

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTA DE REFORZAMIENTO CON GEOMALLA EN DOS
VIVIENDAS DE ALBAÑILERIA CONFINADA UBICADAS EN EL DISTRITO
DE VILLA EL SALVADOR, LIMA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORAS:

Diana Ichpas Gomez
Luzvenia Pillaca Puclla

ASESOR:

Sabino Nicola Tarque Ruiz

Lima, noviembre, 2021

RESUMEN

Villa El Salvador, es uno de los distritos de la periferia sur de Lima Metropolitana, que aparte de ser el séptimo distrito más poblado del país, se encuentra en permanente exposición a un alto peligro sísmico debido a la alta sismicidad y al suelo blando, pues gran parte de la zona está conformada por depósitos de arena eólica suelta a medianamente densa. Al mismo tiempo, presenta una alta vulnerabilidad sísmica a causa de la informalidad de las viviendas; como resultado, la mayoría de los elementos no estructurales son inestables, la densidad de muros es inadecuada y los materiales son de mala calidad.

Este año el Instituto Geofísico del Perú informó que, debido a las placas tectónicas, Nazca y Continental, presentes en la cota peruana, la zona de Lima presenta una acumulación de energía desde 1746 que solo se liberará con un sismo de magnitud de alrededor de M8.8. Por lo tanto, es urgente disminuir la vulnerabilidad presente en las viviendas, pues no se puede reducir el peligro por ser parte de la naturaleza. Para ello se propone un método de reforzamiento estructural con geomallas, pues tienen un bajo costo, la aplicación es relativamente fácil y sobre todo, aumenta la resistencia característica al corte y disipación de energía de los muros de albañilería.

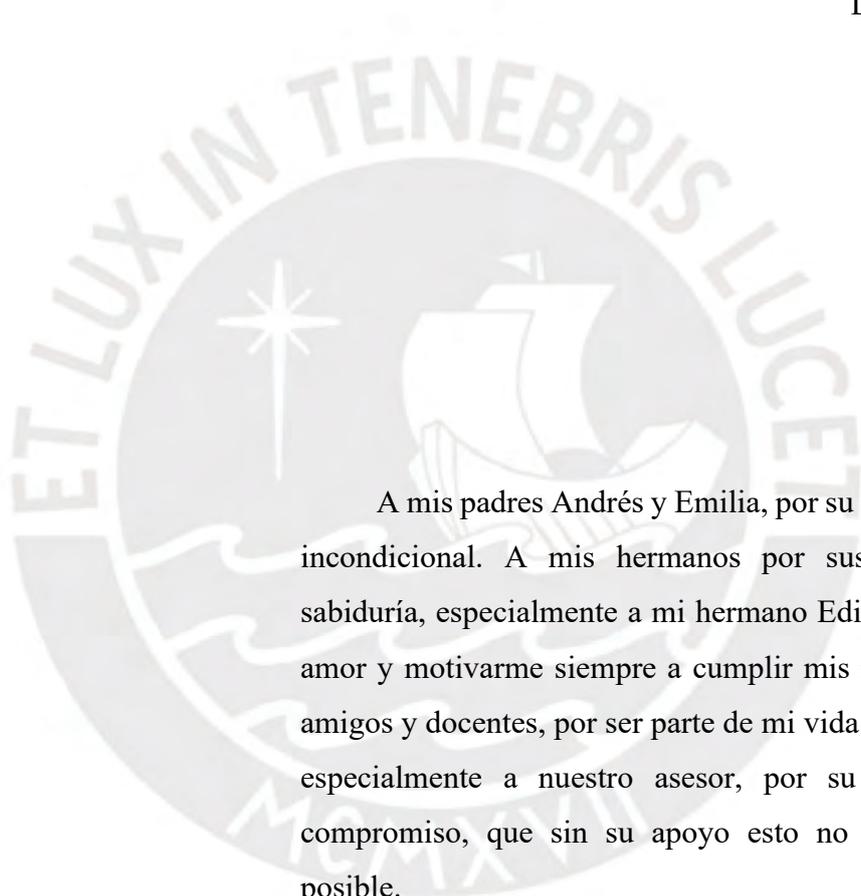
Así que, para demostrar su efectividad, en esta investigación se propone realizar el análisis sísmico del estado actual de dos viviendas informales del distrito y determinar su vulnerabilidad. Luego, se procederá a seleccionar los muros portantes a ser cambiados y/o reforzados, para posteriormente verificar mediante el análisis sísmico la adecuada resistencia, rigidez y ductilidad en la vivienda, con la finalidad de cumplir con los principios del diseño sismorresistente. Seguidamente, se volverá a calcular la vulnerabilidad sísmica, la cual debe disminuir, para así demostrar la efectividad de la geomalla. Asimismo, se determinará el presupuesto para saber el porcentaje que representa frente al costo de la construcción de una vivienda. Por último, se presentará los planos de las viviendas actuales y reforzadas.

A Dios por todas las oportunidades brindadas.

A mis padres, hermanos y amigos por animarme y acompañarme en todo el trayecto de mi vida universitaria.

A mi asesor y docentes por su paciencia y compromiso para formar buenos profesionales.

Diana Ichpas



A mis padres Andrés y Emilia, por su amor y apoyo incondicional. A mis hermanos por sus consejos y sabiduría, especialmente a mi hermano Edilberto, por su amor y motivarme siempre a cumplir mis metas. A mis amigos y docentes, por ser parte de mi vida universitaria, especialmente a nuestro asesor, por su paciencia y compromiso, que sin su apoyo esto no hubiese sido posible.

Luzvenia Pillaca

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	iii
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tablas	ix
Capítulo 1: Generalidades.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Hipótesis.....	2
1.4. Justificación	2
1.5. Metodología y plan de trabajo	3
Capítulo 2: Marco Teórico y Estado del Arte.....	5
2.1. Marco teórico.....	5
2.1.1. Albañilería confinada	5
2.1.2. Albañilería Simple.....	5
2.1.3. Arriostre.....	5
2.1.4. Confinamiento	5
2.1.5. Muros portantes	5
2.1.6. Muros no portantes	6
2.1.7. Construcción informal	6
2.1.8. Peligro sísmico	6
2.1.9. Vulnerabilidad sísmica	7
2.1.10. Riesgo sísmico.....	7
2.2. Estado del arte	8
2.2.1. Geomalla como sistema de reforzamiento en muros de albañilería	8
2.2.2. Otras alternativas de sistema de reforzamiento en muros de albañilería.....	13
2.2.3. Aportes económicos para el reforzamiento estructural de las viviendas.....	17
Capítulo 3: Habitabilidad Urbana	18
3.1. Historia del distrito	18
3.2. Características geográficas.....	21
3.3. Características demográficas	21
3.4. Características socioeconómicas	22
3.5. Características de las viviendas	23
3.6. Microzonificación sísmica	24
Capítulo 4: Análisis de Viviendas Encuestadas.....	27

4.1. Aspectos generales.....	27
4.1.1. Características geográficas	27
4.1.2. Características socioeconómicas	28
4.2. Características de las viviendas encuestadas.....	30
4.2.1. Participación en el proceso y periodo de construcción.....	30
4.2.2. Deficiencias estructurales	31
4.2.3. Evaluación del riesgo sísmico	37
4.3. Elección de viviendas a reforzar	40
4.3.1. Criterios mínimos de selección de las viviendas	40
4.3.2. Características de las viviendas seleccionadas	41
Capítulo 5: Requisitos Estructurales Mínimos y Análisis Sísmico de las Viviendas Actuales	
45	
5.1. Verificación de la densidad mínima de muros	45
5.2. Configuración de las viviendas en el programa analítico.....	52
5.2.1. Características de los materiales	52
5.2.2. Cargas unitarias	52
5.2.3. Características del modelo en el programa ETABS	53
5.3. Verificación del Esfuerzo Axial Máximo por Cargas de Gravedad	55
5.4. Análisis sísmico ante sismo severo	58
5.5. Verificación del agrietamiento de los muros portantes ante sismo moderado	63
5.6. Cálculo de la vulnerabilidad sísmica de las dos viviendas seleccionadas.....	65
Capítulo 6: Elección del Sistema de Reforzamiento.....	67
6.1. Generalidades sobre la albañilería	67
6.2. Reforzamiento con geomalla	67
6.3. Especificaciones técnicas del reforzamiento	69
Capítulo 7: Requisitos Estructurales Mínimos y Análisis Estructural de Viviendas Reforzadas	
80	
7.1. Consideraciones para el análisis estructural	80
7.2. Modelo tridimensional de las viviendas reforzadas	81
7.3. Verificación de la densidad de muros.....	82
7.4. Verificación del Esfuerzo Axial Máximo por Cargas de Gravedad	85
7.5. Análisis sísmico ante sismo severo	89
7.6. Verificación del agrietamiento de los muros portantes ante sismo moderado	94
7.7. Cálculo de la vulnerabilidad sísmica de las dos viviendas reforzadas	97
Capítulo 8: Costos y Presupuestos	98
8.1. Análisis de Costos Unitarios (ACU) del reforzamiento	98

8.2. Presupuesto de reforzamiento en cada vivienda	101
Capítulo 9: Conclusiones	105
Referencias Bibliográficas	110
<u>Anexos</u> 114	



Lista de Figuras

Figura 2.1 Mapa de Zonificación Sísmicas del territorio peruano (Norma E.030, 2016).....	7
Figura 2.2 A la izquierda malla biaxial y a la derecha malla triaxial (Torrealva, D., 2014).....	8
Figura 2.3 Modelos de refuerzo con mallas de polímero (Sofronie, R.,2004).....	9
Figura 2.4 Confinamiento de estructuras con geomalla (Sofronie, R.,2004).....	9
Figura 2.5 Tipos de ensayo (Mezzi, M., Dusi,A & Manzoni,E, 2006).....	10
Figura 2.6 Malla y refuerzo del muro (Mezzi, M., Dusi,A & Manzoni,E, 2006).....	10
Figura 2.7 Tipo de falla de los paneles (Mezzi, M., Dusi,A & Manzoni,E, 2006).....	11
Figura 2.8 Características de la falla del muro sin refuerzo ni tarrajeo (Torrealva, D y Dusi, A., 2007).....	12
Figura 2.9 Características de la falla del muro con refuerzo y carga vertical (Torrealva, D y Dusi, A., 2007).....	13
Figura 2.10 Características de la falla del muro con refuerzo y sin carga vertical (Torrealva, D y Dusi, A., 2007) ..	13
Figura 2.11 Gráfico fuerza vs desplazamiento de muro de albañilería confinada original y con refuerzo de malla electrosoldada (San Bartolomé A. y Castro A., 2002).....	15
Figura 3.1 Traslado de la población en la movilidad policial- Reubicación de la población (Municipalidad distrital de Villa El Salvador, 2015).....	19
Figura 3.2 Asentamiento de la población en la Tablada de Lurín - Reubicación de la población (Municipalidad distrital de Villa El Salvador, 2015).....	19
Figura 3.3 Cerro Lomo de Corvina (SENCICO, 2016).....	20
Figura 3.4 Sectores de Villa El Salvador (SENCICO, 2016).....	20
Figura 3.5 Zonificación del distrito Villa el Salvador (SENCICO, 2016).....	21
Figura 3.6 Número de habitantes por Censo y crecimiento intercensal anual (Cáceda, S., 2019).....	21
Figura 3.7 Distribución población por etapa de vida (Adaptado de Cáceda, S., 2019).	22
Figura 3.8 Microzonificación sísmica (Adaptado de CISMID, 2011).....	26
Figura 4.1 Ubicación de las zonas de estudio (Adaptado de SENCICO, 2016).....	27
Figura 4.2 Plano de expansión urbana Lima Sur (SENCICO, 2016).....	28
Figura 4.3 Microzonificación sísmica en sectores estudiados (Adaptado de CISMID, 2011).....	28
Figura 4.4 Género, edad y nivel educativo del jefe de hogar (Swisscontact, 2016).	29
Figura 4.5 Situación laboral y ocupaciones del jefe de hogar (Swisscontact, 2016).	29
Figura 4.6 Vivienda ocupada por un negocio (Swisscontact, 2016).....	30
Figura 4.7 Criterios de selección de la mano de obra (Swisscontact, 2016).....	31
Figura 4.8 Ausencia de vigas de amarre y columnas en muros de albañilería (Swisscontact, 2016).	31
Figura 4.9 Tipos de ladrillos más utilizados en la construcción de los muros (Swisscontact,2016).....	32
Figura 4.10 Tipos de ladrillos utilizados en la construcción de los muros (Swisscontact, 2016).	33
Figura 4.11 Configuración estructural de la vivienda con y sin muros estructurales continuos.....	33
Figura 4.12 Continuidad estructural de columnas y muros (Swisscontact, 2016).	34
Figura 4.13 Presencia de voladizos en las viviendas informales (Swisscontact, 2016).	34
Figura 4.14 Irregularidad en planta y recomendación de ubicación de juntas (Swisscontact, 2016).....	35
Figura 4.15. Ausencia de junta sísmica en viviendas colindantes (Swisscontact, 2016).	35
Figura 4.16 Presencia de grietas en elementos estructurales (Swisscontact, 2016).....	36
Figura 4.17 Espesor de juntas de asentado (Swisscontact, 2016).....	36
Figura 4.18 Presencia de tuberías en elemento estructural y mechas de acero expuestas (Swisscontact, 2016).	37

