.2.1.6. Análisis de Flexión con Geomalla

Para saber si el refuerzo con geomalla será suficiente para resistir los momentos máximos (Ver Tabla 4.16) en los muros intervenidos con reducción de vanos, se tiene que calcular la resistencia requerida del refuerzo (fg) y el momento resistente (Mr).

El procedimiento de análisis se basó en la metodología empleada por el Ing. Daniel Torrealva.

a) Resistencia requerida del refuerzo (fg)

La resistencia requerida del refuerzo (fg) por unidad de longitud se calcula entonces con la siguiente expresión:

$$fg = (S) (vu) (b) (1/N)$$

Donde:

fg = Resistencia de la malla por unidad de longitud al 5% de elongación.

S = Factor que asegura el comportamiento inelástico debido a que la geomalla es linealmente elástica hasta la rotura ($S= 1.3$).

b = Espesor bruto del muro incluyendo el tarrajeo.

v_u = Esfuerzo cortante último que resiste un muro de adobe reforzado con geomalla (para muros tarrajeados con barro = 0.04 MPa o 0.4 kg/cm²).

N = Número de capas de malla en el muro en ambas caras.

Para el caso de la estructura intervenida y reforzada de la escuela de Chocos, la resistencia requerida será:

$$f_g = (S) (v_u) (b) (1/N) = (1.3) (0.04\text{MPa}) (0.44\text{m}) (1/2) = 11,440 \text{ N/m}$$

$$f_g = 11.44 \text{ kN/m}$$

Se consideró para la escuela: tarrajeo de 2 cm, 2 capas de geomalla en los muros y un espesor bruto de 44 cm.

El resultado obtenido quiere decir que la malla que requerimos debe poseer una resistencia a la tracción al 5% de elongación de 11.44 KN/m.

b) La resistencia a flexión por unidad de longitud (M_r)

Para el cálculo de la resistencia a flexión se debe considerar:

- La resistencia a flexión de la sección está gobernada por la resistencia última a tracción del refuerzo.
- Las grietas de tracción por flexión del muro se originan y propagan a través de las juntas entre mortero y unidad de adobe.
- La falla por compresión de los adobes no es influyente debido al confinamiento producido por la geomalla.

La resistencia a flexión por unidad de longitud M_r se determina multiplicando la resistencia nominal (M_n) por un factor de reducción Φ con la siguiente fórmula (*Torrealva, 2009*):

$$M_r = \Phi M_n = (\Phi) (f_g) (d)$$

Donde:

Φ = Factor de reducción de la resistencia a flexión ($\Phi = 0.9$)

f_g = Resistencia última a tracción de la geomalla por unidad de longitud.

d = Distancia de la fibra extrema en compresión del muro, sin considerar el mortero de tarrajeo, al centroide del refuerzo en tensión. Usualmente d es igual al espesor neto del muro.

Para el caso de la escuela, se obtuvo la siguiente resistencia a flexión:

$$M_r = (\Phi) (f_g) (d) = (0.9) (11.44 \text{ kN/m}) (0.4\text{m}) = 4.12 \text{ kN-m/m}$$

$$M_r = 4.12 \text{ kN-m/m}$$

De la tabla 4.16. Se verifica que los valores de los momentos actuantes debido al sismo, son mayores que el momento resistente proporcionado por el refuerzo. Para que los momentos no afecten a la estructura de adobe, tenemos las siguientes alternativas:

- Aumentar el momento resistente (M_r), colocando más capas de geomalla o utilizando una más resistente.
- Reducir los momentos actuantes, cambiando la configuración estructural.

La primera alternativa resulta poco económica, debido a que se utiliza más geomalla. Además, el procedimiento constructivo se complica por el espesor del tarrajeo.

Por lo tanto, se optó por la segunda alternativa, que quiere decir que se cambiará la estructura colocando contrafuertes centrales en los muros largos con los cuales se reduce las fuerzas actuantes sísmicas y las deflexiones.

Los contrafuertes serán de adobe y tienen una longitud de 1.20 m, con lo cual se garantiza el arriostamiento de los muros. Como se demuestra en la Tabla 4.17, para el contrafuerte más crítico, del muro B1B2 (ver Anexo A, Arquitectura 3):

Tabla 4.17. Análisis de contrafuertes

Características del Adobe		
Y=	1.83 ton/m3	
E adobe=	65000 ton-m2	
Δadobe*=	0.001	
Altura muro=	2.4 m	
δperm=	0.24 cm	
<u>Peso muro que afecta al contrafuerte</u>		
Área 1	2.88 m2	
Área 2	2.88 m2	
Volumen	2.30 m3	
P muro=	4.22 ton	
<u>P contrafuerte</u>		
P contrafuerte=	2.11 ton	
<u>PESO muro + contrafuerte =</u>		
	6.32 ton	
H=SUCP=	1.97 ton	
Inercia contrafuerte =	0.0576 m4	
Altura contrafuerte=	2.4 m	
δmax=	0.09 cm	
δmax < δperm		

* La deriva Δadobe admisible, se utilizó de la tesis de Ivonne Madueño

De la Tabla 4.17 se concluye que el contrafuerte posee suficiente rigidez como para no sobrepasar el desplazamiento permisible del adobe, con ello se garantiza el comportamiento elástico. La distribución en planta de los contrafuertes se muestra en la Figura 4.24.

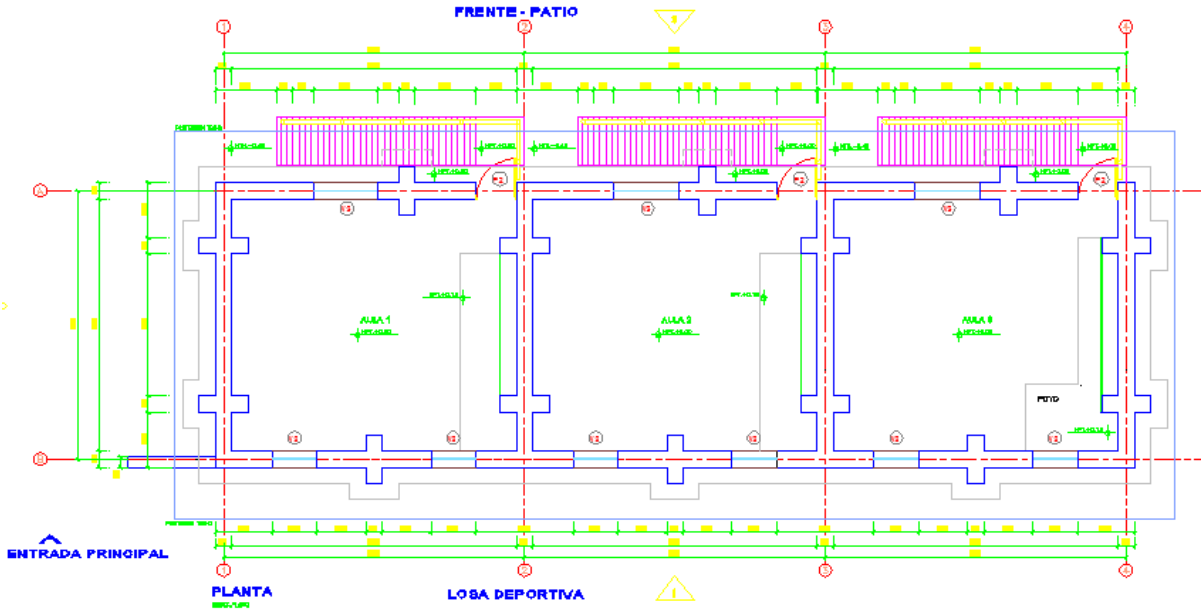


Figura 4.24. Distribución en planta con contrafuertes

4.2.1.7. Análisis de Flexión con Geomalla y Contrafuertes de Adobe

Luego de justificado el uso de contrafuertes se calculan los nuevos momentos actuantes debido al sismo (Tabla 4.18):

