

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



Título

**PROPUESTA DE DISEÑO DE MODELO DE VIVIENDA DE ADOBE DE DOS PISOS
A ESCALA REDUCIDA REFORZADA CON MALLA DE CUERDAS**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAGISTRA EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORA

Lourdes Gretel Pando Casabona

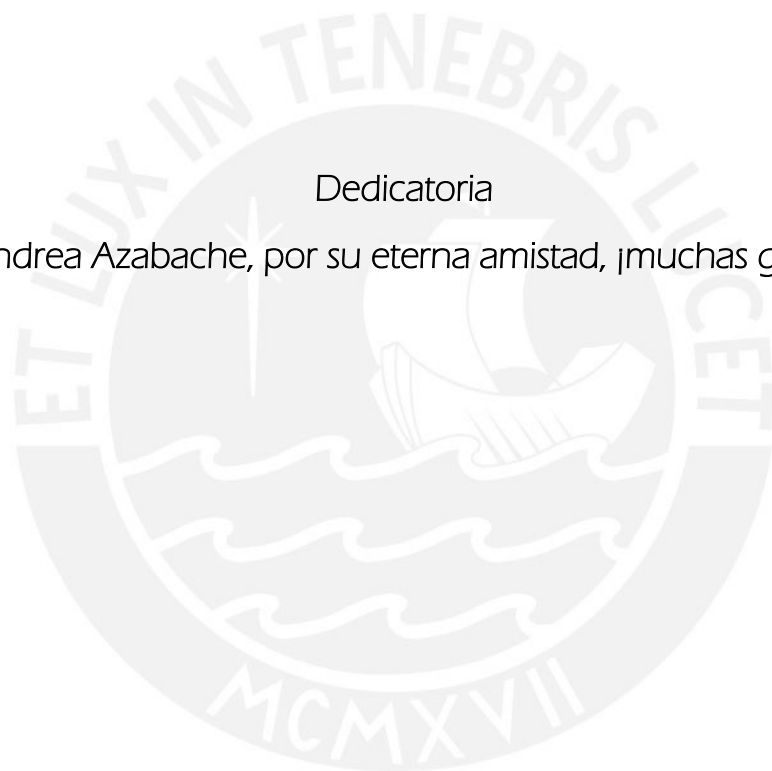
ASESOR

Dr. Jorge Marcial Blondet Saavedra

Octubre, 2020

Dedicatoria

A Andrea Azabache, por su eterna amistad, ¡muchas gracias!



RESUMEN

El adobe es un material de construcción usado en el Perú desde la época prehispánica. A partir de esta herencia cultural, los peruanos han empleado este material tradicional para construir sus viviendas debido a su accesibilidad y su bajo costo. Sin embargo, el adobe es un material pesado, débil y frágil (Blondet y Villa García, 2004). Muchos pobladores practican la autoconstrucción de sus viviendas y muchos las construyen de dos pisos, sin utilizar ningún tipo de refuerzo. El Perú se ubica en una zona de alta actividad sísmica lo cual implica un riesgo constante para muchas personas, en especial para los pobladores en zonas rurales quienes habitan viviendas de adobe, pues estas construcciones en tierra tienen una alta vulnerabilidad sísmica lo cual ocasiona numerosas pérdidas humanas y daños materiales cada vez que ocurre un terremoto de gran magnitud (Blondet, 2018). Por tal motivo, el estudio sigue la línea de investigación iniciada en el Departamento Académico de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), por un grupo de profesores quienes, desde 1970, estudian refuerzos sísmicos viables y económicos que contribuyan a disminuir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en el Perú. En una reciente investigación, se comprobó la eficacia del refuerzo de malla de cuerdas en un módulo de adobe de un piso, sometido a cargas sísmicas en la mesa vibratoria de la PUCP, pues el refuerzo evitó el colapso de la estructura. Por tal motivo, en el documento se desarrolla el diseño de modelo de vivienda de adobe de dos pisos a escala reducida, con el propósito de estudiar la efectividad del sistema de refuerzo sísmico de malla de cuerdas en viviendas de adobe de dos pisos mediante ensayos de simulación sísmica.

ÍNDICE

Capítulo 1.....	1
1. Aspectos generales	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS.....	3
1.5 PLAN DE TRABAJO Y ACTIVIDADES	3
1.6 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....	4
Capítulo 2.....	5
2. Marco teórico	5
2.1 SISMICIDAD EN EL PERÚ.....	5
2.2 TIPOLOGÍA DE LAS VIVIENDAS DE DOS PISOS DE ADOBE EN EL PERÚ.....	7
2.2.1 Viviendas de adobe en Cusco	9
2.2.2 Viviendas de adobe en Pullo, Ayacucho.....	12
2.2.3 Viviendas de adobe en Canta, Lima	13
2.2.4 Viviendas de adobe en Yauyos, Lima.....	14
2.3 CONSTRUCCIÓN DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE DE DOS PISOS	16
2.3.1 Ubicación de las viviendas de adobe en zonas rurales.....	17
2.3.2 Fabricación de los bloques de adobe	18
2.3.3 Cimientos y sobrecimientos.....	18
2.3.4 Construcción de muros de mampostería de adobe.....	19
2.3.5 Uso de arriostres	19
2.3.6 Construcción del techo	20
2.4 COMPORTAMIENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE ANTE TERREMOTOS HISTÓRICOS EN EL PERÚ	21
Capítulo 3.....	27
3. Propuestas de refuerzo sísmico para viviendas de adobe desarrolladas en la PUCP	27
3.1 LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISÍSMICAS – LEDI.....	27
3.2 TÉCNICAS DE REFUERZO PARA VIVIENDAS DE ADOBE DE UN PISO.....	28
3.2.1 Refuerzo con caña guayaquil - guadua angustifolia.....	29
3.2.2 Refuerzo con geomallas.....	30
3.2.3 Refuerzo con mallas electrosoldadas	31
3.2.4 Refuerzo con malla de cuerdas	33
Capítulo 4.....	36
4. Diseño del modelo de vivienda de dos pisos	36

4.1	PROTOTIPO Y MODELO	36
4.2	LEYES DE SIMILITUD Y ANÁLISIS DIMENSIONAL	38
4.3	DETALLES ARQUITECTÓNICOS Y ESTRUCTURALES DEL MODELO.....	41
4.3.1	Verificación de acuerdo a la Norma Técnica de Edificación E0.80.....	42
4.3.2	Verificación del peso del modelo	43
4.3.3	Diseño del anillo de cimentación	44
4.3.4	Diseño de los muros	46
4.3.5	Diseño de dinteles.....	47
4.3.6	Diseño del entrepiso	48
4.3.7	Diseño del techo	49
4.4	DISTRIBUCIÓN DEL REFUERZO DE MALLA DE CUERDAS PARA EL MODELO REFORZADO	50
4.4.1	Configuración del refuerzo horizontal	50
4.4.2	Refuerzo vertical muro anterior	52
4.4.3	Refuerzo vertical muro posterior	53
4.4.4	Refuerzo vertical muro longitudinal derecho e izquierdo	55
4.4.5	Detalle de conexión entre el primer piso, el segundo piso y el techo.....	57
4.5	PLANOS Y PRESUPUESTO	59
Capítulo 5.....		60
5	Construcción de los modelos.....	60
5.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DEL MODELO	60
5.2	PROCESO CONSTRUCTIVO DEL MODELO DE VIVIENDA DE ADOBE DE DOS PISOS	65
Capítulo 6.....		74
6	Ensayos de simulación sísmica.....	74
6.1	COMPORTAMIENTO DE LOS MODELOS SIN REFUERZO ANTE EL ENSAYO SÍSMICO.....	74
6.2	COMPORTAMIENTO DE LOS MODELOS CON REFUERZO ANTE EL ENSAYO SÍSMICO.....	76
Capítulo 7.....		78
7	Conclusiones y recomendaciones	78
Bibliografía		81
APÉNDICE A.....		84
8.	Materiales y presupuesto	84
MATERIALES		84
PRESUPUESTO		85
APÉNDICE B		86
9.	Planos	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Dirección del movimiento de las placas hacia las zonas de subducción (Guardia, 2011).....	5
Figura 2.2 - Zonas de mayor deformación y generación de terremotos en la Fosa Perú- Chile (Guardia, 2011)	5
Figura 2.3 - Tipos de Sismos en zonas de subducción (Guardia, 2011)	6
Figura 2.4 - Mapa sísmico del Perú (IGP, 2019).....	7
Figura 2.5- Viviendas particulares en zona rural según material predominante en las paredes exteriores y área de residencia – 2013 (INEI, Vivienda y hogar, 2014).....	8
Figura 2.6- Viviendas particulares de adobe en zona rural, Viñak (Google Earth)	8
Figura 2.7 - Tipología de las viviendas de adobe en el Perú (Adaptado de La Torre, 2017).....	9
Figura 2.8 - Departamento de Cusco, Perú.....	9
Figura 2.9 Esquema de adobe típica en Cusco (Carazas, 2001)	10
Figura 2.10 Vivienda de adobe de dos pisos en San Sebastián, Cusco (Blondet, 2004).....	11
Figura 2.11 - Vivienda de adobe de dos pisos en San Sebastián, Cusco (Blondet, 2004)	11
Figura 2.12 - Distrito de Pullo, Ayacucho.....	12
Figura 2.13 - Vivienda de adobe en el distrito de Pullo, Ayacucho	13
Figura 2.14 - Provincia de Canta, Lima	13
Figura 2.15 - Vivienda de adobe en Apán, Canta (Velarde, 2014).....	14
Figura 2.16 - Provincia de Yauyos, Lima.....	15
Figura 2.17 - Vivienda de adobe en el distrito de Viñak, Yauyos	16
Figura 2.18 - Vivienda de adobe en el distrito de Viñak, Yauyos	16
Figura 2.19 - Deslizamiento de cerro en Ayahuaico, Cusco (Andina, 2011).....	17
Figura 2.20 - Desborde del río Pomabamba, Áncash (Andina, 2011)	17
Figura 2.21 - Secado de bloques de adobe a la intemperie en el distrito de Viñak, Yauyos.....	18
Figura 2.22 – Vivienda de adobe con sobrecimiento sólo de piedra (La Torre, 2017).....	19
Figura 2.23 – Construcción con muros delgados de adobe (Tarque et al., 2010)	19
Figura 2.24 – Vivienda típica de adobe sin viga collar ni arriostres (Tarque et al., 2010)	20
Figura 2.25 – Techo de tijeral de madera con cubierta torta de barro con cubierta de teja (La Torre, 2017)	20
Figura 2.26 - Deficiencias estructurales en las edificaciones de dos pisos (Yamín et al, 2007).	23
Figura 2.27 – Falla estructural generalizada (Blondet et al., 2011).....	25
Figura 2.28 – Grietas verticales en los encuentros de muros, terremoto de Pisco 2007 (Blondet et al., 2011).....	25
Figura 2.29 –Volteo de muro, terremoto de Pisco 2007 (Blondet et al., 2011)	25
Figura 2.30 –Volteo de muro, terremoto de Pisco 2007 (Blondet et al., 2011)	26
Figura 2.31 –Grietas debido a falla por corte en muros (Blondet et al., 2011; Serrano, 2016).....	26
Figura 3.1 - Mesa Vibradora del Laboratorio de la PUCP (Blondet et al., 2018).....	27
Figura 3.2 - Puente Grúa del Laboratorio de la PUCP (LEDI, 2020).....	28
Figura 3.3 - Refuerzo con caña (Blondet y Villa García, 2002; Blondet et al., 2011).....	30
Figura 3.4 – Refuerzo con geomalla (Blondet et al., 2006; Solís et al., 2015)	31
Figura 3.5 - Refuerzo con malla Electrosoldada (Torrealva y Acero, 2005; San Bartolomé, 2013)	33
Figura 3.6 – Refuerzo con malla de cuerda (Sosa y Soto, 2014).....	33
Figura 3.7 – Combinaciones de nudos ensayados (Mattson, 2015).....	34
Figura 3.8 – Elaboración de combinación C4 consistente en elaboración de un “nudo ocho” y un “doble medio nudo” como tope (Mattson, 2015).....	35
Figura 4.1 – Prototipo y esquema del modelo	41
Figura 4.2 – Vistas de la elevación anterior y posterior de los muros	41

Figura 4.3 – Vistas de la elevación longitudinal izquierda y derecha de los muros.....	42
Figura 4.4 – Detalles del anillo de cimentación	45
Figura 4.5 – Ubicación de ganchos y orejas en la viga de cimentación.....	45
Figura 4.6 – Detalle de la distribución de adobes en hiladas par e impar.....	46
Figura 4.7 – Detalle del dintel de caña	48
Figura 4.8 - Vista en planta de la viga collar.....	48
Figura 4.9 - Vista en planta de las viguetas del primer y segundo piso, respectivamente	48
Figura 4.10 - Vista en planta del entablado del primer y segundo piso, respectivamente	49
Figura 4.11 - Vista en planta de las correas en el techo.....	49
Figura 4.12 – Configuración del refuerzo horizontal	50
Figura 4.13 – Refuerzo horizontal, fachada y lateral.....	51
Figura 4.14 – Detalle 1, refuerzo horizontal.....	51
Figura 4.15 – Detalle 2, refuerzo horizontal.....	51
Figura 4.16 – Detalle 3, refuerzo horizontal.....	52
Figura 4.17 – Detalle 4, refuerzo horizontal.....	52
Figura 4.18 - Refuerzo vertical en el muro anterior / Conexión de refuerzo entre el primer piso, segundo piso y techo	53
Figura 4.19 - Refuerzo vertical en el muro posterior / Conexión del refuerzo entre el primer piso, segundo piso y techo ...	54
Figura 4.20 - Refuerzo vertical en el muro lateral.....	56
Figura 4.21 – Detalle conexión	57
Figura 4.22 – Detalle de nudos para el refuerzo de malla de cuerdas.....	58
Figura 5.1 – Prueba de cinta de barro (Valle, 2019).....	61
Figura 5.2 – Prueba de cinta de la bolita (Valle, 2019)	61
Figura 5.3 – Prueba de emparedado (Valle, 2019).....	62
Figura 5.4 – Ensayo de compresión de cubos (Valle, 2019)	62
Figura 5.5 – Ensayo de tracción indirecta en emparedados (Valle, 2019).....	62
Figura 5.6 – Ensayo de compresión axial en pilas de adobe (Valle, 2019)	63
Figura 5.7 – Ensayo de compresión diagonal en muretes (Valle, 2019).....	63
Figura 5.8 – Ensayo de compresión en probetas cúbicas de mortero (Valle, 2019)	64
Figura 5.9 – Ensayo de tracción de drizas (Valle, 2019).....	64
Figura 5.10 – Ensayo de tracción de caña carrizo (Valle, 2019)	65
Figura 5.11 – Proceso constructivo del anillo de cimentación	66
Figura 5.12 - Adobes utilizados en la construcción del modelo	66
Figura 5.13 - Preparación de mortero para juntas de adobe	67
Figura 5.14 - Asentado de bloques de adobe en segundo nivel	67
Figura 5.15 - Construcción de viga collar	68
Figura 5.16 - Instalación de viguetas en el segundo nivel	68
Figura 5.17 - Correas para soporte del techo.....	69
Figura 5.18 - Instalación de teja andina.....	69
Figura 5.19 - Perforación para el refuerzo de driza	70
Figura 5.20 - Driza de 1/8” usada para el reforzamiento.....	70
Figura 5.21 - Realización del nudo 8, tensado y doble nudo.....	71
Figura 5.22 - Colocación de la cuerda vertical en el módulo de adobe	72
Figura 5.23 - Quemado de puntas del reforzamiento interior en módulo de adobe	72
Figura 5.24 - Módulo de adobe sin refuerzo	73
Figura 5.25 - Módulo de adobe reforzado	73

Figura 6.1 – Ensayo sísmico del modelo sin refuerzo, URM-2S-1	75
Figura 6.2 – Ensayo sísmico del modelo sin refuerzo, URM-2S-2	75
Figura 6.3 – Ensayo sísmico del primer modelo con refuerzo, SRM-2S-1	76
Figura 6.4 – Ensayo sísmico del segundo modelo con refuerzo, SRM-2S-2.....	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 - Terremotos Históricos en el Perú (INDECI, 2006; La Torre, 2017)	22
Tabla 2.2 – Mecanismos de colapso y agrietamientos asociados con fuerzas sísmicas (Yamín et al., 2007).	24
Tabla 3.1 - Propiedades de la caña guayaquil (Méndez, 2005)	29
Tabla 3.2 - Especificaciones técnicas de la geomalla biaxial extruida TG 2020-S (Prodac, 2020)	30
Tabla 3.3 - Especificaciones técnicas de la Malla Electrosoldada (Prodac, 2019)	32
Tabla 4.1 – Clasificación de los modelos estructurales (Adaptado de Rodríguez, 2007)	37
Tabla 4.2 – Factores de escala (Yallico, 2020).....	40
Tabla 4.3 - Verificación del modelo según Norma E0.80	43
Tabla 4.4 - Dimensiones geométricas y peso del prototipo	43
Tabla 4.5 - Dimensiones geométricas y peso del modelo.....	44
Tabla 4.6 - Metrado de adobes en modelo típico.....	47
Tabla 4.7 – Resumen del presupuesto para fabricación de un módulo reforzado con malla de cuerdas.....	59

Capítulo 1

Aspectos generales

1.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia del Perú, el adobe ha sido utilizado como material de construcción y, en la actualidad, esta técnica antigua y tradicional continúa siendo practicada por la población peruana. En la etapa pre Inca se realizaron construcciones en adobe como la Huaca del Sol y de la Luna (Cultura Moche) o la ciudadela de Chan Chan (Cultura Chimú). Luego, en la etapa Inca, se realizó el Camino Inca a lo largo de la costa y sierra del Perú. En la época colonial se construyó el Convento de los Descalzos, la Iglesia de San Pedro de Carabayllo y la Ruta del Barroco Andino que incluyen tres iglesias de adobe en Cusco (La Torre, 2017). Durante la época colonial republicana y contemporánea, 1824 en adelante, en zonas andinas el uso del adobe fue común. En la época del Virreinato, el adobe fue utilizado por los españoles como el principal material para la reconstrucción. Sin embargo, luego del terremoto de 1746, su uso fue en descenso y se implementó un sistema de construcción mixto conocido como quincha (Chácara, 2013).

En la actualidad, de acuerdo a los últimos censos de vivienda desarrollado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), aproximadamente el 72% de las viviendas particulares en zonas rurales son de adobe o tapia. En el Perú las viviendas típicas de adobe son de un piso o dos pisos; no obstante, debido a la falta de conocimientos de las normativas y conceptos teóricos, dichas construcciones no tienen un buen diseño estructural, son de baja calidad constructiva y no cuentan con ningún tipo de refuerzo (AIS, 2004). Según el censo del 2017 realizado por el INEI, la mayoría de estas casas presentan paredes exteriores hechas de adobe, tapia o quincha.

El 31 de mayo de 1970 en Áncash se produjo uno de los terremotos más devastadores en la historia peruana. Un terremoto de 7.5 grados en la escala de Richter produjo el desprendimiento de una cornisa del nevado Huascarán, lo cual provocó un aluvión que dejó una gran cantidad de pérdidas humanas. A partir de dicho suceso, un grupo de profesores de la PUCP decidió iniciar investigaciones con la finalidad de reducir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe mediante el estudio e implementación de sistemas de refuerzos con materiales industriales y naturales.

En un reciente proyecto de investigación se comprobó que, el refuerzo estructural con mallas de cuerdas sintéticas, consigue un comportamiento sísmico apropiado en estructuras de adobe. En dicho estudio, a pesar de someter al módulo de adobe a ensayos de simulación sísmica severa, el refuerzo de malla de cuerdas logró mantener la integridad estructural y se evitó el colapso parcial de los muros.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El Perú se ubica en una región de constante actividad sísmica, pues forma parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. A lo largo de la historia del Perú se han registrado numerosos terremotos devastadores en términos de pérdidas de vidas humanas causados en su mayoría por el colapso de las viviendas de adobe.

Los resultados de diversas investigaciones indican que los refuerzos como la caña, la geomalla, la malla electrosoldada y la malla de cuerdas son refuerzos sísmicos eficaces. Sin embargo, estos refuerzos se estudiaron únicamente para viviendas de un piso.

Es importante estudiar refuerzos sísmicos viables y económicos que contribuyan a disminuir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe de dos pisos en el Perú. Por tal motivo, se ha planteado comprobar la eficacia del refuerzo de malla de cuerdas en viviendas de adobe de dos pisos. Sin embargo, la mesa vibradora y el puente grúa del Laboratorio de Estructuras de la PUCP no cuentan con la capacidad necesaria para ensayar una vivienda de dos pisos a escala natural y por ello se propone realizar ensayos en modelos a escala reducida.

1.3 OBJETIVOS

El objetivo principal de esta Tesis es reducir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe de dos pisos mediante la propuesta de diseño de refuerzo de malla de cuerdas.

Los objetivos específicos del trabajo son los siguientes:

- Diseñar los modelos de viviendas de adobe de dos pisos a escala reducida, con refuerzo y sin refuerzo.
- Elaboración de planos de los módulos con y sin refuerzo de malla de cuerdas.
- Elaboración del presupuesto referencial para la construcción de los módulos de adobe.

1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

¿Es posible utilizar el sistema de malla de cuerdas como refuerzo sísmico en viviendas de adobe de dos pisos? La eficacia del refuerzo de malla de cuerdas, ha sido validada mediante ensayos de simulación sísmica en módulos de adobe de un piso. Por tal motivo, se infiere que dicho sistema de refuerzo evitaría el colapso de las viviendas de adobe de dos pisos ante eventos sísmicos.

La hipótesis es: la efectividad del sistema de malla de cuerdas puede ser estudiado en modelos a escala reducida que representen las viviendas de adobe de dos pisos en el Perú.

1.5 PLAN DE TRABAJO Y ACTIVIDADES

El trabajo consistirá en la elaboración de planos de los modelos de viviendas de adobe a escala reducida con refuerzo y sin refuerzo. Para lograr los objetivos específicos será necesario realizar las siguientes actividades:

- a) Revisión bibliográfica sobre la construcción de adobe en el Perú y visitas de campo. Se reunirá información bibliográfica a partir de investigaciones y ensayos anteriores sobre el adobe. Además, se consultará la Norma Peruana sobre adobe y sismorresistencia. Por último, se realizarán visitas a Ayacucho con la finalidad de estudiar las características de las viviendas de adobe.
- b) Análisis del factor de similitud. Se aplicará la teoría de similitud para diseñar el modelo y así determinar todos los factores necesarios para el ensayo de simulación sísmica.
- c) Diseño de modelos experimentales. A partir de la bibliografía recolectada y las visitas de campo, se elaborará un primer modelo que considerará las características de las viviendas típicas de adobe de zonas rurales y servirá como línea base. Un segundo modelo se diseñará incluyendo la distribución de la malla de cuerdas de nylon para comprobar su eficacia como refuerzo estructural.
- d) Elaboración de los planos de construcción del modelo. Se elaborará planos de detalle del modelo de adobe de dos pisos y la distribución del refuerzo de malla de cuerdas.

1.6 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

El trabajo se desarrolla en siete capítulos. En el capítulo 1 se exponen los aspectos generales tales como los antecedentes y la justificación del estudio, los objetivos, el plan de trabajo y la organización de la tesis. En el capítulo 2 se desarrolla el marco teórico. En el marco teórico se hace una revisión de la sismicidad en el Perú; luego, se estudian las características y método constructivos de las viviendas de adobe en la sierra del Perú. También se analiza el comportamiento de las viviendas de adobe ante eventos sísmicos ocurridos a lo largo de la historia del Perú. En el capítulo 3, se estudian las técnicas de refuerzo propuestos en la PUCP para viviendas de adobe. También se revisan las características técnicas del Laboratorio de Estructuras de la PUCP.

En el capítulo 4, se revisa la teoría de modelos y la similitud. Se describen todos los parámetros necesarios para el ensayo de simulación sísmica. Luego se describen los detalles arquitectónicos y estructurales del modelo propuesto. Se realiza una verificación del modelo con la Norma E0.80 y sus recomendaciones para construcciones de adobe de dos pisos. Asimismo, se detalla la configuración del refuerzo de malla de cuerdas en el modelo. Luego, se presenta el presupuesto y los planos de construcción.

En el capítulo 5 se presenta la caracterización de los materiales a emplear en el procedimiento constructivo del módulo de adobe de dos pisos a escala reducida (1:2). Luego, en el capítulo 6 se describe el comportamiento de los modelos sometidos a los ensayos de simulación sísmica. Finalmente, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones de la investigación y las recomendaciones para la futura línea de investigación.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 SISMICIDAD EN EL PERÚ

El Perú se ubica en una de las regiones de mayor actividad sísmica en la Tierra, siendo parte del Cinturón de Fuego del Pacífico. El marco tectónico regional del Perú está regido por la interacción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana. Existen tres clases de límites principales donde se produce la interacción entre placas y estos son los límites divergentes, los límites de transformación y los límites convergentes. El tipo de límite entre placas de Nazca y Sudamericana son límites de tipo convergente (Figura 2.1) y gobiernan la sismicidad del Perú (Guardia, 2011).

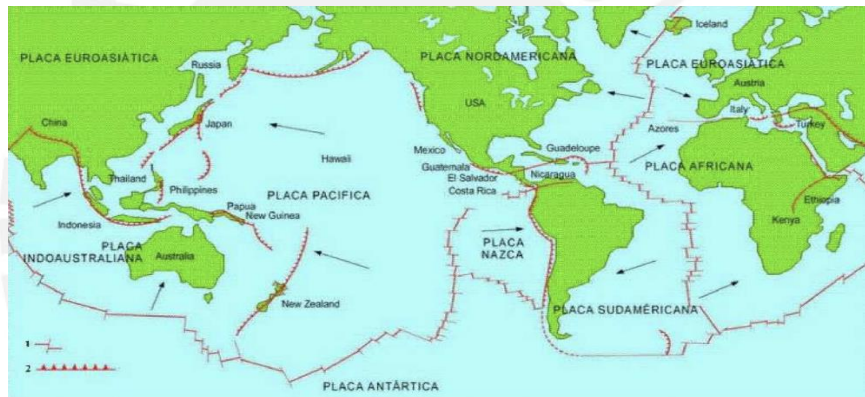


Figura 2.1 - Dirección del movimiento de las placas hacia las zonas de subducción (Guardia, 2011)

La interacción del límite de la placa de Nazca y la Sudamericana es una subducción del tipo océano-continente. La continua subducción de la placa de Nazca, penetra a lo largo de la Placa Sudamericana a lo largo de la fosa Perú-Chile (Figura 2.2) siendo la principal fuente de generación de constantes eventos sísmicos frente a la línea de la costa (Guardia, 2011).

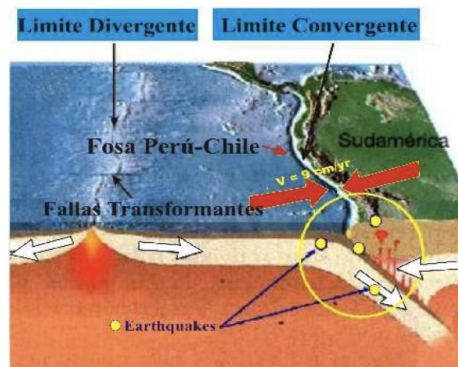


Figura 2.2 - Zonas de mayor deformación y generación de terremotos en la Fosa Perú- Chile (Guardia, 2011)

En el Perú se pueden identificar cuatro tipos de sismos en zonas de subducción (Figura 2.3); los sismos interplaca, se producen en el centro de las placas Sudamericana y de Nazca; los sismos intraplaca, se producen dentro de la placa de Nazca; los sismos corticales, se producen dentro de la placa de Sudamericana; los sismos outer-rise, se producen por la flexión de la placa de Nazca previa a la subducción (Guardia, 2011).

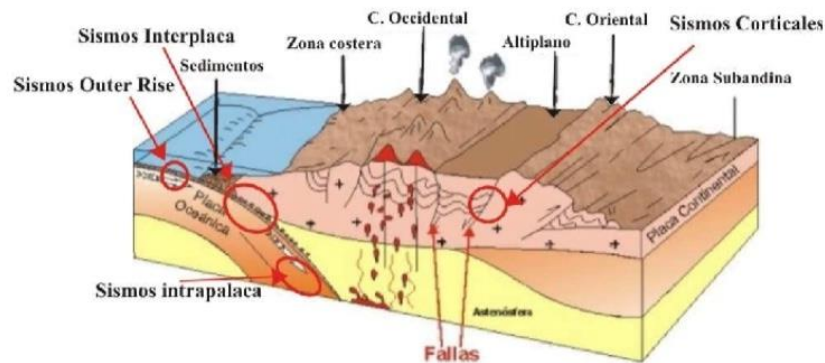


Figura 2.3 - Tipos de Sismos en zonas de subducción (Guardia, 2011)

La actividad sísmica en el Perú se produce a diferentes niveles de profundidad los cuales se clasifican a continuación:

- **Sismicidad superficial.** Los eventos sísmicos superficiales se producen a una profundidad no mayor de 60 km. La mayoría de estos sismos se distribuyen entre la fosa y la línea de la costa. En esta zona ocurren sismos de magnitud elevada de manera frecuente (Quispe et al., 2005).
- **Sismicidad intermedios.** Los eventos sísmicos intermedios se producen a una profundidad entre los 61 km y los 300 km. La mayoría de los sismos ocurren en el interior del continente en diferentes agrupamientos y números de sismos (Quispe et al., 2005).
- **Sismicidad profundos.** Los eventos sísmicos profundos se producen a una profundidad mayor a los 300 km. Debido a la profundidad a la que se producen estos sismos, no suelen ser perceptibles en la superficie (Guardia, 2011).