Figura 4.19 Vulnerabilidad de las viviendas seleccionadas (Swisscontact, 2016)	38
Figura 4.20 Microzonificación sísmica en sectores estudiados (Adaptado de CISMID, 2011).....	40
Figura 4.21 Fachada de vivienda actual	42
Figura 4.22 Primera y segunda planta de la vivienda N° 1	42
Figura 4.23 Fachada de vivienda actual	43
Figura 4.24 Primera y segunda planta de la vivienda N° 2.....	44
Figura 5.1 Muros confinados a considerar en la vivienda N°01 (izquierda) y vivienda N°02 (derecha)	49
Figura 5.2 Configuración de las losas aligeradas en el programa analítico	53
Figura 5.3 Configuración de los muros confinados y columnas en el programa analítico	54
Figura 5.4 Configuración de las vigas en el programa analítico.....	54
Figura 5.5 Aplicación de las sobrecargas (a la izquierda) y peso de tabiquerías, alfeizers y parapetos (a la derecha) .	55
Figura 5.6 Configuración de la vivienda N°01 (a la izquierda) y la vivienda N°02 (a la derecha) para la obtención de las cargas por gravedad.....	56
Figura 5.7 Sección transformada del muro X1(Fuente propia)	59
Figura 5.8 Sección transformada del muro Y1,Y3 y Y4 (Fuente propia).....	59
Figura 5.9 Irregularidad torsional (Adaptado de Muñoz, A., 2011)	61
Figura 6.1 Tipo de falla de los paneles (Mezzi, M., Dusi,A & Manzoni,E, 2006)	69
Figura 6.2 Operario retirando el acabado de la vivienda piloto en Comas (Adaptado de SENCICO, 2015)	71
Figura 6.3 operario picando el muro a reforzar y otro quitando el tarrajeo (Adaptado de Torrealva,2014).....	72
Figura 6.4 Operario y ayudante realizando mediciones del muro exterior. (Adaptado de Torrealva,2014).	72
Figura 6.5 Operario y ayudante preparando la geomalla para medir y cortar. (Adaptado de Torrealva,2014).....	73
Figura 6.6 Operario y ayudante realizando mediciones de la malla. (Adaptado de Torrealva,2014).	73
Figura 6.7 Operario cortando la malla según la medición del muro externo o interno. (Adaptado de Torrealva,2014).74	
Figura 6.8 Operarios extendiendo la malla a lo largo del muro. (Adaptado de Torrealva,2014).....	75
Figura 6.9 Operarios colocando alcayatas cada 50cm para fijar las mallas en el muro. (Adaptado de Torrealva,2014).	
75	
Figura 6.10 Vista cercana de la alcayata y geomalla en el muro (Adaptado de Torrealva, 2014).....	75
Figura 6.11 Personal vertiendo agua sobre el muro. (Adaptado de Torrealva,2014).	76
Figura 6.12 Personal echando lechada sobre el muro exterior e interior. (Adaptado de Torrealva,2014).	76
Figura 6.13 Personal realizando la mezcla de mortero para el pañeteo, esta mezcla se realiza sin agua. (Adaptado de Torrealva,2014).....	77
Figura 6.14 Personal realizando el pañeteo de mortero sobre el muro exterior. (Adaptado de Torrealva,2014).....	77
Figura 6.15 Operario emparejando la mezcla con una regla de aluminio (Adaptado de vivienda piloto en Comas por SENCICO, 2015).	78
Figura 6.16 Operario dando el acabado final al tarrajeado (Adaptado de Torrealva,2014).....	78
Figura 6.17 Vivienda piloto en Comas con fachada tarrajada completamente (Adaptado de vivienda piloto en Comas por SENCICO, 2015).	79
Figura 6.18 Vista interior y exterior de las viviendas piloto al final de todo el proceso de reforzamiento. (Adaptado de Torrealva,2014).....	79
Figura 7.1 Detalle de la distribución de los muros para ambos niveles de la vivienda 1 (Fuente propia)	81
Figura 7.2 Detalle de la distribución de los muros para ambos niveles de la vivienda 2.....	82
Figura 7.3 Muros confinados a considerar en la vivienda 1 (a la izquierda) y vivienda 2 (a la derecha)	83
Figura 7.4 Configuración de las viviendas para la verificación del Esfuerzo Axial Máximo por Cargas de Gravedad	88

Figura 7.5 Configuración en planta y altura de los muros para un análisis sísmico en la dirección X para la vivienda 1
90

Figura 7.6 Configuración en planta y altura de los muros y columnas de confinamiento para un análisis sísmico en la dirección Y para la vivienda 1(Fuente propia) 90

Figura 7.7 Configuración en planta de los muros y columnas de confinamiento para un análisis sísmico en la dirección X (a la izquierda) y Y(a la derecha) para la vivienda 2 (Fuente propia)..... 91



Lista de Tablas

Tabla 3.1 Características de los niveles socioeconómicos en el Perú (Adaptado de IPSOS, 2019)	22
Tabla 3.2 Material de construcción en paredes de las viviendas (INEI, 2018).....	23
Tabla 3.3 Material de construcción en techos de las viviendas (INEI, 2018).....	23
Tabla 3.4 Material de construcción en pisos de las viviendas (INEI, 2018).....	24
Tabla 4.1 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales (Norma Técnica E.070, 2006). .	32
Tabla 4.2 Indicadores de vulnerabilidad sísmica (Mosqueira & Tarque, 2005).....	38
Tabla 4.3 Rangos numéricos para clasificación de la vulnerabilidad	38
Tabla 4.4 Peligro sísmico	39
Tabla 4.5 Rangos numéricos para la clasificación del peligro sísmica.....	39
(Mosqueira & Tarque, 2005).....	39
Tabla 4.6 Matriz de clasificación del riesgo sísmico (Mosqueira & Tarque, 2005).....	40
Tabla 5.1 Resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f_m)	47
Tabla 5.2 Características de los ladrillos utilizados.....	48
Tabla 5.3 Área existe de muros confinados en cada dirección de la primera planta de la vivienda N°1	50
Tabla 5.4 Área existe de muros confinados en cada dirección de la segunda planta de la vivienda N°1.....	50
Tabla 5.5 Área existe de muros confinados en cada dirección de la primera planta de la vivienda N°2	50
Tabla 5.6 Área existe de muros confinados en cada dirección de la segunda planta de la vivienda N°2.....	50
Tabla 5.7 Relación del Área existente y Área requerida de muros de la vivienda N°1	51
Tabla 5.8 Relación del Área existente y Área requerida de muros de la vivienda N°2	51
Tabla 5.9 Característica del concreto a utilizar	52
Tabla 5.10 Verificación del esfuerzo axial máximo por cargas de gravedad en la vivienda N°1	56
Tabla 5.11 Verificación del esfuerzo axial máximo por cargas de gravedad en la vivienda N°2	57
Tabla 5.12 Carga axial de gravedad en los muros de la vivienda N°01	57
Tabla 5.13 Carga axial de gravedad en los muros de la vivienda N°02.....	57
Tabla 5.14 Peso en función del área techada de cada vivienda	58
Tabla 5.15 Periodo fundamental de vibración de la vivienda N°01.....	60
Tabla 5.16 Periodo fundamental de vibración de la vivienda N°02.....	60
Tabla 5.17 Cálculo de derivas de la vivienda N°01	62
Tabla 5.18 Verificación de la irregularidad torsional extrema de la vivienda N°01	62
Tabla 5.19 Cálculo de derivas de la vivienda N°02.....	63
Tabla 5.20 Verificación de la irregularidad torsional extrema de la vivienda N°02	63
Tabla 5.21 Verificación de la fisuración de los muros de la vivienda N°01	65
Tabla 5.22 Verificación de la fisuración de los muros de la vivienda N°02	65
Tabla 5.23 Indicadores de vulnerabilidad sísmica (Mosqueira & Tarque, 2005).....	66
Tabla 5.24 Rangos numéricos para clasificación de la vulnerabilidad	66
Tabla 7.1 v_m y f_m de muros la ladrillo pandereta y kings kong hueco reforzados.....	80
Tabla 7.2 v_m y f_m de muros la ladrillo king kong macizo reforzados.....	81
Tabla 7.3 Área existente de muros reforzados en cada dirección de la primera planta de la vivienda N°1	83

Tabla 7.4 Área existe de muros reforzados en cada dirección de la segunda planta de la vivienda N°1	84
Tabla 7.5 Área existe de muros reforzados en cada dirección de la primera planta de la vivienda N°2	84
Tabla 7. 6 Área existe de muros reforzados en cada dirección de la segunda planta de la vivienda N°2	84
Tabla 7.7 Relación del Área existente y Área requerida de muros de la vivienda N°1	85
Tabla 7. 8 Relación del Área existente y Área requerida de muros de la vivienda N°2.....	85
Tabla 7.9 Peso en función del área techada de cada vivienda reforzada	85
Tabla 7.10 Cálculo del Esfuerzo axial límite (Fa) para cada tipo de albañilería	86
Tabla 7.11 Verificación del esfuerzo axial máximo por cargas de gravedad en la vivienda N°1	86
Tabla 7.12 Verificación del esfuerzo axial máximo por cargas de gravedad en la vivienda N°2	87
Tabla 7.13 Carga axial de gravedad en los muros de la vivienda N°01	89
Tabla 7.14 Carga axial de gravedad en los muros de la vivienda N°02	89
Tabla 7.15 Verificación de la irregularidad torsional de la vivienda N°01	91
Tabla 7.16 Cálculo de derivas de la vivienda N°01	92
Tabla 7.17 Verificación de la irregularidad torsional de la vivienda N°02.....	92
Tabla 7.18 Cálculo de derivas de la vivienda N°02	93
Tabla 7.19 Periodo fundamental de vibración de la vivienda N°01	94
Tabla 7.20 Periodo fundamental de vibración de la vivienda N°02.....	94
Tabla 7.21 Resistencia a corte puro a utilizar.....	94
Tabla 7.22 Verificación de la fisuración de los muros de la vivienda N°01	95
Tabla 7.23 Verificación de la fisuración de los muros de la vivienda N°02	95
Tabla 7.24 Verificación de la resistencia al corte de la vivienda N°01.....	96
Tabla 7.25 Verificación de la resistencia al corte de la vivienda N°02.....	96
Tabla 7.26 Indicadores de vulnerabilidad sísmica (Mosqueira & Tarque, 2005).....	97
Tabla 7.27 Rangos numéricos para clasificación de la vulnerabilidad sísmica (Mosqueira & Tarque, 2005)	97
Tabla 8.1 Costo unitario por m2 de tarrajeo de muros interiores	99
Tabla 8.2 Costo unitario por m2 de reforzamiento de muros interiores	100
Tabla 8.3 Costo unitario por m2 de la construcción de un muro en soga	101
Tabla 8.4 Metrado de la superficie a reforzar de la vivienda 1.....	102
Tabla 8.5 Metrado de la superficie a reforzar de la vivienda 2.....	102
Tabla 8.6 Metrado de los muros nuevos a construcción en la vivienda 1	103
Tabla 8.7 Presupuesto del reforzamiento de la vivienda 1	103
Tabla 8.8 Presupuesto del reforzamiento de la vivienda 2	104

Capítulo 1: Generalidades

En el primer capítulo se abordará las principales generalidades sobre el desarrollo del trabajo; por lo tanto, estará comprendido por la introducción, el objetivo general y objetivos específicos, la hipótesis a validar, justificación, metodología y el plan de trabajo.

1.1.Introducción

Las distintas olas migratorias de la población del campo a la capital en busca de mejores posibilidades económicas dieron lugar a la creación del distrito de Villa El Salvador. Lima, la capital del país, fue y continúa siendo la ciudad más atractiva por la concentración de poder político y económico; por ende, alberga a la mayor cantidad de la población peruana, hasta el 2017 representaba aproximadamente al 32.3% muy por encima de Piura, segundo departamento más poblado con 6.3% (INEI, 2018).

Lamentablemente, desde el inicio, los migrantes “no encontraron un espacio físico apropiado para vivir con acceso a servicios ni la oferta de empleos que aspiraban” (Swisscontact, 2016); así pues, surgieron las invasiones, en gran parte en lugares con suelos inestables, y la posterior autoconstrucción de las viviendas para protegerse de los eventos climatológicos en zonas que no estaban destinadas para este uso. Por ello, se estima que el 70% de las viviendas de Lima son informales y esta puede aumentar hasta el 90% en las zonas periféricas (Contentlab, 2018).

Villa El Salvador es uno de los distritos periféricos de Lima que surgió por las distintas olas migratorias, aunque en un inicio contó con un plan de desarrollo, en la actualidad no se respeta debido a la alta población migratoria y baja economía que provoca invasiones en lugares no autorizados, ayudado por el escaso control municipal. Además, es considerado como uno de los “distritos más vulnerables de Lima debido a la inestabilidad de su suelo y a la informalidad en la construcción de sus viviendas” (Swisscontact, 2016).

Frente a la situación actual y la ausencia de un sismo de gran magnitud desde 1746 en Lima, se propone reforzar con geomalla los muros de albañilería confinada de las viviendas de origen informal en el distrito de Villa El Salvador para así disminuir la vulnerabilidad sísmica.

1.2. Objetivos

Objetivo general:

Reducir la vulnerabilidad sísmica de dos viviendas de albañilería confinada del distrito de Villa El Salvador mediante el reforzamiento estructural de muros portantes con geomalla.

Objetivos específicos:

1. Verificar los requisitos estructurales mínimos y realizar el análisis sísmico de las dos viviendas utilizando el software de análisis estructural ETABS y respetando las normas técnicas peruanas
2. Calcular y describir la vulnerabilidad sísmica actual de las dos viviendas
3. Calcular la vulnerabilidad sísmica de las dos viviendas reforzadas utilizando el mismo método
4. Realizar el análisis de costo unitario del reforzamiento y determinar el presupuesto de reforzamiento para cada vivienda

1.3. Hipótesis

Es posible disminuir la vulnerabilidad sísmica de las dos viviendas seleccionadas de albañilería confinada reforzando los muros portantes con geomalla.

1.4. Justificación

De acuerdo con el estudio de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) solo en Lima el 70% de las viviendas son informales, asimismo el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) menciona que en las zonas periféricas de las ciudades la informalidad puede alcanzar hasta el 90% (Contentlab, 2018).

Villa el Salvador forma parte de la periferia sur de Lima que además del problema de informalidad, es el séptimo distrito más poblado a nivel nacional con 393 254 habitantes hasta el 2017 (INEI, 2018). De igual forma, otro problema que presenta es que gran parte de esta población está ubicada sobre las zonas III y IV de la microzonificación sísmica, donde se espera un incremento severo del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo, más aún la zona IV no debería ser habitada, pues incluye áreas susceptibles a licuación de suelos, deslizamiento de taludes y es propensa a inundarse ante la ocurrencia de un tsunami (CISMID, 2011).

En consecuencia, en gran parte del distrito existe un alto riesgo sísmico debido a la informalidad de sus viviendas, la alta densidad población y el alto peligro sísmico, por ello es importante disminuir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales de albañilería confinada reforzando los muros portantes con geomalla.