Tabla 4.18. Momentos máximos en los muros con contrafuertes

MUROS	w (Kg/m)	Caso (Ver Tabla 4.15.)	a	b/a	m	M (Kg.m/m)	M (KN.m/m)	T (Kg/m)	T (KN/m)
A1A2	210.21	CASO 2	4.1	0.59	0.0726	256.55	2.57	641.37	6.41
1A1B	250.04	CASO 2	3.5	0.84	0.1006	308.13	3.08	770.33	7.70
2A2B	251.32	CASO 2	3.5	0.84	0.1006	309.71	3.10	774.27	7.74
B1B2	219.88	CASO 2	3.3	0.73	0.09	215.51	2.16	538.77	5.39

De la Tabla 4.18 con la colocación de contrafuertes los momentos actuantes son menores al momento resistente que es de 4.12 kN-m/m, por lo tanto se comprueba que las tracciones producidas por el sismo serán soportados por el sistema adobe-geomalla.

4.2.1.8. Análisis Complementarios

a) Compresión pura

En edificaciones de tierra de un piso, generalmente no existen fallas a compresión pura por el poco peso que recibe el adobe. Sin embargo, se comprueba que no se sobrepase el esfuerzo a compresión de la albañilería de adobe 2 kg/cm^2 (Norma E.080 Adobe).

Se analiza 1ml del muro que tiene más peso, en este caso los muros divisorios de las aulas. El DCL del muro se muestra en la Figura 4.25.



Figura 4.25. DCL del muro

Donde:

P: Fuerza a compresión del muro, peso total del muro

M: Momento flector, derivado de la fuerza $H=SUCP$; determinado por las tablas de Kalmanok.

Según la teoría de resistencia de materiales bajo cargas de esfuerzos combinados de momento y carga axial (Figura 4.26), el esfuerzo será:

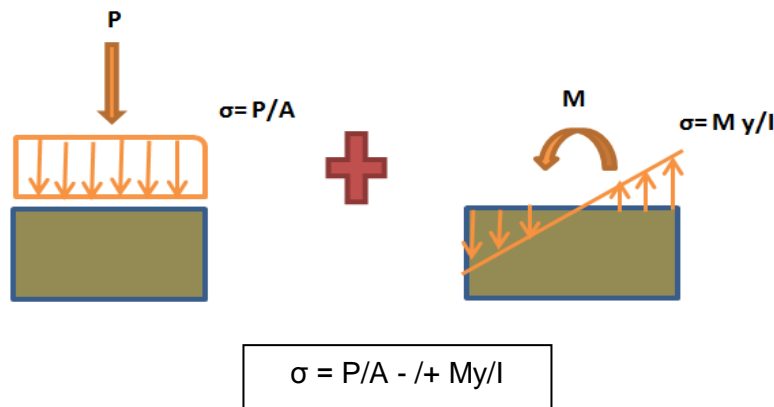


Figura 4.26. Efectos aislados

De los cálculos obtenidos:

$$\begin{aligned} \text{Peso} &= 2575 \text{ kg/ml} \\ \text{Momento} &= 30970 \text{ kg.cm/ml} \\ I &= 533333 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Por superposición del efecto de carga axial y momento flector, obtenemos los siguientes esfuerzos en los bordes del muro mostrados en la Figura 4.27.

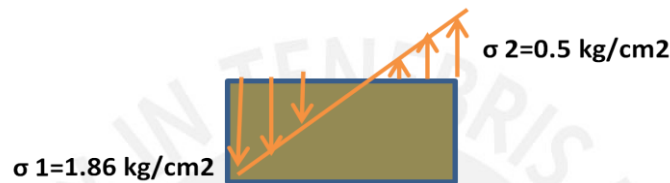


Figura 4.27. Superposición de efectos

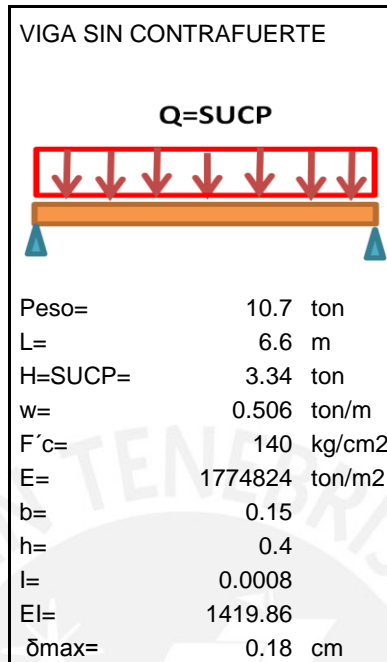
Por lo tanto el muro no trabaja a compresión pura, dado que el momento flector genera tracciones en una de las caras del muro y el valor de la compresión obtenida por la superposición de los efectos no sobrepasa la resistencia de la albañilería de adobe.

b) Análisis de la viga solera

La viga collarín ayuda a distribuir las fuerzas a los muros y brindar el anclaje necesario para que la geomalla desarrolle su capacidad resistente.

Adicionalmente con los siguientes cálculos se demuestra que la viga es suficientemente rígida y las deflexiones en la misma no superan a la deriva máxima del adobe. Con ello garantizamos que el adobe resista el movimiento de la viga durante un sismo.

Tabla 4.19. Análisis de contrafuertes



4.2.2. Diseño Estructural de Techo de Madera

Se propone un diseño de tijeral estructural aplicado al local escolar que consiste en el diseño de correas, armadura tipo W, uniones empernadas y la implementación de coberturas de policarbonato rojizas y transparentes, estas últimas para darle mayor iluminación al local escolar.

En la intervención se deberá reemplazar el techo existente, utilizando una armadura de madera con una pendiente apropiada.

4.2.2.1. Diseño de Viguetas (Correas)

Debido a que las correas del techo se encuentran en un estado precario se procede a diseñar correas con mayor sección de tal forma que aseguren su buen funcionamiento durante su vida útil de servicio y se evite deflexiones excesivas que dan apariencia de inestabilidad e inseguridad.

Se ha considerado un techo con viguetas de madera separadas cada 1.10 m. Para el diseño se seguirá la metodología planteada por el Manual de diseño para maderas del Grupo Andino (*PADT-REFORT, 1984*).

Se usará madera estructural del Grupo C en estado seco. No se usa madera tipo A o B dado que son de alta densidad lo que dificulta su ensamblaje, además de ser más costosa.

Paso 1. Bases de cálculo:

a) Madera Grupo: C

b) Cargas a considerar en el diseño (Tabla 4.20):

Tabla 4.20. Cargas y geometría de la sección

Pesos y sobrecargas	
Planchas de policarbonato	4.0 kg/m ²
Correas (s=1.1 m)	4.6 kg/m ²
Carga viva (Norma E.020 Art.7.1.d)	30.0 kg/m ²
Características de la sección	
Dimensiones	4cm x 14cm (2" x 6")
Área (A)	56.0 cm ²
Momento de inercia (I)	915.0 cm ⁴
Módulo de sección (Z)	131.0 cm ³

c) Deflexiones Admisibles (Tabla 4.21.)

Tabla 4.21. Deflexiones Admisibles

Condición		Deformación instantánea		Deformación Total (Incluye Def. Diferida)	
Carga permanente + sobrecarga	L/250	0.014	m	0.008	m
Sobrecarga	L/350	0.010	m	0.005	m
Longitud o Luz libre (m)	3.45				

La deformación total admisible (instantánea más diferida) puede estimarse dividiendo la deformación instantánea entre 1.8

d) La luz de cálculo será la luz libre L= 3.45 m.