La Figura 2.4 muestra los eventos sísmicos ocurridos en el Perú durante los años 1960-2019. Los sismos superficiales están representados por los círculos color rojo, los sismos intermedios están representados por los círculos color verde y los sismos profundos están representados por los círculos color azul.

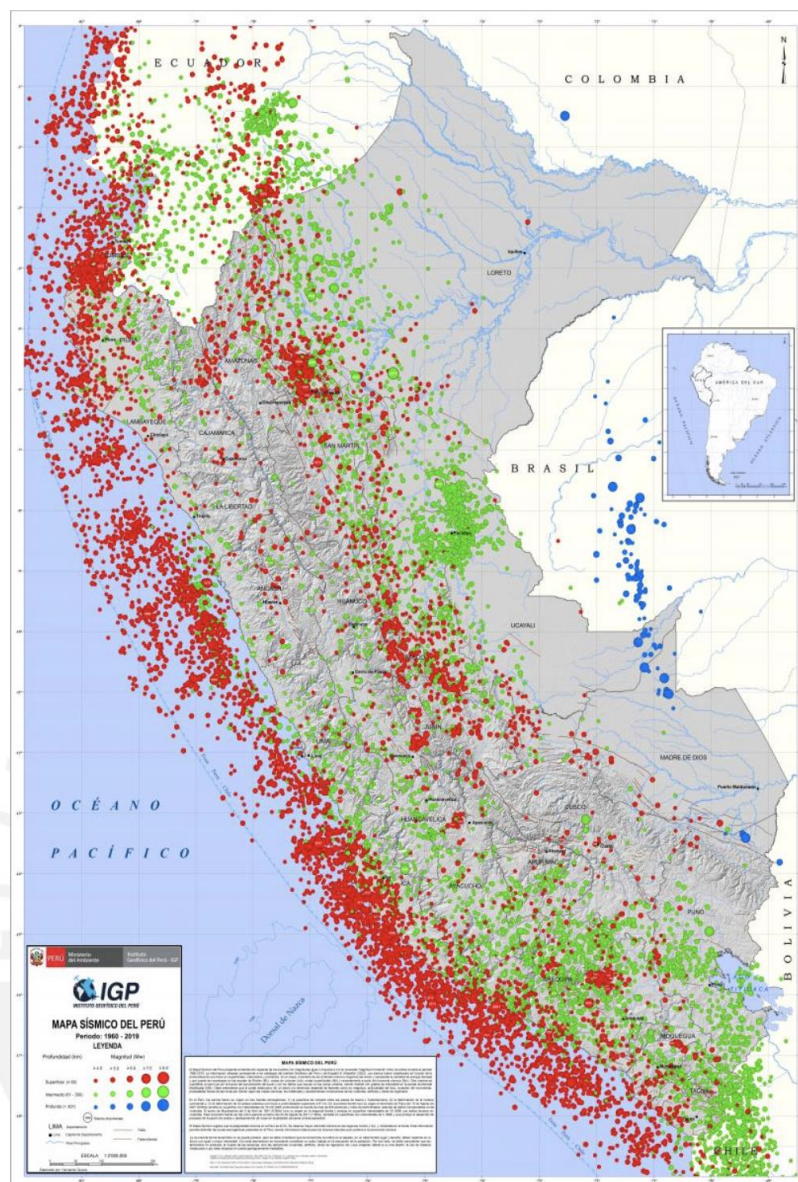


Figura 2.4 - Mapa sísmico del Perú (IGP, 2019)

2.2 TIPOLOGÍA DE LAS VIVIENDAS DE DOS PISOS DE ADOBE EN EL PERÚ

El uso del adobe en zonas rurales como material de construcción se debe a las ventajas ofrecidas por este material. Algunas ventajas son el bajo costo, la disponibilidad del material, el aislamiento al frío y del viento, y como sistema protector contra el ruido externo.

Según el censo del 2014 realizado por el INEI, el 72,4 % de viviendas particulares en zonal rural es de tierra (Figura 2.5). Asimismo, es importante resaltar que dentro de este porcentaje muchas de estas viviendas particulares de adobe son de dos pisos (Figura 2.6).

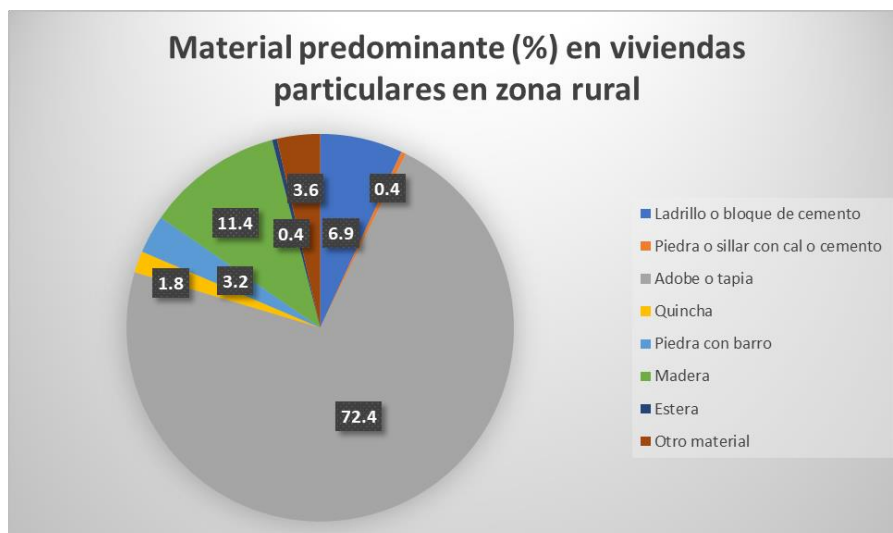


Figura 2.5- Viviendas particulares en zona rural según material predominante en las paredes exteriores y área de residencia – 2013 (INEI, Vivienda y hogar, 2014)

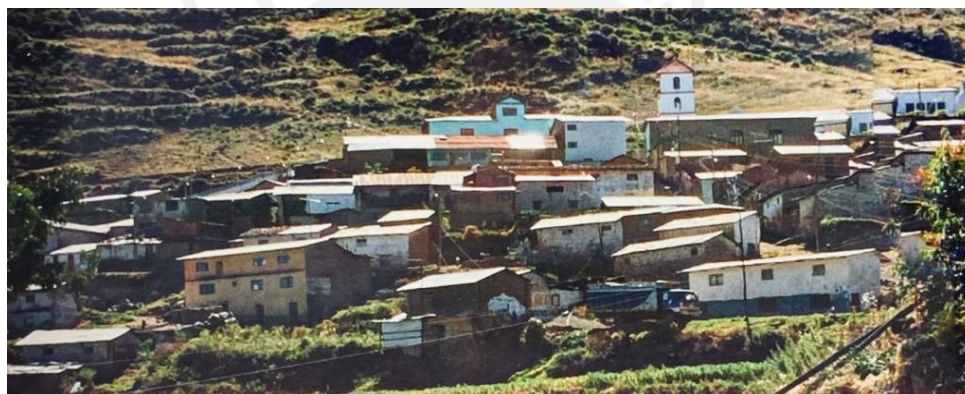


Figura 2.6- Viviendas particulares de adobe en zona rural, Viñak (Google Earth)

En la costa y sierra del territorio peruano, las técnicas de construcción empleadas son la mampostería de adobe y tapial. Por un lado, la construcción con mampostería de adobe consiste en la elaboración de muros con bloques de adobe, éstos pueden ser manipulados a dos manos y unidos mediante mortero de barro. Por otro lado, la construcción con tapial consiste en la elaboración de muros con tierra humedecida, amasada, compactada o apisonada dentro de encofrados reutilizables (La Torre, 2017).

Las posibles variaciones existentes entre las viviendas son de acuerdo a las necesidades de las personas que habitan en ellas. Éstas pueden cambiar según la geografía, tiempo o uso del espacio. La Torre, agrupa la tipología de la vivienda de adobe en cuatro grandes campos de acuerdo a la ubicación geográfica, época de construcción, número de pisos y ubicación espacial. En la Figura 2.7 se presenta un diagrama que describe la tipología de las viviendas de adobe.

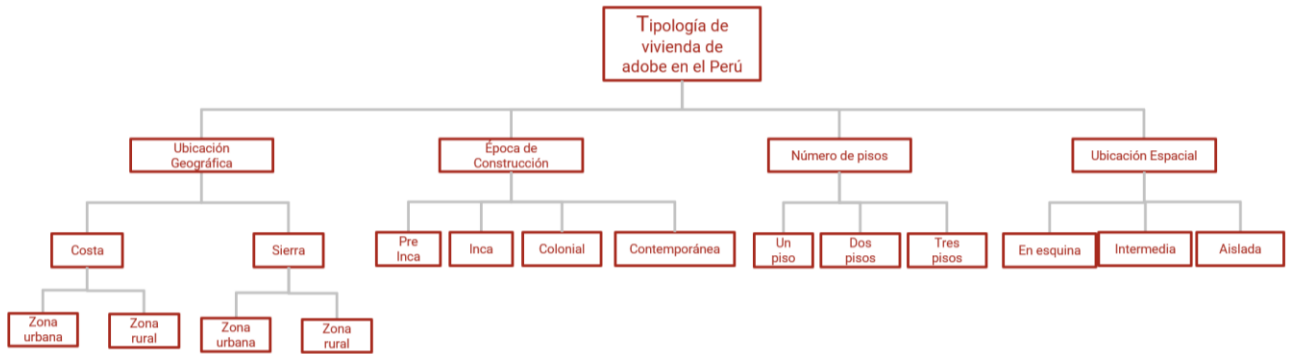


Figura 2.7 - Tipología de las viviendas de adobe en el Perú (Adaptado de La Torre, 2017)

2.2.1 Viviendas de adobe en Cusco

El departamento de Cusco ubicado en la región sur oriental del Perú, comprende zonas andinas y parte de la selva alta. Su altitud oscila entre los 650 msnm. Cusco limita al norte con Ucayali, al sur con Arequipa y Puno, al este con Madre de Dios y Puno y al oeste con Arequipa, Apurímac, Ayacucho y Junín (Figura 2.8).

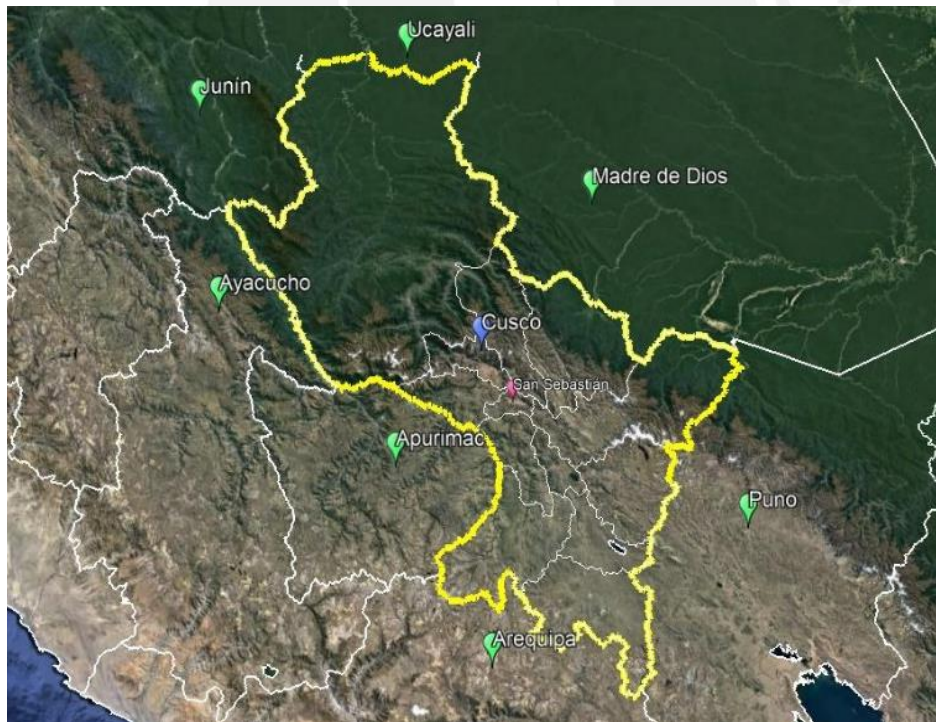


Figura 2.8 - Departamento de Cusco, Perú

Las viviendas de adobe de dos pisos (Figura 2.9) están constituidas generalmente por un ambiente rectangular tanto en la primera como la segunda planta, con separaciones de muros de tabiquería de menor espesor que el muro perimetral. La planta baja se utiliza como área social donde la sala y el comedor pueden ser independientes o no (Carazas, 2001).

Los cimientos tienen una profundidad variable entre 0,60 a 0,80 metros y un ancho del mismo del espesor de la pared. Para la construcción de los cimientos se emplea piedras grandes y en el sobrecimiento se emplean piedras más pequeñas de manera que se tenga el mismo espesor de la pared. Los muros están conformados por bloques de adobe, de tierra y paja; estos bloques son unidos por mortero que tiene la misma composición de los adobes. Lo habitual es que los muros no cuenten con refuerzo alguno. Las alturas de piso son en promedio de 2,40 metros.

Las vigas de entrepiso son de madera rolliza de aproximadamente 0,20 metros de diámetro. Éstas son embutidas o colocadas sobre el muro de adobe a una distancia aproximada de 0,80 metros entre vigas. Por otro lado, en las puertas y ventanas se emplean madera de calidad media. Las dimensiones de las ventanas varían entre 1,00 a 1,50 metros de alto y las dimensiones de las puertas varían entre 1,90 y 2,30 metros de alto.

La inclinación del techo varía entre 15° a 18° y puede ser de una o dos aguas. La cubierta es de tejas de arcilla cocida colocadas sobre mortero de tierra y paja, apoyadas sobre cañas de madera y sobre vigas colocadas directamente sobre la pared; las vigas se encuentran separadas un metro una de la otra. Sin embargo, actualmente se está utilizando con mayor frecuencia calaminas en lugar de tejas cocidas.

Finalmente, el piso de la planta baja es de madera de calidad media. Éste es clavado sobre las viguetas de madera que se encuentran fijadas en tierra con estacas de madera y piedra (Carazas, 2001).

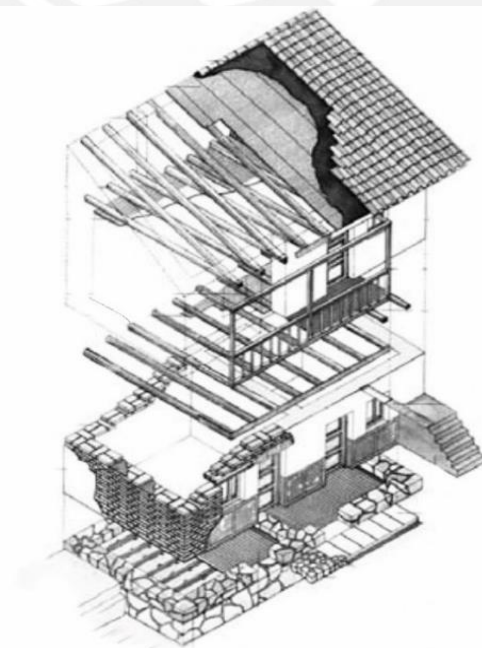


Figura 2.9 Esquema de adobe típica en Cusco (Carazas, 2001)

2.2.2 Viviendas de adobe en Pullo, Ayacucho

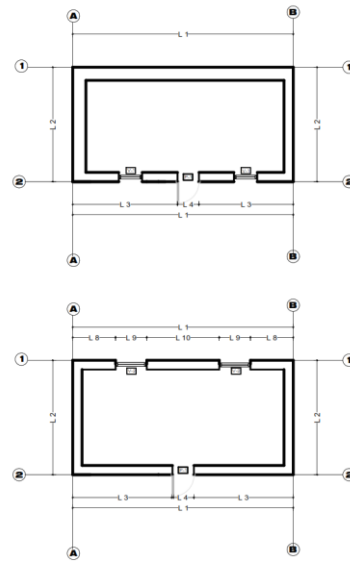
El Distrito de Pullo pertenece a la provincia de Parinacochas, ubicada en el Departamento de Ayacucho, Perú (Figura 2.12). La capital del distrito que lleva el mismo nombre Pullo se encuentra a 3030 m.s.n.m. El 2015 se realizó una visita al distrito de Pullo, Ayacucho para observar las características de las viviendas de adobe de dos pisos.



Figura 2.12 - Distrito de Pullo, Ayacucho

En general, las viviendas en Pullo tienen más de 50 años de antigüedad. En el distrito se practica la autoconstrucción y el adobe es utilizado como material principal de construcción de las viviendas. Las viviendas poseen plantas rectangulares y los cimientos están conformados por una pirca de barro y piedras. Las dimensiones promedio de los adobes son 40x20x10 cm. Los muros carecen de elementos de amarre o vigas collar. El tarrajeo tiene un espesor de 20 a 30 mm.

Finalmente, los techos están elaborados a base de troncos de madera y descansan sobre los muros de adobe. La cobertura de los techos es de paja o calaminas dispuestas a “dos aguas” (Serrano, 2016). En la Figura 2.13 se observa una foto y un esquema de una vivienda de dos pisos, de planta irregular, con ventanas y un balcón ubicados en la parte frontal del segundo piso.



a) Vista frontal

b) Esquema de vista en planta

Figura 2.13 - Vivienda de adobe en el distrito de Pullo, Ayacucho

2.2.3 Viviendas de adobe en Canta, Lima

La provincia de Canta pertenece al departamento de Lima y se ubica en la zona centro de la Sierra centro-occidental de Perú. Su altitud promedio es 2819 msnm. Canta limita por el norte con la Provincia de Huaral; por el este con la Provincia de Yauli en el Departamento de Junín; por el sur con la Provincia de Huarochirí; y, por el oeste con la Provincia de Lima (Figura 2.14).

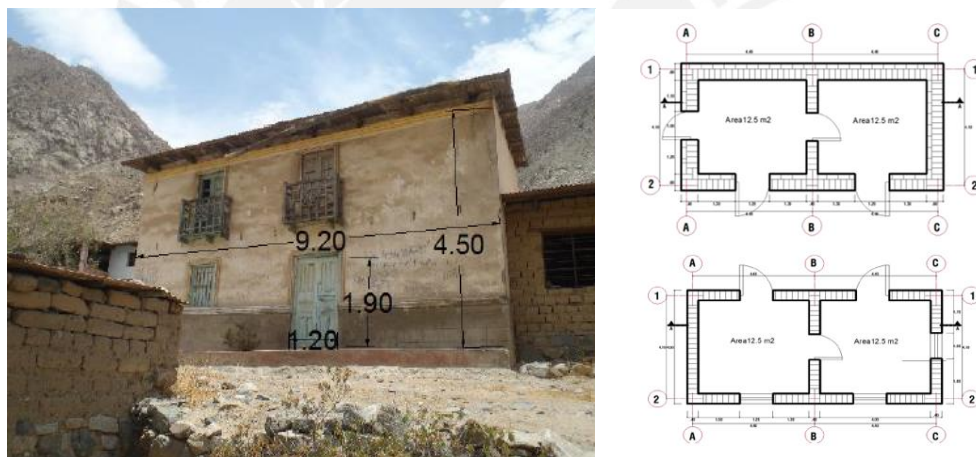


Figura 2.14 - Provincia de Canta, Lima

En la provincia de Canta, las dimensiones de los adobes empleados en las viviendas son 40x20x10 cm. El adobe es elaborado sin paja y con piedras pequeñas. El mortero utilizado se elabora con la misma tierra empleada para la fabricación de los adobes y en algunos casos se le añade paja. El espesor de las juntas de mortero es, en general, de 2 cm.

La cimentación está constituida a base de piedra con mortero de barro. La profundidad mínima empleada en la cimentación es de 0,7 a 1 metros. Las viviendas cuentan con vigas de entrepiso de madera que se apoyan en los muros de adobe y en la dirección más corta. La finalidad de estas vigas es transferir las cargas verticales del entrepiso hacia los muros.

El techo está conformado por vigas principales y viguetas secundarias que son colocadas de manera transversal y son cubiertas con Calamina (Velarde, 2014). En la Figura 2.15 se observa una foto y un esquema de una vivienda típica en Apán de dos pisos, con ventanas y dos balcones ubicados en la parte frontal del segundo piso.



a) Vista frontal

b) Esquema de vista en planta

Figura 2.15 - Vivienda de adobe en Apán, Canta (Velarde, 2014)

2.2.4 Viviendas de adobe en Yauyos, Lima

La provincia de Yauyos pertenece al departamento de Lima. Yauyos limita por el norte con la Provincia de Huarochirí; por el este con el departamento de Junín y el departamento de Huancavelica; por el sur con el departamento de Ica; y por el oeste con la provincia de Cañete (Figura 2.16). El 2018 se realizó una visita al distrito de Viñak, Yauyos para observar las características de las viviendas de adobe de dos pisos.

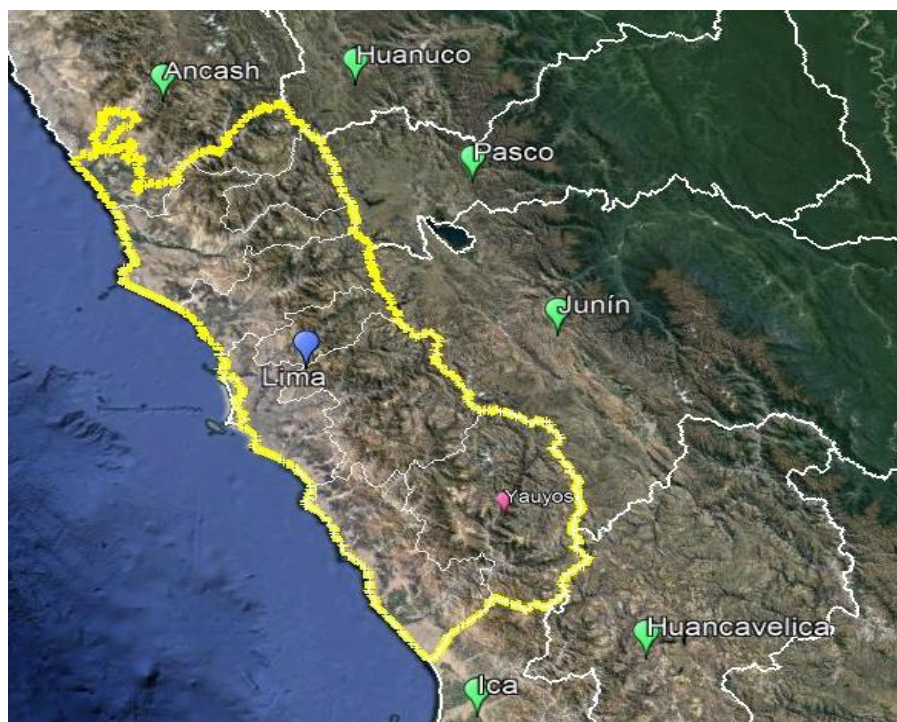
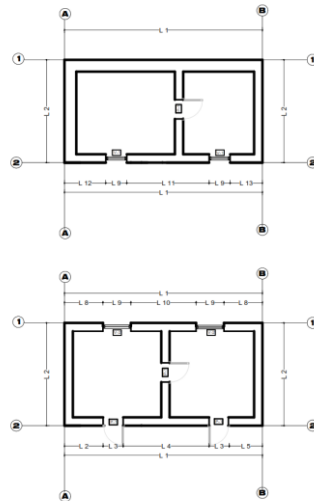


Figura 2.16 - Provincia de Yauyos, Lima

En Viñak el adobe es utilizado como principal material de construcción debido a su bajo costo y sencilla confección. Por ello, en el distrito se aprecian viviendas de adobe de un piso y de dos pisos. Los cimientos se elaboran con piedras grandes y en el sobrecimiento se emplea piedras más pequeñas de manera que se tenga el mismo espesor de la pared.

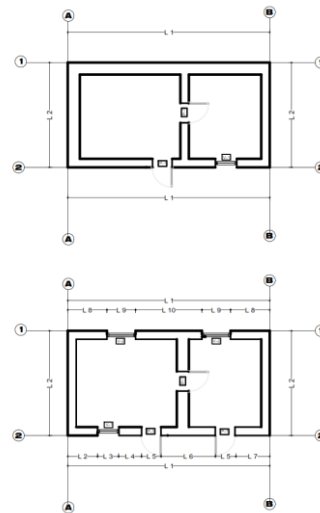
En general las dimensiones de los adobes empleados en la edificación de viviendas son 40x20x10cm. El adobe se fabrica con paja y materiales obtenidos de canteras cercanas. Los muros de adobe logran un ancho de muro de 0,40 m. Asimismo, algunas viviendas usan vigas de entrepiso de madera apoyadas en los muros de adobe, en la dirección más corta. El propósito de estas vigas es transferir las cargas verticales del entrepiso hacia los muros.

Los techos en las viviendas son a “dos aguas” pues la zona presenta fuertes lluvias en los meses de enero, febrero y marzo. Los techos son elaborados con paja o calamina directamente apoyada sobre los muros. En la Figura 2.17 y 2.18 se muestra la foto y esquema de dos viviendas típicas en Viñak de dos pisos.



a) Vista frontal b) Esquema de vista en planta

Figura 2.17 - Vivienda de adobe en el distrito de Viñak, Yauyos



a) Vista frontal b) Esquema de vista en planta

Figura 2.18 - Vivienda de adobe en el distrito de Viñak, Yauyos

2.3 CONSTRUCCIÓN DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE DE DOS PISOS

La técnica empleada en las construcciones de las viviendas de adobe depende del ingenio del albañil o habitante para emplazar la vivienda en el terreno que se dispone. Sin embargo, no todas las técnicas de construcción están al alcance de la población quebrando el vínculo entre el poblador y el albañil especializado, y el vínculo entre el poblador y el Estado (Carazas, 2001).

2.3.1 Ubicación de las viviendas de adobe en zonas rurales

Debido a la carencia de derechos de propiedad de muchos peruanos e insuficientes obras de urbanización, muchos pobladores optan por construir sus viviendas hacia márgenes de río, faldas de cerro, terrenos de cultivo y terrenos eriazos (Quispe et al., 2005).

Asimismo, según Montoro y Ferradas (2005), debido al crecimiento del pueblo, la expansión seguirá un patrón lineal por las vías de acceso, ocupando las zonas hacia el cerro o hacia el río. Sin embargo, el riesgo en caso de sismos, huaycos, aluviones e inundaciones es cada vez mayor hacia la periferia, debido a la inestabilidad de los suelos, las pendientes escarpadas y la deficiente cimentación.

Por lo expuesto anteriormente, muchas viviendas están en lugares inadecuados y riesgosos que representan un constante peligro debido a la inestabilidad de taludes, crecidas de río, huaycos, entre otros (Figura 2.19 y Figura 2.20).



Figura 2.19 - Deslizamiento de cerro en Ayahuaico, Cusco (Andina, 2011)



Figura 2.20 - Desborde del río Pomabamba, Áncash (Andina, 2011)

2.3.2 Fabricación de los bloques de adobe

El material utilizado en la elaboración de los bloques de adobe se obtiene de las canteras más próximas a la construcción. Sin embargo, algunos pobladores utilizan el suelo del terreno donde se construye su vivienda, y por lo tanto la calidad de los adobes es afectada (Gutierrez & Manco, 2006).

A la tierra seleccionada se le adiciona agua hasta formar barro, esta mezcla se deja reposar por un par de días. Luego se añade paja, ichu (Serrano, 2016) o pequeñas piedras (Velarde, 2014), dependiendo de la zona donde se realice la construcción. Después la mezcla será colocada en un molde rectangular o cuadrado de madera o una gavera espolvoreada con arena que evitarán que la mezcla se adhiera. Los moldes empleados pueden tener fondo o prescindir de él. El fondo permitirá que la cara de asiento de los adobes sea más rectangular. Por el contrario, si no tiene fondo, las caras serán irregulares pero el moldeado será más trabajable (La Torre, 2017).