1.5. Metodología y plan de trabajo

Para el desarrollo del proyecto se utilizará el conocimiento teórico y práctico. La primera, se obtendrá de la investigación bibliográfica de todos los estudios realizados sobre los muros de albañilería confinada y diversos tipos de refuerzo. La segunda, se obtendrá del diagnóstico estructural realizada durante las visitas a las dos viviendas seleccionadas. A continuación, se muestran las actividades específicas a realizar:

Recopilación de información

Se realizará una investigación exhaustiva sobre todo lo relacionado a la albañilería confinada (ventajas y desventajas, análisis sísmico, etc.), el distrito de Villa El Salvador y su informalidad en la construcción, diversos materiales utilizados como refuerzo sísmico en viviendas, el análisis sísmico de viviendas reforzadas con geomalla, entre otros.

Selección de las dos viviendas a analizar

Para la selección de las viviendas se recurrirá a la investigación “Situación actual de las viviendas de construcción de tipo informal en Villa El Salvador” realizada por Swisscontact en alianza con SENCICO y la Municipalidad de Villa El Salvador en marco al proyecto CONSTRUYA PERÚ. Este estudio cuenta con una muestra de 60 viviendas, las cuales fueron encuestas e inspeccionadas por profesionales calificados. De esta muestra se preseleccionarán 20 viviendas para ser visitadas, luego se realizará una selección final de 2 viviendas, estas últimas además de representar al tipo común de viviendas en Villa el Salvador, deberá ser de 2 niveles y ser considerada apta para el reforzamiento.

Diagnostico estructural de las dos viviendas

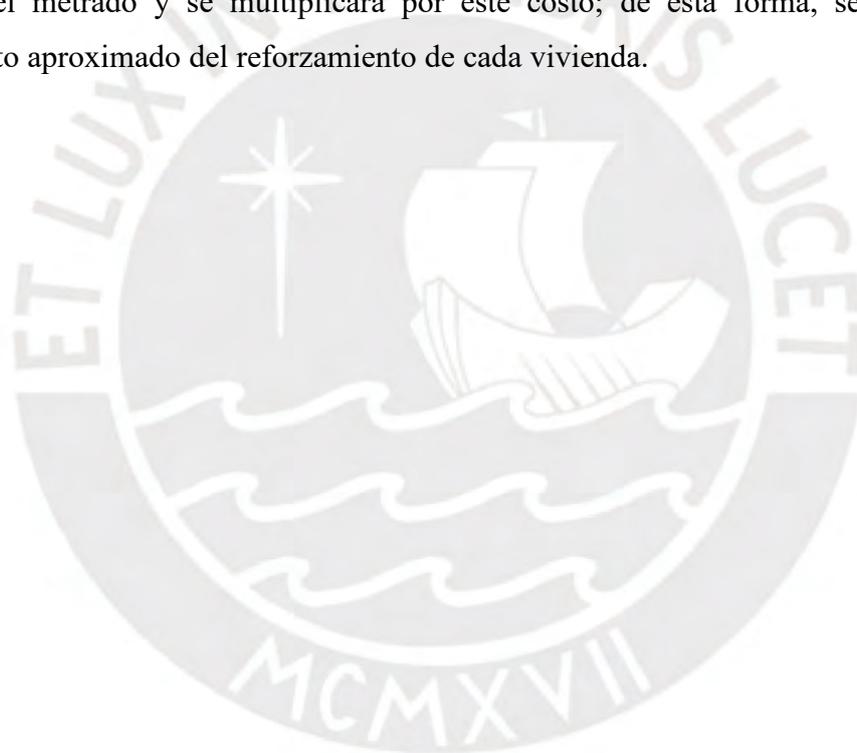
La visita realizada a las dos viviendas sirvió de base para efectuar un diagnóstico actualizado de las condiciones de las estructuras y validar su condición para el reforzamiento. Para tal fin, se realizó un levantamiento estructural y no estructural de cada uno de los elementos que componen las viviendas; además, se realizó una inspección visual de todos los muros que componen la vivienda.

Análisis sísmico de las dos viviendas

Utilizando el programa ETABS se realizará un análisis sísmico de las dos viviendas en su condición actual, luego se verificará si cuenta con la resistencia, rigidez y ductilidad adecuada, si no cumple se procederá a seleccionar los muros portantes que serán cambiados y/o reforzados. Después, se realizará un nuevo análisis sísmico incluyendo las bondades del reforzamiento con geomalla y se verificará que las viviendas cuenten con la resistencia, rigidez y ductilidad adecuada.

Presupuesto del reforzamiento de las viviendas

Primero se realizará un análisis del costo unitario de las partidas a intervenir, luego se realizará el metrado y se multiplicará por este costo; de esta forma, se obtendrá un presupuesto aproximado del reforzamiento de cada vivienda.



Capítulo 2: Marco Teórico y Estado del Arte

En el presente capítulo se definirán los principales términos que serán utilizados frecuentemente en la presente investigación, así mismo se presentará resúmenes de investigaciones pasadas que servirán de base para este proyecto.

2.1. Marco teórico

2.1.1. Albañilería confinada

La Norma de Albañilería define a este tipo de estructuras como una “albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, los cuales son vaciados después de la construcción de la albañilería” (Norma Técnica E.070, 2006, p. 2).

2.1.2. Albañilería Simple

Es una albañilería que carece de refuerzo o si posee, pero no cumple con los requisitos mínimos de la norma (Norma Técnica E.070, 2006).

2.1.3. Arriostre

Son los elementos de refuerzo, ya sea horizontal o vertical, o los muros transversales, cuya función es proveer estabilidad y resistencia a los muros portantes y no portantes que están sujetos a cargas perpendiculares a su plano (Norma Técnica E.070, 2006).

2.1.4. Confinamiento

Son los elementos de concreto armado, horizontales y verticales, que tienen como objetivo proveer de ductilidad al muro portante (Norma Técnica E.070, 2006). Para ello, las columnas de confinamiento deben ser capaces de soportar la carga que produce el agrietamiento diagonal de la albañilería, de esta forma mantendrá la resistencia a fuerza cortante del muro en el rango inelástico.

2.1.5. Muros portantes

Un muro portante es un “muro diseñado y construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel al nivel inferior o a la cimentación. Estos muros

componen la estructura de un edificio de albañilería y deberán tener continuidad vertical” (Norma Técnica E. 070, 2006, p. 2).

2.1.6.Muros no portantes

Un muro no portante es aquel que está diseñado y construido solo para soportar cargas por su peso propio y cargas transversales a su plano; por ejemplo, los parapetos y los cercos (Norma E. 070, 2006, p. 2)

2.1.7.Construcción informal

Una construcción informal es aquella que no cumple con los siguientes cuatro requisitos básicos (Contentlab, 2018)

- Licencias y permisos respectivos
- Diseño y construcción de la vivienda elaborados por un arquitecto y un ingeniero
- Mano de obra calificada y materiales idóneos
- Supervisión de autoridades municipales

De acuerdo con su desarrollo, existen dos tipos de viviendas informales la autogestión y la autoconstrucción. La primera, ocurre cuando una persona que no sabe nada de construcción, pero desea construir su vivienda contrata a alguien que no necesariamente es el maestro de obra. La segunda, ocurre cuando el mismo dueño de la propiedad va construyendo de a pocos y en algunos casos asume la responsabilidad otro miembro de la familia (Contentlab, 2018).

2.1.8.Peligro sísmico

El peligro sísmico hace referencia a la severidad de los sismos en un emplazamiento determinado y depende exclusivamente del panorama sismotectónico de la zona, de las características del suelo y de la topografía local (Muñoz, A., 2011, p. 24).

Consiente de este peligro, la Norma Técnica Peruana de Diseño Sismorresistente considera una zonificación sísmica que divide en cuatro zonas el territorio peruano como se muestra en la Figura 2.1. Esta división “se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia del epicentro, así como en la información geotectónica” (Norma Técnica E.030, 2016, p.7).



Figura 2.1 Mapa de Zonificación Sísmica del territorio peruano (Norma E.030, 2016)

2.1.9. Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad es el nivel de daño que puede ocurrir en una estructura sólo en función de sus características propias (Muñoz, A., 2011). Por ende, la vulnerabilidad refleja la falta de resistencia, rigidez y ductilidad y, depende de las características del diseño, de la calidad de materiales y la técnica constructiva (Pari, S. & Manchego, J., 2017).

2.1.10. Riesgo sísmico

El riesgo sísmico es el daño posible en una estructura originado por el peligro que la amenaza y su vulnerabilidad, de esta manera se puede expresar en función de: $\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$ (Muñoz, A., 2011). Por lo tanto, el riesgo de cada estructura puede ser controlado reduciendo la vulnerabilidad y no el peligro que es una amenaza natural.

Por otro lado, se sabe que el crecimiento de la población y la expansión urbana en lugares no destinados para la habilitación están ocasionando que las víctimas mortales a causa de los sismos sean numerosas. Por lo tanto, es importante conocer el riesgo sísmico de una determinada zona, para ello se debe incluir el factor de la densidad de población: $\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición} \times \text{Costo}$ (Bommer, J, Salazar, W, & Samayoa, R., 1997).

La exposición se puede expresar en términos del número de edificios dañados o personas en una zona, o el valor productivo de la industria y comercio concentrada en un lugar. El costo sería el número de personas albergadas en cada edificio o un valor monetario asociado con cada edificio o unidad industrial (Bommer et al., 1997).

2.2.Estado del arte

2.2.1.Geomalla como sistema de reforzamiento en muros de albañilería

Las mallas estructurales de polipropileno o geomallas son fabricadas de mantas de polímero de alta densidad, las cuales son perforadas a intervalos regulares y luego estiradas en dos o tres direcciones a temperatura y fuerza controlada a fin de obtener una malla biaxial o triaxial (Torrealva, D., 2014). En la Figura 2.2 se puede observar los dos tipos de malla, con aberturas cuadradas o triangulares, con nudos rígidos y costillas flexibles.



Figura 2.2 A la izquierda malla biaxial y a la derecha malla triaxial (Torrealva, D., 2014)

Ambos tipos de mallas son adecuadas como refuerzo de muros de mampostería; sin embargo, la geomalla triaxial posee una apertura triangular con mayor resistencia y rigidez para mitigar el esfuerzo radial.

La transferencia de esfuerzos de tracción entre la malla y el muro de mampostería se da a través del mortero, pues los nudos rígidos confinan la porción de mortero entre los filamentos y le transmite esfuerzos de compresión que son equilibrados por las fuerzas de tracción en los filamentos y transmitidos al muro por corte/adherencia entre el mortero y el muro.

Sofronie, R. (2004) menciona tres razones mecánicas para utilizar la albañilería con la geomalla: 1) Ambos materiales tienen propiedades elásticas y plásticas en las mismas proporciones; 2) Ambos obedecen leyes de deformación similares, lo que significa que tienen casi los mismos módulos de elasticidad de Young y la relación de equivalencia de Neumann $n = E_{\text{malla}} / E_{\text{albañilería}}$ es 1 (uno) o cerca de él; 3) Las mallas disponibles tienen niveles convenientes de resistencia y alta capacidad de disipación de la energía inducida.

Asimismo, menciona razones físicas y ambientales: 1) Las mallas son inertes a todos los productos químicos que se encuentran en los morteros y son estables para grandes campos de variación de los factores ambientales; 2) La durabilidad de las rejillas está garantizada por el productor para un servicio normal de 120 años. De la misma manera, otro de sus beneficios es que en edificaciones nuevas permite eliminar los elementos estructurales pesados de concreto

armado, mientras que en edificaciones existentes a menudo no se debe evacuar a los huéspedes. El sistema se basa en un concepto avanzado de diseño que permite alcanzar la máxima seguridad para la inversión pagada, por ello es conocido como sistema RICHTERGARD que significa defensa contra terremotos mensurables.

Según la teoría de Prandtl se pueden asumir tres modelos de refuerzo de albañilería con mallas de polímero, como se muestra en la Figura 2.3.

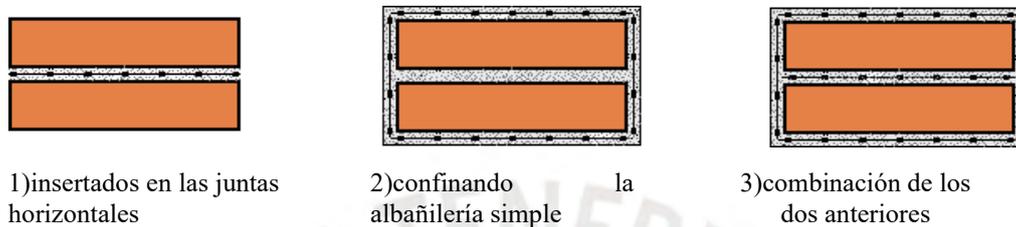


Figura 2.3 Modelos de refuerzo con mallas de polímero (Sofronie, R., 2004)

La primera técnica mejora la capacidad de transferencia de carga entre las unidades de albañilería, ya que el refuerzo impide la expansión horizontal del mortero. Asimismo, elimina las fisuras inclinadas a 45° , es preciso mencionar que no es necesario colocar el refuerzo en cada hilado, pueden ir separadas verticalmente entre 20 y 60 cm. Por último, este tipo de reforzamiento aumenta solo en un 0.6% el costo por metro cúbico del muro en comparación de una albañilería simple.

La segunda técnica, aumenta varias veces la capacidad de carga de la albañilería, pero su ventaja más sobresaliente es la distribución uniforme de tensiones. Para obtener estos beneficios las juntas deben ser de 15mm aproximadamente y el tarrajeo debe tener un espesor entre 18 y 24mm. El costo por metro cúbico aumenta en 6% en comparación con el costo de una albañilería simple. En la Figura 2.4 se muestra un ejemplo de la forma de usar la malla para confinar una estructura.



a) Confinamiento de estructuras de un piso



b) Detalle de confinamiento en vanos

Figura 2.4 Confinamiento de estructuras con geomalla (Sofronie, R., 2004)

La tercera técnica es más eficiente con respecto a las mejoras de las resistencias a compresión como al corte. Cabe recalcar que se tiene mayor eficiencia para ladrillos de arcilla sólida, además en las zonas sísmicas no se recomienda el uso de ladrillos perforados verticalmente, mientras que los ladrillos perforados horizontalmente están prohibidos (Sofronie, R., 2004).