Paso 2. Efectos máximos:

Las correas (viguetas) son elementos en flexión, en donde se generan fuerzas internas máximas como momentos y cortantes (Figura 4.28).

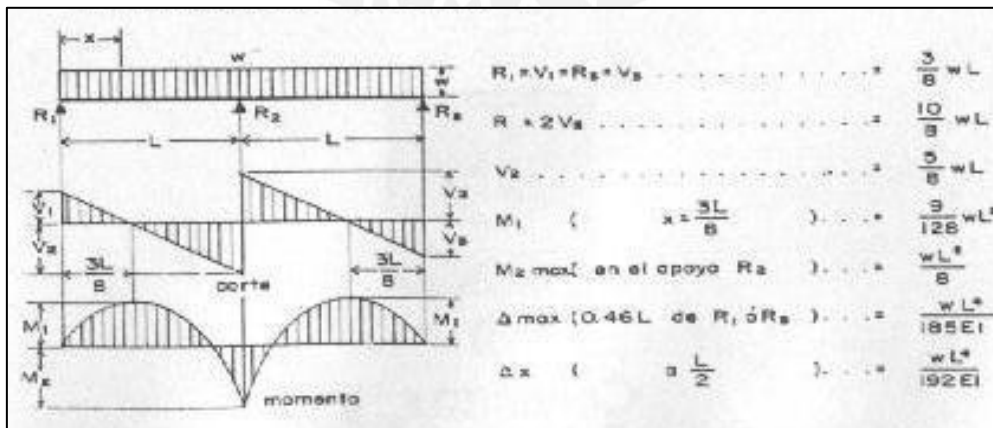


Figura 4.28. Esquema de Diagramas de Fuerzas Internas en Viga Simplemente Apoyada (PADT-REFORT, 1984)

Peso correas + planchas (wd)	=	8.6 kg/m ²
Sobrecarga (wl)	=	30.0 kg/m ²
Carga Total (w) (sobrecarga + peso muerto)	=	38.6 kg/m ²
Carga total repartida por vigueta= s x w	=	42.5 kg/ml
Carga muerta repartida por vigueta = s x wd	=	9.4 kg/ml
Sobrecarga repartida por viguetas = s x wl	=	33.0 kg/ml
Momento máximo = $M_{m\acute{a}x} = \frac{wL^2}{8}$	=	63.1 kg-m
Cortante máximo = $V_{m\acute{a}x} = \frac{5wL}{8}$	=	91.5 kg

Paso 3. Esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad:

Para el diseño de las viguetas se usa el E_{prom} dado que es posible una redistribución de la carga. Las propiedades mecánicas de la madera son mostradas en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22. Propiedades mecánicas de la madera según la Norma E.010 Madera

Módulo y Esfuerzos Admisibles	
Módulo de elasticidad promedio (E_{prom})	90,000 kg/cm ²
Esfuerzo admisible de flexión (fm)	100 kg/cm ²
Esfuerzo admisible a corte paralelo (fv)	8 kg/cm ²
Esfuerzo a compresión perpendicular a las fibras ($f_{c\perp}$)	15 kg/cm ²

Paso 4. Momento de inercia I, necesario por limitación de deflexiones:

Se calcula la deflexión real para compararla con la admisible, utilizándose la fórmula de deflexión para una vigueta con 3 apoyos:

$$\Delta = \frac{wL^4}{185 EI} < \text{Deformación total admisible (Ver tabla 4.21.)}$$

$$\text{Para carga total } \Delta = \frac{0.425 \times 345^4}{185 \times 90000 \times 915} = 0.004 \text{ m} < 0.008 \text{ m}$$

$$\text{Para la sobrecarga } \Delta = \frac{0.33 \times 345^4}{185 \times 90000 \times 915} = 0.003 \text{ m} < 0.005 \text{ m}$$

Como la deflexión es menor a la admisible, la sección asumida de 4 cm x 14 cm (2" x 6") tiene un momento de inercia I apropiado.

Paso 5. Módulo de sección Z, necesario por resistencia:

El módulo de sección requerida será:

$$Z_{\text{requerido}} = \frac{M}{f_m} = \frac{63.1 \times 100}{100} = 63.1 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, el módulo requerido es menor al que posee la sección de 4 cm x 14 cm (Ver tabla 4.20).

$$Z_{\text{requerido}} = 63 \text{ cm}^3 < Z_{(4 \times 14)} = 131.0 \text{ cm}^3$$

Paso 6. Verificación del esfuerzo cortante:

$$\text{El esfuerzo cortante } \tau = \frac{1.5 \times V_{\text{máx}}}{bh} = \frac{1.5 \times 91.5}{4 \times 14} = 2.45 < f_v = 8 \text{ kg/cm}^2$$

En conclusión,

USAR CORREAS (VIGUETAS) DE SECCIÓN 4 cm x 14 cm MADERA GRUPO C

4.2.2.2. Diseño de Armadura

La armadura del techo del local escolar a reforzar será un techo a dos aguas de 6.20 m de luz y espaciada cada 3.45 m.

Paso 1. Bases de cálculo:

- a) Se elige una armadura W con una pendiente de 1:4 ($\alpha=14^\circ$) (Figura 4.29)
- b) Se usará madera del Grupo C con densidad 440 kg/m^3 (Madera Tornillo), cuyas propiedades mecánicas serán las mismas que las correas.
- c) Longitud de los elementos (Ver Tabla 4.23).

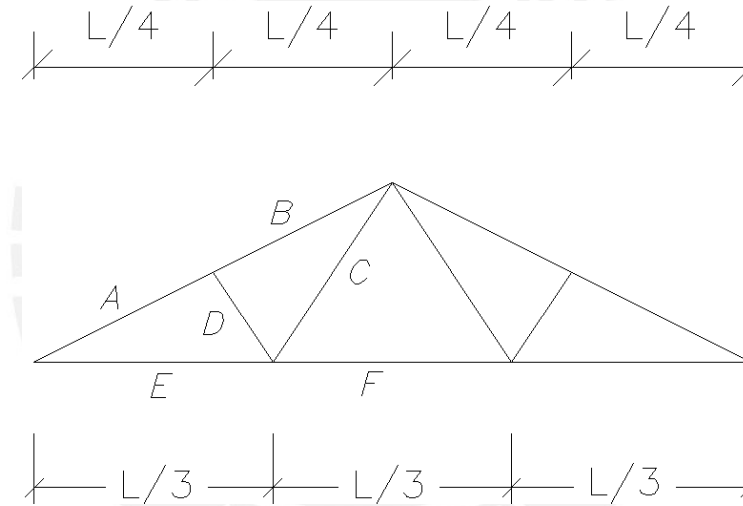


Figura 4.29. Elementos de la Armadura Tipo W

Tabla 4.23. Longitud de los elementos de la Armadura

Elemento	Longitud (m)
A	1.50
B	1.50
C	1.30
D	0.62
E	2.06
F	2.06

- d) Considerando las siguientes cargas (Tabla 4.24 y 4.25):
Se considerará por razones constructivas que los elementos A y B, E y F, así como C y D tendrán la misma sección.