Los adobes se secan en el tendal, éstos se preparan en superficies planas para realizar la elaboración de los adobes. Por otro lado, el uso de tendales con cobertura no es común. El tiempo de secado de los adobes dependerá de la ubicación geográfica y de las condiciones climáticas de la zona donde se elaboren. Es por eso que el tiempo de secado de los adobes puede ser de dos semanas a un mes (Velarde, 2014). La Figura 2.21 muestra el secado de adobes a la intemperie en el distrito de Viñak, Yauyos.



Figura 2.21 - Secado de bloques de adobe a la intemperie en el distrito de Viñak, Yauyos.

2.3.3 Cimientos y sobrecimientos

La profundidad de excavación de la cimentación se realiza hasta alcanzar suelo duro, según la experiencia del maestro de obra y los pobladores (Velarde, 2014). La cimentación es corrida y, en algunas zonas, la mezcla está conformada por piedras grandes, barro y piedras medianas. En otras zonas la cimentación será de concreto ciclópeo, piedra asentada con mortero de cemento y arena o sólo piedras con junta seca. Por otro lado, algunas viviendas presentan sobrecimiento hecho a base de piedra mediana y barro, concreto ciclópeo, mampostería de piedra con mortero de cemento o mampostería de piedra con junta seca (Figura 2.22), (Gutierrez & Manco, 2006).



Figura 2.22 – Vivienda de adobe con sobrecimiento sólo de piedra (La Torre, 2017)

2.3.4 Construcción de muros de mampostería de adobe

Los muros de adobe serán levantados sobre el sobrecimiento. Los muros de adobe en construcciones tradicionales tienen 0,4 a 0,5 m de espesor. Sin embargo, recientemente, y a consecuencia del uso de muros en soga de la albañilería de ladrillo cocido, se ha empezado a construir muros muy esbeltos de adobe (Figura 2.23), (La Torre, 2017).



Figura 2.23 – Construcción con muros delgados de adobe (Tarque et al., 2010)

2.3.5 Uso de arriostres

En la mayor parte de viviendas de adobe, los muros no presentan refuerzos exteriores ni interiores. Asimismo, muchas viviendas de adobe no cuentan con viga collar y las viguetas del techo se apoyan directamente sobre los muros (Figura 2.24).

Sin embargo, en Cusco, algunas viviendas de adobe de dos pisos usan contrafuertes debido a que la reconstrucción a causa de los terremotos, contó con asesoramiento técnico. En poblados distantes a la ciudad se utilizan arriostres verticales o mochetas en viviendas de un piso (Gutierrez & Manco, 2006).



Figura 2.24 – Vivienda típica de adobe sin viga collar ni arriostres (Tarque et al., 2010)

2.3.6 Construcción del techo

El tipo de techo dependerá de la ubicación geográfica y de las condiciones atmosféricas de la zona. En zonas donde la precipitación es alta, se usan techos inclinados de una a cuatro aguas. La construcción del techo inclinado se realiza mediante tijerales o con vigas de eucalipto o cañas guayaquil apoyadas sobre los muros, sobre éstas se coloca una cubierta hecha de cañas de carrizo o cañas bravas, luego se añade una torta de barro mezclada con paja. Finalmente, se colocan las tejas de arcilla o calaminas que tendrán la función de drenar el agua (Figura 2.25), (La Torre, 2017).



Figura 2.25 – Techo de tijeral de madera con cubierta torta de barro con cubierta de teja (La Torre, 2017)

2.4 COMPORTAMIENTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE ANTE TERREMOTOS HISTÓRICOS EN EL PERÚ

En el Perú, a lo largo de su historia, han ocurrido muchos terremotos de gran magnitud los cuales han causado miles de pérdidas humanas y daños materiales en regiones donde el uso del adobe como material de construcción es común. En la Tabla 2.1 se presentan algunos terremotos ocurridos en el Perú.

Número	Lugar	Fecha	Magnitud	Consecuencias
1	Caylloma, Arequipa	5/21/1917	6,5 Mb	22 muertos, muchos heridos. Arequipa quedó en ruinas. Las construcciones de adobe se dañaron o destruyeron.
2	Límite entre Ica y Arequipa	8/24/1942	8,2 Mw	30 muertos, 25 heridos. Gran destrucción en un área de 18 000 km ² . Las construcciones de adobe se dañaron o destruyeron.
3	Cusco	5/21/1950	6.8 Mb	100 muertos, 200 heridos, 3 000 viviendas, casi todas de adobe, se dañaron o destruyeron. Quedaron habitables casi 1 200 viviendas.
4	Arequipa	1/15/1958	7.5 Ms	28 muertos, 133 heridos. Los poblados más afectados fueron Tiabaya, Sabandía, Cerrillos, así como las viviendas de adobe en el sector de La Pampilla. Los domicilios situados a las orillas de la torrentera de San Lázaro también sufrieron daños.
5	Arequipa	1/13/1960	6.2 Mb	63 muertos, 200 heridos. La zona más afectada la localidad de Caravelí. Las construcciones de adobe, se dañaron o destruyeron. Los canales de agua sufrieron rupturas dejando a la población sin agua potable. Las carreteras Arequipa-Matarani y Arequipa-Puno quedaron intransitables.
6	Ancash y sur de La Libertad	5/31/1970	7.9 Mw	67 mil muertos, 150 mil heridos. Gran aluvión en el Callejón de Huaylas. 18 600 viviendas se dañaron o destruyeron siendo la mayoría de adobe.
7	Lima	10/3/1974	8,1 Mw	78 muertos. más de 2 400 heridos. Gran daño a las construcciones de Lima. Ocurrió fenómeno de licuación en el valle de Cañete.

Número	Lugar	Fecha	Magnitud	Consecuencias
8	Arequipa	7/23/1988	6,2 Ms	12 muertos. 70 heridos, 800 damnificados, 323 viviendas derrumbadas, 5 locales públicos destruidos. Construcciones de adobe se dañaron o destruyeron.
9	San Martín, Amazonas, Cajamarca, Rioja, Moyobamba, Chachapoyas, Jaén, Bagua	5/29/1990	6,4 Mw	77 muertos, 1 680 heridos, 58 835 damnificados y 11 mil viviendas destruidas. Construcciones de adobe se dañaron o destruyeron.
10	San Martín, Amazonas, La Libertad	4/4/1991	6,9 Mw	53 muertos, 216 heridos, 181 344 damnificados, 30 224 viviendas destruidas. 139 escuelas se desplomaron. Construcciones de adobe se dañaron o destruyeron.
11	Ica, Arequipa, Ayacucho, Huancavelica	11/12/1996	7,7 Mw	17 muertos, 1 591 heridos, 94 047 damnificados, 5 346 viviendas destruidas, 12 700 viviendas afectadas. La mayoría de viviendas eran de adobe.
12	Moquegua, Tacna, Arequipa	6/23/2001	8,4 Mw	83 muertos, 2 689 heridos. 17 584 viviendas destruidas, 35 601 viviendas afectadas. La mayoría eran de adobe. Las ciudades de Moquegua, Tacna, Arequipa, Valle de Tambo, Caravelí, Chuquibamba, Ilo, fueron afectadas. Algunos pueblos del interior y Camaná sufrieron daño por el efecto del Tsunami.
13	Pisco e Ica	8/15/2007	7.9 Mw	514 muertos, 1 090 heridos. 39 700 viviendas se destruyeron o se dañaron. En su mayoría se debió por colapso de muros, movimientos fuera del plano, vuelco.

Tabla 2.1 - Terremotos Históricos en el Perú (INDECI, 2006; La Torre, 2017)

Las viviendas de adobe de dos pisos presentan características que aumentan su vulnerabilidad sísmica; éstas pueden resumirse en dos grandes grupos de deficiencias. La primera está asociada a la falta de un diafragma rígido y la segunda a la nula capacidad a flexión de los muros (Yamin et al., 2007). A esto se suma que muchas viviendas de adobe son construidas sin ningún tipo de refuerzo, con irregularidades en planta y altura, ausencia de cimentación, pérdida de verticalidad, ventanas o puertas muy grandes, fallas en las construcciones de adobe, entre otros (Figura 2.26), (Cardona et al., 2004).

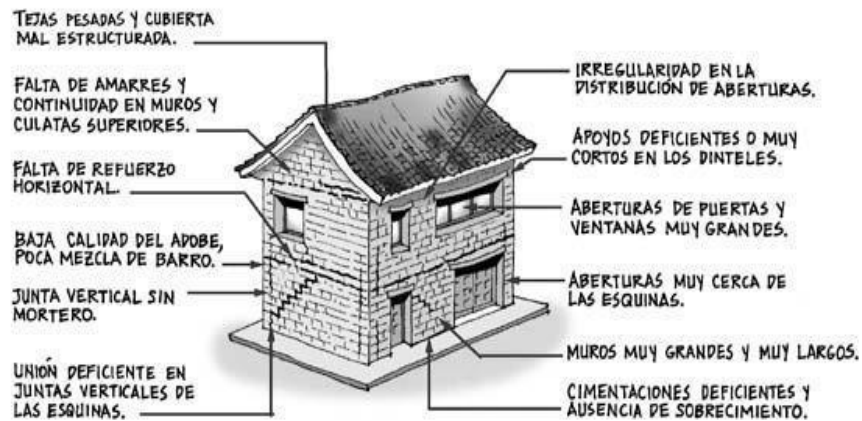


Figura 2.26 - Deficiencias estructurales en las edificaciones de dos pisos (Yamin et al, 2007).

En la Tabla 2.2 se presentan los mecanismos de colapso y el patrón de agrietamiento en construcciones de adobe debido a las fuerzas sísmicas.

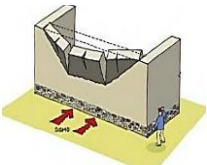
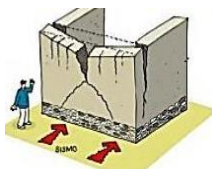
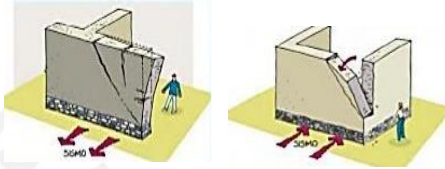
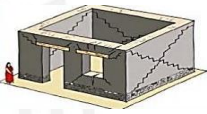

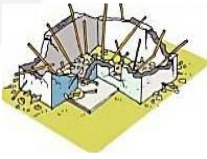
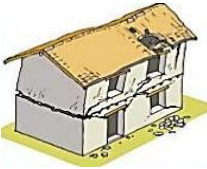
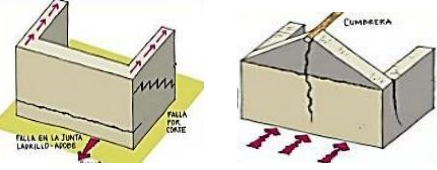
Tipo de falla	Patrón de agrietamiento	Ilustración
Flexión perpendicular al plano del muro	Arietamiento horizontal en la base o a una altura intermedia. También presenta agrietamiento vertical.	
Flexión perpendicular al plano del muro con agrietamiento vertical en la zona central.	Arietamiento diagonal y fisuración en la parte superior.	
Flexión perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos o no conectadas	Presenta agrietamiento vertical y diagonal.	
Falla por cortante en el plano del muro debido a altos empujes horizontales.	Arietamiento causado por entrepiso o cubierta pesada, el cual aumenta por aberturas correspondientes a puertas y ventanas.	
Colapso de la cubierta al interior de la vivienda. Se genera falla en la zona superior de los muros.	Presenta agrietamiento vertical y diagonal.	
Falla generalizada de la cubierta por ausencia de apoyo adecuado o por su mala estructuración.	-	
Falla por mala conexión entre muros del primer piso con los del segundo piso.	Presenta agrietamiento vertical y diagonal.	
Combinación de dos o más mecanismos de falla	Presenta agrietamiento vertical, horizontal y diagonal.	

Tabla 2.2 – Mecanismos de colapso y agrietamientos asociados con fuerzas sísmicas (Yamín et al., 2007).

A continuación, se presentan algunos de los daños observados en viviendas de adobe del Perú:

Colapso total. Las fallas que se producen en viviendas sin refuerzo suelen ser súbitas ocasionando el colapso de la estructura y poniendo en riesgo la vida de sus habitantes (Figura 2.27).



a) Colapso de estructura en Huaraz, terremoto 1970 b) Colapso de estructura en Pisco, terremoto 2007

Figura 2.27 – Falla estructural generalizada (Blondet et al., 2011)

Grietas verticales. Las grietas verticales ocurren en los encuentros de muros (Figura 2.28), esto genera una desconexión entre los muros ocasionando el volteo del muro (Figura 2.29).



Figura 2.28 – Grietas verticales en los encuentros de muros, terremoto de Pisco 2007 (Blondet et al., 2011)



Figura 2.29 –Volteo de muro, terremoto de Pisco 2007 (Blondet et al., 2011)

Colapso de techos. Si las viguetas están apoyadas sobre la fachada, entonces cuando la fachada colapsa arrastra al techo ocasionando también su colapso. Si las viguetas están apoyadas sobre los muros perpendiculares a la fachada, es posible que el techo no colapse (Figura 2.30), (Blondet et al., 2011).



a) Colapso de fachada

b) Colapso de fachada y techo

Figura 2.30 –Volteo de muro, terremoto de Pisco 2007 (Blondet et al., 2011)

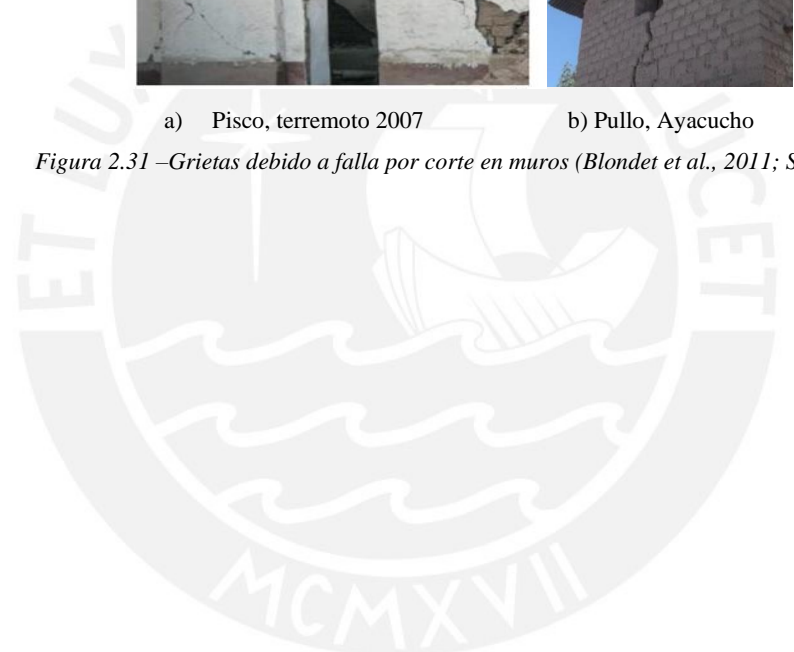
Falla por corte. Este tipo de falla ocurre cuando los esfuerzos se concentran en las esquinas de las puertas y ventanas, produciendo grietas diagonales (Figura 2.31).



a) Pisco, terremoto 2007

b) Pullo, Ayacucho

Figura 2.31 –Grietas debido a falla por corte en muros (Blondet et al., 2011; Serrano, 2016)



Capítulo 3

Propuestas de refuerzo sísmico para viviendas de adobe desarrolladas en la PUCP

En la PUCP, desde la década de los 70, se han realizado investigaciones del comportamiento de las construcciones de adobe en zonas sísmicas. Por tal motivo, en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas, se han estudiado distintos materiales como refuerzo para viviendas de adobe.

3.1 LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISÍSMICAS – LEDI

El laboratorio de Estructuras Antisísmicas – LEDI está conformado por una mesa vibradora que es un dispositivo mecánico que permite simular el movimiento del suelo generado en un sismo. También permite estudiar los movimientos y efectos que se producen en las estructuras a causa de un sismo. En la mesa vibradora se ensayan modelos de edificaciones construidos a escala, que incluyen materiales y elementos estructurales como los que se usan en edificaciones reales.

La mesa vibradora del Laboratorio de Estructuras de la PUCP es una mesa mediana que permite ensayar modelos a escala natural y escala reducida. El movimiento de la mesa es unidireccional. La mesa vibradora puede soportar un peso de 150kN, tiene dimensiones de 4,40m x4,40m y su capacidad de desplazamiento es de +/- 150mm (Figura 3.1).



Figura 3.1 - Mesa Vibradora del Laboratorio de la PUCP (Blondet et al., 2018)

El puente grúa soporta una carga máxima de 13 Tn, su principal función es trasladar los especímenes que serán ensayados hasta la mesa vibradora (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Puente Grúa del Laboratorio de la PUCP (LEDI, 2020)

3.2 TÉCNICAS DE REFUERZO PARA VIVIENDAS DE ADOBE DE UN PISO

Las investigaciones sobre construcción en tierra infieren que las casas de adobe son vulnerables ante sismos pues el adobe es un material pesado, débil y frágil (Blondet y Villa García, 2004). A esto se suma la falta de refuerzo, la deficiencia de la mano de obra y la baja calidad en los procedimientos constructivos. En consecuencia, muchas personas viven bajo un riesgo constante pues la mayor parte de pérdidas humanas y de daños materiales ocurridos durante el terremoto, se deben al colapso de las casas de adobe (Zegarra et al., 2001).

Como respuesta a la necesidad de reducir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe, los investigadores han estudiado y difundido distintos materiales de refuerzo estructural en adobe a través de artículos científicos, manuales y normas de construcción. El propósito del uso del refuerzo estructural es aumentar la resistencia y ductilidad de la mampostería de adobe en las viviendas existentes. Los materiales sugeridos son las geomallas, la caña, las sogas, entre otros.

El refuerzo vertical mantiene la integridad del muro al fijarlo en la cimentación y la viga collar, también limita la flexión perpendicular al plano y el corte coplanar. El refuerzo horizontal transmite la flexión y las fuerzas de inercia en los muros transversales hacia los muros que soportan el cortante, también restringe los esfuerzos de corte entre los muros adyacentes y minimiza la propagación de fisuras verticales (Blondet et al., 2003).

3.2.1 Refuerzo con caña guayaquil - guadua angustifolia

La caña guayaquil es un material liviano y resistente que, al ser empleado con un diseño estructural adecuado, ayuda aminorar los daños de los sismos. Además, es una solución constructiva adecuada para suelo de baja capacidad portante (Morán, 2015). Las propiedades de la caña guayaquil se muestran en la Tabla 3.1.

Propiedad	Unidad	Valor
Tensión	kN/m ²	32,85x10 ³
Módulo de rotura	kN/m ²	60,89x10 ³
Módulo de Elasticidad	kN/m ²	68,83x10 ⁵
Tensión de rotura	kN/m ²	9,02x10 ³
Tensión máxima	kN/m ²	26,67x10 ³
Carga máxima	kN	28,34x10 ³

Tabla 3.1 - Propiedades de la caña guayaquil (Méndez, 2005)

La Norma E0.80, indica que debe emplearse caña carrizo (hueca) o caña brava (sólida), completas, de aproximadamente 25 mm de diámetro como refuerzo vertical y chancadas tipo carrizo o guadua angustifolia como refuerzo horizontal.

Algunas de las ventajas ofrecidas por este material es su bajo costo y su abundancia en algunos lugares del Perú. Por otro lado, este material tiene la capacidad de absorber energía y admitir una mayor flexión, lo cual hace que la caña guayaquil sea apropiada para construcciones de adobe (Morán, 2015).

La técnica de refuerzo con caña en las viviendas de adobe consiste en colocar el refuerzo de manera horizontal y vertical de manera que, combinado con una viga de coronación, impide la separación de los muros en las esquinas (Ottazzi et al., 1989). Como se aprecia en la Figura 3.3, el refuerzo con caña evitó el colapso del módulo de adobe.



a) Instalación del refuerzo b) Módulo de adobe reforzado con caña luego del ensayo sísmico

Figura 3.3 - Refuerzo con caña (Blondet y Villa García, 2002; Blondet et al., 2011)

3.2.2 Refuerzo con geomallas

La geomalla es un geosintético de alta resistencia, durabilidad y con capacidad de deformación que permite mantener la unión de los muros (Vargas & Blondet, 2007). Las geomallas se clasifican de acuerdo al sentido del desarrollo del esfuerzo como uniaxiales, biaxiales o multiaxiales; y pueden ser clasificadas según su proceso de fabricación como extruidas, soldadas o tejidas. Las geomallas se comercializan en dimensiones de 3,95x50m y una abertura de malla de 0,04x0,04 m (Prodac, 2020). Algunas especificaciones técnicas de la geomalla biaxial extruida se muestran la Tabla 3.2.

Propiedades	Norma	Unidad	Valor
Polímero	-	PP	Polipropileno
Tipo	-	-	Extruido
Esfuerzo de tensión al 2% de elongación (MD/CD)	ASTMD6637	kN/m	10/10
Esfuerzo de tensión al 5% de elongación (MD/CD)	ASTMD6637	kN/m	18/18
Esfuerzo de último de elongación (MD/CD)	ASTMD6637	kN/m	20/20
Elongación del esfuerzo último (MD/CD)	ASTMD6637	%	15/10

Tabla 3.2 - Especificaciones técnicas de la geomalla biaxial extruida TG 2020-S (Prodac, 2020)

La Norma E0.80 señala que la abertura máxima será de 50 mm y con nudos integrados. Asimismo, la conformación de la retícula puede ser rectangular o cuadrada, con o sin diagonales interiores.

La ventaja que ofrece la geomalla biaxial es su estructura reforzada en ambas direcciones lo cual permite que la redistribución de esfuerzo sea más eficiente.

Otra ventaja es su resistencia a grandes cargas dinámicas a corto plazo o cargas moderadas a largo plazo. Además, la geomalla biaxial tiene la capacidad de soportar cargas aplicadas en cualquier dirección en el plano de la geomalla (Vidal, 2002)

En la técnica del refuerzo con geomalla, los muros son envueltos con la geomalla de manera que logre su trabajo en conjunto. La instalación de la geomalla se realiza desde la parte inferior del muro hasta la parte superior del mismo; es decir, la geomalla debe ser anclada al cimiento inferior del muro y anclada a la viga collar en la parte superior del muro. Como se aprecia, en la Figura 3.4, el refuerzo con geomalla evitó el colapso del módulo de adobe.

La geomalla y el adobe se fijan mediante pedazos de cuerda que atraviesan el muro y que son colocadas en las juntas de mortero durante el proceso constructivo de los muros. El acoplamiento se debe complementar por medio de un enlucido del muro con mortero de barro en el cual queda contenida la geomalla (Solís et al., 2015).



a) Detalle de refuerzo b) Módulo reforzado con geomalla ($D_0=0.13\text{m}$)

Figura 3.4 – Refuerzo con geomalla (Blondet et al., 2006; Solís et al., 2015)

3.2.3 Refuerzo con mallas electrosoldadas

Las mallas electrosoldadas son estructuras de acero plano formada por alambres longitudinales y transversales, soldados en sus intersecciones obteniendo un acabado en forma de panel. Las mallas electrosoldadas se comercializan en dimensiones de 2,40x6m, el tipo de cocada puede ser rectangular o cuadrada, con barras lisas o corrugadas (Prodac, 2019). Las especificaciones técnicas de la malla electrosoldada se muestran la Tabla 3.3.

Propiedades	Norma	Unidad	Valor
Alambrón	-	-	Acero trefilado
Tipo	-	-	Electrosoldado
Resistencia a la rotura (Alambre liso/ Alambre corrugado)	ASTM A-82/ ASTM - A496	kN/m ²	54,9x10 ⁴
Límite a la fluencia (Alambre liso/ Alambre corrugado)	ASTM A-82/ ASTM - A496	kN/m ²	49x10 ⁴

Tabla 3.3 - Especificaciones técnicas de la Malla Electrosoldada (Prodac, 2019)

Algunas de ventajas ofrecidas por este refuerzo son el incremento de la resistencia de los muros en un 50%, el incremento de la capacidad de desplazamiento de los muros, el mejoramiento de la estabilidad global de la estructura, entre otros (CEPREDENAC, 2011). Asimismo, no es necesario anclar la malla en la cimentación ni en el techo por lo que, para reforzar viviendas existentes, no es necesario quitar el techo (San Bartolomé & Quiun, 2015).

El procedimiento del refuerzo con mallas electrosoldadas se explica a continuación, previo a la instalación de las mallas, se debe perforar los muros con taladros y brocas para poder introducir en ellos barras de acero que permitan conectar las mallas y lograr su amarre.

La instalación de las mallas se realizará envolviendo los muros en ambas caras. Asimismo, las mallas deberán ser fijadas a los muros con chapas, retazos de madera o lata. También será necesario cubrir la malla con mortero de tierra. Este recubrimiento protegerá la malla de la humedad y mejorará el desempeño del muro frente a los esfuerzos de corte sísmico en el plano del muro (Torres & Jorquera, 2018). La Figura 3.5 ilustra el refuerzo de malla electrosoldada en un muro de adobe y en las esquinas de una vivienda.



a) Detalle de refuerzo b) Esquinas de módulo reforzado con malla electrosoldada

Figura 3.5 - Refuerzo con malla Electrosoldada (Torrealva y Acero, 2005; San Bartolomé, 2013)

3.2.4 Refuerzo con malla de cuerdas

La malla de cuerdas posee gran potencial como refuerzo sísmico en viviendas de adobe. Sus principales ventajas son su fácil accesibilidad y su bajo costo. Además, no hay necesidad de emplear herramientas o maquinarias adicionales, resultando muy conveniente en zonas rurales.

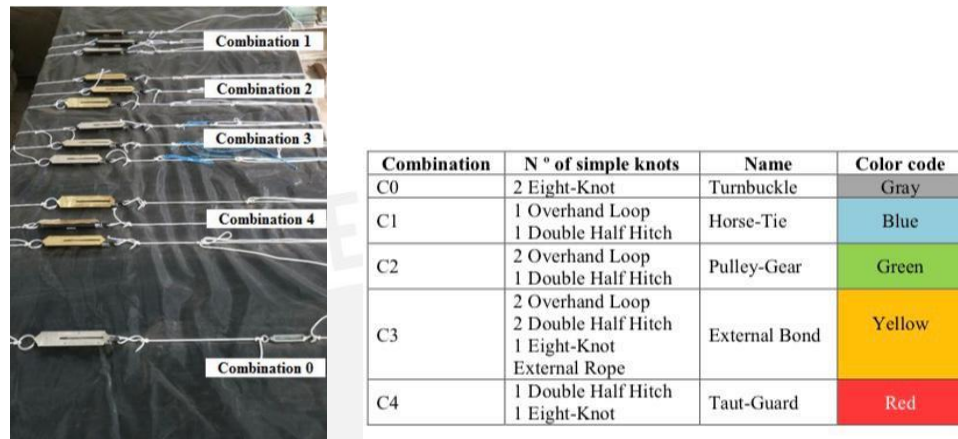
En la tesis “Reparación de muros de construcciones históricas de tierra mediante el sellado de fisuras y refuerzos estructurales adicionales” (Sosa y Soto, 2014), el prototipo ensayado bajo excitaciones dinámicas intensas fue protegido debido a la adecuada combinación de refuerzo de malla de cuerdas de nylon e inyecciones de barro líquido (Figura 3.6). Adicionalmente, esta combinación logró mantener la integridad estructural previendo el desplazamiento excesivo.



a) Detalle de refuerzo b) Módulo reforzado con malla de cuerdas ($D_0=0.13m$)

Figura 3.6 – Refuerzo con malla de cuerda (Sosa y Soto, 2014)

Luego, en el 2015, Mattson determinó la mejor combinación de nudos para el refuerzo de malla de cuerdas. El objetivo fue evaluar si una combinación de nudos podía reemplazar el uso de templadores de manera que el refuerzo de malla de cuerdas sea más económico. Mattson ensayó cuatro combinaciones de nudos y fueron comparados con el templador (Figura 3.7). También se ensayaron distintos diámetros de cuerdas pues los nudos, resultantes de las combinaciones, no debían exceder los 20mm de espesor, que es el espesor máximo del tarrajeo recomendado por la Norma E0.80.



a) Combinaciones C0, C1, C2, C3 y C4 b) Detalle de nudos empleados en cada combinación

Figura 3.7 – Combinaciones de nudos ensayados (Mattson, 2015)

Las pruebas se realizaron en tres fases, la primera fase se incluyó test manuales de tensión inicial y relajación donde se observó el comportamiento de la combinación de nudos básicos. La segunda fase se realizó test manuales incluyendo la tensión inicial y relajación para cuerdas de distintos diámetros. La tercera fase se evaluó la tensión máxima considerando las distintas combinaciones de nudos y probando cuerdas de distintos diámetros.

Luego de dichos ensayos, Mattson resolvió que la combinación de nudos más eficaz fue la que denominó “C4” (Figura 3.8). Esta combinación consiste en elaboración de un “nudo ocho” y un “doble medio nudo” como tope. Otros beneficios de la combinación C4 es la facilidad para implementarse, su buen desempeño en el tiempo y la capacidad de mantener la tensión al realizar el nudo tope.