En esta investigación solo se utilizará el segundo método, pues se trata de viviendas existentes, para ello es necesario conocer los efectos de este confinamiento de los muros de albañilería simple. Mezzi, M., Dusi, A & Manzoni, E. (2006) realizaron ensayos de compresión diagonal, de corte-compresión y de flexión como se aprecia en la Figura 2.5.

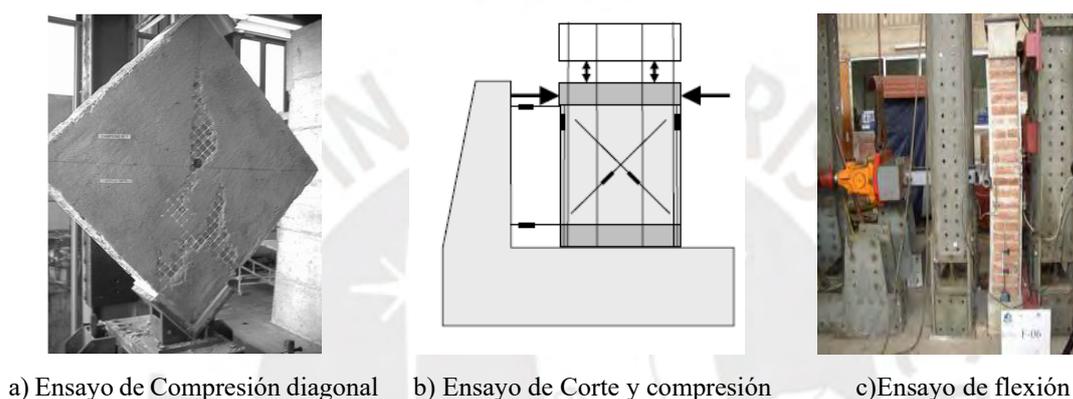


Figura 2.5 Tipos de ensayo (Mezzi, M., Dusi, A & Manzoni, E, 2006)

En estos ensayos se utilizó la malla rígida “RichterGard RG TX” de polímero monolítico con uniones integrales, caracterizada por una geometría isométrica que da lugar a aperturas de triángulos equiláteros. Asimismo, el mortero que se utilizó para las juntas (espesor de 20mm) tuvo una proporción de volumen de 1:2:7 (cemento, cal y arena gruesa) con una fuerza media de 4,21 MPa. Mientras que el mortero para el tarrajeo tuvo una proporción de volumen de 1:1:5 y una resistencia media a la compresión de 7,12 MPa. En la Figura 2.6 se muestra el tipo de malla y la forma de reforzar el muro.

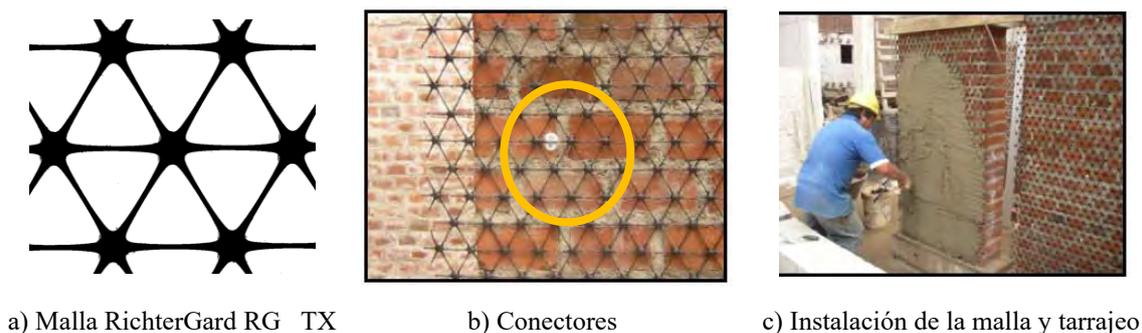


Figura 2.6 Malla y refuerzo del muro (Mezzi, M., Dusi, A & Manzoni, E, 2006)

Con respecto a los resultados, el primer ensayo mostró que la deformación final de los paneles reforzados se incrementó en un factor de 2 a 3, es decir aumentó la ductilidad global del muro de mampostería. Pero, no se observó incremento significativo de la resistencia. Sin embargo, en el ensayo de corte- compresión se encontró un incremento no despreciable de la fuerza máxima al corte, pero con efectos máximos. Esta discrepancia puede ser por el tipo de ensayo y también el material utilizado, pues para el primer tipo de ensayo se construyó paneles con ladrillos de alta resistencia, mientras que en la segunda se utilizaron ladrillos de resistencia media. Teniendo en cuenta que los edificios existentes suelen construirse con ladrillos de mala calidad el incremento de la resistencia a corte puede asumirse en el diseño, con valores que van desde 1,0 (sin aumento) hasta 1,5 (máximo hallazgo experimental); los autores sugieren prudentemente un valor de 1,2. Por otro lado, tal como se muestra en la Figura 2.7 el tipo de falla encontrada es similar a un panel no reforzado, pues se tiene grietas en forma diagonal, pero la diferencia es que se tiene una amplia red de grietas, lo que se entiende es que el colapso de los paneles reforzados requiere la formación de un gran número de superficies de falla y, por lo tanto, un mayor valor de la resistencia final.

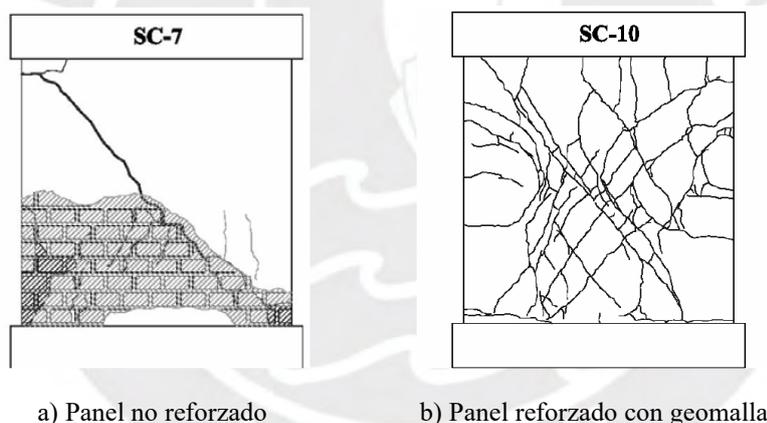


Figura 2.7 Tipo de falla de los paneles (Mezzi, M., Dusi, A & Manzoni, E, 2006)

Por último, las pruebas de estabilidad demostraron claramente los efectos positivos en la carga límite, el desplazamiento límite y la disipación de energía de los paneles. Además, demostró un aumento significativo de la resistencia contra los mecanismos de colapso.

En Perú, Torrealva, D. y Dusi, A. (2007) realizaron ensayos utilizando mallas de polímero de abertura triangular, cuya resistencia a tracción fue de 47kN/m para la dirección longitudinal y 34kN/m para la dirección transversal. Utilizó ladrillos macizos de arcilla de densidad promedio de 1.83gr/cm³ y resistencia a compresión axial promedio (f'_b) de 5.49Mpa. De los ensayos de pilas y muretes obtuvo una resistencia promedio a la compresión del muro

(f'm) de 3.68Mpa y una resistencia promedio al corte (v'm) de 0.35 Mpa. El mortero de asentado tuvo una proporción de 1:1:7 (cemento, cal y arena gruesa) con una resistencia promedio de 4.21 MPa. Mientras que el mortero para el tarrajeo tuvo una proporción de 1:1:5 con una resistencia promedio de 7.12Mpa. El espesor de las juntas verticales y horizontales fue de 15mm y el espesor del tarrajeo fue de 20mm. La malla de polímero se ancló a los paneles utilizando anclajes de acero de 50 mm en orificios pretaladrados espaciados 400 mm horizontal y verticalmente.

Para las pruebas de corte-compresión se ensayaron cuatro paredes sin tarrajeo, cuatro con tarrajeo de cemento arena y las cuatro últimas con el refuerzo incrustado en el tarrajeo por ambos lados. En las pruebas de flexión se estudió el efecto del tarrajeo solo, de la malla polimérica aplicada en el lado de tracción y compresión y el efecto de la carga vertical. Los resultados de la primera prueba verificaron un pequeño incremento en la resistencia al cortante del muro en el plano, gracias a la presencia de la malla; sin embargo, no hay evidencia de ningún incremento en la rigidez, prácticamente no contribuye significativamente a la resistencia de la mampostería, pero se tuvo un aumento sustancial (más del doble) de la disipación de energía con respecto a los paneles no reforzados. Además, el estado de la rejilla después de la prueba no mostró daños ni deformación inelástica. En el caso de los ensayos por flexión, como se muestra en la Figura 2.8, los muros no reforzados tuvieron una falla que se caracterizó por una fisura horizontal en casi la mitad y ancho del muro donde la carga máxima horizontal fue de 40kN.

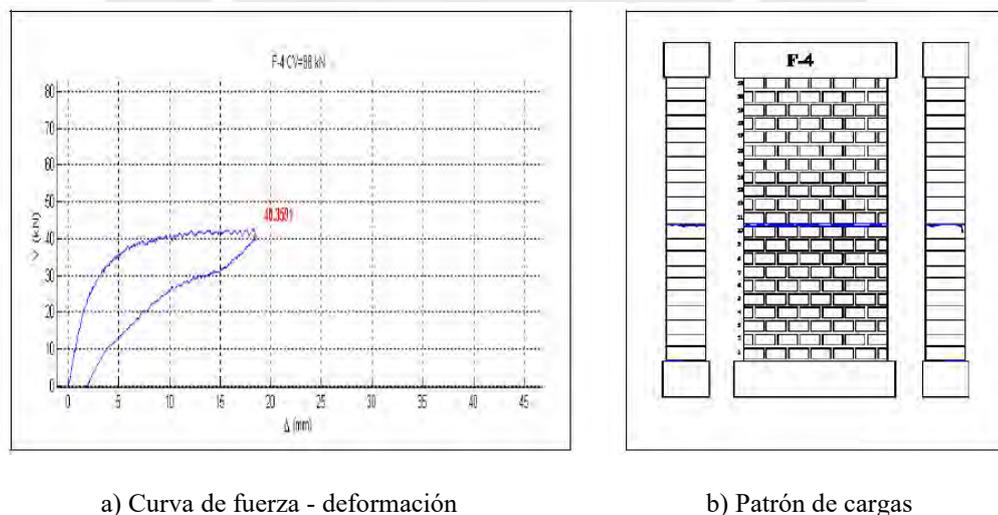


Figura 2.8 Características de la falla del muro sin refuerzo ni tarrajeo (Torrealva, D y Dusi, A .,

Los muros reforzados en la cara a tensión y a carga vertical, el patrón de grietas fue disperso con muchas grietas horizontales cerca del tramo central y la carga máxima horizontal promedio fue de 70kN, tal como se muestra en la Figura 2.9.

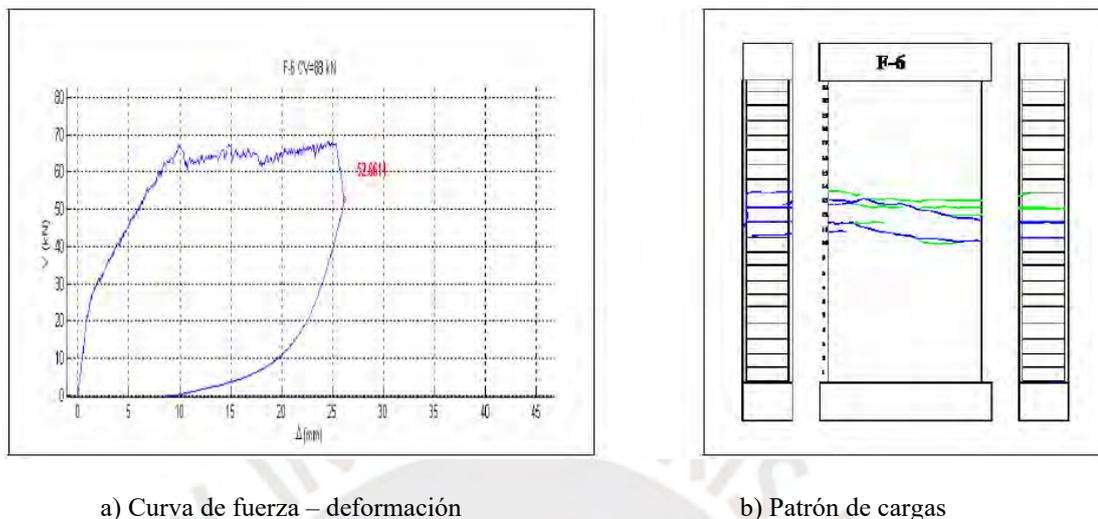


Figura 2.9 Características de la falla del muro con refuerzo y carga vertical (Torrealva, D y Dusi, A., 2007)

Para los paneles sin carga vertical, como se muestra en la Figura 2.10 el patrón de grietas fue aún más disperso con muchas grietas cerca del tramo central. En este caso la carga máxima fue ligeramente mayor que 20kN y el desplazamiento horizontal máximo fue de 45mm.