Tabla 4.24. Sección y Peso de los Elementos de la Armadura

	Sección (cm)	Peso (kg)
Cuerda superior	4 x 9	9.4
Cuerda inferior	4 x 9	9.8
Diagonales	4 x 6.5	4.4
Peso total		23.6

Tabla 4.25. Pesos distribuidos de los elementos de la armadura

	Peso (kg/m ²)
Peso propio de la armadura por m ² en una área de 6.60 m x 3.70 m	0.97
Peso muerto proyectado al plano horizontal = (Cobertura + Correas) / cos14°	8.86
Sobrecarga de diseño (Norma E.020 Art.7.1.)	30.00
Carga total	39.83

Paso 2. Carga y Análisis estructural:

a) Carga uniformemente repartida sobre cuerdas superiores (kg/ml)

$$W_p = 39.83 \times 3.45 = 137 \text{ kg/ml}$$

b) Cargas concentradas equivalentes en los nudos:

$$P = W_p (L/6) = 137 \times 6.20/6 = 142 \text{ kg}$$

Para la distribución de las cargas puntuales en los nudos de la armadura se consideró mayor carga (1.5P) en los nudos extremos dado que el peso que recibe es mayor al tener que soportar parte de un volado (alero) (Figura 4.30).

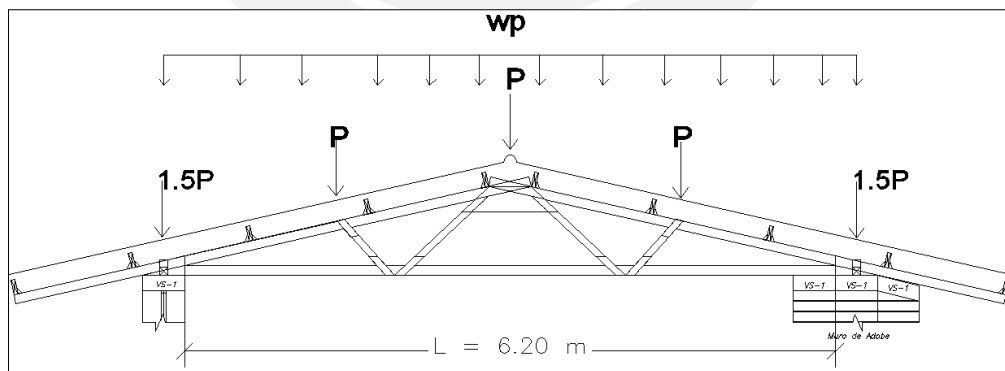


Figura 4.30. Disposición de la armadura

d) Fuerzas axiales en las barras

Del equilibrio en todos los nudos se obtiene fuerzas axiales que son mostrados en la Tabla 4.26

Tabla 4.26. Pesos distribuidos de los elementos de la armadura

Elemento	N (kg)
A	872
B	842
C	-121
D	121
E	-846
F	-650

Paso 3. Diseño de elementos:

a) **Elemento A:** La barra A esta sometida a flexo-compresión como se muestra en la Figura 4.31.

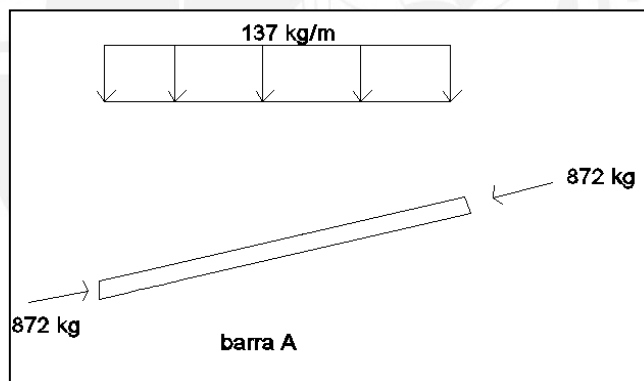


Figura 4.31. Fuerzas actuantes en el elemento A

Según la fórmula de interacción los elementos en flexo-compresión deben satisfacer:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{Km/M/}{Z fm} \leq 1 \quad \dots (A)$$

Donde:

N_{adm} : Carga axial admisible

Km : Factor de magnificación de momentos debido a la presencia de la carga axial

$M/$: Valor absoluto del momento flector máximo en el elemento

Z: Módulo de la sección transversal con respecto al eje alrededor del cual se produce la flexión

f_m : Esfuerzo admisible en flexión (Tabla 4.22)

Carga axial admisible (N_{adm}):

La carga admisible se encuentra en función de la esbeltez. La fórmula de la esbeltez (λ) es la siguiente:

$$\lambda = l_{ef} / d$$

Donde:

$l_{ef} = 0.4 (1.50 + 1.50) = 1.20 \text{ m}$ (Según el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, Tabla 11.1)

$d = 9 \text{ cm}$ (Altura de la sección de la armadura)

Por lo tanto, la esbeltez es de 13.3 lo que representa a una columna intermedia, cuya fórmula para el N_{adm} es:

$$N_{adm} = f_c A \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{Ck} \right)^4 \right)$$

Donde:

$$Ck: 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad (\text{para secciones rectangulares})$$

E : módulo de elasticidad mínimo (Tabla 4.22)

A : área transversal de la sección

De aquí que el N_{adm} es igual a 2617 kg.

Factor de magnificación de momentos (K_m):

Cuando existen flexión y compresión combinadas, los momentos flectores se amplifican por acción de las cargas axiales, este efecto puede incluirse multiplicando el momento flector máximo por K_m :

$$K_m = \frac{1}{1 - 1.5 \frac{N}{N_{cr}}}$$

Donde:

N = carga axial aplicada

N_{cr} = carga crítica de Euler para pandeo en la dirección que se aplican los momentos de flexión

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_{ef}^2}$$

- El resultado obtenido para el K_m es igual a 1.16
- Momento flector máximo del elemento:

Longitud (para momento) $L = 1.55 \text{ m}$

Por lo tanto, el momento máximo obtenido es:

$$M = \frac{wL^2}{10} = \frac{137 \times (1.55)^2}{10} = 33 \text{ kg-m}$$

- Aplicando la fórmula de interacción (Ecuación A) y suponiendo la sección de 4x9 cm, cuyas propiedades son: $A=36 \text{ cm}^2$, $I_x = 243 \text{ cm}^4$ y $Z_x = 54 \text{ cm}^3$

$$\frac{872}{2617} + \frac{1.16 \times 3300}{54 \times 100} = 0.333 + 0.708 = 1.042 \approx 1 \leq 1 \quad \text{(BIEN)}$$

En conclusión,

LA SECCIÓN DEL ELEMENTO A DEBE SER DE 4 x 9 cm MADERA GRUPO C

b) Elemento D: Se encuentra solicitado en compresión. Según el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, Tabla 11.1, la longitud efectiva de este elemento será 0.8 l_d . Para este caso, el $l_{ef} = 0.8 (0.62) = 0.50 \text{ m}$.

Se verifica con una sección de 4 x 6.5 cm, $A = 26 \text{ cm}^2$

$$\lambda = 50/6.5 = 7.69 < 10$$

Como $\lambda_x < 10$, el elemento se clasifica como una columna corta

$$N_{adm} = f_c \times A = 80 \times 26 = 2080 \text{ kg} > 121 \text{ kg} \text{ (BIEN)}$$

Usar 4x6.5 cm

c) Elemento C: Elemento sometido a tracción, se verifica una sección de 4x6.5 cm.

$$N = f_t \times A = 75 \times 26 = 1950 \gg 121 \text{ kg} \text{ (BIEN)}$$

Usar 4x6.5 cm

d) Elemento E: Elemento sometido a tracción, se verifica una sección de 4x6.5 cm.

$$N = f_t \times A = 75 \times 36 = 2700 \gg 846 \text{ kg} \text{ (BIEN)}$$

Usar 4x9 cm

Secciones a usarse (ver anexo A: PLANOS-ESTRUCTURAS 4)

Tabla 4.27. Pesos distribuidos de los elementos de la armadura

Elemento	Sección
A	4 x 9 cm
B	4 x 9 cm
C	4 x 6.5 cm
D	4 x 6.5 cm
E	4 x 9 cm
F	4 x 9 cm

4.2.3. Propuesta Final del Diseño Estructural

Muros: Según el análisis sísmico se concluye que debido a los esfuerzos cortantes y de flexión; la estructura actual no está preparada para resistir sismos de regular intensidad. Por ello se modifica la estructura de la siguiente manera:

Reducción de los vanos de ventanas, con ellos se consigue reducir los esfuerzos cortantes que sobrepasan a la resistencia del adobe. Para ello, rellenar las ventanas con adobe en 1.60 m en ventanas principales y de 0.90 m en las ventanas posteriores.