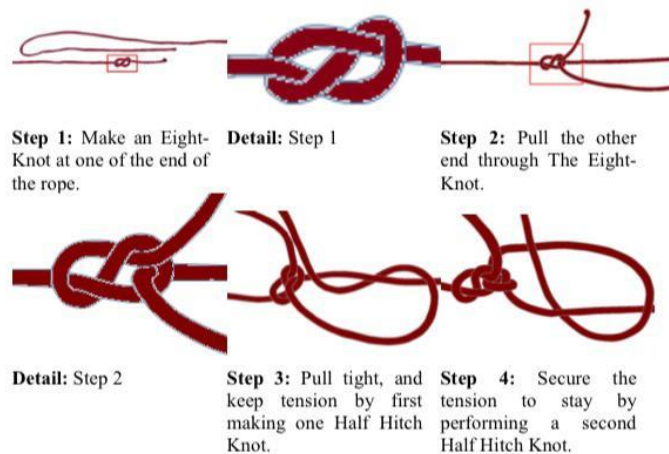


Figura 3.8 – Elaboración de combinación C4 consistente en elaboración de un “nudo ocho” y un “doble medio nudo” como tope (Mattson, 2015)

El refuerzo de malla de cuerdas ha sido estudiado y ensayado en una vivienda de adobe de un piso. Demostrando ser, no sólo barato y fácil de implementar, también fue exitoso pues se evitó el colapso de la estructura. No obstante, resulta también indispensable el estudio de sistemas de refuerzo económicos y viables para viviendas de adobe de dos pisos. Por ello, en este trabajo se propone el sistema de refuerzo de malla de cuerdas para viviendas de adobe de dos pisos.

Capítulo 4

Diseño del modelo de vivienda de dos pisos

Se presenta el diseño del modelo, el cual debe cumplir la condición de similitud de manera que los resultados que se obtengan de los ensayos sean representativos del comportamiento de las viviendas de adobe de dos pisos (prototipo) ante sollicitaciones sísmicas y así verificar la eficacia del refuerzo de cuerdas propuesto.

4.1 PROTOTIPO Y MODELO

"Un modelo estructural es cualquier elemento estructural o conjunto de elementos estructurales contruidos a escala reducida (en comparación con las estructuras de tamaño real: prototipos) a fin de ser ensayados y para los cuales se deben emplear las leyes de similitud para interpretar los resultados del ensayo" (Harris & Sabnis, 1999).

La modelación consiste en la simulación de un fenómeno real, conceptualizándolo y simplificándolo, para luego poder describirlo y cuantificarlo. Por lo tanto, el sistema semejante simplificado será el modelo, frente a la realidad que es el prototipo. La importancia de la modelación radica en las observaciones y el estudio del modelo que constituyen la información imprescindible para entender la naturaleza del prototipo.

Los modelos estructurales se pueden clasificar según la aplicación del modelo y el tipo de resultados que se desea conseguir (Rodríguez, 2007). En Tabla 4.1, se presenta una clasificación con sus respectivas ventajas y desventajas.

Clasificación	Resultados	Ventajas	Desventajas
Modelos elásticos	Obtención de respuestas elásticas.	Similitud directa con el prototipo.	Los resultados están limitados al comportamiento elástico del prototipo. Los materiales empleados pueden no ser los mismos del prototipo.
Modelos indirectos	Obtención de líneas de influencia para reacciones y acciones internas como fuerzas cortantes, momentos flectores y fuerzas axiales	-	Las cargas aplicadas al modelo no tienen relación directa con las aplicadas al prototipo.
Modelos directos	Los esfuerzos y deformaciones totales y unitarias en el modelo para condición de carga son representativas del prototipo.	Similitud geométrica del modelo con el prototipo en todos los aspectos. Las cargas son aplicadas de la misma forma que en el prototipo.	-
Modelos de resistencia	Predicción del comportamiento del prototipo para todas las cargas, incluso durante la falla.	Se emplean materiales similares a los del prototipo, por lo tanto el modelo.	No es válido el principio de superposición.
Modelos conceptuales, de investigación y de diseño	Dependiendo de los resultados deseados, la precisión de los modelos de diseño varían entre la obtención de teorías y generalizaciones para el tipo de estructura estudiada.	Se permite la variación de la similitud que no afecte significativamente el comportamiento estudiado.	-
Modelos dinámicos	Análisis de los efectos de cargas dinámicas sobre estructuras.	Se pueden ensayar en una mesa vibratoria simulando los efectos de cargas sísmicas.	-

Tabla 4.1 – Clasificación de los modelos estructurales (Adaptado de Rodríguez, 2007)

En general, las ventajas de la modelación física son varias; sin embargo, la principal ventaja de la modelación analítica es la posibilidad de registrar el comportamiento de la estructura hasta el colapso. En algunos casos, los programas computacionales no permiten el adecuado análisis de estructuras no convencionales en configuración estructural, tipo de material, tamaño, tipos de cargas, entre otros aspectos que pueden representar su comportamiento poco estudiado (Rodríguez, 2007). Otra ventaja es la reducción del costo debido al tamaño del material.

Dentro de las limitaciones de la modelación física se puede mencionar que las modificaciones recomendadas por los resultados del modelo podrían requerir un nuevo ensayo, aumentando el costo y tiempo del estudio.

En el trabajo se realizará un modelo dinámico pues este será ensayado en la mesa vibradora para estudiar el efecto de las solicitaciones sísmicas en un modelo reforzado por malla de cuerdas.

4.2 LEYES DE SIMILITUD Y ANÁLISIS DIMENSIONAL

Similitud geométrica. La similitud geométrica contempla sólo la similitud de forma. En el caso de los sistemas geométricos similares, la proporción de cualquier longitud en el modelo en relación a la longitud correspondiente en el prototipo, son iguales. Por ello, todas las longitudes del modelo se pueden reducir en la misma proporción. La relación entre el modelo y el prototipo para las longitudes x, y, z se obtienen mediante la Eq. (4.1). El área y el volumen se calculan mediante la Eq. (4.2) y la Eq. (4.3), respectivamente.

$$\frac{X_p}{X_m} = \lambda \quad \frac{Y_p}{Y_m} = \lambda \quad \frac{Z_p}{Z_m} = \lambda \quad (4.1)$$

$$\frac{X_p}{X_m} * \frac{Y_p}{Y_m} = \lambda^2 \quad \lambda \quad (4.2)$$

$$\frac{X_p}{X_m} * \frac{Y_p}{Y_m} * \frac{Z_p}{Z_m} = \lambda^3 \quad \lambda \quad (4.3)$$

Donde:

El subíndice m es referido al modelo

El subíndice p es referido al prototipo

λ es la escala

Análisis dimensional. Por su parte, el análisis dimensional permite simplificar el estudio de cualquier fenómeno en el que se tengan muchas magnitudes físicas en forma de variables independientes. El teorema de Vaschy-Buckingham (números pi), permite modificar el grupo original de parámetros de entrada dimensionales de un problema físico por otro grupo de parámetros de entrada adimensionales más reducido, éstos se denominan números pi (Rodríguez, 2007).

Se realizaron los siguientes pasos para el análisis dimensional de los modelos de adobe:

- a. Definición de las magnitudes físicas involucradas n (9).
- b. Definición de las k (3) cantidades físicas como masa (M), longitud (L) y tiempo (T).
- c. Determinar el número mínimo de grupos adimensionales (términos pi) en n-k (9-3 =6) productos adimensionales necesarios para describir el problema.

- d. Hacer que cada término p_i dependa de $n-k$ variables fijas y que cada uno dependa además de una de las k variables restantes. Asegurando un grupo de términos p_i independientes.

Cuando los términos adimensionales tomados como variables independientes para la experimentación tienen el mismo valor en el modelo y en el prototipo, existe semejanza física.

Se decidió que el factor de escala de longitud tendría un valor igual a 2 (considerando las limitaciones del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP) y, por lo tanto, la escala empleada para la construcción de los modelos sería $\frac{1}{2}$ de la escala real. La Eq. (4.4) muestra el valor de longitud escalar.

Factor de longitud a escalar (λ_L)

$$\lambda_L = L_p/L_M = 2 \quad (4.4)$$

Donde:

L_p es la longitud del prototipo

L_M es la longitud del modelo

Considerando el factor de longitud escalar anterior, el factor del área será 4 tal como se presenta en la Eq. (4.5).

$$\lambda_A = A_p/A_M = 4 \quad (4.5)$$

Donde:

A_p es el área del prototipo

A_M es el área del modelo

Asimismo, el factor del volumen será 8 tal como se presenta en la Eq. (4.6).

$$\lambda_V = V_p/V_M = 8 \quad (4.6)$$

Donde:

V_p es el volumen del prototipo

V_M es el volumen del modelo

El factor de densidad, módulo de elasticidad y la resistencia de material se consideraron 1 pues se usó el mismo suelo del prototipo para la construcción del modelo. El factor de masa se presenta en la Eq. (4.7).

$$\lambda_M = \lambda_V = 8 \quad (4.7)$$

Donde:

λ_M es el factor de masa

λ_V es el factor de volumen

Al asumir que el factor de fuerza aplicada es igual al factor de resistencia del material, sin considerar la fuerza de gravedad, el factor de fuerza es igual al factor de área tal como se muestra en la Eq. (4.8).

$$\lambda_F = \lambda_A = 4 \quad (4.8)$$

Donde:

λ_F es el factor de fuerza

λ_A es el factor de área

Luego, empleando la ecuación $F=ma$, segunda Ley de Newton, se obtiene que el factor de la aceleración es $\lambda_a=1/2$ y por lo tanto, para obtener el ratio de longitud $\lambda_L=2$ planteado inicialmente, el factor del tiempo se calcula mediante la Eq. (4.9).

$$\lambda_T = T_P/T_M = 2 \quad (4.9)$$

Donde:

λ_T es el factor de tiempo

T_P es el tiempo del prototipo

T_M es el tiempo del modelo

La señal de desplazamiento sísmico empleada en la mesa vibradora se obtuvo con la reducción de la amplitud de la señal del desplazamiento del prototipo a la mitad ($L_M/L_P=1/\lambda_L=1/2$) y al escalar el tiempo con un factor de 2 ($T_M/T_P=1/\lambda_T=1/2$) (Blondet et al., 2018). En la Tabla 4.2, se presentan los factores de escala obtenidos.

Grupo	Cantidad	Dimensión	Factor de escala (prototipo/modelo)	Factor de escala Tesis
Carga	Fuerza, F	F	λ_f^2	4
	Aceleración, a	LT ⁻²	λ_l^{-1}	1/2
	Gravedad, g	LT ⁻²	--	--
	Velocidad, v	LT ⁻¹	1	1
	Tiempo, t	T	λ_l	2
Geometría	Dimensión lineal, l	L	λ_l	2
	Desplazamiento, Δ	L	λ_l	2
Propiedades del material	Frecuencia, f	T ⁻¹	λ_l^{-1}	1/2
	Módulo, E	FL ⁻²	1	1
	Esfuerzo, σ	FL ⁻²	1	1
	Deformación, ε		1	1
	Relación de Poisson, μ		1	1
	Densidad de masa, ρ	FL ⁻³ T ²	1	1

Tabla 4.2 – Factores de escala (Yallico, 2020)

Finalmente, en la Figura 4.1, se observa el prototipo de vivienda escogido (vivienda de adobe de dos pisos en Pullo, Ayacucho) y el esquema del modelo.



a) Prototipo



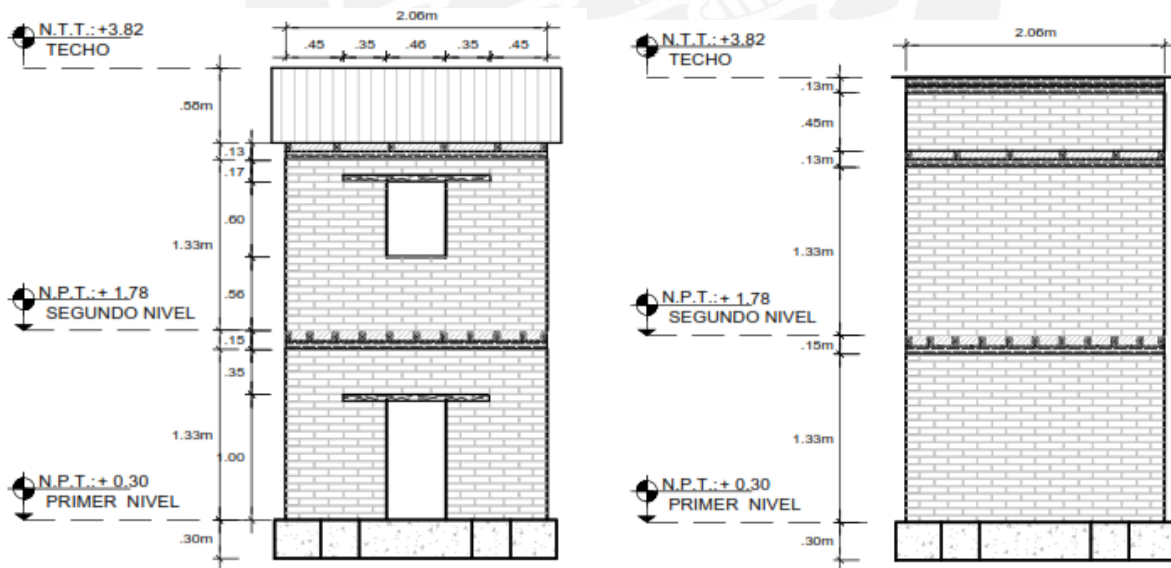
b) Esquema del Modelo

Figura 4.1 – Prototipo y esquema del modelo

4.3 DETALLES ARQUITECTÓNICOS Y ESTRUCTURALES DEL MODELO

A partir del análisis de similitud, el factor de escalamiento, la verificación de la Norma Técnica Peruana E0.80 y verificación del peso del modelo se decidió desarrollar la siguiente geometría.

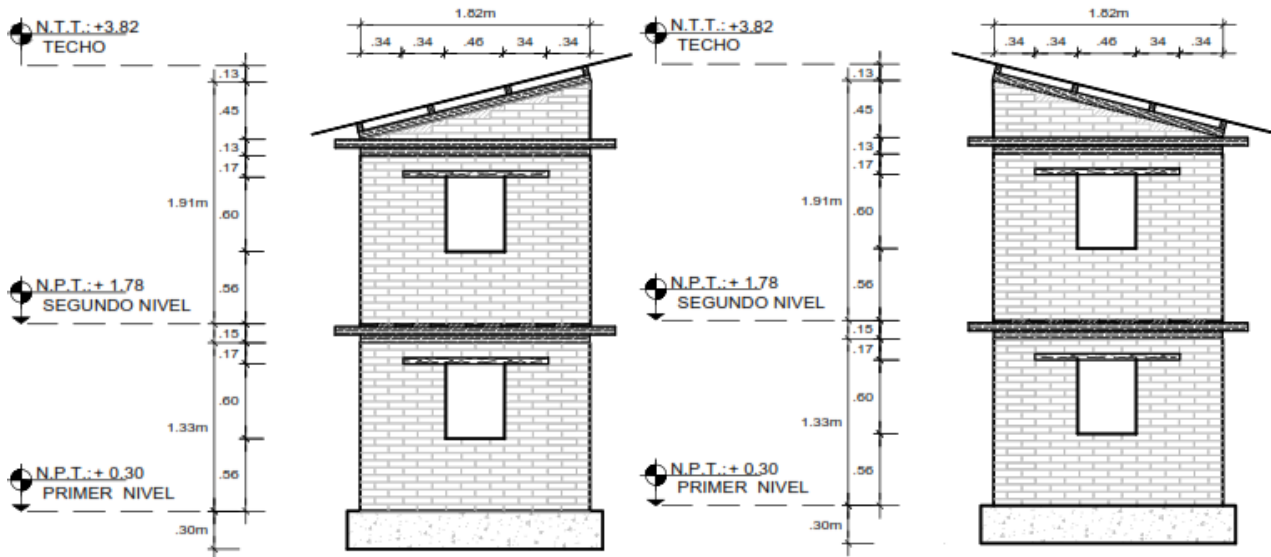
En la Figura 4.2 y 4.3, se presentan las vistas del modelo desarrollado.



a) Elevación anterior

b) Elevación posterior

Figura 4.2 – Vistas de la elevación anterior y posterior de los muros



a) Elevación longitudinal izquierda b) Elevación longitudinal derecha

Figura 4.3 – Vistas de la elevación longitudinal izquierda y derecha de los muros

4.3.1 Verificación de acuerdo a la Norma Técnica de Edificación E0.80

En base a las recomendaciones propuestas en la Norma E0.80, Artículo 6, de los requisitos de construcción sismorresistente, se consideraron los siguientes criterios de configuración en el modelo propuesto:

- a) A partir de la mayor altura de 1,33m de altura libre y 0,22m de espesor se obtiene una esbeltez de 6, la razón de esbeltez permanecerá invariable en un prototipo a escala real.
- b) Según recomendación de la norma, se deberá incluir una solera y elementos de refuerzo vertical y horizontal en los encuentros de muros. Por tal motivo, en el modelo propuesto se incluyó una viga collar en cada muro y el refuerzo de malla de cuerdas sintéticas.
- c) El ancho del muro es de 0,44m a escala real, cumpliendo así con lo mínimo señalado por la norma.
- d) Se consideró simetría en planta en relación con los ejes principales.
- e) Los vanos propuestos fueron pequeños y centrados.
- f) Por último, se realizaron las validaciones de los límites geométricos de muros y vanos. La Tabla 4.3 detalla los resultados.

Verificación	Fórmula	Aplicada al modelo	Modelo	Cumple
Elemento de arriostre	$c \geq 3e$	Mínimo 0,66m	1,84	Sí
Longitud del muro entre arriostres verticales	$L \leq 12e$	Máximo 2,64	2,06	Sí
Ancho de vanos	$a \leq L/3$	Máximo 0,61	0,46	Sí
Borde libre	$3e \leq b \leq 5e$	$0,66 \leq b \leq 1,1$	0,68-0,8	Sí

Tabla 4.3 - Verificación del modelo según Norma E0.80

4.3.2 Verificación del peso del modelo

El peso de cada modelo incluido el anillo de cimentación debe ser menor al permitido por el puente grúa (130 kN). Debido a que el peso del prototipo es mayor que el peso máximo admitido por la mesa vibradora, es necesario la construcción de un modelo a escala reducida (Tablas 4.4 y 4.5). Para el peso calculado del prototipo y el modelo se consideró un peso unitario de 17,65 kN/m³ para el adobe y un peso unitario de 23,54 kN/m³ para el concreto.

Descripción	Área (m ²)	Ancho/ Largo (m)	N°	PU (kN/m ³)	Parcial (kN)
Muro frontal					
Muro frontal	10,6	0,44	1	17,65	82,38
Muro derecho/izquierdo	9,4	0,44	2	17,65	146,02
Muro posterior	13,88	0,44	1	17,65	107,78
Tarrajeo exterior	33,88	0,025	1	17,65	14,91
Dintel caña	0,022	2,28	6	7,75	2,35
Viga collar posterior/anterior					
Madera 3" x 2"	0,0032	4,12	12	4,05	0,69
Madera 1 1/2" x 2"	0,00216	0,28	42	4,05	0,10
Viga collar lateral izquierdo/derecho					
Madera 3" x 2"	0,0032	3,64	12	4,05	0,59
Madera 1 1/2" x 2"	0,00216	0,28	30	4,05	0,10
Viguetas					
Madera 2" x 3"	0,0052	4,44	15	4,05	1,37
Entablado					
Madera 1" x 6"	0,00532	4,12	20	4,05	1,77
Correas					
Madera 2" x 2"	0,0032	4,12	4	4,06	0,20
Teja andina	1,4	0,01	12	23,93	4,02
Cimentación	5,72	0,6	1	23,54	80,81
					443,07

Tabla 4.4 - Dimensiones geométricas y peso del prototipo

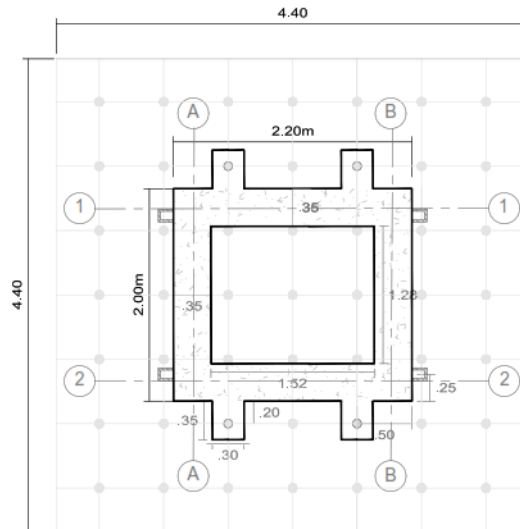
Descripción	Área (m ²)	Ancho/ Largo (m)	N°	PU (kN/m ³)	Parcial (kN)
Muro frontal					
Muro frontal	5,3	0,22	1	17.65	20.58
Muro derecho/izquierdo	4,7	0,22	2	17.65	36.50
Muro posterior	6,94	0,22	1	17.65	26.95
Tarrajeo exterior	16,94	0,0125	1	17.65	3.74
Dintel caña	0,011	1,14	6	7.75	0.58
Viga collar posterior/anterior					
Madera 3" x 2"	0,0016	2,06	12	4.05	0.16
Madera 1 1/2" x 2"	0,00108	0,14	42	4.05	0.03
Viga collar lateral izquierdo/derecho					
Madera 3" x 2"	0,0016	1,82	12	4.05	0.14
Madera 1 1/2" x 2"	0,00108	0,14	30	4.05	0.02
Viguetas					
Madera 2" x 3"	0,0026	2,22	15	4.05	0.35
Entablado					
Madera 1" x 6"	0,00266	2,06	20	4.05	0.44
Correas					
Madera 2" x 2"	0,0016	2,06	4	4.06	0.05
Teja andina	0,7	0,005	12	23.93	1.00
Cimentación	2,86	0,3	1	23.54	20.19
					110.74

Tabla 4.5 - Dimensiones geométricas y peso del modelo

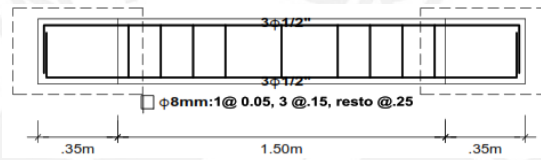
De las tablas anteriores se obtiene un peso de 110,74 kN para el modelo a escala ½ con anillo de cimentación y un peso de 443,07 kN para el prototipo con anillo de cimentación demostrándose que este último sobrepasa la capacidad de la mesa vibradora.

4.3.3 Diseño del anillo de cimentación

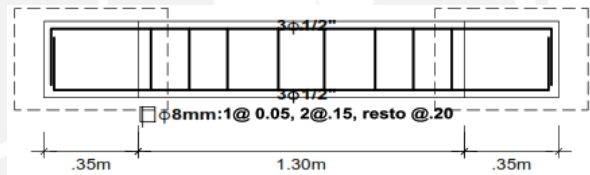
Las dimensiones del largo y ancho del anillo de cimentación no deben sobrepasar las dimensiones de la mesa vibradora (4,40x4,40m). Asimismo, la distribución de los puntos de anclaje del anillo de cimentación está sujetos a la distribución existente en la mesa vibradora. Las dimensiones de la sección transversal del anillo son 0,30 x 0,35 metros, con fierros de 1/2" y de 8mm (Figura 4.4). También se colocaron los ganchos de acuerdo a lo indicado en la Figura 4.5, estos ganchos sirven para el izaje del modelo. Se colocaron cuatro tubos de PVC en las orejas de la cimentación para asegurar el orificio por el cual se efectuó el anclaje del modelo en la mesa vibradora.



a) Planta anillo de cimentación



b) Corte eje 1-1



c) Corte eje A-A

Figura 4.4 – Detalles del anillo de cimentación

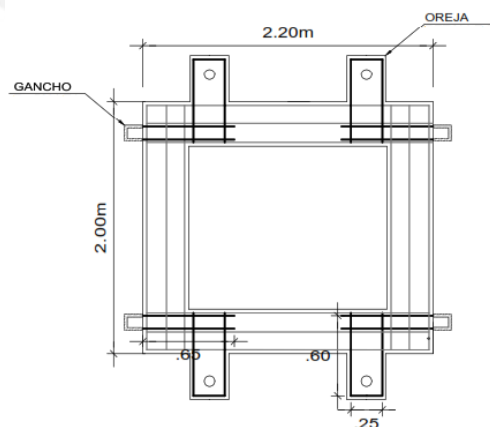


Figura 4.5 – Ubicación de ganchos y orejas en la viga de cimentación

4.3.4 Diseño de los muros

Cada modelo está conformado por muros de 1,33 metros de alto por 2,06 metros de ancho y 0,22 metros de espesor. En la parte anterior de la vivienda se ubicarán dos vanos, uno para la puerta en el primer piso y uno para la ventana en el segundo piso. El muro posterior no tendrá ningún vano.

Los muros laterales del modelo tienen 1,33 metros de alto por 1,82 metros de ancho y 0,22 metros de espesor. Los muros cuentan con un vano central por cada nivel para la ventana. Para lograr una inclinación en el techo de 14° se incluyó un tímpano de adobe de 0,45 metros de alto.

El modelo tiene únicamente un ambiente por nivel debido a las restricciones de tamaño y peso de la mesa vibradora. Asimismo, la densidad de muros en el modelo es de $0,16 \text{ m}^2$ de muros por m^2 de área techada en la dirección paralela a los muros laterales (izquierdo y derecho). En la dirección paralela a los muros anteriores y posteriores, la densidad de muros es $0,19 \text{ m}^2$ de muros por m^2 de área techada.

Los muros serán levantados sobre un anillo de cimentación de concreto armado de 0,30 metros de alto por 0,35 metros de ancho. Las juntas horizontales y verticales entre adobes son de 8 mm. Cada hilada tiene 58 mm de altura, 50 mm de altura de la unidad de adobe y 8 mm correspondiente al mortero. La cantidad de adobes utilizados por cada modelo son 1 389 unidades enteras y 284 medias unidades. La distribución de bloques de adobe en hiladas par e impar se muestra en la Figura 4.6.

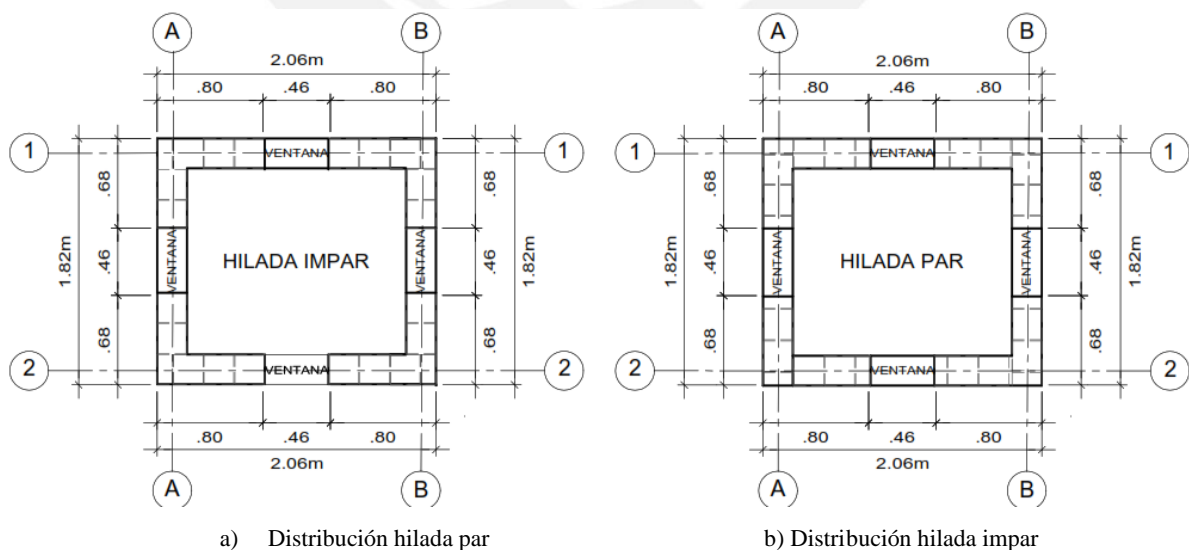


Figura 4.6 – Detalle de la distribución de adobes en hiladas par e impar

La Tabla 4.6 detalla el metrado de unidades de adobe del modelo. Las hiladas se numeraron de abajo hacia arriba.