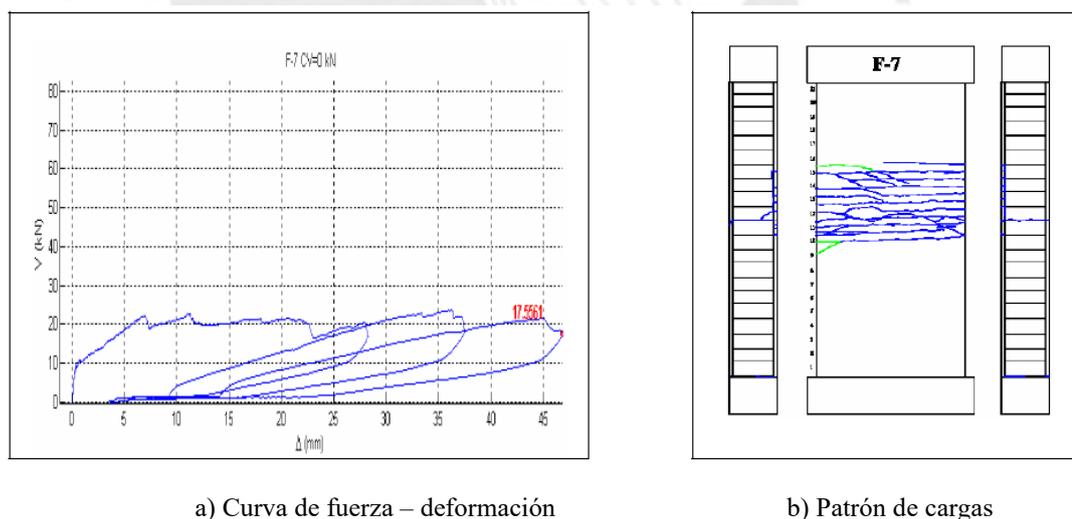


Figura 2.10 Características de la falla del muro con refuerzo y sin carga vertical (Torrealva, D y Dusi, A., 2007)

2.2.2. Otras alternativas de sistema de reforzamiento en muros de albañilería

Según Astroza I., Maximiliano; Schmidt A. y Andrés (2004), la construcción de viviendas de bajo costo y con materiales de mala calidad, tanto en Chile como en el resto de

los países latinoamericanos se realiza principalmente a base de albañilería confinada; razón por la cual, los muros de albañilería sin refuerzo presentan deficiencias en cuanto a fuerzas sísmicas, ya que poseen una baja capacidad para resistir tracciones y un comportamiento frágil cuando llega al agrietamiento. En el Perú, a la construcción de bajo costo se le suma la autoconstrucción, ya que según SENCICO el 70 % de las viviendas en Lima son informales, es decir, no poseen la supervisión de un personal capacitado. Por esta informalidad y el peligro sísmico existente se tiene la necesidad de reducir la vulnerabilidad de las viviendas mediante sistemas de reforzamiento de los muros de albañilería, en la actualidad existen estudios previos que muestran gran variedad de alternativas que se muestran a continuación:

San Bartolomé A. y Castro A. (2002), desarrollaron la reparación y reforzamiento de muros de albañilería confinada mediante malla electrosoldada; este proceso requirió acoplar al muro de albañilería las mallas electrosoldadas interconectadas entre sí. Se utilizó ladrillos de arcilla King Kong de fabricación industrial con dimensiones nominales de 23x13x9 cm, con un f'_b igual a 155 kg/cm² sobre área bruta y perforaciones perpendiculares a la cara de asiento igual al 45%; si bien, estos ladrillos no están permitidos para construir muros portantes, se utilizó porque es común verlo en construcciones de viviendas informales. La proporción para usar de cemento- arena gruesa par el mortero fue de 1:4 con un espesor de junta de 1 cm, además cabe indicar que, de los ensayos de compresión axial y compresión diagonal en pilas y muretes sin refuerzo se obtuvieron $f'_m=86\text{kg/cm}^2$ y $v'_m=17\text{kg/cm}^2$ respectivamente. Con respecto a los ensayos; en primer lugar, se ensayó el muro original a carga lateral cíclica con desplazamiento horizontal controlado, el resultado fue la falla por corte y la trituración de algunos ladrillos. Luego, ese mismo muro fue reparado y reforzado con mallas electrosoldadas en ambas caras y, se procedió a ensayarlo, los resultados fueron óptimos, pues la falla fue por flexión mas no por corte como en el caso anterior y se tuvo un incremento del 40% en la capacidad de carga lateral. La Figura 2.11 muestra las envolventes de carga lateral máxima del muro original y del muro reforzado, donde se puede apreciar este incremento.

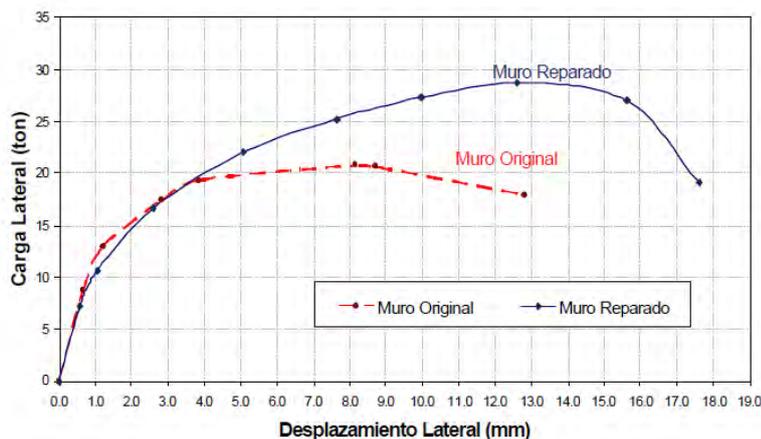


Figura 2.11 Gráfico fuerza vs desplazamiento de muro de albañilería confinada original y con refuerzo de malla electrosoldada (San Bartolomé A. y Castro A., 2002)

San Bartolomé A. y Loaysa J. (2008), desarrollaron la reparación y reforzamiento de muros de albañilería confinada con varillas de fibra de vidrio GFRP, que previamente había fallado por fuerza cortante en un experimento de carga lateral cíclica, el reforzamiento consiste en colocar las varillas de fibra de vidrio cada 2 hiladas, intercalándolas alternadamente en ambas caras del muro con el fin de no debilitar la sección transversal. Además, debido a que el refuerzo vertical mostró un pandeo ligero en la base de la columna, se reforzó con un estribo de $\frac{3}{4}$ ". Los resultados del refuerzo fueron satisfactorios, ya que es una técnica efectiva para aumentar la rigidez y la resistencia máxima. De los resultados se observó que la resistencia del muro reforzado pudo incrementarse en 62%, además el reforzamiento hizo que se recupere unas 5.8 veces la rigidez con la que culminó el muro original luego del ensayo de carga lateral al que fue sometido.

Tarque, N. y Mosqueira M. (2005), proponen un reforzamiento estructural en viviendas con el fin de reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad resistente y de carga, el refuerzo que plantean es la malla electrosoldada, cuyo proceso está basada en la investigación de San Bartolomé A. y Castro A., el uso de este refuerzo está enfocado en muros con daños o sin ellos, en caso los muros posean grietas o cualquier otro daño, previo al reforzamiento deberán ser resanados.

San Bartolomé A. y Coronel, C. (2009), desarrollaron la reparación y reforzamiento de muros de albañilería confinada mediante la fibra de carbono, muro que previamente había fallado por fuerza cortante en un experimento de carga lateral cíclica. El reforzamiento consiste en encapsular la fibra de carbono en el muro resanado con la ayuda de un rodillo metálico acanalado en la dirección longitudinal hasta notar que el pegamento usado para impregnar la

fibra en el muro sangre. Al ensayar el muro reforzado se observó que la resistencia del muro reforzado pudo incrementarse en 22% con respecto al muro original, pero la rigidez lateral del muro reforzado resulto ser el 50% del muro original, por lo que los autores proponen restablecer la rigidez inicial agregando algún elemento estructural.

Araoz, T., & Velezmoro, J. (2012), realizaron un estudio sobre el reforzamiento de viviendas existentes construidas con ladrillos pandereta, la propuesta que se plantea es reforzar los muros mediante mallas electrosoldadas de 4.5mm de diámetro espaciadas cada 150mm, recubiertas con mortero en proporción de cemento-arena gruesa 1:4. Para concretizar estos estudios se realizaron ensayos en dos muros a escala natural, un muro convencional M1 sin refuerzo y otro muro M2 con refuerzo, en el cual se usará el alambre #8 como conector cada 45cm, los mismos que estarán amarrados con alambre # 16. Los resultados ante el ensayo de carga lateral cíclica en los muros M1 y M2 muestran que en M2 se observa un incremento de valor en la rigidez lateral, la carga de fisuración en tracción por flexión, la carga de agrietamiento diagonal y la resistencia máxima en un 41%, 13%, 34% y 42% respectivamente con respecto a M1. Cabe mencionar que los valores considerados de $f'_m=2.4$ MPa y $v'_m= 0.93$ MPa son resultado de los ensayos en pilas y muretes de albañilería simple (sin refuerzo), por lo que se debe tener en cuenta que los valores son aproximados.

Mamani, P. (2015), también desarrolló un estudio de reforzamiento de muros de albañilería tubular confinada ante cargas sísmicas y gravitacionales; al igual que Araoz, T., & Velezmoro, J. el material de refuerzo es la malla electrosoldada, pero en este caso la malla es de 6mm ubicadas de forma similar que en la investigación antes mencionada. El dato particular de la presente investigación es que los valores de $f'_m=2.65$ MPa y $v'_m= 0.88$ MPa son producto de los ensayos en pilas y muretes de albañilería tubular reforzada. Los muros reforzados son MR-01 y MR-02, ambos con las mismas características constructivas, pero ensayados a distintas cargas verticales, 11 y 16 tonf respectivamente. Esta diferencia de cargas da lugar al incremento de la resistencia lateral en un 13% en el muro MR-02 con respecto al muro MR-01. En general, los resultados fueron óptimos logrando un incremento de un 46 % del módulo de corte y el 19% de la rigidez lateral.

Los resultados principales del reforzamiento con malla electrosoldada de los muros de albañilería confinada construidos con ladrillos pandereta en los estudios de Araoz, T., & Velezmoro, J. y Mamani, P. permiten concluir que es posible reforzar los muros de pandereta, ya que incrementa la ductilidad y reduce la fragilidad del sistema estructural logrando un comportamiento adecuado ante la acción de cargas laterales y verticales.

2.2.3. Aportes económicos para el reforzamiento estructural de las viviendas

El estado peruano, en el año 2014 a través del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento inicia un incentivo denominado Bono de Reforzamiento Estructural, el cual está enfocado en los sectores más pobres del país y busca reducir la vulnerabilidad de los efectos de los riesgos sísmicos, mediante las intervenciones de reforzamiento estructural de las viviendas. (MVCS, 2014). El valor del bono es de S/. 15,000.00 y el área mínima a reforzar es de 14 m². Cuando se aprobó el bono, se tomó en cuenta la ubicación del Perú, ya que posee zonas susceptibles a ser afectadas por eventos sísmicos, malas prácticas constructivas, la autoconstrucción, mal uso del suelo y a que la estructura de cimentación de las viviendas no corresponde al suelo en el que se han ejecutado. Para ser beneficiarios con el bono se deben cumplir con todos los términos y condiciones que se encuentran en el portal de la página del Fondo Mi Vivienda, entre ellos ser titular del predio y completar todos los formularios que se solicitan. Además, el Sistema de Fiscalización de Hogares (SISFOH) evaluará el nivel socioeconómico del solicitante y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) a través de los intervencionistas evaluará la viabilidad de reforzamiento de la vivienda.

En la actualidad, el distrito de Villa El Salvador forma parte del grupo beneficiario para acceder al Bono de Reforzamiento Estructural. A través de la Resolución Ministerial N°426-2018-VIVIENDA dictaminada por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento como parte de la segunda convocatoria del año 2018, es que se incluye al distrito. (MVCS, 2018), Es así, que la población de Villa El Salvador al contar con un estudio de reforzamiento estructural para sus viviendas estaría capacitada e informada sobre la metodología y los beneficios que trae el reforzamiento, pues estos conocimientos les permitirán postular al Bono de forma segura y sacarle provecho al apoyo que el estado ofrece de forma gratuita.

Capítulo 3: Habitabilidad Urbana

Como las viviendas a seleccionar se encuentran en el distrito de Villa El Salvador, este capítulo se enfocará en conocer la situación actual del distrito. Es por ello, que se presentará un resumen de la historia y se describirá las características geográficas (ubicación, límites, topografía, etc.), demográficas y socioeconómicas, además de la microzonificación sísmica.

3.1. Historia del distrito

Villa El Salvador es uno de los distritos de Lima Metropolitana que forma parte del llamado Cono Sur. Su origen se remonta al año 1970, en la cual se dio la segunda oleada migratoria debido a la Reforma Agraria que provocó la disminución de la productividad de las tierras propiciando el empobrecimiento de los pobladores del campo y su posterior migración a las principales ciudades del país como la capital, Lima en busca de mejores oportunidades (SENCICO, 2016).

Sin embargo, la falta de políticas de Desarrollo Nacional, así como de asistencia técnica, promoción y financiamiento, esta migración masiva incrementó los problemas de trabajo, seguridad y vivienda, dando origen a la invasión de terrenos deshabitados, tales como los terrenos privados de la Pamplona, ubicada entre los límites de San Juan de Miraflores y la Av. Benavides, que fueron invadidos el 28 de abril de 1971. Este suceso no fue aceptado por el entonces ministro del interior Armando Artola, así que lideró la represión policial contra los pobladores que terminó con la vida de Edilberto Ramos.

Luego de varios días de negociación con el gobierno militar del Gral. Juan Velasco Alvarado y, la mediación del Padre Ruggiere y el obispo Luis Bambarén, el 11 de mayo del mismo año se decidió reubicar a los 11 mil pobladores a una zona arenal conocida como Tablada de Lurín, situada a 25 km al sur de Lima. De esta forma nació el “Pueblo Joven Villa el Salvador” (Municipalidad Distrital de Villa El Salvador, 2015; SENCICO, 2016). En las Figura 3.1 y Figura 3.2 se puede observar el traslado y asentamiento de la población en el lugar provisto.



Figura 3.1 Traslado de la población en la movilidad policial- Reubicación de la población (Municipalidad distrital de Villa El Salvador, 2015)



Figura 3.2 Asentamiento de la población en la Tablada de Lurín - Reubicación de la población (Municipalidad distrital de Villa El Salvador, 2015)

El pueblo joven se caracterizó por la organización de sus pobladores que les permitió resolver en poco tiempo las necesidades básicas que se tenía. En julio de 1973 se creó la Comunidad Urbana Autogestionaria de Villa El Salvador – CUAVES, liderado por su primer alcalde Michel Azcueta Gorostiza, que tuvo como principales pilares a la participación, planificación y movilización (Municipalidad distrital de Villa El Salvador, 2015). Uno de los proyectos realizados por CUAVES fue obtener un diseño de distribución de las viviendas; por ello, se desarrolló un Módulo de Grupo Residencial que consistía en agrupar 24 viviendas para formar una manzana, 16 manzanas para formar un grupo residencial, 24 de grupos residenciales para formar un sector (SENCICO, 2016). Esta zonificación urbana también contaba con “espacios reservados para áreas verdes, viviendas, colegios, postas médicas, mercados, avenidas principales anchas y, para una zona industrial y productiva” (Municipalidad distrital de Villa El Salvador, 2015). Por tal hazaña fue reconocido como el primer pueblo de América Latina que planificaba su desarrollo.