Colocación de geomalla biaxial con resistencia superior a 11.40 KN/m a una elongación de 5%, que proporciona resistencia a la flexión al adobe. Los detalles de perforación en muros y doblado de la malla en ventanas se muestran en el plano E02. El detalle de anclaje de la geomalla en la cimentación y en la viga se encuentra en los planos E01 y E04 respectivamente.

Colocación de contrafuertes, que disminuyen la longitud de los muros; por lo tanto se reduce la flexión en los muros. La colocación, conexión y distribución de contrafuertes de adobe se encuentra descrito y dibujado en el PLANO – E2 Refuerzo de Muros con Geomalla.

Una viga collar de concreto armado para lograr transmitir de manera perimetral el peso total del techo evitando esfuerzos locales en los muros y al mismo tiempo amarrar todos los muros de tal manera que el local escolar se comporte como una sola unidad en caso de movimientos sísmicos. Los detalles de la colocación y armado de la viga se encuentran en el PLANO – E3.

Techo: El techo se encontraba en una condición deteriorada e insegura debido a deflexiones excesivas más allá de las admisibles. Por ello se diseñó un tijeral con madera estructural (Grupo C) que consistió en:

Uso de correas (viguetas) de sección 4 cm x 14 cm (2"x6") espaciadas cada 1.10 m.

Tres armaduras tipo w, una por cada aula. Las secciones a usarse en las armaduras se muestran en la Tabla 4.27.

Uso de coberturas de policarbonato, algunas de ellas pueden ser transparentes para dar mayor lucidez a las aulas.

Uso de arriostres de 3"x3" y viga escalera de madera VM de 3"x3" a lo largo de las cumbreras. Los detalles se encuentran en el PLANO – E3

La configuración estructural y arquitectónica final del local escolar como resultado del diseño se encuentra plasmada en el PLANO – A03.



4.3. Taller de Capacitación

El taller de capacitación fue realizado por profesores y estudiantes de las Universidades Stanford y Católica, así como representantes de la ONG Estrategia y GeoHazards International (Figura 4.32). Contó con la presencia de aproximadamente 40 pobladores de Chocos que estaban interesados en aprender la técnica de reforzamiento con la geomalla, además de conocer la vulnerabilidad y peligro de sus construcciones en adobe.



Figura 4.32. Certificado concedido a poblador por participar en el taller de capacitación

4.3.1. Secuencia del Taller de Capacitación

Aplicando el Capítulo 3.3. Estructura del Programa Propuesto para el Taller de Capacitación se efectuó el siguiente cronograma como guía para la ejecución de las distintas sesiones que se llevó a cabo en el distrito de Chocos.

Estructura del Programa para el Taller de Capacitación en la comunidad de Chocos

	Hora	Hora	Tema	Descripción
	Inicio	Fin		
<i>TALLER DE CAPACITACIÓN SESIÓN 1 Y 2</i>				
Día 1	09:00	11:00	Introducción del equipo de técnicos y emisores del Proyecto	
Día 2	09:00	10:00	Tierra y vivienda	Viviendas en el Perú construidas con tierra, tales como adobe, quincha o tapial. Fotografías, estadísticas, etc.
	10:00	12:00	Mapeo de la zona en Campo	Se realiza un recorrido con los participantes identificando las estructuras tales como viviendas, colegios, hospitales, plazas, reservorios, etc. Además de características geológicas mas importantes tales como cerros, ríos, lagos, etc.
	02:00	04:00	Mapeo de la zona en Aula	En conjunto se realiza un mapa de la zona, en donde se identifica las estructuras vulnerables y características de la zona.
Día 3	09:00	12:00	Dinámica de grupo para niños y adultos	Juegos orientados a la propuesta de reforzamiento. Ej.: Dinámica con bloques de adobe.
<i>TALLER DE CAPACITACIÓN SESIÓN 3, 4, 5 Y PRESENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA TÉCNICA CON LA POBLACION BENEFICIADA</i>				
Día 4	08:30	09:00	Introducción de Actividades	Dar agenda y materiales a utilizarse en las clases.
	09:00	10:00	Riesgos Existentes en la Zona	Se identifican los riesgos existentes. Se comparten experiencias de desastres ocurridos en el lugar.
	10:00	12:00	Identificación de peligros y fallas en estructuras de adobe	Videos y fotografías de fallas en estructuras de adobe debido a sismos.
	02:00	03:30	Identificación de vulnerabilidades en estructuras de la zona	Recorrido grupal identificando las posibles fallas en estructuras de adobe
Día 5	09:00	10:30	Técnicas de refuerzo de estructuras de adobe	Presentación en el aula de las diversas técnicas de refuerzo existentes en el medio
	10:30	12:30	Soluciones aplicadas a edificaciones de la zona	Recorrido de la zona, en donde se identifican las fallas y las soluciones propuestas en clase.
	02:00	04:00	Presentación de propuesta de reforzamiento	Se presenta la alternativa de reforzamiento que ha sido seleccionada
Día 6	09:00	01:00	Taller Técnico 1	Presentación de materiales. Fabricación de elementos básicos a utilizarse.

A continuación se detalla los talleres que consistió en los siguientes puntos:

- *Sensibilización*: Presentación sobre los desastres naturales que afectan al Perú y al mundo. Se presentaron los principales terremotos ocurridos en el Perú y sus consecuencias y se fomentó en todo momento la participación activa del conjunto y de cada uno de los pobladores para que se pronuncien sobre sus experiencias particulares en cuanto a terremotos (Figura 4.33 y 4.34). Asimismo se presentaron las principales fallas y motivos de las fallas en edificaciones de adobe.



Figura 4.33. Proyección de fotos y videos de sismos ocurridos en Perú



Figura 4.34. Experiencias compartidas por los pobladores en cuanto a terremotos

- *Mapeo sobre los peligros existentes en el poblado de Chocos*. Se realizó un mapeo identificando obstáculos y peligros, que afectarían a los pobladores durante una evacuación de emergencia. Tales como: viviendas de adobe a punto de colapsar, calles angostas y con obstáculos en sus vías; falta de iluminación, vías en mal estado y con mucha pendiente, rocas de gran tamaño que se desprenden de las laderas, etc. Este taller estaba a cargo del centro de investigación y acción para el desarrollo urbano Estrategia. Ver Figura 4.35.



Figura 4.35. Presentación de mapeo realizado por los pobladores de Chocos

- *Taller de preparación de adobes con la población de Chocos.* Se prepararon los adobes para la construcción, para ello se contó con un técnico del laboratorio de estructuras de la PUCP, especialista en la fabricación de adobes. La participación fue muy directa por parte de la comunidad como también por parte de los miembros del equipo del proyecto (Figura 4.36, 4.37 y 4.38).