Descripción de hiladas	Nºde hiladas	Parcial	
		0,22x0,11x0,05m	0,22x0,11x0,05m
Impares	7	224	4
Pares	7	224	4
Impares ventana primer piso	5	121	46
Pares ventana primer piso	5	128	82
Impares ventana segundo piso	5	115	50
Pares ventana segundo piso	5	130	20
Hilada dintel ventana	2	34	18
Hilada puerta	10	295	50
Hilada 47	1	22	0
Hilada 48	1	19	2
Hilada 49	1	18	0
Hilada 50	1	15	2
Hilada 51	1	14	2
Hilada 52	1	11	2
Hilada 53	1	10	2
Hilada 54	1	9	0
Total	54	1389 unidades	284 unidades

Tabla 4.6 - Metrado de adobes en modelo típico

4.3.5 Diseño de dinteles

Los dinteles se colocan en los vanos, es decir en la puerta y ventanas del primer y segundo piso. Los dinteles son conformados por paquetes de caña amarradas por cordones o sogas. El uso de caña permite armar dinteles flexibles. La Figura 4.7 muestra el detalle de los dinteles en la puerta y ventanas.

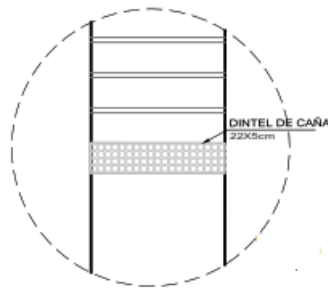


Figura 4.7 – Detalle del dintel de caña

4.3.6 Diseño del entrepiso

Las vigas collar de madera se ubican en la parte superior de los muros como arriostre horizontal. Cada viga collar está conformada por largueros de 3"x2" y travesaños de 1 ½"x2" de sección. La Figura 4.8 muestra la vista en planta de la viga collar típica del modelo.

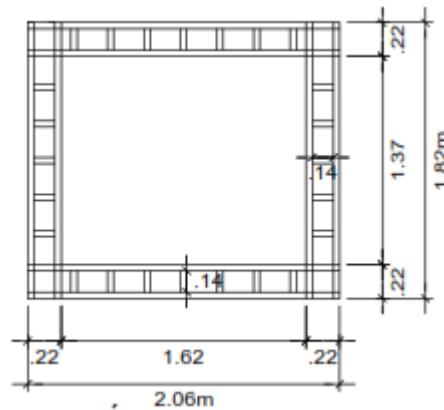
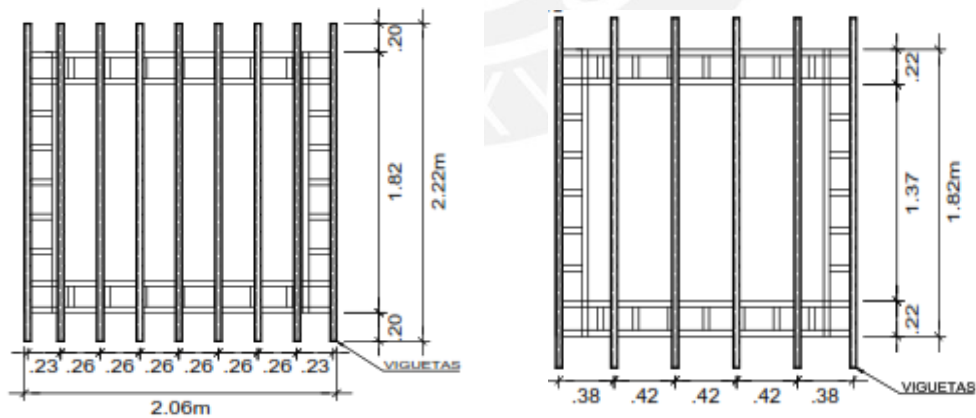


Figura 4.8 - Vista en planta de la viga collar



a) Distribución viguetas primer piso

b) Distribución viguetas segundo piso

Figura 4.9 - Vista en planta de las viguetas del primer y segundo piso, respectivamente

Sobre la viga collar del primer y segundo piso se colocan viguetas de 2"x3" de sección a una distancia no mayor de 0,42m una de otra, tal como se muestra en la Figura 4.9. Sobre estas viguetas se coloca el entablado liviano de 1"x6", tal como se aprecia en la Figura 4.10. La función básica

del entablado es la de comportarse como un diafragma rígido que separa un piso de otro, pero que a su vez garantiza una continuidad en los muros del primer y segundo nivel debido a la discontinuidad del entablado pues entre los espacios vacíos de los travesaños se colocará mortero. Éste también ayuda a controlar la esbeltez vertical del modelo puesto que la esbeltez de cada muro es de 6.

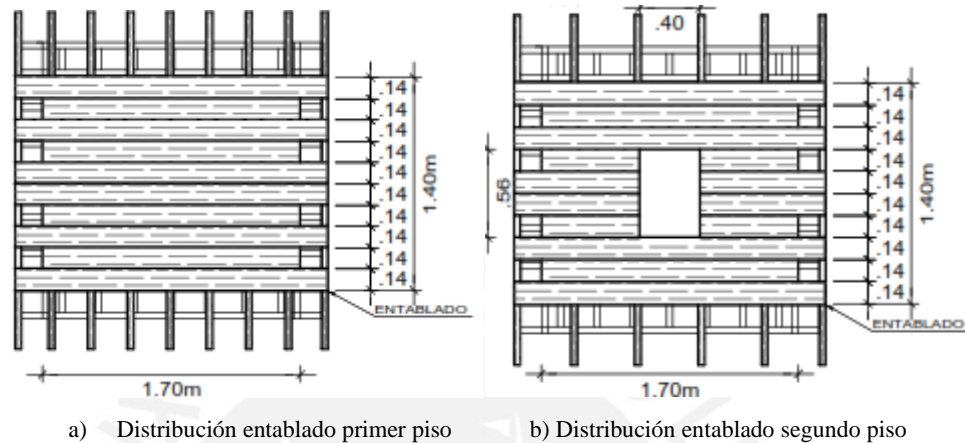


Figura 4.10 - Vista en planta del entablado del primer y segundo piso, respectivamente

4.3.7 Diseño del techo

En el techo se coloca una viga collar inclinada y correas de madera de 2x2" de sección a una distancia no mayor de 0,6 metros. Luego, se colocan correas según la distribución mostrada en la Figura 4.11. Por último, se colocan planchas de tejas andinas de 1x0,69 metros (o similar) de área. Las planchas son colocadas con un traslape lateral no menor de 5 cm y un traslape longitudinal no menor de 10 cm. El techo es inclinado con la finalidad de simular los techos de las viviendas de adobe en la sierra cuyo objetivo es drenar el agua de lluvia.

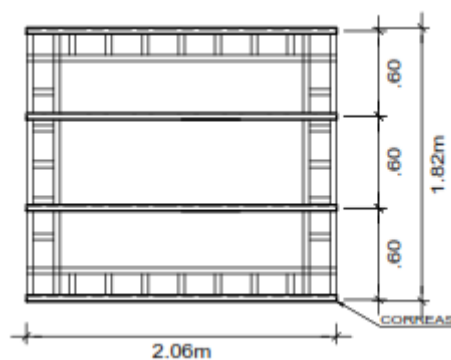


Figura 4.11 - Vista en planta de las correas en el techo

4.4 DISTRIBUCIÓN DEL REFUERZO DE MALLA DE CUERDAS PARA EL MODELO REFORZADO

A partir de ensayos e investigaciones anteriores realizadas en la PUCP, se observó que la formación de bloques rígidos, originados por el movimiento sísmico, produce el colapso de la estructura. Por tal motivo, el refuerzo de malla de cuerdas (de nylon de 1/8" de diámetro) debía desarrollarse de manera vertical y horizontal a fin de reducir el tambaleo y desplazamiento de los bloques rígidos.

4.4.1 Configuración del refuerzo horizontal

El refuerzo horizontal consideró el uso de doble cuerda. La configuración del refuerzo horizontal se da a la mitad de la altura del ladrillo de adobe y la cuerda se instala cada dos hiladas (Figura 4.12).

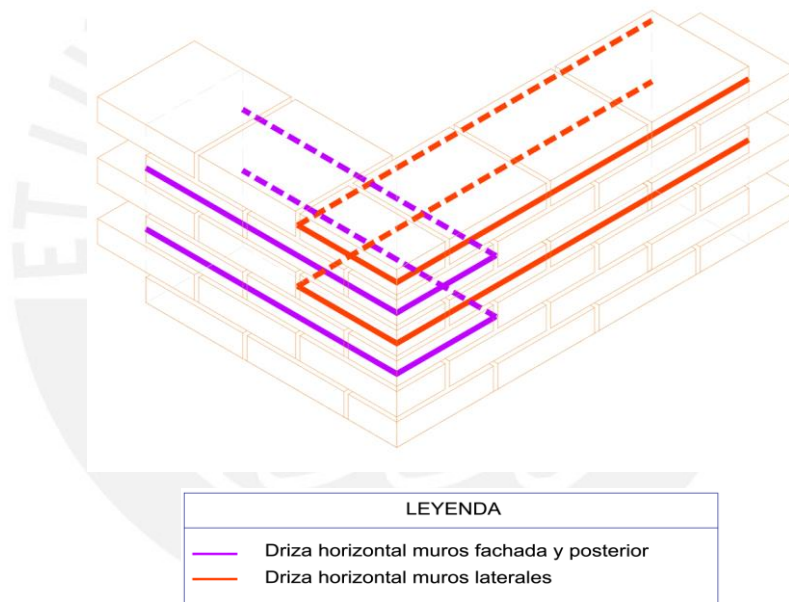


Figura 4.12 – Configuración del refuerzo horizontal

La finalidad del refuerzo horizontal es mantener conectados los muros frontal y posterior con los muros laterales para cada nivel del módulo (Figura 4.13).

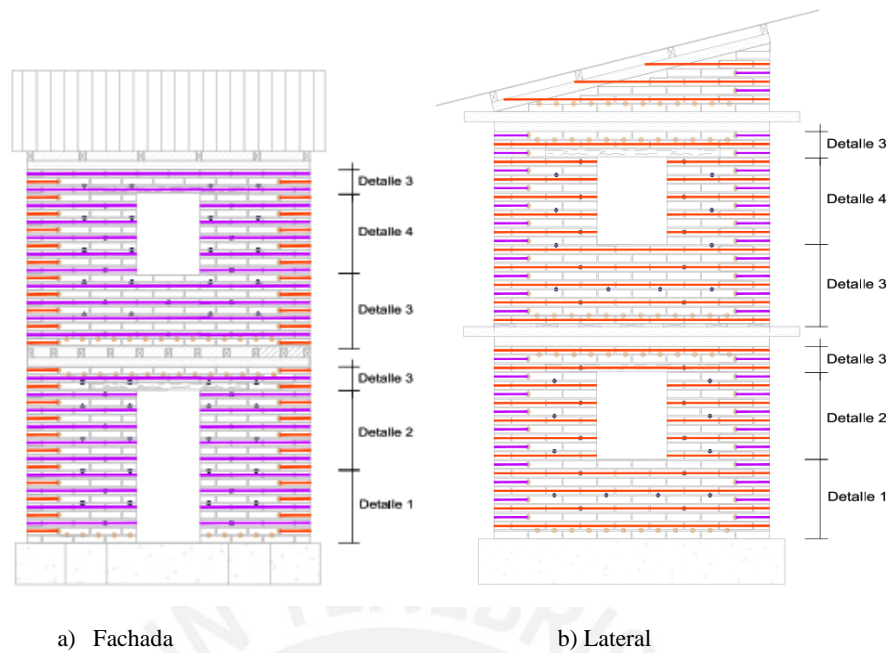


Figura 4.13 – Refuerzo horizontal, fachada y lateral

La configuración de refuerzo del detalle 1 (Figura 4.14) va desde la base (NPT 0,30) del primer nivel hasta una altura de 0,56m, altura donde comienza el vano de las ventanas del primer nivel.

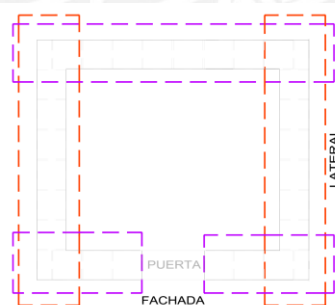


Figura 4.14 – Detalle 1, refuerzo horizontal

La configuración de refuerzo del detalle 2 (Figura 4.15) va desde la altura 0,56m hasta una altura de 1,16m, altura donde finaliza el vano de la puerta y las ventanas del primer nivel.

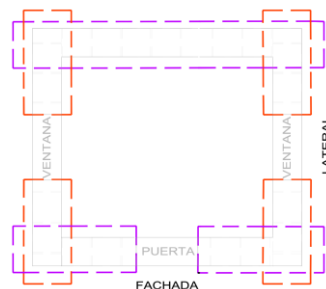


Figura 4.15 – Detalle 2, refuerzo horizontal

La configuración de refuerzo del detalle 3 (Figura 4.16) se desarrolla en las zonas de los muros donde no se presentan vanos. La configuración desde la altura de 1,16m hasta una altura de 1,33m. La misma configuración de refuerzo continúa desde la altura 1,48m hasta 2,04m. Finalmente, la configuración continúa desde la altura de 2,64m hasta 2.81m.

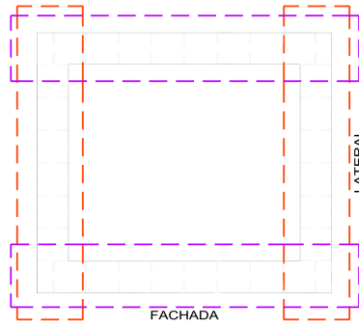


Figura 4.16 – Detalle 3, refuerzo horizontal

La configuración de refuerzo del detalle 4 (Figura 4.17) va desde la altura 2,04m hasta una altura de 2,64m, zona donde se encuentran los vanos de las ventanas del segundo nivel.

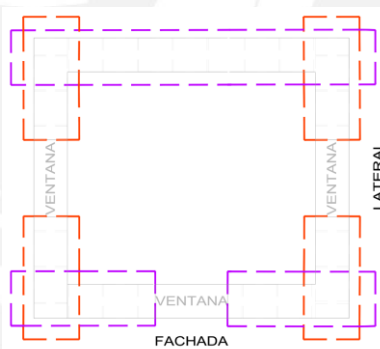


Figura 4.17 – Detalle 4, refuerzo horizontal

4.4.2 Refuerzo vertical muro anterior

Para lograr las conexiones entre el primer piso y la base del segundo piso, las cuerdas verticales envolverán el muro del primer nivel desde la base de la hilada 2, hasta la parte superior de la hilada 23 (segundo nivel). En el caso del vano de la puerta, las cuerdas verticales envolverán el muro del primer nivel desde el dintel de la puerta, hasta la parte superior de la hilada 23(segundo nivel). Las líneas azules de la Figura 4.18, representan el refuerzo vertical del primer nivel. De esta forma también se logra una conexión adicional entre el muro y la viga collar de entrepiso del primer nivel.

Para lograr la conexión del segundo piso con la parte superior del muro del primer piso y el techo, las cuerdas verticales envolverán el muro del segundo nivel desde la base de la hilada 22 (primer nivel) hasta la parte superior de la viga collar del techo. En el caso del vano de la ventana, las

cuerdas verticales envolverán el muro del segundo nivel desde la base de la hilada 22(primer nivel) hasta la parte inferior del vano de la ventana. Asimismo, las cuerdas verticales envolverán el muro del segundo nivel desde la base del dintel de la ventana, hasta la parte superior de la viga collar de entrepiso del segundo nivel. Las líneas rojas de la Figura 4.18, representan el refuerzo vertical del segundo nivel. De esta forma también se logra una conexión adicional entre el muro y la viga collar de entrepiso del segundo nivel.

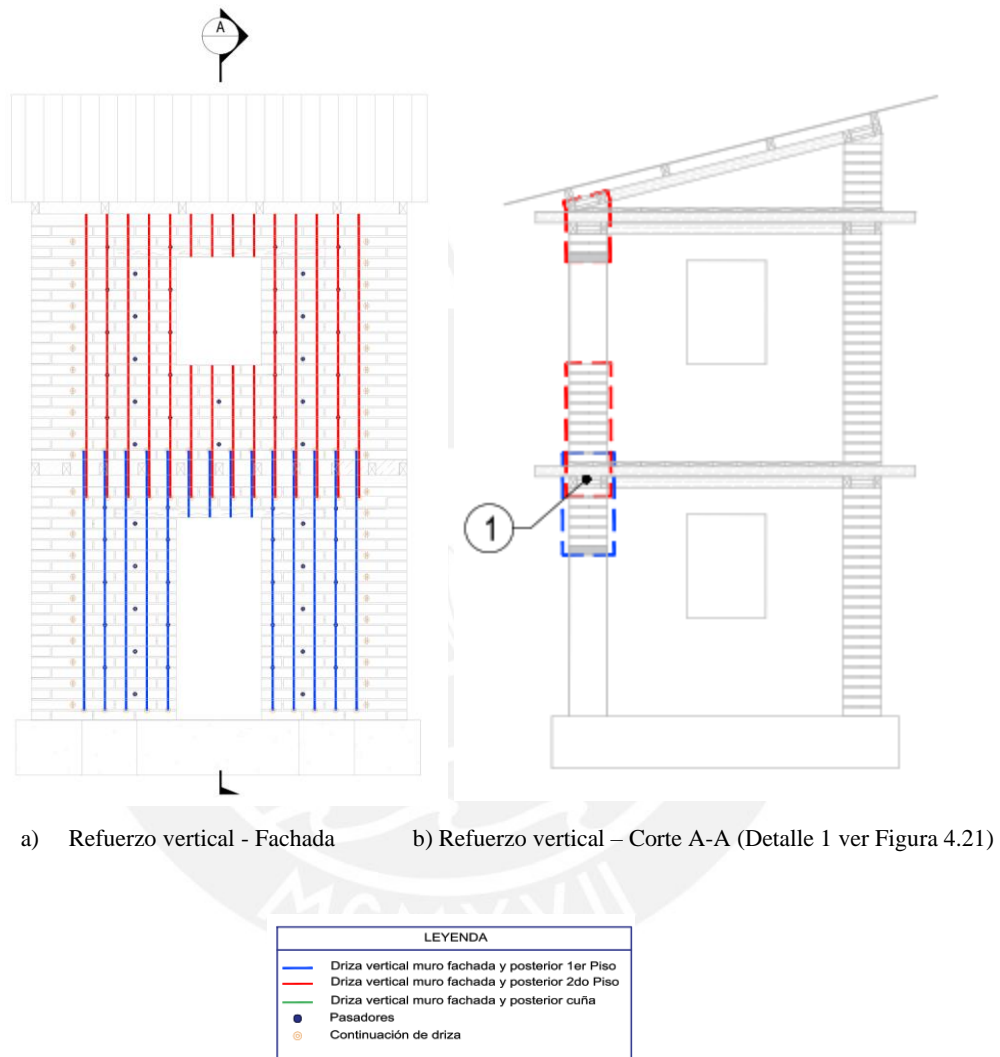


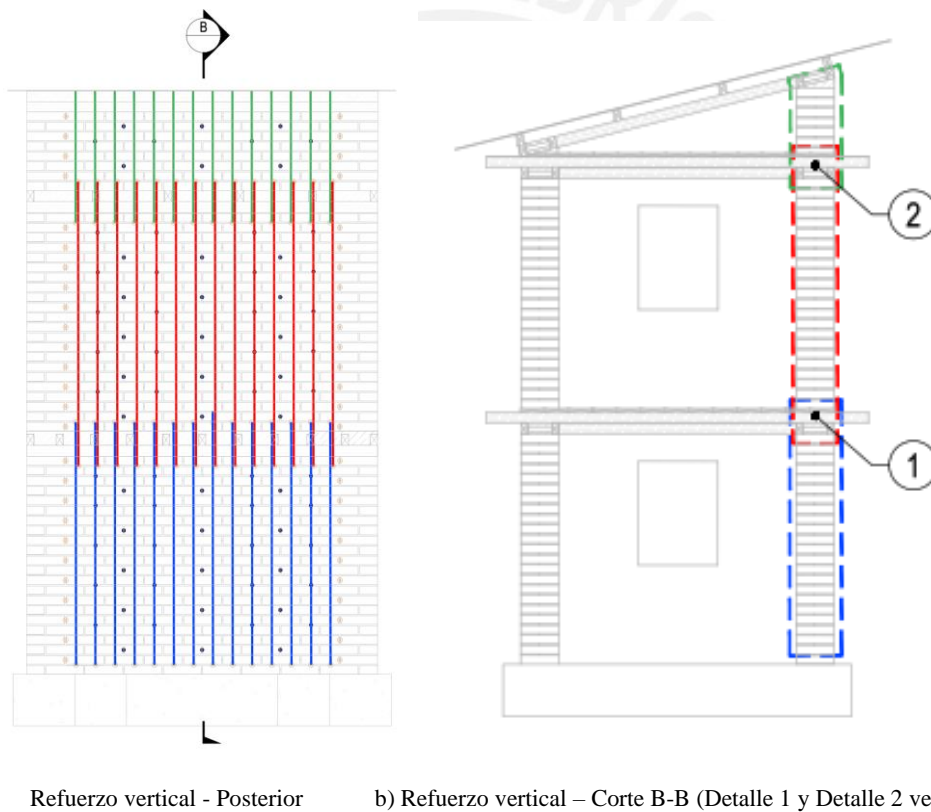
Figura 4.18 - Refuerzo vertical en el muro anterior / Conexión de refuerzo entre el primer piso, segundo piso y techo

4.4.3 Refuerzo vertical muro posterior

Para lograr la conexión entre el primer piso y la base del segundo piso, las cuerdas verticales envolverán el muro del primer nivel desde la base de la hilada 2, hasta la parte superior de la hilada 23 (segundo nivel). Las líneas azules de la Figura 4.19, representan el refuerzo vertical del primer nivel. De esta forma también se logra una conexión adicional entre el muro y la viga collar de entrepiso del primer nivel.

Para lograr la conexión del segundo piso con la parte superior del muro del primer piso y la parte inferior del tímpano, las cuerdas verticales envolverán el muro del segundo nivel desde la base de la hilada 22 (primer nivel), hasta la parte superior de la hilada 45. Las líneas rojas de la Figura 4.19, representan el refuerzo vertical del primer nivel. De esta forma también se logra una conexión adicional entre el muro y la viga collar de entrepiso del primer y el segundo nivel.

Para lograr la conexión entre el segundo piso, el tímpano y el techo, las cuerdas verticales envolverán el muro del segundo nivel desde la base de la hilada 44 (segundo nivel), hasta la parte superior de la viga collar del techo. Las líneas verdes de la Figura 4.19, representan el refuerzo vertical del tercer nivel. De esta forma también se logra una conexión adicional entre el muro y la viga collar de entrepiso del segundo nivel.



LEYENDA	
—	Driza vertical muro fachada y posterior 1er Piso
—	Driza vertical muro fachada y posterior 2do Piso
—	Driza vertical muro fachada y posterior cuña
●	Pasadores
○	Continuación de driza

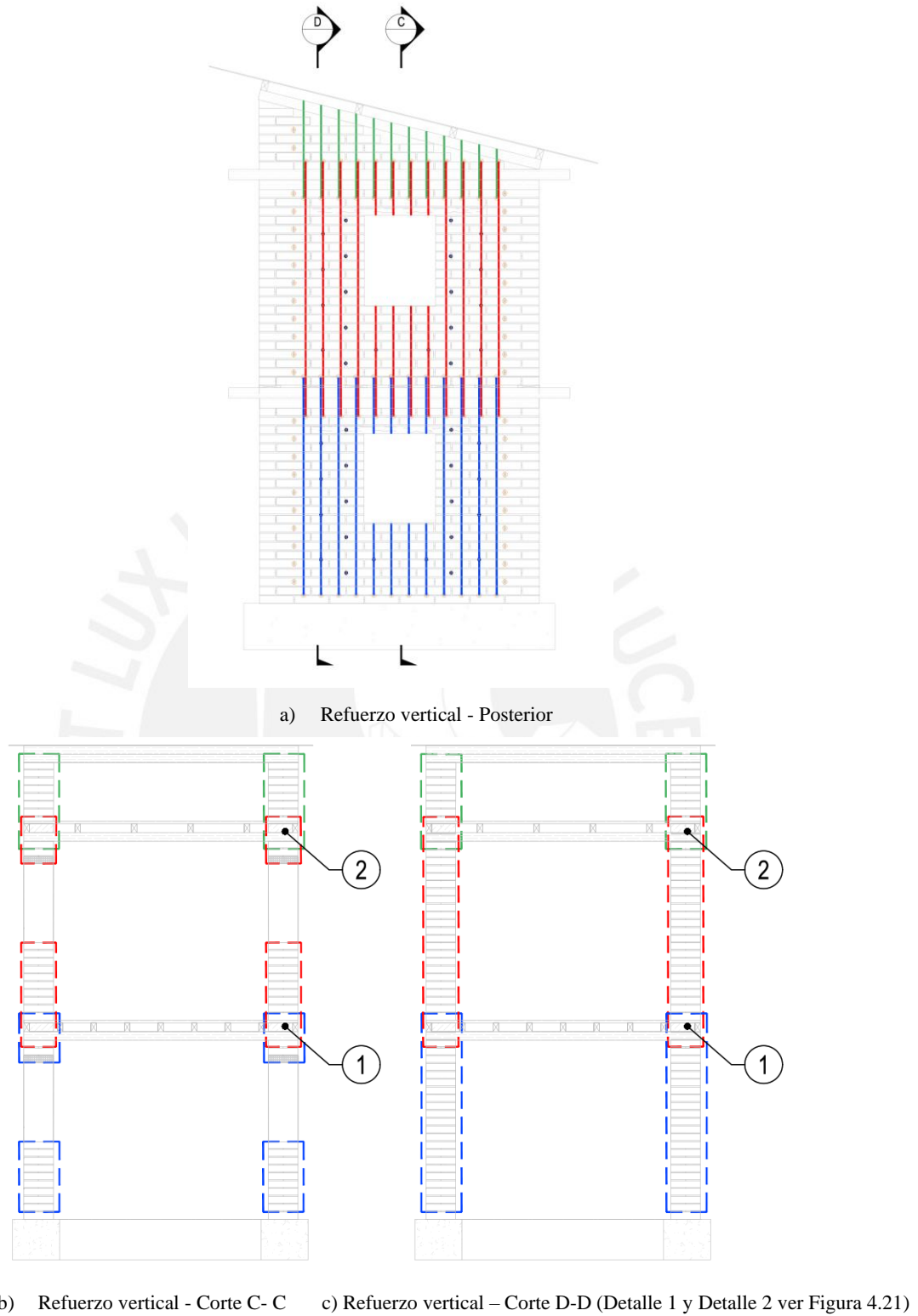
Figura 4.19 - Refuerzo vertical en el muro posterior / Conexión del refuerzo entre el primer piso, segundo piso y techo

4.4.4 Refuerzo vertical muro longitudinal derecho e izquierdo

Para lograr la conexión entre el primer piso y la base del segundo piso, las cuerdas verticales envolverán el muro del primer nivel desde la base de la hilada 2, hasta la parte superior de la hilada 23 (segundo nivel). En el caso del vano de la ventana, las cuerdas verticales envolverán el muro del primer nivel desde la base de la hilada 2, hasta la parte inferior del vano de la ventana. Asimismo, las cuerdas verticales envolverán el muro del primer nivel desde la base del dintel de la ventana, hasta la parte superior de la viga collar de entrepiso del segundo nivel. De esta forma también se logra una conexión adicional entre el muro y la viga collar de entrepiso del primer nivel. Las líneas azules de la Figura 4.20, representan el refuerzo vertical del primer nivel.

Para lograr la conexión del segundo piso con la parte superior del muro del primer piso y el techo, las cuerdas verticales envolverán el muro del segundo nivel desde la base de la hilada 22 (primer nivel), hasta la parte superior de la hilada 45. En el caso del vano de la ventana, las cuerdas verticales envolverán el muro del segundo nivel desde la base de la hilada 22 (primer nivel), hasta la parte inferior del vano de la ventana. Asimismo, las cuerdas verticales envolverán el muro del segundo nivel desde la base del dintel de la ventana, hasta la parte superior de la viga collar de entrepiso del segundo nivel. De esta forma también se logra una conexión adicional entre el muro y la viga collar de entrepiso del segundo nivel. Las líneas rojas de la Figura 4.20, representan el refuerzo vertical del segundo nivel.

Para lograr la conexión entre el segundo piso, el tímpano y el techo, las cuerdas verticales envolverán el muro del segundo nivel desde la base de la hilada 44, hasta la parte superior de la viga collar del techo. De esta forma también se logra una conexión adicional entre el muro y la viga collar de entrepiso del segundo nivel. Las líneas verdes de la Figura 4.20, representan el refuerzo vertical del tercer nivel.