El 1 de junio de 1983 el Congreso de la República reconoce al pueblo joven como un distrito mediante el Decreto de Ley N°23605, Ley de Creación del Distrito, firmado por el entonces presidente de la República, Arq. Fernando Belaunde Terry. En noviembre del mismo año se eligió a las primeras autoridades en marco a las elecciones municipales convocadas a nivel nacional. Es así como el 01 de enero de 1984 juramentó la primera gestión municipal liderada por el profesor Miguel Azcueta, esta gestión gobernó por dos períodos consecutivos de forma democrática, planificada, participativa y concertadora para lograr el desarrollo integral del distrito. De esta manera, llevó adelante el Segundo Plan de Desarrollo de Villa El Salvador que tuvo como ejes: El Desarrollo Urbano, el Desarrollo Productivo y el Desarrollo Social, con participación directa de los pobladores y sus organizaciones, especialmente la

CUAVES, la FEPOMUVES, APEMIVES y grupos culturales con ideas innovadoras como el presupuesto participativo (Municipalidad distrital de Villa El Salvador, 2015).

De esta manera las autoridades municipales mantenían el control de la ocupación del distrito, sin embargo, a partir de 1990 el distrito comenzó a tener un crecimiento desorganizado, debido a las invasiones de las zonas agropecuarias, zonas para bosques o zonas industriales. Además, tal como se puede observar en la Figura 3.3 se invadió zonas de alto peligro como el cerro Lomo de Corvina, la cual es una cantera de la empresa Minera Luren para la producción de ladrillos sílico-calcáreos, asentada antes de la existencia del distrito (SENCICO, 2016).



Figura 3.3 Cerro Lomo de Corvina (SENCICO, 2016)

En la actualidad, Villa El Salvador cuenta con 14 sectores como se muestra en la Figura 3.4. Además, cuenta con los servicios básicos (agua, desagüe y energía eléctrica), una red vial distrital consolidada y acceso a gas natural (Gas natural de Camisea) desde el 2014 (Municipalidad distrital de Villa El Salvador, 2015).

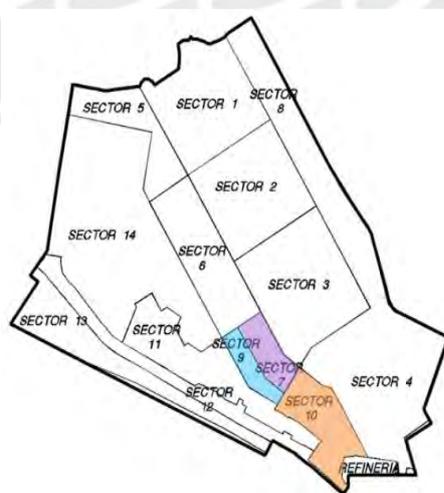


Figura 3.1 Sectores de Villa El Salvador (SENCICO, 2016)

3.2. Características geográficas

Villa El Salvador se encuentra a 25 km al sur del centro de Lima, tiene una extensión de 35,46 km², se ubica entre los paralelos 12° 12' 34 de Latitud Sur y 76° 56' 08" de Longitud Oeste, su altitud es de 176 m.s.n.m. y cuenta con una precipitación y temperatura promedio de 99 mm al año y 17.5 °C, respectivamente.

El distrito limita por el norte con los distritos de San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo, por el sur con el distrito de Lurín, por el Este con el distrito de Villa María del Triunfo y, por el oeste con el distrito de Chorrillos y el Océano Pacífico. Así mismo, en el distrito se delimitan 4 zonas (comercial, residencial, agropecuaria y de playas) como se puede observar en la Figura 3.5.



Figura 3.5 Zonificación del distrito Villa el Salvador (SENCICO, 2016).

3.3. Características demográficas

Villa el Salvador es el séptimo distrito más poblado a nivel nacional. En 36 años (del 1981 al 2017) tuvo un incremento absoluto poblacional de 178% superior a lo observado a nivel nacional (76%), tal como se puede observar en la Figura 3.6 (Cáceda, S., 2019).

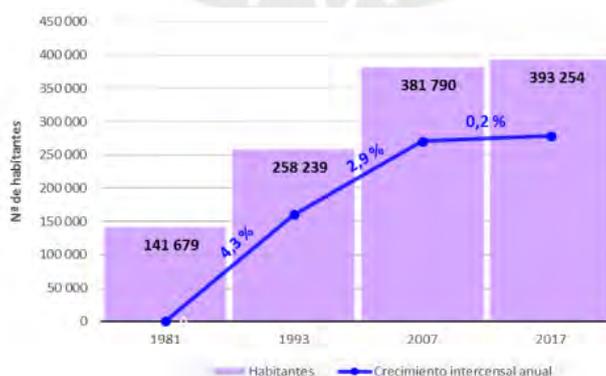


Figura 3.6 Número de habitantes por Censo y crecimiento intercensal anual (Cáceda, S., 2019)

Asimismo, la población adulta (30 a 59 años) representa el 39,1%, la población de niños el 19,2%, los adolescentes el 11,6% y por último el adulto mayor con tan solo 10,3%, como se puede apreciar en la Figura 3.7.



Figura 3.7 Distribución población por etapa de vida (Adaptado de Cáceda, S., 2019).

3.4. Características socioeconómicas

De acuerdo a Javier Álvarez, investigador de Ipsos Apoyo, el nivel socioeconómico (NSE) es el más utilizado para la clasificación y división de la población. Este nivel socioeconómico consta de una fórmula estándar que la estableció la Asociación esta Peruana de Empresas de Investigación de Mercados (APEIM) en el 2003, las variables de fórmula están referidas al principal sostén económico del hogar y respecto a la vivienda, tal como se puede visualizar en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Características de los niveles socioeconómicos en el Perú (Adaptado de IPSOS, 2019)

NSE	CARACTERÍSTICA PROMEDIO DE LA ECONOMICA		CARACTERÍSTICA PROMEDIO DE LAS VIVIENDAS		CARACTERÍSTICA PROMEDIO DEL JEFE DEL HOGAR		
	INGRESO PROMEDIO	GASTO MENSUAL (%)	Nº AMBIENTES	MATERIAL PREDOMINANTES	EDAD	EMPLEO	NIVEL DE ESTUDIO
A	S/12,660.00	62%	5	Pisos: Parquet o madera pulida	56 años	60% a más es empleado de alguna empresa	Universitaria completa
B	S/7,020.00	68%	4.6	Pisos: Losetas o terrazos	55 años	50% a más es empleado de alguna empresa	Universitaria completa
C	S/3,970.00	75%	3.8	Pisos: Cemento	53 años	Presencia importante de trabajadores independientes	Secundaria completa
D	S/2,480.00	80%	3.2	Techos: Calamina, fibra de cemento o similares	51 años	Mayoría de trabajadores independientes	Secundaria completa
E	S/1,300.00	87%	2.7	Piso: Tierra Techos: Calamina	54 años	Más del 70% es trabajador independiente	Primaria incompleta

El 41.3% de hogares de Lima se encuentran en el nivel socioeconómico C, este nivel representa a los hogares de distrito de Villa el Salvador, pero en un porcentaje mayor, 48% (Ipsos, 2019).

3.5. Características de las viviendas

De acuerdo con el Censo Nacional 2017, en el distrito existe un total de 93 039 viviendas, 12 507 más en relación con el año 2007, el 86,9% tiene como material de construcción predominante de las paredes al ladrillo o bloque de cemento, tal como se puede observar en la Tabla 3.2 (INEI, 2018).

Tabla 3.2 Material de construcción en paredes de las viviendas (INEI, 2018)

Material de construcción en muros	Porcentaje
Ladrillo o Bloque de cemento	86.87%
Adobe o tapia	0.47%
Madera	0.20%
Quincha	0.02%
Estera	0.06%
Piedra con barro	0.03%
Piedra o Sillar con cal o cemento	8.60%
Otro	3.70%
Total	100.0%

Asimismo, en el 70,52% de viviendas el material de construcción predominante en techos es de concreto armado y en el 70.56% predomina el cemento como material de construcción predominante en pisos, tal como se muestra en la Tabla 3.3 y Tabla 3.4 (INEI, 2018).

Tabla 3.3 Material de construcción en techos de las viviendas (INEI, 2018)

Material de construcción en techos	Porcentaje
Concreto armado	70.52%
Madera	1.71%
Tejas	0.60%
Planchas de calamina, fibra de cemento o similares	24.79%
Caña o estera con torta de barro o cemento	0.72%
Triplay/ estera/ carrizo	1.47%
Paja, hoja de palmera y similares	0.19%
Total	100.0%

Tabla 3.4 Material de construcción en pisos de las viviendas (INEI, 2018)

Material de construcción en pisos	Porcentaje
Tierra	3.60%
Cemento	70.56%
Losetas, terrazos	21.33%
Parquet o madera pulida	2.35%
Madera, entablados	0.62%
Laminas asfálticas	2.35%
Otro	0.01%
Total	100.0%

3.6. Microzonificación sísmica

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en cooperación con la Universidad Nacional de Ingeniería elaboraron un “Estudio de microzonificación sísmica y vulnerabilidad en la ciudad de Lima”. Del cual, se obtuvo un mapa de microzonificación sísmica como resultado de superponer los mapas de “Microzonificación Geotécnica” e “Isoperiodos e Inundación por Tsunami”. El primero muestra las características mecánicas y dinámicas del terreno, mientras que la segunda presenta las zonas que pueden ser afectadas ante la ocurrencia de un Tsunami. De esta manera se pudo identificar cinco zonas que se describirán a continuación (CISMID, 2011) y en la Figura 3.8 se muestra el mapa.

Zona I: Está constituida por los afloramientos rocosos de la Formación Pamplona. En algunos lugares muy puntuales la roca se encuentra superficialmente fracturada con matriz de arenas limosas. El comportamiento dinámico del material es adecuado, así que se espera que no se incremente el nivel de peligro sísmico estimado. Si se considera una cimentación corrida de 0.6m de ancho a la profundidad de cimentación de 0.6m a 1.4m, la capacidad de carga admisible varía de 1.5 a 2.7Kg/cm².

Zona II: Está conformada por los depósitos de arenas eólicas. El perfil estratigráfico indica rellenos de 0.30 a 1 m de espesor llegando en algunos lugares hasta los 2.5m; debajo de esta, se encuentra una capa conformada predominantemente por arenas limosas mal gradadas, que se caracterizan por tener una compacidad suelta a media densa, llegando a un estado compacto a profundidades mayores a 10m. Se espera un incremento moderado del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Si se considera una cimentación corrida de 0.6m de ancho a la profundidad de cimentación de 1.40 a 2.20 m, se obtienen valores de capacidad de carga de 0.80 a 1.20 Kg/cm².

Zona III: Está conformada por los depósitos de arenas eólicas de gran espesor en estado suelto que se ubican próximos al cerro de Lomo de Corvina. El perfil estratigráfico indica la presencia de material de relleno de 1m de espesor y en algunos puntos hasta los 2m. Contiguo a este material se encuentra un potente estrato de arena pobremente gradada de grano medio a fino, de compacidad suelta que incrementa con la profundidad. Se espera un incremento severo del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Si se considera una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de cimentación de 1.40 a 2.20 m se tiene una capacidad de carga del suelo de 0.80 a 1.20 Kg/cm².

Zona IV: Está conformada por los depósitos de arenas eólicas de gran espesor en estado suelto y los depósitos marinos que se ubican en el cerro Lomo de Corvina y la playa. El perfil estratigráfico indica la presencia de material de relleno de 1m de espesor y en algunos puntos hasta los 2m. Contiguo a este material se encuentra un potente estrato de arena pobremente gradada de grano medio a fino, de compacidad suelta que incrementa con la profundidad. El nivel freático en la playa se encontró a los 2.0 m.

Esta zona se ha delimitado siguiendo los criterios de la Norma E030 y Norma 050 del RNE para un tipo de Suelo III con un comportamiento especial que puede incluir áreas susceptibles a licuación de suelos, deslizamiento de taludes y amplificación sísmica, fenómenos que representan un alto peligro para las estructuras con cimentaciones superficiales. Además, el área que se podría inundar ante la ocurrencia de un Tsunami. En esta zona se espera un incremento alto del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. El cual, presenta periodos dominantes de 0.8s a 1.2s y los valores de amplificación relativa varían de 4.7a 8.9 veces. Asimismo, se tiene presente el talud de arena eólica suelta en el cerro Lomo de Corvina que es susceptible a sufrir deslizamiento.

Por todo lo anterior, la Zona IV presenta las condiciones más desfavorables ante la ocurrencia de un sismo severo, por lo que su uso debe ser restringido para habilitaciones urbanas.

Zona V: Está representada por un área puntual conformada por rellenos de hasta 6 m de profundidad, constituido por materia orgánica en descomposición, desperdicios, basura, etc. Por ende, su uso debe ser restringido para habilitaciones urbanas.