Figura 4.36. Taller de preparación de adobes en campo



Figura 4.37. Taller de preparación de adobes en campo (Técnico especialista PUCP)



Figura 4.38. Fabricación de adobes en campo

- *Vulnerabilidad en las Construcciones Existentes de Adobe. Reconocimiento de fallas.* Se visitaron viviendas de adobe y la escuela en grupos de 10 a 15 personas comandados por estudiantes de las universidades Stanford y Católica. Se identificó los problemas existentes: muros esbeltos, vanos muy grandes, mala colocación de los adobes, techos sin fijar, falta de adherencia de mortero, separación entre viviendas, etc. Ver Figura 4.39, 4.40 y 4.41. En la escuela de Chocos, se señalaron detalladamente donde se producirían las grietas durante un sismo tales como muros que se desprenderán por volteo, fallas en los vanos, fallas por desgarramiento, falla de cumbrera, etc. (Figura 4.42).



Figura 4.39. Taller de vulnerabilidad en las construcciones de adobe



Figura 4.40. Taller de vulnerabilidad en las construcciones de adobe



Figura 4.41. Formación de falla por volteo en una vivienda de Chocos



Figura 4.42. Taller de identificación de fallas en la escuela de Chocos

Al finalizar el recorrido del reconocimiento de fallas, se realizó un resumen de todo lo visto con los pobladores (Figura 4.43). Las fallas y problemas más comunes encontrados tanto en las viviendas como en la escuela, fueron:

Falla por volteo

Falla por desgarramiento, malos traslapes entre adobes

Vanos grandes

Muros esbeltos

Uniones sin dentada

Falta de viga collarín

Muros muy largos

Vías de escape obstaculizadas

Puertas de vidrio



Figura 4.43. Pobladora de Chocos explicando el resumen de las fallas que se presentaron en la escuela

- *Soluciones a las Vulnerabilidades en las Construcciones Existentes de Adobe.* Luego del reconocimiento de fallas se visitaron nuevamente las viviendas de adobe y la escuela, para darles soluciones concretas a los muros esbeltos, vanos muy grandes, mala colocación de los adobes, techos sin fijar, falta de adherencia de mortero, separación entre viviendas, etc. Ver Figura 4.44, 4.45 y 4.46. En la escuela de Chocos, se señalaron detalladamente donde poner la geomalla, como anclarla, como colocar la viga collar, como debe de ir el tijeral, la ubicación de las mochetas o contrafuertes, y así como también la opción de reducción de vanos, longitud de los muros y altura de los mismos muros propuestos por los mismos pobladores y por los miembros del equipo del proyecto (Figura 4.47 y 4.48).



Figura 4.44. Pobladores de Chocos proponiendo soluciones para las posibles fallas que se identificaron en el taller anterior



Figura 4.45. Pobladores de Chocos: durante los talleres participaron mujeres y niños



Figura 4.46. Taller de Soluciones dentro de las mismas viviendas de adobe



Figura 4.47. Soluciones de reforzamiento para el local escolar



Figura 4.48. Lista de soluciones propuestas por los pobladores para el local escolar

4.3.2. Encuesta a los Pobladores

Se realizaron tres encuestas: al alcalde, regidor y un poblador de Chocos, que habían reforzado sus casas de adobe con geomalla y otro con viga collar de concreto. Algunas de las conclusiones que se pudo obtener son:

- La población reconoce que en la zona los desastres naturales más frecuentes son los sismos.
- Reconocen que el refuerzo ha sido útil, y les brinda seguridad ante un terremoto y lo recomendarían a otras personas.

Se realizaron más encuestas de forma verbal, que coincidieron en su mayoría con las conclusiones dadas anteriormente.

4.3.3. Material Entregado: Lista de Chequeo (Checklist)

Como parte del Proyecto, el equipo de la universidad de Stanford y GeoHazards prepararon un Checklist para el reforzamiento sismoresistente de casas de adobe. Este Checklist lo proponemos para su uso en los talleres de capacitación. Aquí se plasman los 7 puntos claves para el reforzamiento.

REQUISITOS DE REFORZAMIENTO DE CASAS DE ADOBE

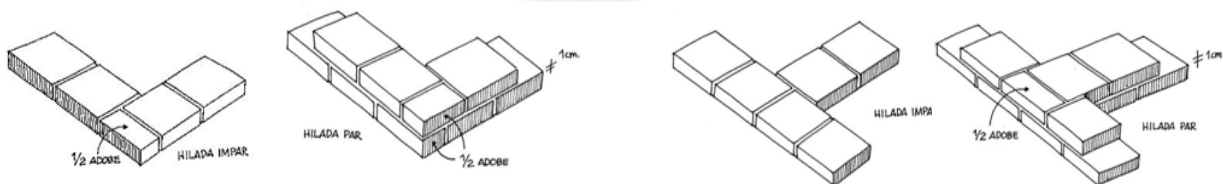
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reparar las paredes dañadas 2. Conectar las mallas a las paredes 3. Hacer cimentaciones nuevas y asegurarse que la malla este conectada por dentro 4. Instala la viga collar y conectarla con la geomalla 5. Coser los traslapes 6. Conecta el techo a la viga collar 7. Cubre la malla con tarrajeo
--	---

Este manual fue preparado como una guía general de reforzamiento sismo resistente de casas de adobe. En él solo figuran los puntos más importantes sustentados de manera breve, gráfica y en un lenguaje simple, para el entendimiento del constructor.

El Checklist, fue presentado en los inicios del taller, y fue practicado durante toda la capacitación.

Reparar las paredes dañadas:

Retirar los adobes dañados, y colocarlos de forma correcta haciendo los traslapes e intersecciones de muros de forma correcta, según las figuras presentadas (Figura 4.49):



DETALLES DE LOS TRASLAPES EN MUROS DE ADOBE PARA REPARACIONES EN LAS ESQUINAS E INTERSECCIONES

Figura 4.49. Detalle de traslape en muros de adobe

Conecta la malla a las paredes:

Los pobladores entendieron que deben amarrar la malla a la pared haciendo las perforaciones en los muros y uniendo las mallas con cintas plásticas (rafias), como se muestra en la Figura 4.50.



Figura 4.50. Conexión de malla con rafia – Vivienda Chocos

Hacer cimentaciones nuevas y hacer que la malla esté anclada por dentro:

Se explicó que la geomalla necesariamente tiene que estar anclada en la cimentación, y por ende necesitarán ensanchar su cimentación para poder anclar la malla (Figura 4.51).

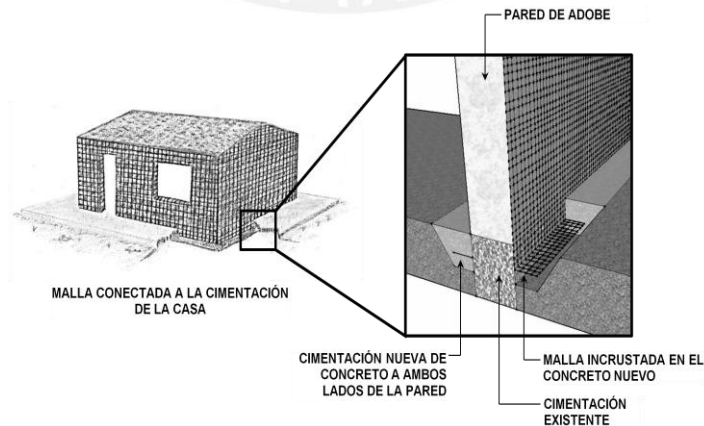


Figura 4.51. Anclaje de la geomalla a la cimentación

Instalar la viga collar y conectar la geomalla:

Al igual que la conexión con la cimentación la geomalla deberá embeberse en la viga collar de concreto.

Coser los traslapes:

Se deberá coser los empalmes de geomalla con rafia.