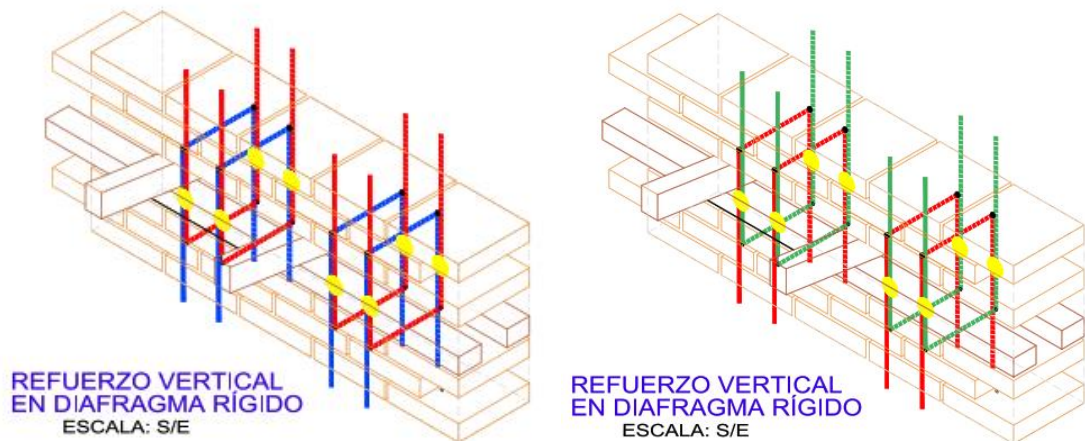


LEYENDA	
—	Driza vertical muro fachada y posterior 1er Piso
—	Driza vertical muro fachada y posterior 2do Piso
—	Driza vertical muro fachada y posterior cuña
●	Pasadores
⊙	Continuación de driza

Figura 4.20 - Refuerzo vertical en el muro lateral

4.4.5 Detalle de conexión entre el primer piso, el segundo piso y el techo

Para lograr la continuidad del refuerzo vertical que envuelve el primer piso con el del segundo piso se utilizó el nudo E (Figura 4.21). Se realizó el mismo procedimiento para el segundo nivel y el tercero.

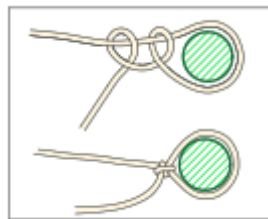


REFUERZO VERTICAL
EN DIAFRAGMA RÍGIDO
ESCALA: S/E

REFUERZO VERTICAL
EN DIAFRAGMA RÍGIDO
ESCALA: S/E

a) Detalle 1 – primer y segundo nivel

b) Detalle 2 – segundo nivel y cuña



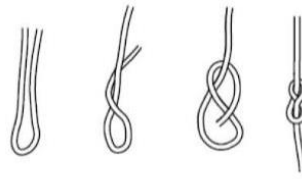
DETALLE DE NUDO "E"

c) Detalle 3

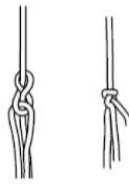
LEYENDA	
	Driza vertical muro fachada y posterior 1er Piso
	Driza vertical muro fachada y posterior 2do Piso
	Driza vertical muro fachada y posterior cuña
	Ubicación de nudo "E"

Figura 4.21 – Detalle conexión

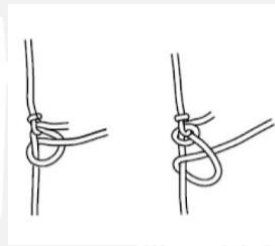
Para la instalación del refuerzo de malla de cuerdas, las drizas serán amarradas con el nudo tipo 8, luego serán tensadas y finalmente realizarán dos nudos simples (Figura 4.22).



a) Nudo ocho



b) Tensado



c) Doble nudo simple

Figura 4.22 – Detalle de nudos para el refuerzo de malla de cuerdas

4.5 PLANOS Y PRESUPUESTO

A continuación, en la Tabla 4.7 se presenta un resumen del presupuesto. Se aprecia que la partida con mayor incidencia es la de trabajos con adobe representando un 53 % del presupuesto total. En contraste, la partida drizas es la partida de menor incidencia representando un 4% del presupuesto total. Esto significa que la implementación del refuerzo de drizas es accesible económicamente pues no representa mayor gasto en la construcción de una vivienda de adobe. El presupuesto detallado se encuentra en el APÉNDICE A.

Partidas	Parcial	Incidencia (%)
Vigas de cimentación	S/2,443.84	20%
Trabajos con adobe	S/6,323.34	53%
Trabajos con maderas	S/1,534.65	13%
Tejas	S/528.00	4%
Otros materiales	S/660.00	6%
Drizas	S/495.00	4%
	Precio sin IGV S/11,984.80	
	Total (con IGV) S/14,142.07	

Tabla 4.7 – Resumen del presupuesto para fabricación de un módulo reforzado con malla de cuerdas

Para la construcción del modelo se elaboraron un total de 6 planos los cuales se listan a continuación. Los planos se encuentran en el APÉNDICE B.

Lámina 01 – Plantas y cortes

Lámina 02 – Primer entepiso, techo y elevaciones

Lámina 03 – Plantas y emplantillados

Lámina 04 – Cimentación

Lámina 05 – Refuerzo malla de cuerdas, vistas anterior y posterior

Lámina 06 – Refuerzo malla de cuerdas, vistas laterales

Capítulo 5

Construcción de los modelos

5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DEL MODELO

Un buen suelo para la construcción con adobe debe ser una tierra arcillosa limpia, la cual no deberá contener piedras, restos de basura o elementos vegetales. El material deberá contener un balance apropiado de arena y arcilla.

Ensayos de mecánica de suelos. Los ensayos de mecánica de suelos permitirán conocer las principales características físicas del material tierra seleccionado como la granulometría, el tipo de arcillas, el límite plástico y el límite líquido. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos requiere la realización de los ensayos de laboratorio, a partir de los cuales se obtendrá la clasificación del suelo. Valle (2019), desarrolló la granulometría y se determinó los límites de Atterberg. Los resultados fueron los siguientes:

- a) El límite líquido (LL) fue 32, el límite plástico (LP) fue 20 y el límite de contracción fue 12.
- b) En cuanto al índice de plasticidad (IP), fue 12.
- c) La gravedad específica G_s fue 2,69.

En base a los resultados anteriores, se identificó el tipo de suelo como una arcilla inorgánica de media plasticidad cuyas siglas son CL.

Prueba de cinta de barro y resistencia seca. La tierra utilizada en la confección de los bloques de adobe se sometió a las pruebas de campo “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca” y “Cinta de barro”. Todos los ensayos se realizaron según lo establecido en la Norma E.080.

- a) Prueba “Cinta de barro”. Para la prueba se elabora una cinta de barro de 12mm a partir de una muestra húmeda. Luego la muestra se aplana hasta formar una cinta de 4mm de espesor y se deja descolgar. La prueba permite determinar la presencia de arcilla en el suelo. Valle (2019), realizó seis pruebas realizadas en el laboratorio. Las longitudes obtenidas luego del ensayo fueron 200, 210, 200, 200, 210 y 220 mm. El promedio fue de 207 mm, concluyendo que se tenía una cantidad de arcilla aceptable (Figura 5.1).



Figura 5.1 – Prueba de cinta de barro (Valle, 2019)

- b) Prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca”. Para la prueba se elaboran cuatro bolitas con tierra de la zona a utilizar, añadiendo una cantidad mínima de agua. Luego se presionan las bolitas con el dedo pulgar y el dedo índice. Si las bolitas no se rompen o se quiebran, significa que el suelo tiene suficiente arcilla para ser usado en la construcción de adobe. Valle (2019), elaboró 6 bolitas que se dejaron secar por 48 hrs. en un lugar protegido del sol y la lluvia. El ensayo se realizó con un técnico, quien sostuvo la bolita entre el dedo pulgar y el dedo índice. Como el técnico no logró aplastar ninguna de las seis bolitas secas, se concluyó que el material seleccionado tenía la resistencia suficiente para hacer adobes (Figura 5.2).



Figura 5.2 – Prueba de cinta de la bolita (Valle, 2019)

Prueba del emparedado. A partir del suelo seleccionado, se elaboran morteros de distinta proporción de suelo y arena gruesa. Luego, se elaboran emparedados con adobes existentes unidos por los morteros preparados. Después los emparedados deberán ser destapados y se elegirá la dosificación adecuada cuando no se perciba agrietamiento. Valle (2019), determinó que a partir de la relación suelo: arena gruesa 1:1 en adelante, no se presenciaba agrietamiento ni fisuración. Por tal motivo, se seleccionó como proporción para el mortero de asentado 1:1 suelo: arena (Figura 5.3).



Figura 5.3 – Prueba de emparedado (Valle, 2019)

Ensayos de compresión de cubos. El objetivo del ensayo es determinar la resistencia última a compresión del material tierra con el que se elaboraron los adobes. El ensayo se realiza en cubos de adobe cuya arista tendrá la menor dimensión de la unidad de adobe. Valle (2019), realizó seis probetas prismáticas de 100 mm según los lineamientos de la norma E.080 (2017) (Figura 5.4). El esfuerzo promedio obtenido fue de 1,90 MPa, valor conservador con respecto al indicado en la norma peruana ($f_u = 1,0$ MPa).



Figura 5.4 – Ensayo de compresión de cubos (Valle, 2019)

Ensayo de tracción indirecta en emparedados. La resistencia a la compresión se obtiene mediante el ensayo a tracción indirecta, con probetas de dos adobes unidos por mortero de barro. Valle (2019), preparó 6 emparedados de adobe con la finalidad de conocer la resistencia a tracción en la interfase mortero – unidad (Figura 5.5). Los resultados del ensayo arrojaron un esfuerzo máximo de tracción promedio en la interfase mortero – unidades de 0,05 MPa, valor mayor al esfuerzo último indicado en la Norma (0,012 MPa).



Figura 5.5 – Ensayo de tracción indirecta en emparedados (Valle, 2019)

Ensayo de compresión axial en pilas de adobe. El ensayo de compresión en pilas permite calcular el módulo de elasticidad en la dirección perpendicular a las hiladas de adobe y determinar el esfuerzo de compresión admisible. Valle (2019), preparó cuatro pilas cuyas dimensiones fueron de 210 mm x 210 mm, una altura de 700 mm y una esbeltez de 3,3 (Figura 5.6). Se obtuvo un esfuerzo de compresión último promedio de la pila de adobe de 1,07 MPa (mayor a lo recomendado por la Norma E.080). Además, el esfuerzo admisible de compresión de la pila fue 0,43 MPa. Se obtuvo un módulo de elasticidad promedio de 205 MPa.



Figura 5.6 – Ensayo de compresión axial en pilas de adobe (Valle, 2019)

Ensayo de compresión diagonal en muretes. El ensayo de compresión diagonal permite determinar la resistencia al corte de la mampostería de adobe en el plano del muro y determinar el módulo de rigidez. Valle (2019), elaboró 4 muretes de adobe de 650 x 650 x 210 mm. Se obtuvo una resistencia a tracción por flexión f_t' promedio igual a 0,044 MPa (valor mayor a la resistencia última indicada en la Norma E.080). Además, se obtuvo un esfuerzo admisible de corte de 0,018 MPa. Finalmente, el módulo de corte G_m obtenido para la albañilería de adobe fue de 92 MPa (Figura 5.7).



Figura 5.7 – Ensayo de compresión diagonal en muretes (Valle, 2019)

Ensayos de compresión en probetas cúbicas de mortero. El objetivo del ensayo es determinar la resistencia última a compresión del material tierra con el que se elaborará el mortero. El ensayo se realiza en cubos de adobe cuya arista tendrá la menor dimensión de la unidad de adobe. Valle (2019), preparó doce probetas cúbicas de mortero de 50 x 50 mm de lado cuya proporción fue de 1 de suelo y 1 de arena, en volumen. Se obtuvo un esfuerzo de compresión promedio de los cubos de mortero de 2,11 MPa, con una desviación estándar de 0,16 y un coeficiente de variación del 8% (Figura 5.8).



Figura 5.8 – Ensayo de compresión en probetas cúbicas de mortero (Valle, 2019)

Ensayo de tracción de drizas. El objetivo es obtener el esfuerzo último y el módulo de elasticidad del material. El ensayo permite ensayar cuerdas de distintos diámetros. Valle (2019), ensayó a tracción cinco probetas de drizas de 5/32'', tres de 1/4'' y tres de 1/8'' en la Máquina Universal (Figura 5.9). Cada probeta tuvo una longitud de 500 mm. La driza de 5/32'' de diámetro resistió una fuerza máxima de 2,5 kN y un esfuerzo máximo de 184 MPa. Su módulo de elasticidad promedio fue de 411 MPa. La driza de 1/4'' de diámetro resistió una fuerza máxima de 4,22 kN y obtuvo un módulo de elasticidad de 350 MPa. La driza de 1/8'' resistió una fuerza máxima de 1,4 kN y obtuvo un módulo de elasticidad de 600 MPa.



Figura 5.9 – Ensayo de tracción de drizas (Valle, 2019)

Ensayo de tracción de caña carrizo. El ensayo permite obtener el esfuerzo último y el módulo de elasticidad del material. Valle (2019), realizó el ensayo de tracción de caña carrizo (Figura 5.10). La caña ensayada resistió un esfuerzo máximo de 137 MPa. Se obtuvo módulo de elasticidad promedio fue de 250 MPa, con una desviación estándar de 30 y un coeficiente de variación de 12%.



Figura 5.10 – Ensayo de tracción de caña carrizo (Valle, 2019)

5.2 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL MODELO DE VIVIENDA DE ADOBE DE DOS PISOS

La construcción de cada modelo se realizó de acuerdo a la secuencia que se sigue en las construcciones de adobe de la sierra. Asimismo, se consideró los manuales de construcción de viviendas de adobe de un piso reforzadas con cuerdas. Cabe resaltar que la construcción de los modelos se realizó sobre el anillo de cimentación el cual sirvió como elemento de soporte y anclaje a la mesa vibradora.

Construcción del anillo de cimentación. Las dimensiones de la sección transversal del anillo son 0,30 x 0,35 metros. En primer lugar, se realizó el montaje de la armadura. Luego se montó el encofrado de manera que esté debidamente apuntalado y arriostrado. Asimismo, se colocaron los ganchos, estos ganchos sirven para el izaje del modelo. Se colocaron cuatro tubos de PVC en las orejas de la cimentación para asegurar el orificio por el cual se efectuó el anclaje del modelo en la mesa vibradora.

Posteriormente se realizó el vaciado de concreto y vibrado. Finalmente, después del desencofrado, la superficie de la viga de cimentación se limpió, ralló y humedeció antes de la aplicación de la capa de mortero para la primera hilada de adobes. La Figuras 5.11 muestra el proceso constructivo del anillo de cimentación.



a) Instalación del encofrado



b) Montaje de la armadura



c) Acabado del concreto luego del vaciado



d) Anillo de cimentación finalizado

Figura 5.11 – Proceso constructivo del anillo de cimentación

Elaboración de los adobes. Se realizaron dos tipos de adobes, adobes cuadrados y medios adobes, los cuales se usaron en las esquinas de los muros para el amarre de hiladas. Los adobes cuadrados tenían una dimensión de $0,22\text{m} \times 0,22\text{m} \times 0,05\text{m}$, y los medios adobes tenían una dimensión de $0,11\text{m} \times 0,22\text{m} \times 0,05\text{m}$. En la Figura 5.12, se muestran los adobes empleados para la construcción del modelo.



Figura 5.12 - Adobes utilizados en la construcción del modelo

Preparación del mortero. La proporción del mortero es la que resultó de las pruebas del emparedado (tierra – arena de 1:1). En la Figura 5.13 se aprecia la preparación del mortero para las juntas de adobe.



Figura 5.13 - Preparación de mortero para juntas de adobe

Construcción de los muros de mampostería de adobe. Los muros se construyen asentando los adobes sobre una capa de mortero de 0,08 cm de espesor. En primer lugar, se asentaron los adobes maestros de acuerdo al emplantillado. Después, mediante el uso de un cordel, se asentaron los demás adobes hasta completar la primera hilada. La construcción de los muros de adobe se desarrolló a manera de 5 hiladas por día hasta completar el levantamiento del muro. Los adobes fueron remojados antes de asentarlos para evitar que absorban el agua del mortero (Figura 5.14). Se colocó el dintel de caña correspondiente a los vanos de la puerta y ventanas y enseguida se continuó con el levantamiento de los muros del primer nivel. Se realizó un procedimiento similar para el levantamiento de los muros del segundo nivel y el tímpano. Asimismo, se corroboró que las paredes estén a plomo empleando reglas de madera, cordel y nivel de mano.



Figura 5.14 - Asentado de bloques de adobe en segundo nivel

Construcción de la viga collar. Para la elaboración de las vigas collar se utilizó madera, las dimensiones del larguero fueron 3"x2"x2,06 metros (anterior y posterior) y 3"x2"x1,82 metros (lateral izquierdo y lateral derecho). Para los travesaños se emplearon piezas de madera de 1 1/2"x2x0,14 metros. Los travesaños se colocaron a una distancia aproximada de 0,22 metros unas de otras. Después de colocar la viga collar sobre los muros, se rellenaron los espacios entre travesaños con barro y medios adobes. La Figura 5.15 muestra la construcción de la viga collar.



a) Construcción de la viga collar



b) Viga collar finalizada

Figura 5.15 - Construcción de viga collar

Instalación de viguetas y entablado. Las viguetas son de madera de 2"x3"x2,22 metros y están espaciadas a una distancia no menor de 0,26 metros en el primer entrepiso y 0,42 metros en el segundo entrepiso. Las viguetas se fijaron sobre la viga collar mediante clavos. La vigueta debe sobresalir 0,20 cm a cada lado. En la Figura 5.16 se aprecia la instalación de las viguetas en el segundo nivel del modelo.



Figura 5.16 - Instalación de viguetas en el segundo nivel

Los entablados son de madera de 1"x6"x 2,06 metros y fueron fijados mediante clavos a las viguetas. El entablado se colocó en el primer y el segundo entrepiso.

Instalación del techo de teja andina. Previo a la instalación de la teja andina, se emplazaron las correas sobre la viga collar y fueron fijadas mediante clavos, a una distancia no menor de 0,60 metros unas de otras. Las correas son de madera y tienen las dimensiones de 2"x2"x 2,06 metros. En la Figura 5.17 se muestra las correas del techo.



Figura 5.17 - Correas para soporte del techo

Para la instalación del techo se utilizaron planchas de tejas andinas en todos los modelos. Éstas fueron fijadas sobre las correas mediante tirafones, que son ganchos especiales hechos en obras, con un diámetro mínimo de ¼" o ganchos chatos. El techo es de material liviano. La figura 5.18 muestra la instalación del techo en el módulo.



Figura 5.18 - Instalación de teja andina

Instalación del refuerzo de malla de cuerdas. Previo a la instalación del refuerzo en los muros, se realizaron perforaciones en los muros del módulo. La función de la perforación es dejar pasar la cuerda de refuerzo, ésta se hizo en las juntas de mortero de adobe para evitar el daño de la estructura. Las perforaciones para el refuerzo vertical, horizontal y los *cross tie* (cuerdas de amarre) se realizaron con un taladro y un juego de brocas de ¼" de diámetro. Las perforaciones se realizaron en las juntas verticales próximas a las esquinas de los muros para la instalación de las cuerdas horizontales. También se realizaron perforaciones en las juntas horizontales en zonas cercanas al

entrepiso para la instalación del refuerzo vertical. De igual forma se realizaron perforaciones en las caras de los muros para la instalación de los *cross tie*. La Figura 5.19 muestra las perforaciones para el refuerzo de driza en el segundo nivel del módulo.



Figura 5.19 - Perforación para el refuerzo de driza

Para el refuerzo vertical, horizontal y *cross tie*, se utilizó driza de 1/8" de diámetro como la que se aprecia en la Figura 5.20.



Figura 5.20 - Driza de 1/8" usada para el reforzamiento

Para la instalación del refuerzo de la malla de cuerdas se debe limpiar la superficie de la pared con el propósito de eliminar el barro seco. El procedimiento de amarre se inicia con el nudo 8 para después pasar por el centro del nudo la cuerda vertical, luego se jalan los extremos de las cuerdas y se tensa; finalmente se debe ajustar con nudos simples. El procedimiento de amarre se observa en la Figura 5.21.

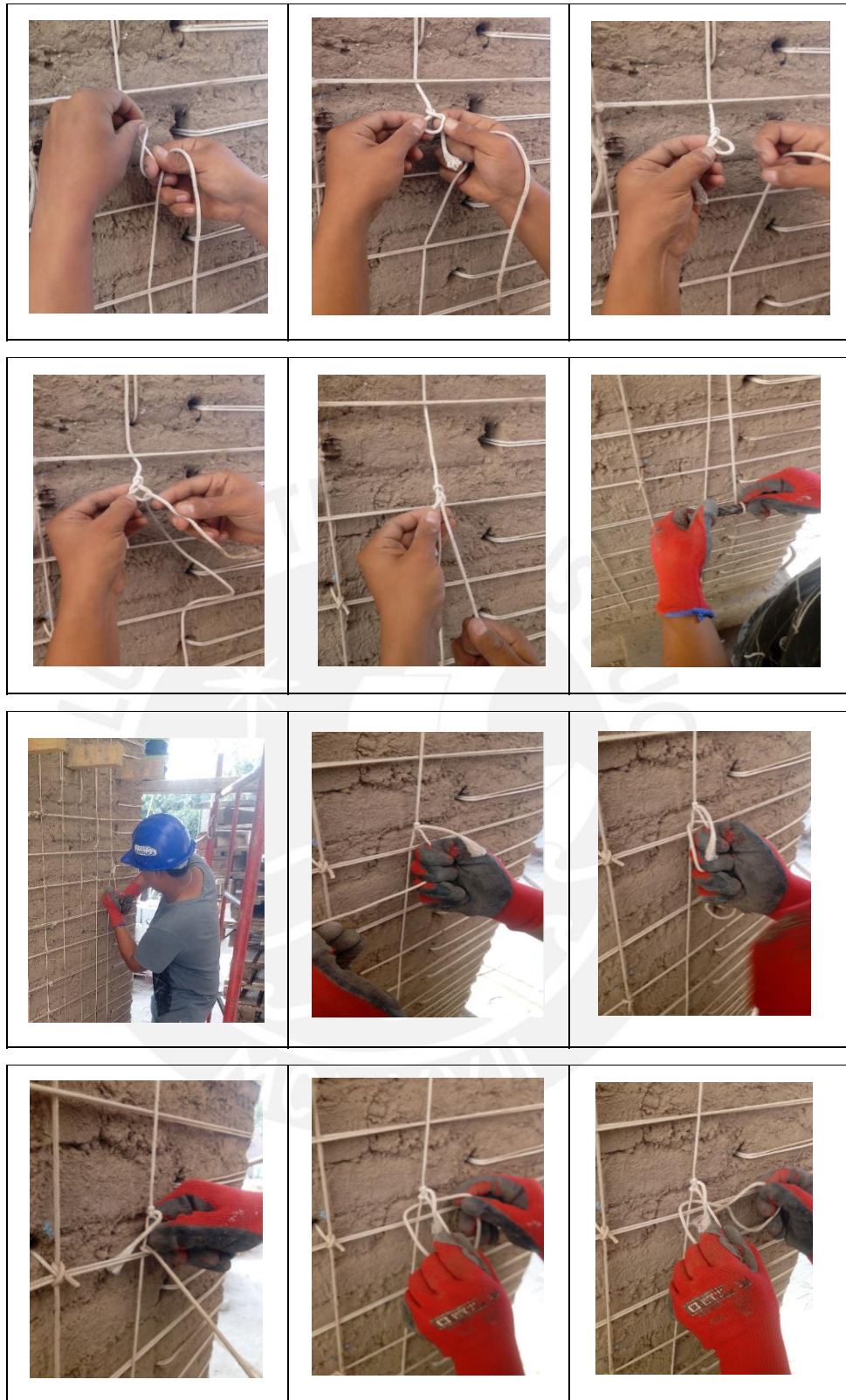


Figura 5.21 - Realización del nudo 8, tensado y doble nudo

El refuerzo se inició colocando y tensando las cuerdas verticales. Las cuerdas verticales envolvieron las dos caras del muro desde su base hasta el muro del nivel superior, creando así una conexión entre muros y una conexión con la viga collar. Luego se colocaron las cuerdas

horizontales. Las cuerdas horizontales se pasaron por encima y por debajo de las cuerdas verticales creando así una malla. Se aseguró que las cuerdas de borde envuelvan las esquinas de las paredes y que éstas sean amarradas con la nueva cuerda horizontal. Para el refuerzo horizontal se usó doble cuerda mientras que para el refuerzo vertical solo una cuerda. La Figura 5.22 muestra la instalación de la cuerda vertical en el segundo nivel.



Figura 5.22 - Colocación de la cuerda vertical en el módulo de adobe

Las mallas fueron fijadas a los muros con nudos simples mediante *cross tie*. Luego, se cortó los pedazos sobrantes de las cuerdas y quemaron las puntas para evitar que se deshilachen, tal y como se muestra en la Figura 5.23.



Figura 5.23 - Quemado de puntas del reforzamiento interior en módulo de adobe

Las Figuras 5.24 y 5.25, muestran los modelos de vivienda de adobe de dos pisos sin refuerzo y con refuerzo.



Figura 5.24 - Módulo de adobe sin refuerzo



Figura 5.25 - Módulo de adobe reforzado

Capítulo 6

Ensayos de simulación sísmica

Los cuatro modelos a escala reducida, dos reforzados con malla de cuerdas y dos sin reforzar, fueron sometidos a ensayos de simulación sísmica unidireccionales. El objetivo fue estudiar el comportamiento de las viviendas de adobe de dos pisos con refuerzo y sin refuerzo ante un evento sísmico.

Todos los modelos fueron sometidos a distintas fases de desplazamiento, de manera que se fueran dando de manera incremental hasta someterlos a la máxima amplitud de desplazamiento ejercida por la mesa vibradora del Laboratorio de Estructuras de la PUCP. La señal empleada para los ensayos fue Áncash, 31 de mayo de 1970.

6.1 COMPORTAMIENTO DE LOS MODELOS SIN REFUERZO ANTE EL ENSAYO SÍSMICO

Se ensayó un primer modelo sin refuerzo hasta una tercera fase de 37,5mm debido a que el modelo se encontraba próximo al colapso. La primera fase consistió en un desplazamiento de 15mm, ocurrieron fisuras superficiales en el tarrajeo; la segunda fase un desplazamiento de 30mm, se observó un daño considerable originándose grietas horizontales y diagonales en los vanos; la tercera fase un desplazamiento de 37,5mm, las grietas de la fase anterior se extendieron y se formaron nuevas grietas diagonales que se cruzaban entre sí (Figura 6.1).



a) Módulo sin refuerzo previo al ensayo b) Módulo sin refuerzo luego del ensayo (D=37,5mm)

Figura 6.1 – Ensayo sísmico del modelo sin refuerzo, URM-2S-1

Luego se realizó un nuevo ensayo para otro modelo sin refuerzo. En este ensayo, se realizaron tres fases, que fueron 45mm, 60mm y 90mm. La primera fase consistió en un desplazamiento de 45mm, se observó un daño severo en la estructura pues se formaron grietas horizontales y diagonales en ambos niveles; la segunda fase un desplazamiento de 60mm, se observó un daño considerable pues las grietas de la fase anterior se extendieron, la estructura estaba próxima al colapso; la tercera fase un desplazamiento de 90 mm, como era de esperarse el modelo colapsó (Figura 6.2).



a) Módulo sin refuerzo previo al ensayo b) Módulo sin refuerzo luego del ensayo (D=90mm).

Figura 6.2 – Ensayo sísmico del modelo sin refuerzo, URM-2S-2

6.2 COMPORTAMIENTO DE LOS MODELOS CON REFUERZO ANTE EL ENSAYO SÍSMICO

Un primer ensayo consistió en someter al primer modelo reforzado a señales con desplazamientos máximos de 15mm, 30mm y 60mm. La primera fase consistió en un desplazamiento máximo de 15mm, se generaron fisuras superficiales en el tarrajeo; la segunda fase consistió en un desplazamiento máximo de 30mm, se generaron grietas horizontales en menor cantidad en comparación con el modelo ensayado sin refuerzo; la tercera fase consistió en un desplazamiento máximo de 60mm, las grietas horizontales se extendieron, se produjo la formación de un plano de falla horizontal originándose un deslizamiento relativo entre los muros del primer y segundo nivel (Figura 6.3).



a) Primer módulo con refuerzo previo al ensayo

b) Primer módulo con refuerzo luego del ensayo (D=60mm).

Figura 6.3 – Ensayo sísmico del primer modelo con refuerzo, SRM-2S-1

Para el segundo módulo reforzado se realizó el ensayo en dos fases, la primera fase consistió en un desplazamiento de 60mm, se produjeron grietas horizontales y diagonales, formándose bloques rígidos en los muros, también se produjo un plano de falla horizontal; la segunda fase también se realizó un desplazamiento de 60mm, los bloques rígidos se tambaleaban, ocurrió un deslizamiento en el plano de falla formado anteriormente (Figura 6.4).



a) Segundo módulo con refuerzo previo al ensayo b) Segundo módulo con refuerzo luego del ensayo (D=60mm).