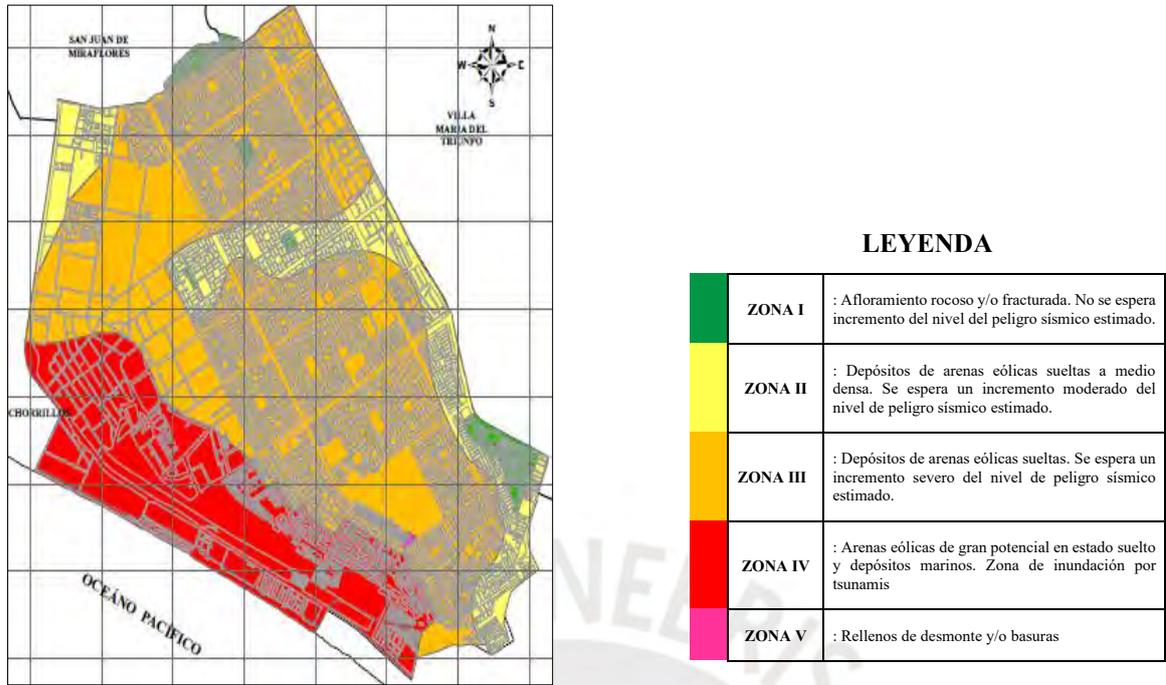


Figura 3.8 Microzonificación sísmica (Adaptado de CISMID, 2011)



Capítulo 4: Análisis de Viviendas Encuestadas

En el año 2015 los profesionales del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) y Swisscontact en coordinación con la Municipalidad distrital de Villa el Salvador realizaron un estudio a 60 viviendas con la finalidad de conocer la calidad de su construcción, su habitabilidad y confort; así como, el nivel socio económico de los pobladores. Los resultados de este estudio indicaron la urgencia de sensibilizar y orientar a la población con respecto a los peligros presentes y a la vulnerabilidad de las viviendas. Asimismo, se vio la necesidad de capacitar a los propietarios y al maestro de obra, pues son ellos los que toman la mayoría de las decisiones relacionadas a la construcción de la vivienda.

Es este capítulo, se realizará un resumen de este estudio y al final se seleccionará dos viviendas para verificar los requisitos estructurales mínimos y realizar el análisis sísmico.

4.1. Aspectos generales

4.1.1. Características geográficas

Como se puede observar en la Figura 4.1 las 60 viviendas seleccionadas estuvieron distribuidas en los sectores 7 (grupo 4), 9 (grupo 2 y 3) y 10 (grupo 2 y 3).



Figura 4.1 Ubicación de las zonas de estudio (Adaptado de SENCICO, 2016)

Como se muestra en la Figura 4.2 los sectores 7 y 9 se desarrollaron mayormente entre los años 1975-1990 y terminaron de consolidarse entre los años 1990-2005; mientras que el sector 10 inició a poblarse en 1990, pero su población mayoritaria llegó entre 1992 y 2005 (SENCICO, 2016).

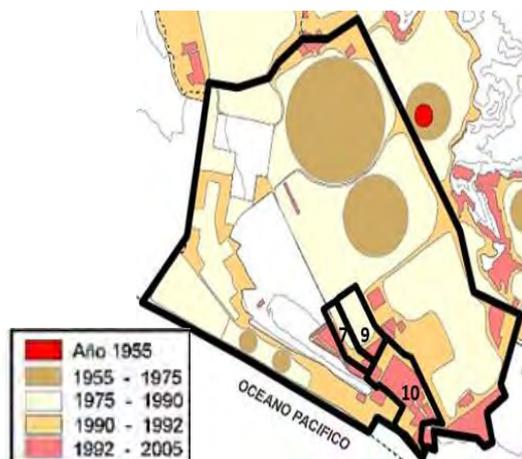


Figura 4.2 Plano de expansión urbana Lima Sur (SENCICO, 2016)

Como se muestra en la Figura 4.3 estos sectores se encuentran en la zona III, zona IV y zona V de la Microzonificación Sísmica. Así que en la primera se espera un incremento severo del peligro sísmico estimado, la segunda presenta condiciones más desfavorables ante la ocurrencia de un sismo severo por lo que su uso debe ser restringido para habilitaciones urbanas, la tercera está conformado por rellenos de desmote y/o basura, por lo que su uso también debe ser restringido para habilitaciones urbanas.

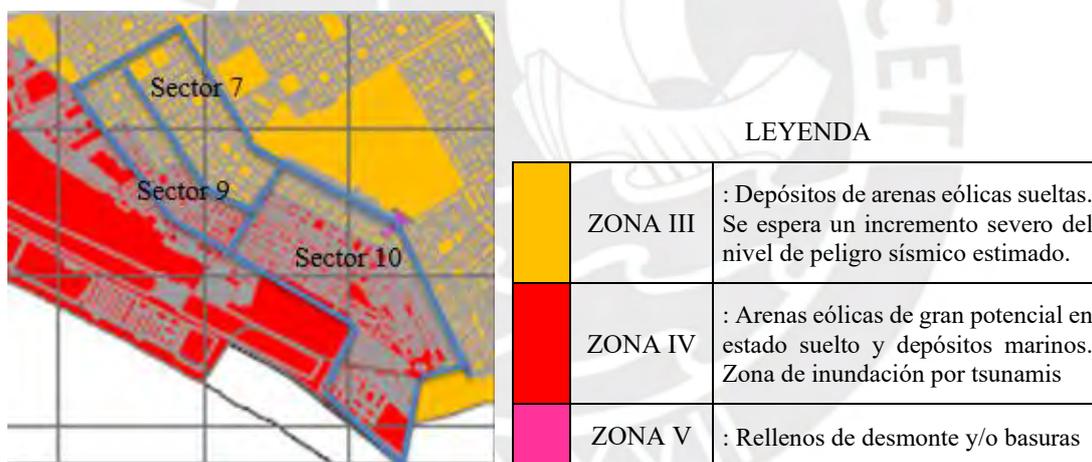


Figura 4.3 Microzonificación sísmica en sectores estudiados (Adaptado de CISMID, 2011)

4.1.2. Características socioeconómicas

Los niveles socioeconómicos C, D y E representan a los hogares seleccionados, todas las viviendas cuentan con los servicios básicos de agua potable, desagüe y energía eléctrica; sin embargo, solo la mitad tiene accesos a otros servicios como telefonía fija y gas natural (Swisscontact, 2016).

Además, con respecto a los jefes de hogar se destaca la presencia masculina con un 60 % frente a la femenina que es el 40%, la edad representativa oscila entre los 41 y 50 años y el

nivel educativo alcanzado por la mayoría es secundaria completa (30%). En la Figura 4.4 se muestran los resultados porcentuales obtenidos de la encuesta realizada por Swisscontact.

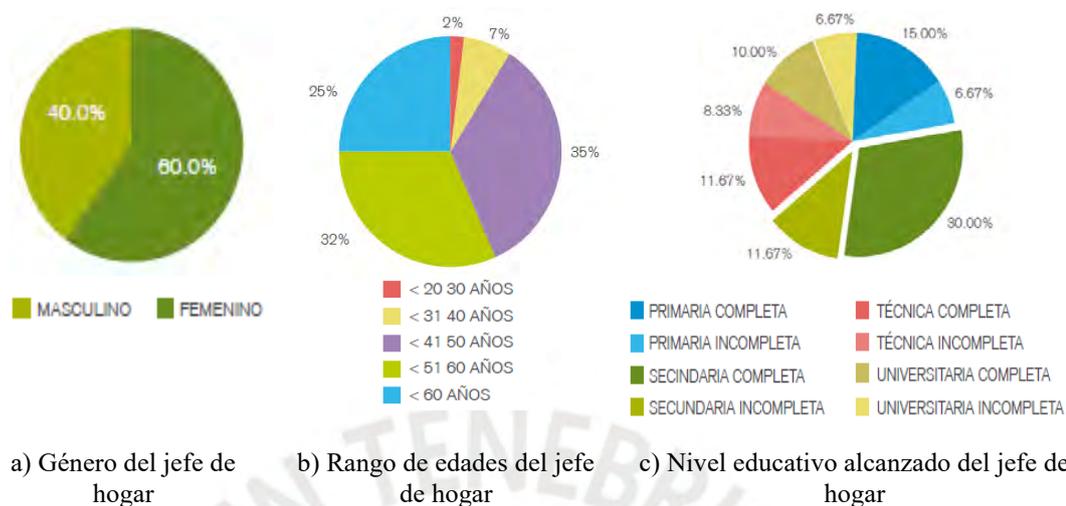


Figura 4.4 Género, edad y nivel educativo del jefe de hogar (Swisscontact, 2016).

En relación a la situación laboral de los jefes de hogar el 75% cuenta con empleo, sin embargo, esta cantidad varía significativamente de acuerdo al género, pues tal como se observa en la Figura 4.5, el 91.9% de varones tiene empleo, mientras que más del 50% de mujeres están desocupadas o inactivas. Por otro lado, las ocupaciones comunes del jefe de hogar son la docencia (15.6%), comercio (22.2%), construcción (11.1%), servicios (26.7%), el resto se dedica a diversas actividades como reciclador, mototaxista, dispensador de gasolina, inspector de transporte, ama de casa, jubilados, entre otros.

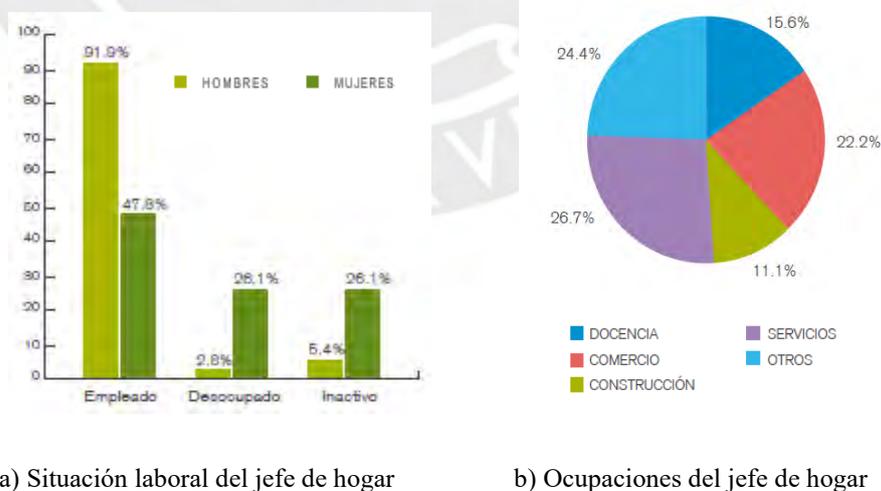


Figura 4.5 Situación laboral y ocupaciones del jefe de hogar (Swisscontact, 2016).

Asimismo, en 22 viviendas (36.7%) de las 60 encuestadas existe un negocio o actividad productiva, por lo general es la fuente de ingreso y se desarrolla mayormente en la sala, comedor o el garaje. En la Figura 4.6 se muestra una vivienda ocupada por un negocio.



Figura 4.6 Vivienda ocupada por un negocio (Swisscontact, 2016)

Con respecto a las condiciones habitacionales de los hogares, el 71.7% de la construcción de las viviendas se desarrolla entre 17 y 26 años. El 61.7% de estas construcciones es habitada por una sola familia y el resto es bifamiliar.

Respecto a los muros de albañilería confinada en su mayoría se empleó ladrillo King Kong de 18 huecos (con porcentaje de vacíos mayor al 30%) para el primer nivel (94.3%), mientras que para los muros del segundo piso se utilizó el ladrillo Pandereta (85.7%). El 51.1% de las construcciones tiene tarrajeadas las paredes, en el 65 % el acabado de los pisos en la primera planta es de cemento pulido, en el 75.4% el techo del primer nivel es losa aligerada, mientras que del segundo nivel es eternit (46.3%) o calamina metálica (26.8%).

4.2. Características de las viviendas encuestadas

4.2.1. Participación en el proceso y periodo de construcción

El resultado de las encuestas muestra que para la construcción del primer nivel de las viviendas se contó con un maestro en un 93%, con un oficial (fierrero, encofrador, entre otros) en un 27% y en el 25% de los casos el propietario participó en el proceso constructivo.

El criterio para elegir la mano de obra se da como se muestra en la Figura 4.7, el 56.7% elige por recomendación de amigos y familiares, el 38.3% por conocimiento de obras que han realizado, solo el 3.33% considera la formación profesional y el 1.67% pide recomendación de alguna institución de la construcción.

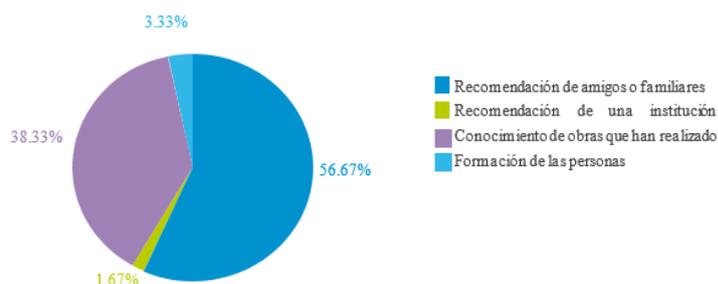


Figura 4.7 Criterios de selección de la mano de obra (Swisscontact, 2016).

Por otro lado, el periodo de construcción de las viviendas se puede clasificar en dos: construcción nueva rápida (el primer piso de la vivienda se construye completamente en un periodo de tres a seis meses) y la construcción nueva progresiva (el primer piso se construye por etapas y en más de seis meses). Esta última prevalece en este estudio con un 73%.

4.2.2. Deficiencias estructurales

4.2.2.1. Ausencia de confinamiento de muros de albañilería

Si bien el 96% de las viviendas encuestadas se construyeron con un sistema de muros de albañilería confinada, el 60.3% presentan muros que no están completamente confinados y el principal problema es la falta de la viga de amarre y en menor cantidad ausencia de columnas tal como se muestra en la Figura 4.8.