Conecta el techo a la viga collar:

Se explicó sobre la importancia de anclar el techo a los muros, para evitar que se desprenda durante un sismo o vientos muy fuertes.

4.3.4. Presentación del Proyecto ante la Comunidad de Chocos

Luego de identificar las vulnerabilidades y dar algunas soluciones a las futuras fallas, durante las salidas al campo, se procede a explicar la propuesta para la escuela de Chocos. Para ello se realizó una presentación de diapositivas, con un breve resumen del refuerzo a realizar y una ronda de preguntas para absolver dudas y reforzar ideas (Figura 4.52 y 4.53).

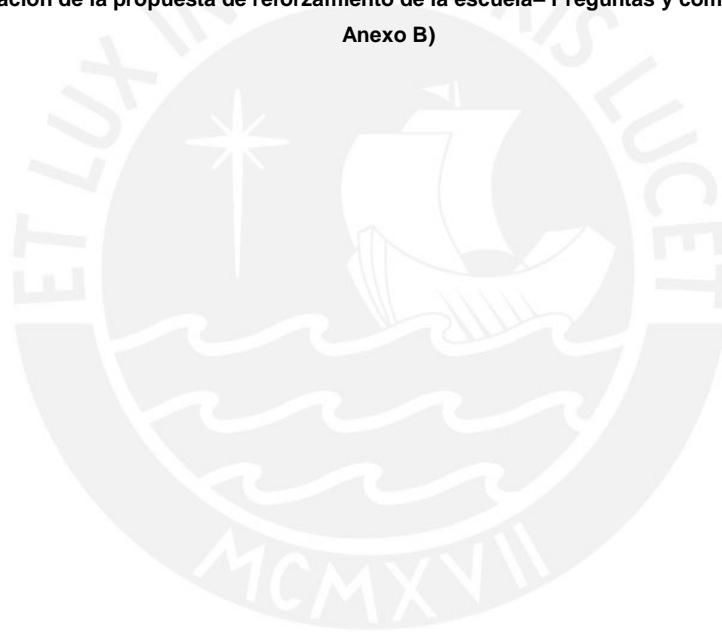


Figura 4.52. Presentación de la propuesta de reforzamiento de la escuela del distrito de Chocos

Las diapositivas mostradas tenían un lenguaje claro y graficaban de forma resumida la secuencia constructiva. En la explicación de la propuesta se planteó la solución constructiva a las fallas vistas en campo y como se solucionarían para la escuela.



Figura 4.53. Presentación de la propuesta de reforzamiento de la escuela– Preguntas y comentarios (Ver diapositivas Anexo B)



5. Conclusiones

1. A partir de esta experiencia se ha demostrado lo importante que es difundir, discutir, compartir información entre las diferentes entidades y personas que participaron en este proyecto y aprender sobre los desafíos de la construcción con tierra y técnicas de reforzamiento en zonas de alto peligro sísmico.
2. De las visitas de campo realizadas para la selección del colegio a reforzar se concluyó que la escuela de Chocos es un colegio de adobe representativo de todos los colegios de adobe visitados, dado que tenía la misma configuración estructural, condición y fisuras similares a las demás.
3. Del levantamiento de información del local escolar que se realizó durante la primera visita a la comunidad de Chocos, se concluyó que la escuela se encontraba en precarias condiciones dado que los muros tenían fisuras y estaban dañados por la humedad; el techo era inestable y poseía varias deflexiones exageradas y goteras; los vidrios estaban rotos y las salidas de evacuación no eran adecuadas. De acuerdo a la configuración estructural del local escolar sin intervención se verifica que este no cumple con las exigencias mínimas de la Norma E.080, por lo tanto se concluye que la edificación no es segura.
4. La malla electrosoldada demostró ser la más económica, debido al bajo costo de la malla y el procedimiento de instalación en el que no se requiere refuerzo de cimentación y la cantidad de perforaciones en el muro es mucho menor.
5. El factor imaginario fue determinante para la elección de la geomalla, como la mejor alternativa. La población se sintió identificada con la propuesta de reforzamiento, dado que se tuvo experiencias anteriores de construcción con la geomalla. Por lo tanto una solución de reforzamiento debe de ser acompañado en conjunto con las decisiones de la comunidad dado que ellos son el fin del proyecto y son los que llevarán a cabo una posible réplica en sus demás construcciones de viviendas o colegios de adobe.

6. Se concluye que la selección de la mejor alternativa no solo debe implicar la parte técnica sino que debe ser determinada por todo el conjunto de factores, para que la propuesta sea aceptada por la comunidad en su totalidad. En este caso la mejor alternativa fue la Geomalla.
7. Del análisis de corte del local escolar sin intervenir se concluye que los muros largos, no tienen suficiente área transversal para resistir las fuerzas sísmicas, es por ello que se propone la reducción de los vanos de las ventanas, de esta forma se cumple con el límite de resistencia del adobe en corte (0.02 MPa).
8. Para el análisis de flexión se concluye que necesariamente se debe utilizar un refuerzo que soporte los momentos en los muros generados por el sismo, dado que el adobe es un material frágil que no resiste tracciones. Por lo tanto se decidió reforzar con geomalla, y realizar el análisis una vez más. De los resultados de este último análisis se obtuvieron momentos actuantes mayores a los que puede soportar la geomalla ($M_r = 4.12 \text{ KN.m /ml}$); por esta razón se utilizó contrafuertes los cuales redujeron los momentos generados en los muros, siendo el máximo 3.10 KN.m /ml. En consecuencia, los muros deberán tener los vanos reducidos, reforzados con geomalla y con contrafuertes, de esta manera se verifica que el corte y flexión generados por el sismo sean soportados por el sistema geomalla-adobe.
9. En general no existen fallas a compresión pura en edificaciones de adobe. Sin embargo, se comprobó que el máximo esfuerzo a compresión de la albañilería de adobe fue de 1.86 kg/cm^2 , menor a la exigida por la Norma E.080 (2.00 kg/cm^2).
10. Para el diseño de los elementos de la armadura se comprueba que los elementos que trabajan a compresión no fallen por pandeo, para ello se utilizó la fórmula de Euler. Con ello garantizamos que los elementos de la armadura soporten las cargas provenientes del techo y no tengan deflexiones excesivas y fallas por inestabilidad.
11. Después de los talleres de capacitación, los pobladores demostraron haber entendido los principios básicos de comportamiento de las estructuras de adobe como las posibles fallas. Así mismo tomaron consciencia de la situación de riesgo y vulnerabilidad que viven día a día y de su compromiso y responsabilidad de tomar

acciones preventivas en conjunto con las autoridades locales, distritales, policiales y regionales para llevar a cabo proyectos que solucionen esas deficiencias.

12. Los adobes colocados en la parte superior de la edificaciones y que se encuentran sin refuerzo o sin confinamiento se caen causando daños a sus habitantes, ellos mismos propusieron entonces sacar esos adobes sin amarre colocando en la parte superior *three ply* o *plywood* en vez de adobes pesados que representaría una carga sísmica. Sugirieron la reparación de grietas y el reemplazo de adobes deteriorados por nuevos.
13. En el caso particular del distrito de Chocos, según el Mapa de Pobreza 2009 del INEI, se tiene que el 40% de la población está en situación de pobreza y el 60% están en condición de no pobre. Los que se encuentran en condición de no pobre podrían cubrir el reforzamiento de sus viviendas si destinan el 10% de su canasta básica familiar anual para este fin. El otro sector (40%) considerado en situación de pobreza, tendría que financiar el costo para reforzar sus viviendas de adobe través de organismos gubernamentales como no gubernamentales.
14. Nuestra propuesta de reforzamiento para edificaciones de adobe y los resultados de nuestras investigaciones pueden aplicarse extensamente en zonas rurales donde se edifica con adobe que por lo general se encuentran en regiones con un alto índice de actividad sísmica.
15. Con esta propuesta integral de reforzamiento aplicado a un local escolar, ya existe la experiencia en el reforzamiento preventivo de las edificaciones educativas de adobe antes de la ocurrencia de un sismo.