Figura 6.4 – Ensayo sísmico del segundo modelo con refuerzo, SRM-2S-2

En ambos casos, se determinó que la malla de cuerdas sintéticas en los módulos evitó el colapso inminente de la estructura de adobe de dos pisos. Gracias al refuerzo, las estructuras reforzadas fueron capaces de soportar con éxito los ensayos. Sin embargo, a pesar de que la malla de cuerdas sintéticas no evita que se generen grietas que originen la formación de bloques de adobe, el refuerzo reduce los desplazamientos aproximadamente en un 40% y controla el volteo de estos evitando el colapso inminente de la estructura (Yallico, 2020).

Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones

El uso del adobe como material de construcción para viviendas de adobe de dos pisos, es utilizado principalmente por las personas de pocos recursos económicos. Esto se debe a que el principal material de construcción, la tierra, es fácil de conseguir. Sin embargo, debido a la falta de conocimientos técnicos y su mala ubicación, en zonas sísmicas, pone en peligro la vida de muchas personas. A esto se suma que gran cantidad de las viviendas particulares en zonas rurales son de adobe o tapia. Estas viviendas no cuentan con ningún tipo de refuerzos estructural. A lo largo de la historia del Perú se ha evidenciado que los sismos y terremotos, han dejado gran cantidad de pérdidas de vida humana, damnificados y numerosos daños materiales. Por lo tanto, resulta crucial estudiar refuerzos sísmicos viables y económicos para viviendas de adobe de dos pisos en el Perú.

La Norma E0.80 (2017) brinda muy poca información de las construcciones en adobe de dos pisos, limitando su construcción en zonas sísmicas 1 y 2. Sin embargo, se aprecia que la población también construye viviendas de adobe de dos pisos en las zonas 3 y 4.

Es necesario difundir la importancia del uso del refuerzo sísmico, así como adoptar este y otros sistemas como parte de una cultura de protección pues muchos pobladores construyen sus viviendas de adobe sin considerar la Norma E0.80, los resultados de numerosas investigaciones de sistemas de refuerzo de adobe o los manuales de construcción en adobe.

El refuerzo de malla de cuerdas puede ser implementado tanto, en una vivienda existente como en una nueva construcción de vivienda.

El uso de modelos permite estudiar el comportamiento de las estructuras hasta el colapso, sin poner en riesgo la integridad de los usuarios. Para el presente estudio, luego de realizar los análisis del ensayo correspondientes, se podrá evaluar la eficacia del refuerzo y a su vez, se podrán sugerir mejoras al sistema de refuerzo de malla de cuerdas.

Debido a las restricciones del Laboratorio de Estructuras de la PUCP y el Puente Grúa, es necesario utilizar modelos de viviendas de adobe de dos pisos que permitan estudiar de manera representativa el efecto del refuerzo de malla de cuerdas.

El refuerzo propuesto puede proteger la vida de muchos habitantes en zonas rurales sísmicas, pues éste previene el colapso parcial o total de las viviendas de adobe de dos pisos. El refuerzo de malla de cuerdas no evita que se generen bloques de adobe ni que se generen grietas en las viviendas.

El refuerzo estructural de malla de cuerdas permite una conexión entre los muros del primer y segundo nivel y la cimentación; además, permite el funcionamiento del diafragma de entrepisos. La configuración del refuerzo horizontal mediante cuerdas en los muros de adobe, tienen la función de generar una conexión entre los muros perimetrales, generando un arriostre en los muros.

Es necesario enfatizar que la falta de refuerzo estructural en las viviendas de dos pisos de adobe no es el único problema. Muchas viviendas de adobe son construidas con irregularidades en planta y altura, ausencia de cimentación, ausencia de viga collar, ventanas o puertas muy grandes, entre otros.

El refuerzo de malla de cuerdas resulta una solución factible en términos económicos y de accesibilidad pues es un material comúnmente usado en la sierra para diversas actividades. En términos económicos, al realizarse el presupuesto para la construcción de los módulos de adobe, se determinó que la partida drizas es la partida de menor incidencia representando un 4% del presupuesto total.

Para la caracterización de los materiales de todos los modelos, se realizaron todas las pruebas recomendadas por la Norma E0.80. Las pruebas de cinta de barro, prueba de presencia de arcilla, prueba del emparedado, ensayos de compresión en cubos, ensayos de resistencia a la tracción del mortero, ensayo de compresión axial en pilas de adobe, ensayo de compresión diagonal en muretes, ensayos de compresión en probetas cúbicas de mortero, ensayo de tracción de drizas, cumplieron los límites establecidos por la norma.

La construcción de los modelos se realizó de acuerdo a la secuencia que se sigue en las construcciones de adobe de la sierra. También, se consideró los manuales de construcción de viviendas de adobe de un piso reforzadas con cuerdas.

De acuerdo a lo observado en los ensayos sísmicos realizados en los modelos, se evidenció que las viviendas reforzadas con mallas de cuerdas sintéticas mitigaron el daño y evitaron el colapso inminente de los dos módulos de adobe de dos pisos ensayados. Sin embargo, en el caso de los módulos sin reforzar, se presentaron daños considerables en las primeras fases del ensayo.

A partir de los ensayos realizados en los módulos de dos pisos, se aprecia que a pesar de que todos los modelos contaron con vigas collar en cada nivel, sólo los módulos reforzados soportaron con éxito los ensayos sísmicos. Esto indica que el uso de vigas collar en los muros debe ser complementado con el uso de refuerzo.

En el refuerzo de malla de cuerdas, la tensión en las cuerdas se pierde a través del tiempo por lo que se recomienda realizar investigaciones sobre los posibles efectos que pudiesen ocasionar en la integridad de la estructura.

Se recomienda que tanto, el Gobierno como las universidades, promuevan la investigación del sistema de malla de cuerdas con la finalidad de estudiar su comportamiento. Por ello, se espera que a partir de línea de investigación propuesta se desarrollen estudios en viviendas a escala natural y utilizando el refuerzo de malla de cuerdas.

El uso del sistema de refuerzo con malla de cuerdas implica capacitar a los usuarios finales, en la técnica de los nudos, la distribución apropiada del refuerzo, el nivel de tensión de la cuerda. Se recomienda desarrollar campañas de capacitación.

Se recomienda a las organizaciones gubernamentales implementar capacitaciones y realizar el estudio de diferentes tipos de reforzamiento, para evitar numerosas pérdidas de humanas como consecuencia del colapso de las viviendas.

Bibliografía

- AIS. (2004). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Andina. (2011). *Sumaron nueve los fallecidos que dejó deslizamiento de cerro en Cusco*. Obtenido de Andina agencias: <https://andina.pe/agencia/noticia.aspx?id=351631>
- Blondet, M. (2004). *Estudio de Vulnerabilidad de viviendas informales construidas en la región sierra*. Lima, Perú: PROYECTO SENCICO-PUCP D/41.
- Blondet, M., & Vargas, J. (2015). *Casa sismorresistentes y saludables de adobe reforzado con cuerdas*. Lima, Perú: PUCP - SENCICO.
- Blondet, M., & Villa García, G. (2004). *Earthquake resistant earthen buildings?*. 13th World Conference on Earthquake Engineering.
- Blondet, M., & Villa García, G. (2002). *Adobe Construction*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Blondet, M., Torrealva, D., Vargas, J., Velasquez, J., & Tarque, N. (2006). *Seismic Reinforcement of adobe houses using external polymer mesh*. 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC.
- Blondet, M., Vargas, J., & Tarque, N. (2018). *Using a nylon rope mesh as seismic reinforcement for earthen constructions*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Blondet, M., Villa García, G., & Brzev, S. (2003). *Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos*. Lima, Perú: Enciclopedia mundial de vivienda del EERI/IAEE.
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., Iwaki, C. (2011). *Construcción sismorresistente en tierra: gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú*. Lima, Perú: Informes de la construcción Vol. 63, 523, 41-50
- Blondet, M., Torrealva, D., Villa García G., Ginocchio, F. (2006). *Refuerzo de construcciones de adobe con elementos producidos industrialmente: ensayos de simulación sísmica*. Lima, Perú: Proyecto DAI 3088
- Carazas, W. (2001). *Vivienda urbana popular de adobe en el Cusco, Perú*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. : <http://unesdoc.unesco.org>
- Cardona, O., Yamin, L., Philips, C., Reyes, J., Rivero, S., & Arias, R. (2004). *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas adobe y Tapia pisada*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- CEPREDENAC. (2011). *Cartilla Reforzamiento de estructuras Típicas de América Central*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central.
- Chácará, C. (2013). *Evaluación Estructural de Construcciones Históricas en la Costa Peruana Utilizando Tecnologías Modernas : El Caso del Hotel El Comercio en Lima*. Lima: Tesis de pregrado.
- CORREO. (2019). *Un muerto y 20 familias damnificadas deja desborde de río Pomabamba*. Recuperado el Enero de 2020, de Diario Correo: <https://diariocorreo.pe/edicion/chimbote/un-muerto-y-20-familias-damnificadas-deja-desborde-de-rio-pomabamba-869248/?ref=dcr>
- D. Torrealva y J. Acero, (2005). *Reinforcing adobe buildings with exterior compatible mesh. The final solution against the seismic vulnerability*. Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Delgado, E. (2006). *Comportamiento sísmico de un módulo de adobe de dos pisos con refuerzo horizontal y confinamiento de concreto armado*. Lima, Perú: Tesis de grado.
- Guardia, P. (2011). *Determinación de la superficie de acoplamiento sísmico interplaca en el borde occidental del Perú*. Arequipa, Perú: Tesis de Grado.
- Gutierrez, L., & Manco, M. (2006). *Características Sísmicas de las Construcciones de Tierra en el Perú: Contribución a la Enciclopedia Mundial de Vivienda*. Lima, Perú: Tesis de Grado.
- Harris, H., & Sabnis, G. (1999). *Improved seismic-resistant design of adobe houses in vulnerable areas in Peru- Raising seismic awareness in an Andean community*. Florida, Usa: 2a edición, CRC Press.

- IGP. (2019). *Mapa Sísmico del Perú*. Obtenido de Instituto Geofísico del Perú: <https://scts.igp.gob.pe/unidad-sismologia/mapa-sismico>
- INDECI. (2006). *Compendio estadístico de prevención y atención de desastres 2006 sismos ocurridos en el Perú*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INEI. (2014). *Vivienda y hogar*. Lima, Perú: Encuesta Nacional de Hogares (ENAHO). Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- INEI. (2017). *CENSOS NACIONALES XII de Población y VII de Vivienda*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Estadística e informática.
- La Torre, E. (2017). *Desarrollo de la construcción de viviendas de adobe sísmicamente reforzadas en el Perú*. Lima: Tesis de pregrado.
- LEDI. (2020). *Mesa Vibradora del laboratorio de la PUCP*. Obtenido de Laboratorio de Estructuras Antisísmicas. "Equipamiento". : <http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/laboratorio/laboratorio-estructuras-antisismicas-ledi/quienes-somos/sobre-el-laboratorio/>
- Mattson, E. (2015). *Improved seismic-resistant design of adobe houses in vulnerable areas in Peru- Raising seismic awareness in an Andean community*. Uppsala, Suecia: Tesis de grado.
- Méndez, J. (2005). *La caña Guadua Angustifolia*. Obtenido de Developpement Durable: http://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FICHES_ARBRES/bambou/La%20ca%C3%B1a%20guadua_Guadua%20Angustifolia.pdf
- Montoro, B., & Ferradas, P. (2005). *Reconstrucción y gestión de riesgo: una propuesta técnica y metodológica*. Lima, Perú: ITGD.
- Morán, J. (2015). *Construir con Bambú (Caña de Guayaquil)*. Lima, Perú: Manual de Construcción.
- Otazzi, G., Yep, J., Blondet, M., Villa García, G., & Ginocchio, F. (1989). *Ensayos de Simulación sísmica en Viviendas de Adobe*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Prodac. (2019). *Especificación técnica de Malla electrosoldada*. Obtenido de PRODAC: <https://prodac.bekaert.com/es-MX/infraestructura/refuerzo-de-concreto/malla-electrosoldada>
- Prodac. (Enero de 2020). *Catálogo Técnico Building*. Obtenido de Prodac: <https://prodac.bekaert.com/es-MX/la-empresa/biblioteca-de-catalogos-y-tripticos>
- Prodac. (Enero de 2020). *Geomallas Biaxial Extruida TG 2020 - S*. Obtenido de Prodac: <https://prodac.bekaert.com/>
- Quispe, J., Arias, T., & Maquel, P. (2005). *El Problema de la Vivienda en el Perú: Retos y Perspectivas*. INVI, 20-44.
- Rodriguez, A. (2007). *Modelación estructural para cargas sísmicas*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 16(23), 25-38.
- San Bartolomé, A. (2013). *Investigaciones en Adobe, Tapial y Piedra*. Obtenido de Blog de Investigaciones del Ingeniero Angel San Bartolomé: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/adobetapial/2013/04/09/investigaciones-en-adobe-tapial-y-piedra/>
- San Bartolomé, A., & Quiun, D. (2015). *Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe típicas en el Perú*. Lima, Perú: Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.
- San Bartolomé A., Quiun D., Zegarra L. (2003). *Técnicas para el reforzamiento sísmica de viviendas de adobe*. Lima, Perú: XIV Congreso Nacional de Ingeniería sísmica. Guanajuato-León, México.
- Norma E.080. *Diseño y Construcción con tierra reforzada*. Lima, Perú: Ministerio de vivienda, construcción.
- Serrano, M. (2016). *Herramientas de Capacitación en reforzamiento con malla de cuerdas de viviendas de adobe autoconstruidas en áreas sísmicas*. Lima, Perú: Tesis de grado.
- Solís, M., Torrealva, D., Santillán, P., & Montoya, G. (2015). *Análisis del comportamiento a flexión de muros de adobe reforzados con geomallas*. Informes de la Construcción.
- Sosa, C & Soto, E. (2014). *Reparación de muros de construcciones históricas de tierra mediante el sellado de fisuras y refuerzos estructurales adicionales*. Lima, Perú: Tesis de grado.

- Tarque N., Varum H., Camata G., Blondet M. y Espacone E. (2010). *Numerical modelling of in- plane behaviour of adobe walls*. Aveiro, Portuga: Sísmica 2010 – 8vo Congresso de Sismología e Engenharia Sísmica.
- Torrealva, D., & Acero, J. (2005). *Reinforcing adobe buildings with exterior compatible mesh. The final solution against the seismic vulnerability*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Torres, C., & Jorquera, N. (2018). *Técnicas de refuerzo para la recuperación estructural del patrimonio arquitectónico chileno construido en adobe*. Santiago, Chile: Informes de la Construcción.
- USGS. (2011). *Slab model for Subduction Zones*. Obtenido de The united states Geological Survey: <http://earthquake.usgs.gov/research/data/slab/>
- Valle. (2019). *Evaluación experimental del comportamiento de muros de adobe reforzados con cuerdas sometidos a carga lateral cíclica*. Lima, Perú: Tesis de grado.
- Vargas, J., & Blondet, M. (2007). *Construcción de casa saludables y sismorresistentes de adobe reforzadas con geomallas – Zona Sierra*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Velarde, G. (2014). *Análisis de vulnerabilidad sísmica en viviendas de dos pisos de adobe existente en Lima*. Lima, Perú: Tesis de Grado.
- Vidal, M. (2002). *Optimización de costos en carreteras aplicando el sistema de refuerzo con geomallas*. Lima, Perú: Tesis de Grado.
- Yallico R., (2020). *Evaluación de malla de cuerdas sintéticas como sistema de refuerzo para viviendas de adobe de dos pisos en el Perú mediante ensayos de simulación sísmica*. Lima, Perú: Tesis de Grado.
- Yamín, L., Phillips, C., & Ruiz, D. (2007). *Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas de adobe y tapia pisada*. Bogotá, Colombia: Scielo.
- Zegarra, L., Quiun, D., & San Bartolomé, A. (2001). *Comportamiento ante el terremoto del 23-06-2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Arica*. Puno, Perú: XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Colegio de Ingenieros del Perú.

APÉNDICE A

Materiales y presupuesto

MATERIALES

a) Acero de Refuerzo

Las barras de acero para el refuerzo y el anclaje serán de fierro corrugado - ASTM A615, Grado 60. El límite de fluencia del acero será, como mínimo, 411,87 MPa. Las dimensiones empleadas serán 1/2", 8mm y 5/8".

b) Concreto

El concreto estará compuesto de cemento, agua y agregados. La trabajabilidad, densidad, impermeabilidad, durabilidad y resistencia requerida de la mezcla, así como su relación agua-cemento, se conseguirán usando de la cantidad mínima necesaria de cemento. El concreto tendrá una resistencia ($f'c$) de 20.59MPa

c) Tierra chacra

La tierra chacra será empleada para la elaboración de adobes, mortero y tarrajeo. Ésta deberá contener una mezcla de grava, área y arcilla. Asimismo, para determinar si el suelo es adecuado o no se deberán realizar las pruebas necesarias. Es importante que la tierra no contenga materia orgánica ni salitre.

d) Caña

Se utilizará caña carrizo de sección transversal redonda, su diámetro será variable entre 3/4" y 1".

e) Madera

La madera a emplear será del grupo C con una densidad de 3.92 kN/m³ según se especifica en la Norma E.010 Madera.

f) Driza

Para el refuerzo de malla de cuerdas se utilizará una cuerda de nylon de 1/8" de diámetro.

g) Teja andina

La teja andina tendrá un largo de 1,14 metros, un ancho de 0,72 metros y un espesor de 5mm. El traslape mínimo de las planchas será de 5 cm lateral y 10 cm longitudinal. Para el montaje de las planchas será necesario emplear tirafones.

PRESUPUESTO

El presupuesto de los materiales de construcción necesarios para el modelo reforzado con malla de cuerdas se presenta en la siguiente tabla.

Partidas	Und	Metrado	PU (material)	Parcial
Vigas de cimentación				
Concreto para vigas de cimentación $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	m ³	0,87	S/302,50	S/263,18
Encofrado y desencofrado de vigas de cimentación	m ²	18	S/78,00	S/1 404,02
Acero corrugado $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ grado 60 de 1/2"	varilla	9	S/33,67	S/288,10
Acero corrugado $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ grado 60 de 8mm	varilla	8	S/13,48	S/107,80
Acero corrugado $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ grado 60 de 5/8"	varilla	5	S/76,15	S/380,74
Trabajos con adobe				
Tierra de chacra (para adobes, mortero, tarrajeo)	m ³	10,12	S/178,75	S/1 809,24
Adobe de 0,22 m x 0,22 mx 0,05 m	Und	1 673	S/1 787,50	S/2 990,49
Arena gruesa para adobes	m ³	2,02	S/103,13	S/208,76
Tierra para tarrajeo completo del módulo	m ³	0,88	S/178,75	S/156,41
Tierra para el mortero de asentado	m ³	5,25	S/178,75	S/938,44
Paja de arroz	bolsas	2	S/110,00	S/220,00
Trabajos con maderas				
Viga collar				
Madera 3" x 2" x 8' (2,44m)	Und	24	S/27,36	S/656,70
Madera 1 1/2" x 2" x 10,5' (0,10m)	Und	12	S/10,86	S/130,35
Viguetas				
Madera 2" x 3" x 8'	Und	9	S/27,36	S/246,26
Madera 2" x 3" x 8'	Und	6	S/27,36	S/164,18
Losas (entablado)				
Madera 1" x 6" x 10,5'	Und	10	S/27,36	S/273,63
Correas				
Madera 2" x 2" x 8'	Und	4	S/15,88	S/63,53
Tejas				
Teja andina 1,14 m x 0,72 m	Und	12	S/39,88	S/478,50
Tirafones	Und	36	S/1,38	S/49,50
Otros materiales				
Drizas	kg	12	S/41,25	S/495,00
Caña carrizo entre 3/4" y 1"	paq 20 cañas	8	S/34,38	S/275,00
Clavos	kg	40	S/9,63	S/385,00
			Precio sin IGV	S/11 984,80
			Total (con IGV)	S/14 142,07

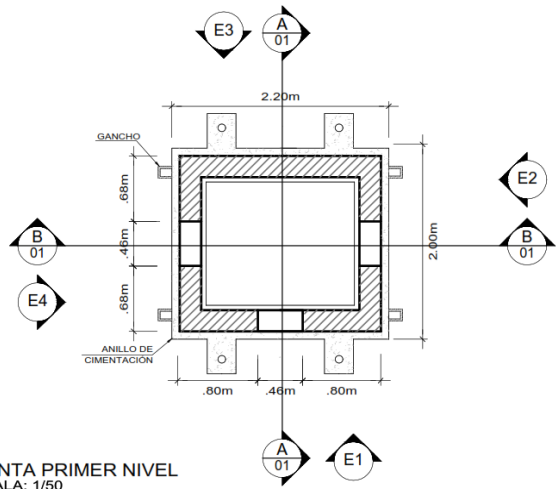
A partir del cuadro anterior el costo de un módulo de adobe reforzado es S/.11 984,80 (sin IGV) y el costo de un módulo de adobe sin reforzar es S/. 11 489,80 (sin IGV).

NOTA: Los precios unitarios observados en la tabla fueron cotizados según precio de mercado.

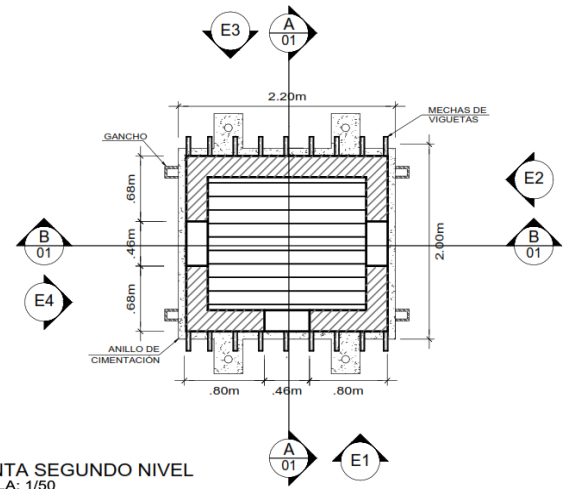
APÉNDICE B

Planos

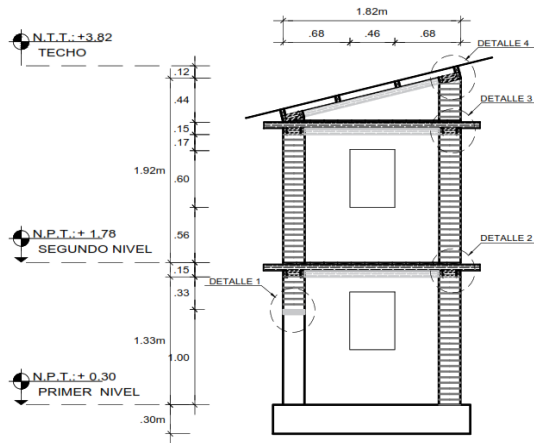




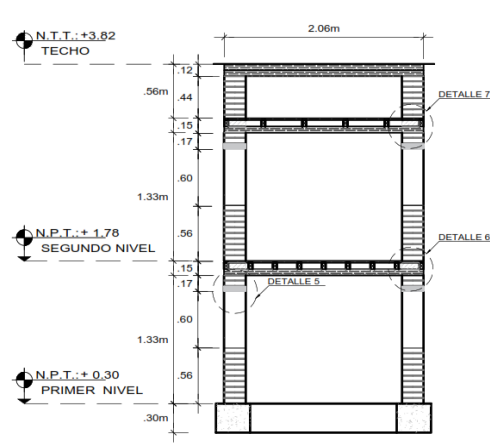
PLANTA PRIMER NIVEL
ESCALA: 1/50



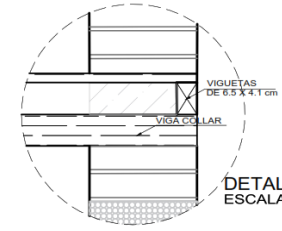
PLANTA SEGUNDO NIVEL
ESCALA: 1/50



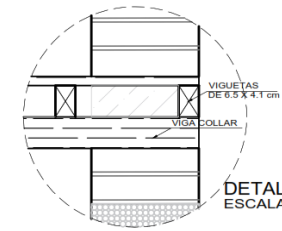
CORTE A - A
ESCALA: 1/50



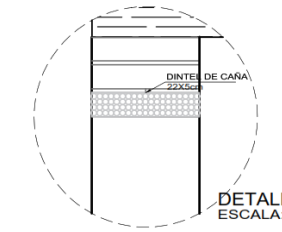
CORTE B - B
ESCALA: 1/50



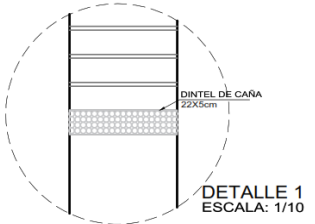
DETALLE 7
ESCALA: 1/10



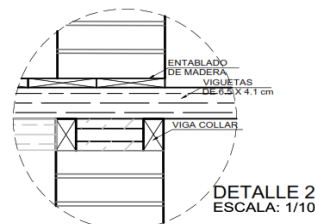
DETALLE 6
ESCALA: 1/10



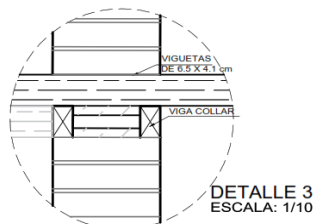
DETALLE 5
ESCALA: 1/10



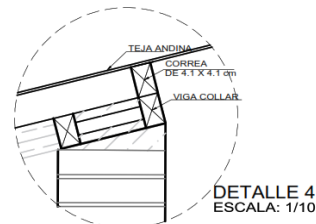
DETALLE 1
ESCALA: 1/10



DETALLE 2
ESCALA: 1/10

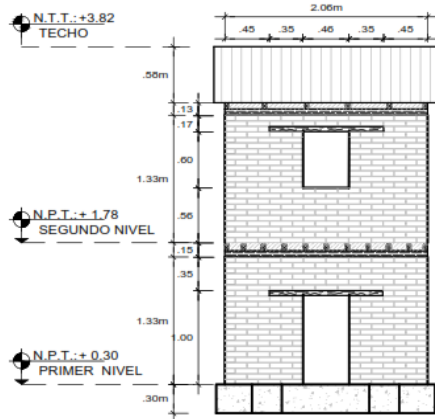


DETALLE 3
ESCALA: 1/10

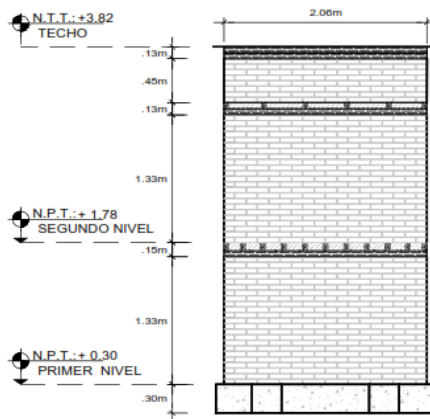


DETALLE 4
ESCALA: 1/10

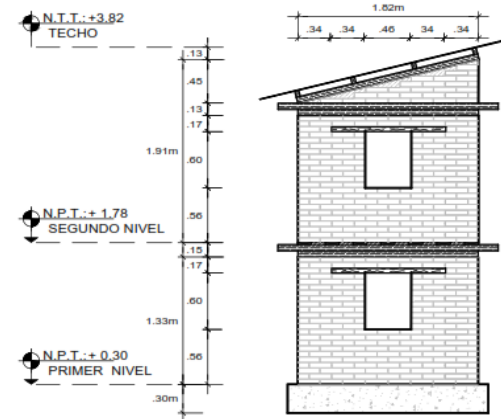
PUCP		Módulo Pullo
Proyecto	Vivienda de adobe de dos pisos reforzada	
Plano	Plantas y cortes	
Referencia	Proyecto Sencillo	
Fecha	Junio 2016	Dibujo L.P.C
		01



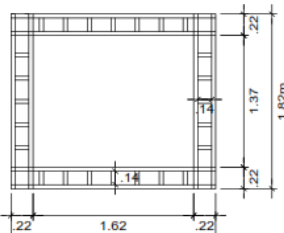
MURO ANTERIOR
ESCALA: 1/50



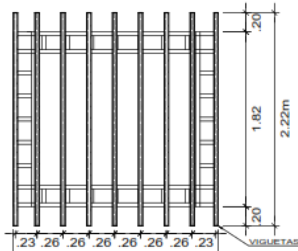
MURO POSTERIOR
ESCALA: 1/50



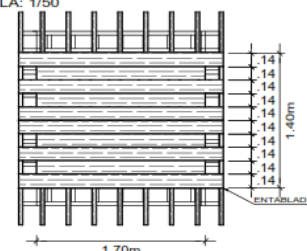
MURO LONGITUDINAL DERECHO
ESCALA: 1/50



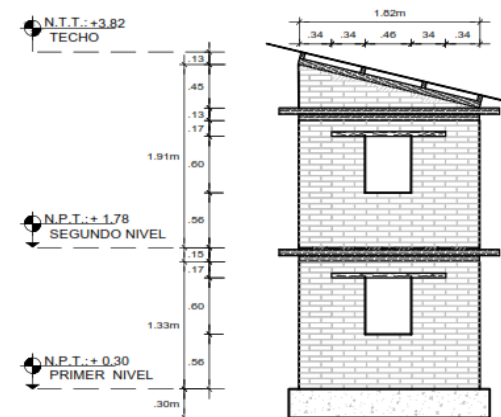
VIGA COLLAR TÍPICA DE ENTREPISO-6.5X4.1cm
ESCALA: 1/50



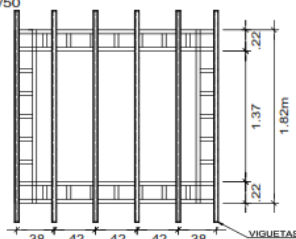
PRIMER ENTREPISO-VIGUETAS 6.5X4.1cm
ESCALA: 1/50



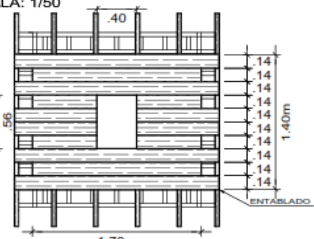
PRIMER ENTREPISO-ENTABLADO 14X1.9cm
ESCALA: 1/50



MURO LONGITUDINAL IZQUIERDO
ESCALA: 1/50



SEGUNDO ENTREPISO-VIGUETAS 6.5X4.1cm
ESCALA: 1/50



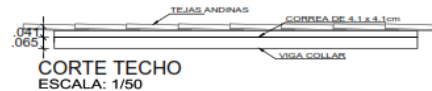
SEGUNDO ENTREPISO-ENTABLADO 14X1.9cm
ESCALA: 1/50



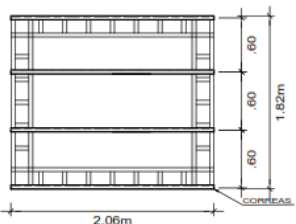
CORTE PRIMER ENTREPISO
ESCALA: 1/50



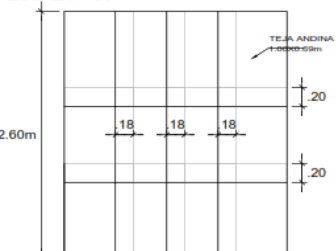
CORTE SEGUNDO ENTREPISO
ESCALA: 1/50



CORTE TECHO
ESCALA: 1/50

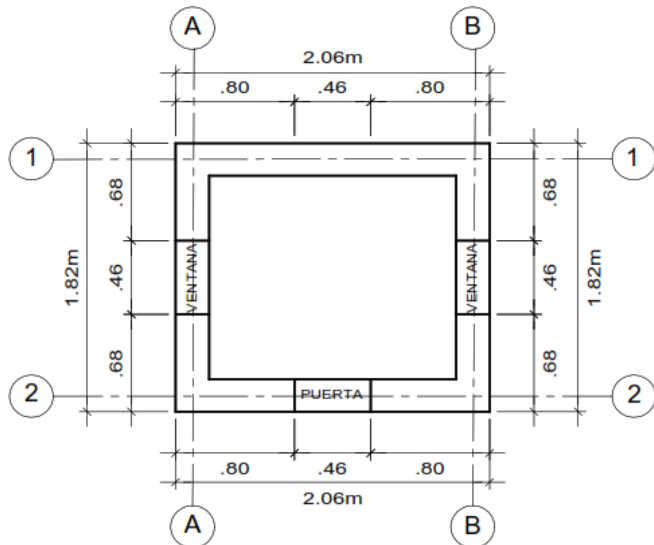


TECHO CORREAS-4.1X4.1cm
ESCALA: 1/50

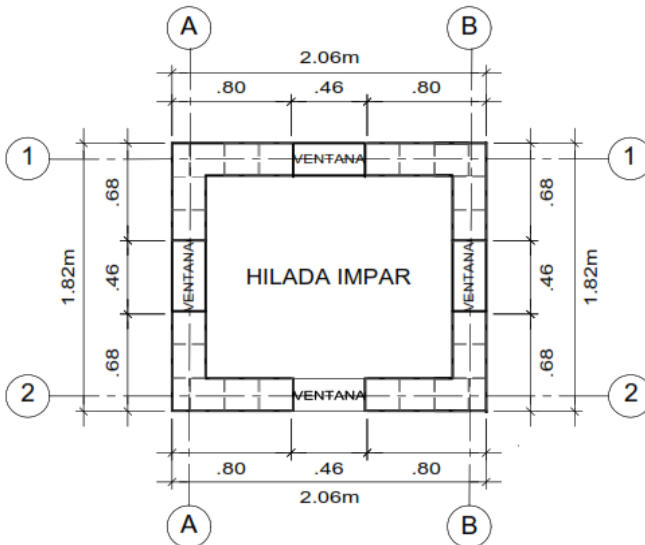


TECHO-TRASLAPOS LATERAL Y LONGITUDINAL
ESCALA: 1/50

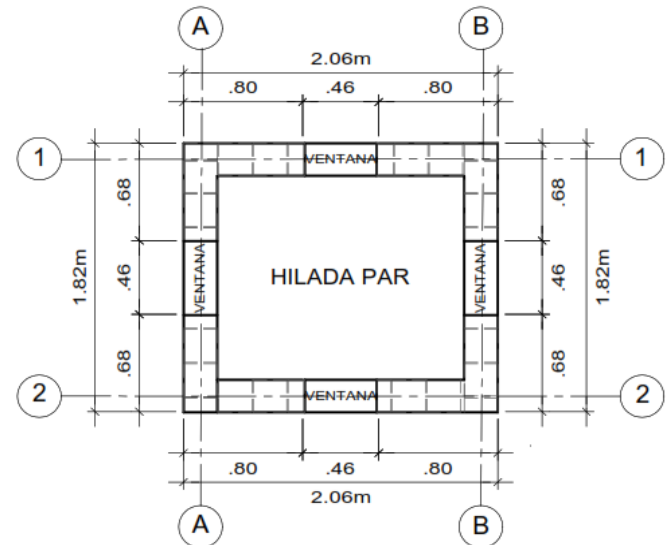
PUCP		Módulo Pullo
Proyecto	Vivienda de adobe de dos pisos reforzada	Lámina
Plano	Primer entrepiso, techo y elevaciones	02
Referencia	Proyecto Sencico	
Fecha	Junio 2016	Dibujo L.P.C



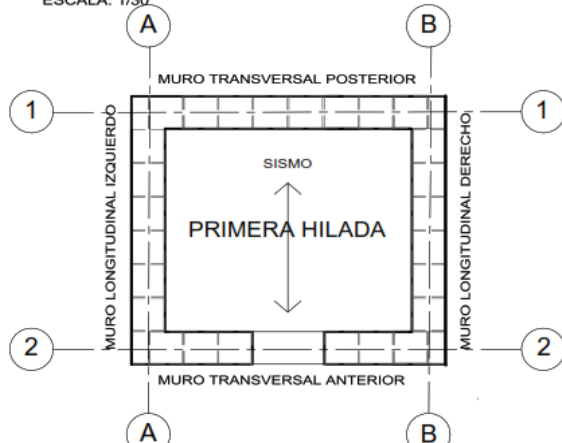
PLANTA
ESCALA: 1/30



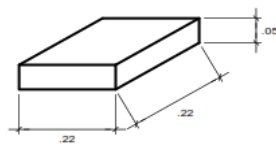
EMPLANTILLADO DE UNIDADES IMPARES
ESCALA: 1/30



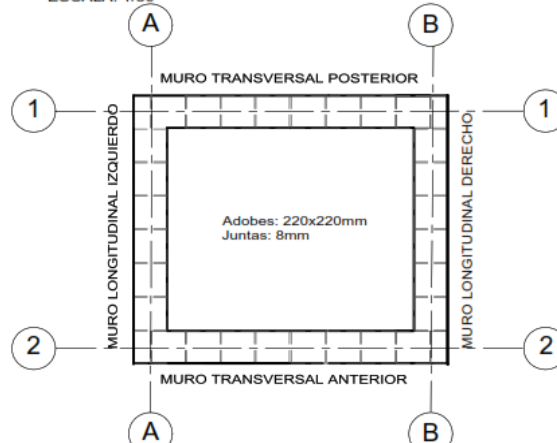
EMPLANTILLADO DE UNIDADES PARES
ESCALA: 1/30



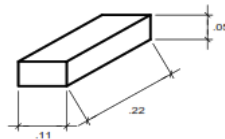
PRIMERA HILADA EN EL ANILLO DE CIMENTACIÓN
ESCALA: 1/30



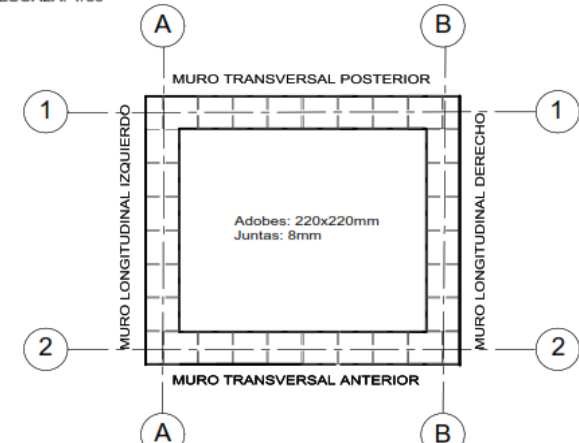
UNIDAD COMPLETA
ESCALA: 1/10



PRIMERA HILADA DEL SEGUNDO NIVEL
ESCALA: 1/30

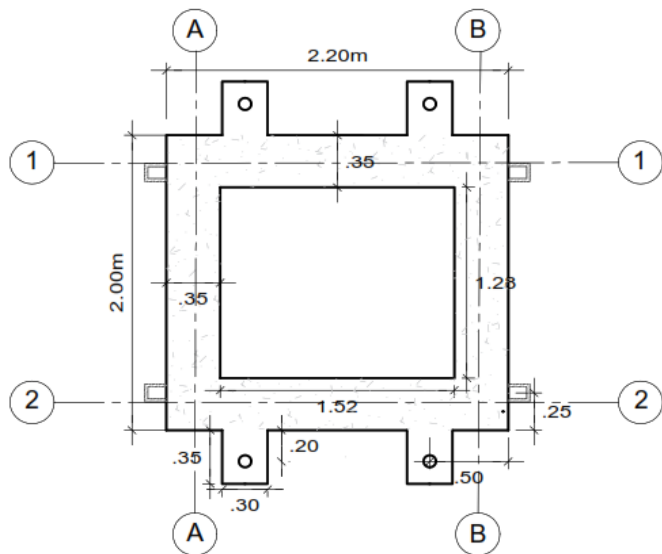


MEDIA UNIDAD
ESCALA: 1/10

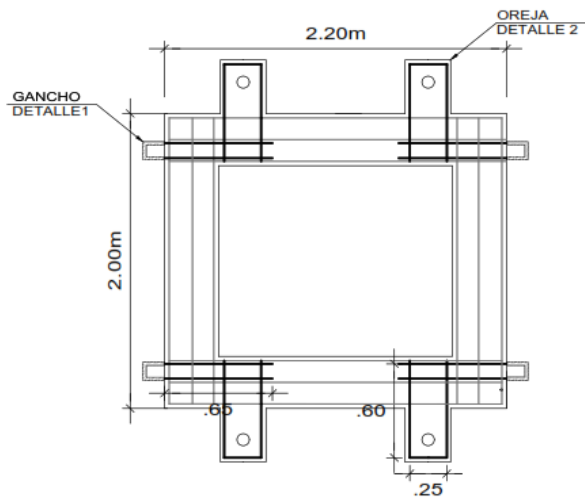


PRIMERA HILADA DEL TERCER NIVEL
ESCALA: 1/30

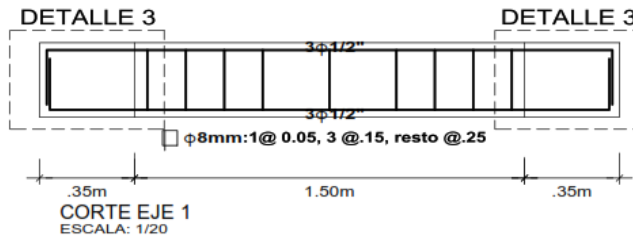
PUCP		Módulo Pullo
Proyecto	Vivienda de adobe de dos pisos reforzada	
Plano	Plantas y Enplantillado	
Referencia	Proyecto Sencico	
Fecha	Junio 2016	Dibujo L.P.C
		03



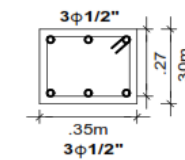
ANILLO DE CIMENTACIÓN
ESCALA: 1/20



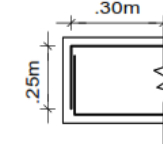
ANILLO DE CIMENTACIÓN-PLANTA ANCLAJES
ESCALA: 1/20



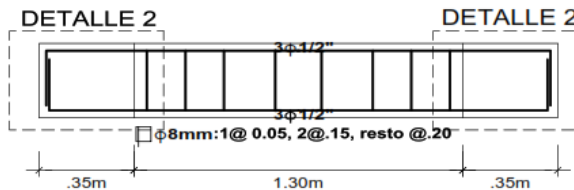
CORTE EJE 1
ESCALA: 1/20



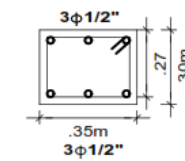
REFUERZO EJE 1
ESCALA: 1/20



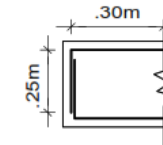
DETALLE 3-ANCLAJE
ESCALA: 1/20



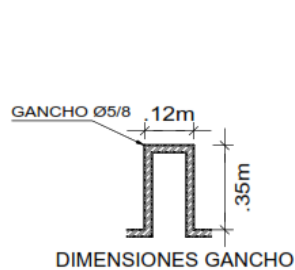
CORTE EJE 2
ESCALA: 1/20



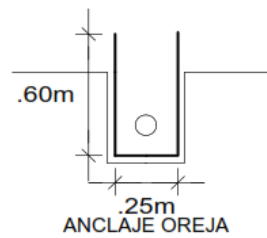
REFUERZO EJE 2
ESCALA: 1/20



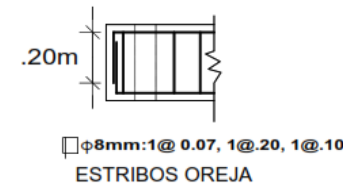
DETALLE 3-ANCLAJE
ESCALA: 1/20



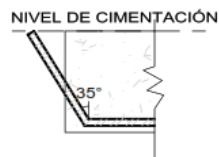
DIMENSIONES GANCHO



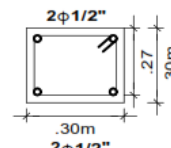
ANCLAJE OREJA



ESTRIBOS OREJA



VISTA PERFIL GANCHO



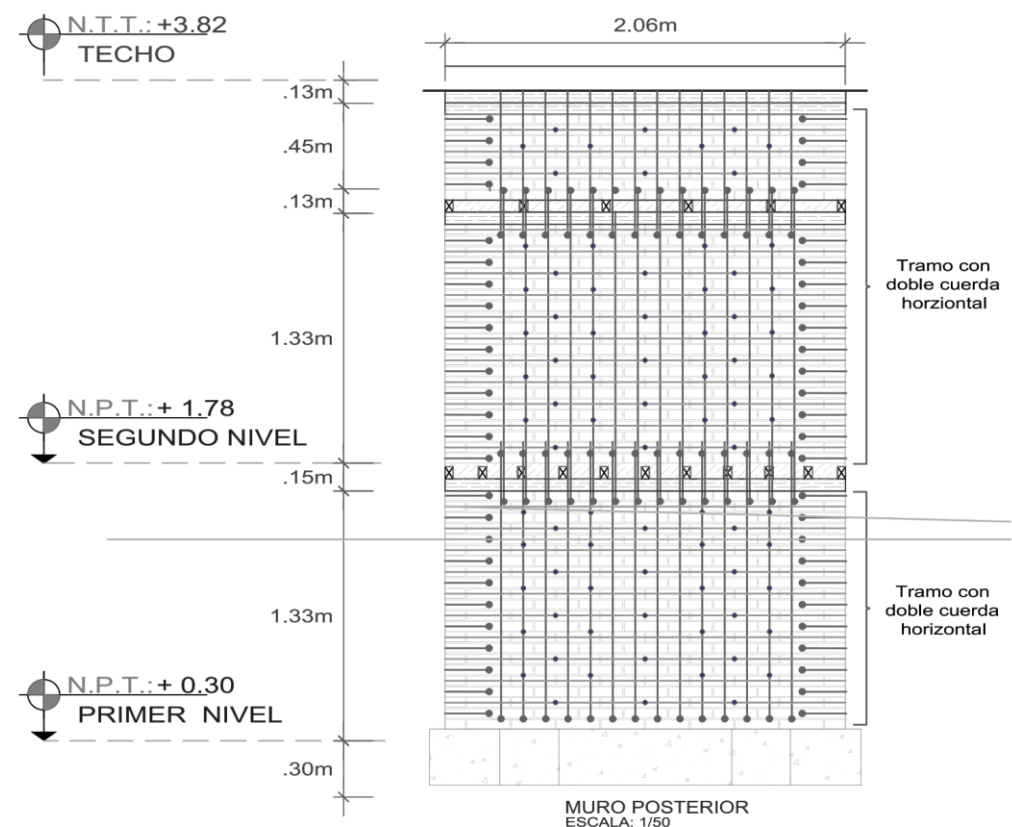
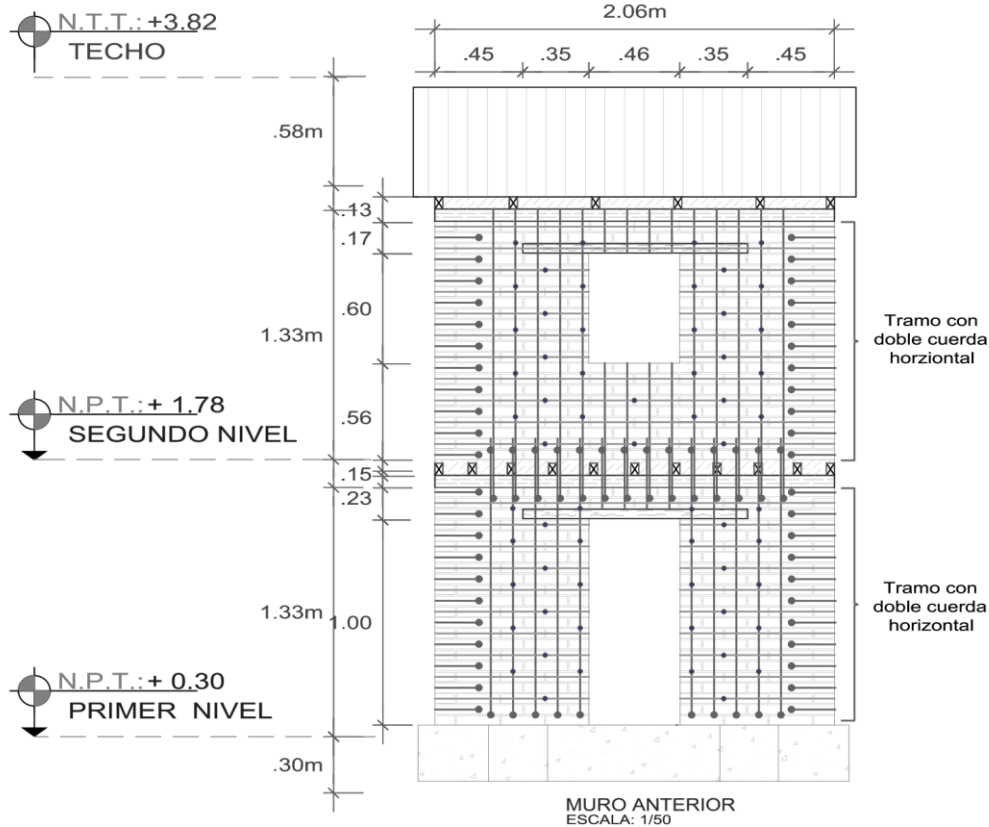
REFUERZO OREJA

DETALLE 1
ESCALA: 1/20

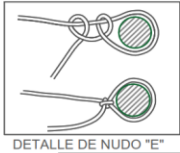
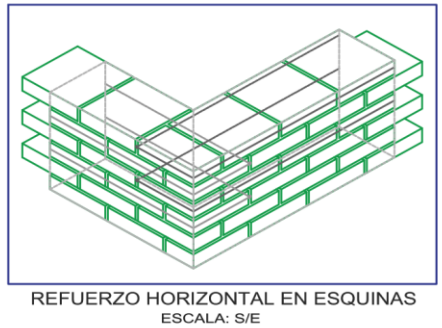
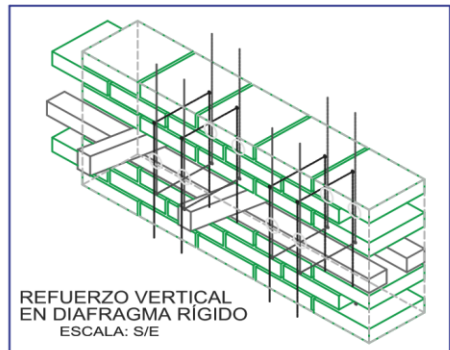
DETALLE 2
ESCALA: 1/20

Especificaciones técnicas
f'c=210kg/cm²
fy=4200kg/cm²

PUCP		Módulo Pullo
Proyecto	Vivienda de adobe de dos pisos reforzada	Lámina
Plano	Cimentación	04
Referencia	Proyecto Sencico	
Fecha	Junio 2016	
	Dibujo	L.P.C



LEYENDA	
	Driza horizontal muro fachada y posterior
	Driza horizontal muros laterales
	Driza vertical muro fachada y posterior 1er Piso
	Driza vertical muro fachada y posterior 2do Piso
	Pasadores
	Continuación de driza
	Ubicación de nudo "E"

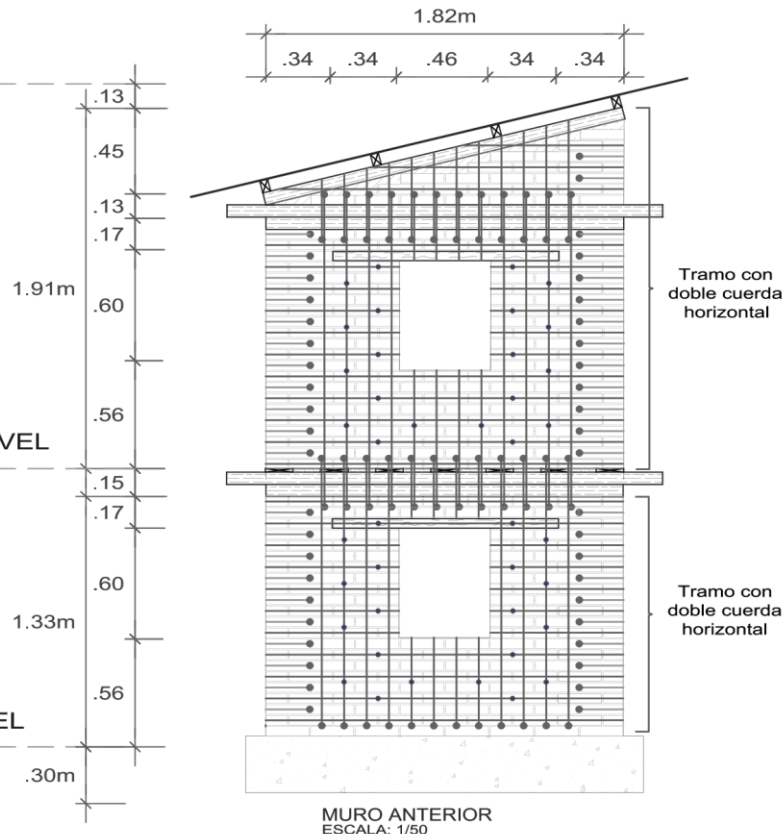


PUCP		
Proyecto Vivienda de adobe de dos pisos reforzada	Lámina	05
Plano Refuerzo malla de cuerdas, vistas anterior y posterior		
Referencia Proyecto Sencillo		
Fecha Diciembre 2017	Dibujo L.P.C.; R.Y.L.	

N.T.T.: +3.82
TECHO

N.P.T.: + 1.78
SEGUNDO NIVEL

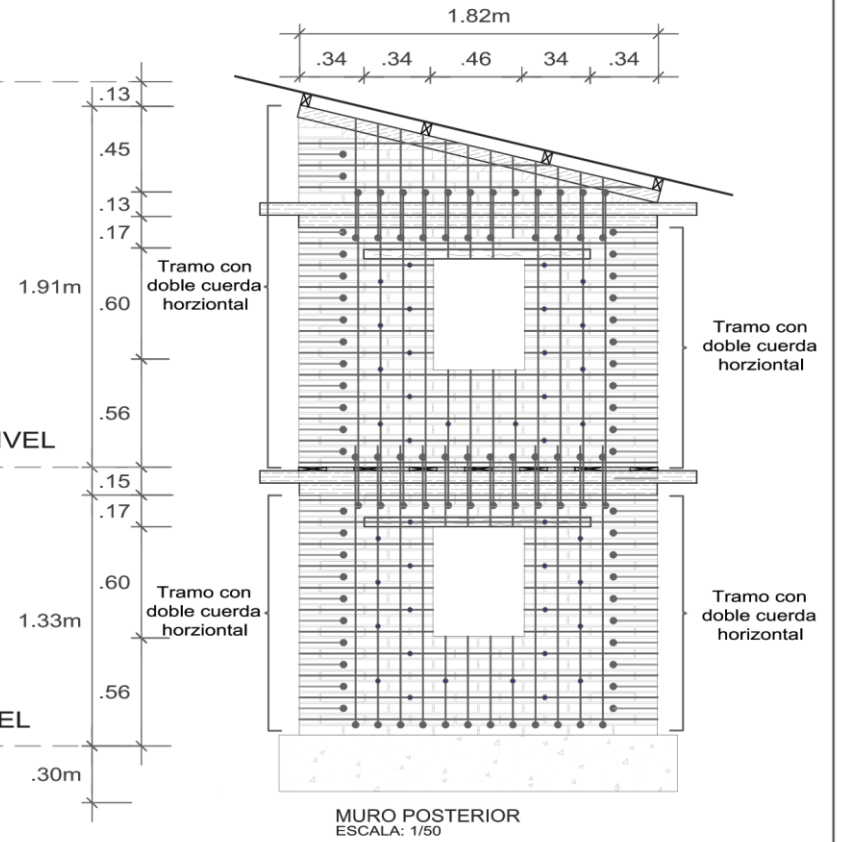
N.P.T.: + 0.30
PRIMER NIVEL



J.T.T.: +3.82
TECHO

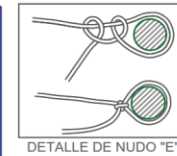
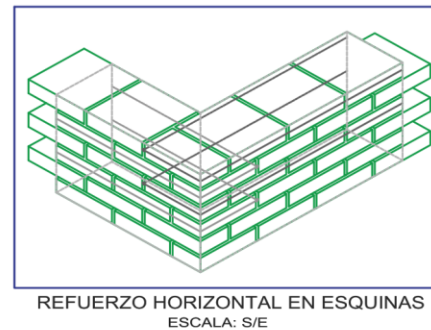
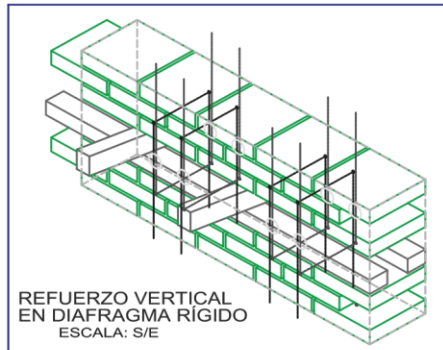
J.P.T.: + 1.78
SEGUNDO NIVEL

J.P.T.: + 0.30
PRIMER NIVEL



LEYENDA

- Driza horizontal muro fachada y posterior
- Driza horizontal muros laterales
- Driza vertical muro fachada y posterior 1er Piso
- Driza vertical muro fachada y posterior 2do Piso
- Pasadores
- ⊗ Continuación de driza
- Ubicación de nudo "E"



DETALLE DE NUDO "E"

PUCP

Proyecto	Vivienda de adobe de dos pisos reforzada	Lámina
Plano	Refuerzo malla de cuerdas, vistas laterales	06
Referencia	Proyecto Sencico	
Fecha	Diciembre 2017	Dibujo
		L.P.C; R.Y.L