Referencias y Bibliografía

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) 2010. *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. Colombia: Presidencia de la República - Red de Solidaridad Social.

BLANCO, Antonio (2010). *Evolución de las Normas Sísmicas Peruanas y el Diseño Sismorresistente*. Ponencia presentada en el Seminario Normatividad y gestión para edificaciones sostenibles y saludables.

BLONDET, Marcial (2010). *Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludables y seguras*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú

BEER, Ferdinand; Russell JOHNSTON; John DEWOLF (2007). *Mecánica de materiales*. Cuarta Edición. México: McGraw-Hill Interamericana.

BOSSIO, Stefano (2010). *Evaluación del comportamiento sísmico e influencia de la dirección del movimiento en módulos de adobe reforzado con geomalla*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

CEMENTOS LIMA (2004). *Guía Práctica de cemento*. Lima: Cementos Lima.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) 2006. *Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social*. México, CENAPRED.

Centro Regional de Sismología para América del Sur - Pontificia Universidad Católica del Perú (CERCERESIS-PUCP) 1997. *Reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la costa y sierra*.

CHARLESON, Andrew (2011). *Seismic strengthening of earthen houses using straps cut from used car tires: a construction guide*. California, EERI Publication Number WHE-2011-02

DUEÑAS, Alexis; Victoria RAMÍREZ; Milagros DEFILIPPI (2011). *Evaluación de impacto ambiental y la industria de la construcción*. Ponencia presentada en el XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Desarrollo, sostenibilidad e ingeniería. Cajamarca: CIP.

ELNASHAI, A. S., Jorge ALVA-HURTADO, Omar PINEDA, Oh SUNG, Luis MORÁN-YAÑEZ, Guillermo HUACO, Gregory PLUTA (2008). *The Pisco-Chincha Earthquake of August 15 2007*. Illinois: Mid-American Earthquake Center MAE.

GTZ, COPASA, PUCP (2005). *Manual para elaborar adobes mejorados*. Editorial Industria Gráfica Regentus, Arequipa.

GTZ, COPASA, PUCP (2005) *Manual de construcciones sismo resistentes en adobe*. Editorial Industria Gráfica Regentus, Arequipa.

HARMSSEN, Teodoro. (2005) *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. 4ta. Edición. Lima, Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) 2008. *Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental del Sismo ocurrido el 15 de agosto de 2007*. Lima, INDECI.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) 2005. *Censo Nacional 2005, X Población y V Vivienda*. Lima, INEI.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) 2007. *Censo Nacional 2007, XI Población y VI Vivienda*. Lima, INEI.

Instituto para la Promoción de Armaduras Certificadas (IPAC) 2012. Consulta: 22 de abril de 2012.

<http://www.ipac.es/home/home.asp>

JUÁREZ, Hugón; et al., (1999). *Recomendaciones para reducir la vulnerabilidad sísmica de estructuras de mampostería*. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México.

JUÁREZ, Lidia (2004). *Ensayo de flexión lateral en muretes de adobe compactado reforzados con mallas de acero*. Ponencia presentada en SÍSMICA 2004 - 6º Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Sísmica. México.

JURADO, César; Laura NAVARRO (2009). *Reducción de la vulnerabilidad de edificaciones escolares peruanas*. Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Graduados. 2009.

KOERNER, Robert (2005). *Designing with geosynthetics*. 5ta edición. New Jersey: Prentice Hall.

KUROIWA, Julio (2004). *Disaster reduction: living in harmony with nature*. Lima: Quebecor World Perú.

LAVELL, Allan (1997). *VIVIENDO EN RIESGO. Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres para América Latina.

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.

MINISTERIO DE EDUCACION DEL PERÚ (2007). *Cifras de la Educación en el Perú 2006*. Lima: Unidad de Estadística Educativa.

MINISTERIO DE EDUCACION DEL PERÚ (2009). *Censo escolar 2009*. Consulta: 01 de marzo de 2011.

<http://escale.minedu.gob.pe>.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO DEL PERÚ (2006). *Reglamento Nacional de edificaciones. Norma Técnica E.070 Albañilería y Norma E.080 Adobe*. Lima: SENCICO

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO DEL PERÚ (2011) R.M. N°220-2011-VIVIENDA *Cuadro de valores unitarios oficiales de edificaciones para la sierra*. 30 de octubre.

MUÑOZ, Alejandro; Juan MONTALBETTI (2003). *REMM Curso multimedia de resistencia de materiales*. Lima: PUCP.

MUÑOZ, Alejandro; Marcial BLONDET (2007). *Reducción de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares en alto riesgo*. Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú.

PERALTA, Gonzalo (2009). *Resistencia a flexión de muros de adobe reforzados con geomallas-influencia del tipo de tarrajeo*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Lima: PUCP, Facultad de Ciencias e Ingeniería. 2009. Consulta: 24 de febrero de 2011.

http://tesis.pucp.edu.pe/files/PUCP000000001210/peralta_gonzalo_resistencia_flexion_muros_adobe_geomallas.pdf

PADT-REFORT, (1984), *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*, 3ª Edición, Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de Recursos Forestales Tropicales, Junta del Acuerdo de Cartagena, Pacto Andino, Lima, Perú.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD) 2008. *Manual para el Desarrollo de Viviendas Sismorresistentes*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Lima, Perú.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (2005). *Simulación sísmica, ensayo dinámico en mesa vibradora de casa de adobe sin refuerzo* [videograbación]. Lima: GHETTY, CERESIS, PUCP.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (2005). *Sismo Adobe 2005*. Lima

PREDES (2002). *Construyendo casas de adobe más resistentes*. Lima: PREDES, Fondo editorial.

PRODAC (2008). *Manual técnico*. Lima.

PULGAR, Javier (1981) *Geografía del Perú y las Ocho Regiones Naturales del Perú*. Lima: Ed. Universo.

QUIUN, Daniel; Ángel SAN BARTOLOMÉ, Luis ZEGARRA, Alberto GIESECKE (2008). *Comportamiento de las viviendas de adobe reforzadas ante el sismo de Pisco*. Lima: Departamento de Ingeniería, Sección ingeniería civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2009, (DI – SIC – 2008 – 03).

RUBIÑOS, Álvaro (2009). *Propuesta de reconstrucción post-terremoto de viviendas de adobe reforzado*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

SAN BARTOLOMÉ, Ángel; Daniel QUIUN, Wilson SILVA (2011). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

TORREALVA, Daniel (2008). *Caracterización de daños, reparación, y refuerzo en construcciones de adobe*. Lima: Departamento de Ingeniería, Sección ingeniería civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008, (DI – SIC – 2008 – 04).

TORREALVA, Daniel (2009). *Comportamiento sísmico de edificaciones de adobe*. Conferencia presentada en Conservación del Patrimonio Arquitectónico: Avances en los Aspectos Estructurales. Cusco.

TORREALVA, Daniel (2009). *Diseño sísmico de muros de adobe reforzados con geomallas*. Lima: PUCP, 2009, (DI – SIC – 2009 - 01).

VALDIVIA, Sonia (2009). *Instrumentos de Gestión ambiental para el sector construcción*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

VARGAS, Julio; Daniel TORREALVA, Marcial BLONDET (2007). *Construcción de casas saludables y sismorresistentes de ADOBE REFORZADO con geomallas*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.