Figura 4.8 Ausencia de vigas de amarre y columnas en muros de albañilería (Swisscontact, 2016).

4.2.2.2. Construcción de muros portantes con ladrillo pandereta o tubular

La Norma Peruana de Albañilería estipula que el ladrillo pandereta debe ser utilizado exclusivamente para construir muros no portantes (cercos, tabiques y parapetos) o para construir viviendas de hasta dos pisos en zonas de baja sismicidad, lo mismo sucede con los

ladrillos huecos (porcentaje de huecos mayor al 30% del área bruta) tal como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales (Norma Técnica E.070, 2006).

TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal *	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
Sólido Industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Sí Celdas totalmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

*Las limitaciones indicadas establecen condiciones mínimas que pueden ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

En la Figura 4.9 se muestran los ladrillos más utilizados en la construcción de las viviendas encuestadas.



Figura 4.9 Tipos de ladrillos más utilizados en la construcción de los muros (Swisscontact,2016).

En el caso de muros confinados se pudo observar que se utilizó en un 94.3% ladrillos tipo King Kong 18 huecos para el primer piso, mientras que en el segundo piso se empleó ladrillos tipo Pandereta en un 85.7%. En el caso de los muros no confinados también en el primer piso está formado en gran porcentaje por ladrillos King Kong (91.3%) y el segundo por ladrillos Pandereta (91.3%). En la Figura 4.10 se muestra los porcentajes de uso de los ladrillos en muros sin y con confinamiento.

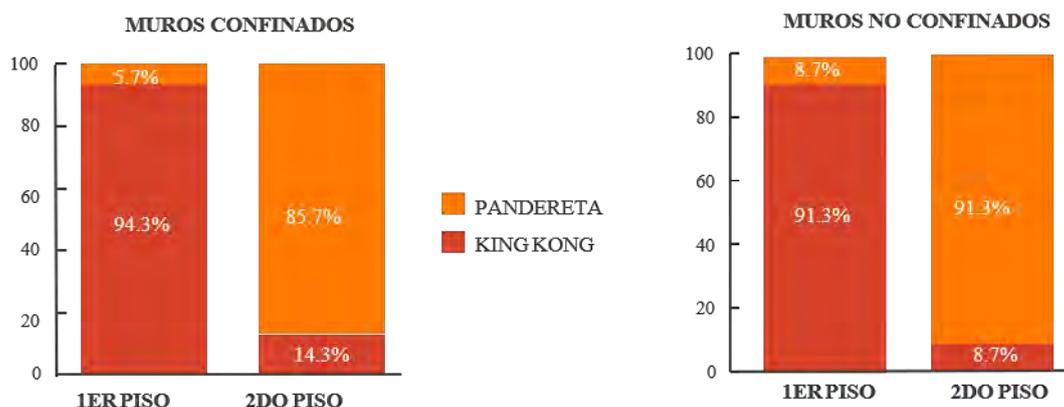


Figura 4.10 Tipos de ladrillos utilizados en la construcción de los muros (Swisscontact, 2016).

4.2.2.3. Discontinuidad de muros y columnas

Existe continuidad estructural cuando la configuración de la estructura permite la transmisión de cargas de manera vertical y alineada desde su punto de origen hasta la cimentación. En la Figura 4.11 se puede observar las diferencias existentes en viviendas con y sin muros continuos.

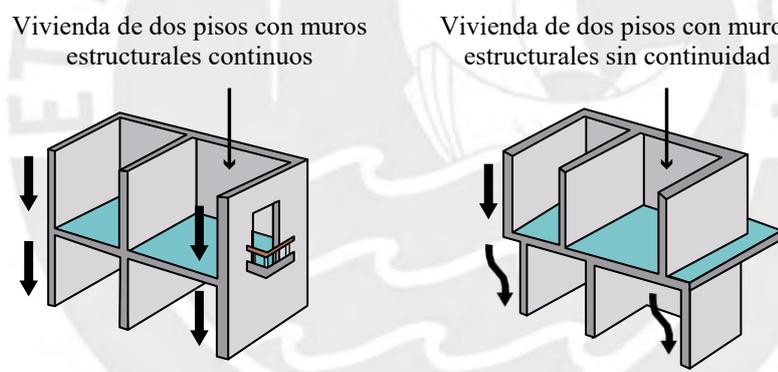


Figura 4.11 Configuración estructural de la vivienda con y sin muros estructurales continuos (Swisscontact, 2016).

En las viviendas seleccionadas se puede observar que existe discontinuidad de columnas y muros en un 13.8% y 29.3% respectivamente. En la Figura 4.12. se muestran los resultados porcentuales de continuidad y discontinuidad en muros y columnas.

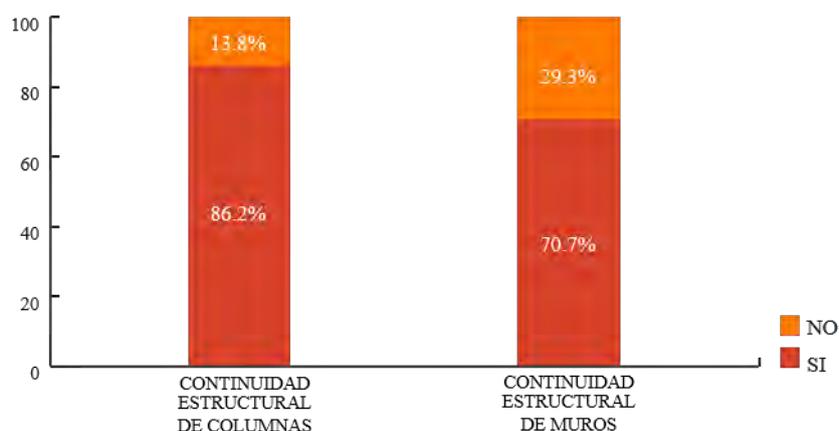


Figura 4.12 Continuidad estructural de columnas y muros (Swisscontact, 2016).

4.2.2.4. Irregularidad en altura

Se habla de irregularidad en altura cuando existe cambios considerables en la geometría entre niveles lo que ocasiona la concentración de esfuerzos en pisos puntuales generando fallas parciales o el colapso de la estructura (Swisscontact, 2016). Un ejemplo común es la construcción de voladizos para ampliar el espacio de las plantas superiores, el 77% de las viviendas estudiadas presentaban este problema, tal como se muestra en la Figura 4.13.



Figura 4.13 Presencia de voladizos en las viviendas informales (Swisscontact, 2016).

4.2.2.5. Irregularidad en planta

De igual manera, la irregularidad en planta hace referencia a los cambios abruptos de la geometría en planta, pues genera concentración de esfuerzos en zonas específicas haciéndolas frágiles frente a la ocurrencia de sismos. Por ende, se recomienda dividir la estructura en geometrías regulares y considerar juntas sísmicas para evitar el contacto entre ellas durante el

movimiento sísmico. En la Figura 4.14. (A) se muestra la concentración de esfuerzos y (B) las juntas sísmicas que se recomienda colocar.

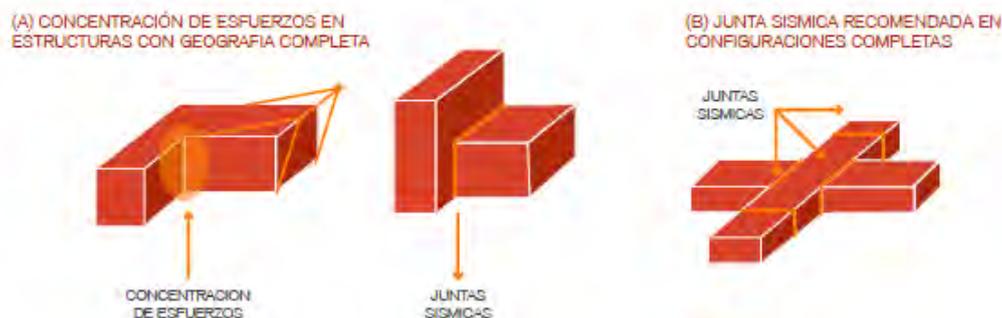


Figura 4.14 Irregularidad en planta y recomendación de ubicación de juntas (Swisscontact, 2016).

El 83.3% de las viviendas cuentan con regularidad en planta, pero solo el 30% presenta juntas sísmicas para evitar contacto con las edificaciones contiguas. En la Figura 4.15 se muestran dos viviendas con ausencia de junta sísmica entre ellas.



Figura 4.15. Ausencia de junta sísmica en viviendas colindantes (Swisscontact, 2016).

4.2.2.6. Construcción de muros confinados en una sola dirección

En viviendas de albañilería los muros confinados serán los elementos estructurales que resistan las cargas sísmicas; por ende, se debe construir la cantidad necesaria de forma paralela y perpendicular a la fachada principal, pues el efecto del sismo se puede dar en ambas direcciones. El 85% de las viviendas encuestadas presentaron un alto número de muros en una sola dirección, mientras que solo el 15% presentó un número balanceado en ambas direcciones.

4.2.2.7. Ausencia de recubrimiento

El recubrimiento en los elementos de concreto armado sirve para aislar y proteger al acero del medio ambiente, pues en su ausencia puede provocar su pronta corrosión y por consiguiente

el debilitamiento de la estructura. Este efecto es mayor si la edificación se encuentra cerca del mar por la existencia de las sales marinas; por ello, su importancia en las viviendas de Villa el Salvador, pues el distrito limita por el oeste con el Océano Pacífico y se encuentra a una altitud de tan solo 176 m.s.n.m.

El resultado de la inspección muestra la ausencia de recubrimiento en más de la mitad de las viviendas; asimismo, el agrietamiento de concreto en vigas, columnas y cielos rasos debido a la corrosión del acero o sismos anteriores. En la Figura 4.16 se muestran los agrietamientos en viga y losa de una de las viviendas encuestadas en Villa el Salvador.



Figura 4.16 Presencia de grietas en elementos estructurales (Swisscontact, 2016).

4.2.2.8. Juntas horizontales mayor a 15mm

Los principales problemas de las juntas de asentado se dan por la deficiente mano de obra, en la Figura 4.17 se puede observar que solo el 3.3% de las viviendas presentan juntas menores a 1.5cm que es lo permitido por la norma, mientras que la mayoría presenta juntas entre 1.5 y 2.0cm.

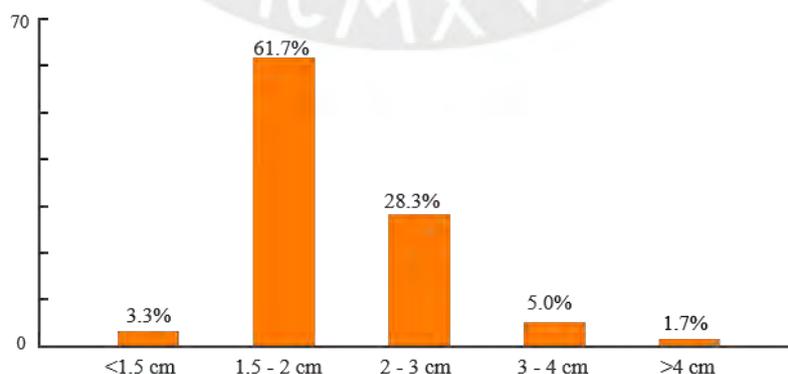


Figura 4.17 Espesor de juntas de asentado (Swisscontact, 2016).

4.2.2.9. Presencia de tuberías en elementos estructurales y mechas de acero

En el 21.67% de viviendas existen tuberías de PVC que cortan la unión del muro con la columna o que bajan por los mismos muros, ocasionando que estos se debiliten. Asimismo, en el 10% de viviendas se presencia mechas de acero que están expuestas al medio ambiente, originando su pronta corrosión. En la Figura 4.18 se muestra estas deficientes constructivas.



a) Tubería corta muro de entepiso a techo

b) Exposición de mechas de acero

Figura 4.18 Presencia de tuberías en elemento estructural y mechas de acero expuestas (Swisscontact, 2016).

4.2.3. Evaluación del riesgo sísmico

Para determinar el riesgo sísmico primero se definirá la vulnerabilidad y peligro sísmicos.

4.2.3.1. Vulnerabilidad sísmica

Existen tres tipos:

- a. La vulnerabilidad estructural: referida a la susceptibilidad de daño de los elementos estructurales ante un movimiento sísmico, por ende, se estima en función a la densidad de muros, la calidad de mano de obra y de los materiales.
- b. La vulnerabilidad no estructural: referida a la susceptibilidad de daño de los elementos no estructurales ante un movimiento sísmico
- c. La vulnerabilidad funcional: referida a la susceptibilidad de una edificación o estructura a sufrir un “colapso funcional” ante un movimiento sísmico

En este caso se tomará en cuenta solo las dos primeras, pues todas las edificaciones evaluadas tienen uso de vivienda. En la Tabla 4.2 se muestran que el valor de la vulnerabilidad depende en un 60% de la configuración y densidad de muros, en un 30% de la calidad de la

mano de obra y materiales, por último, en un 30% de la estabilidad de los elementos no estructurales.

Tabla 4.2 Indicadores de vulnerabilidad sísmica (Mosqueira & Tarque, 2005)

VULNERABILIDAD SÍSMICA					
Estructural				No estructural	
Configuración y densidad de muros (60 %)		Mano de obra y materiales (30 %)		Elementos no estructurales (10 %)	
Adecuada	1	Buena calidad	1	Todos estables	1
Aceptable	2	Regular calidad	2	Algunos estables	2
Inadecuada	3	Mala calidad	3	Todos inestables	3

Después, el valor obtenido se califica como baja, media o alta de acuerdo con lo especificado en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Rangos numéricos para clasificación de la vulnerabilidad

Vulnerabilidad sísmica	Rango
Baja	1.0 - 1.4
Media	1.5 - 2.1
Alta	2.2 - 3.0

De esta manera en la investigación se determinó que el 35.8% de las viviendas presenta una vulnerabilidad alta, el 56.6% una vulnerabilidad media y el 7.5% una vulnerabilidad baja tal como se muestra en la Figura 4.19.

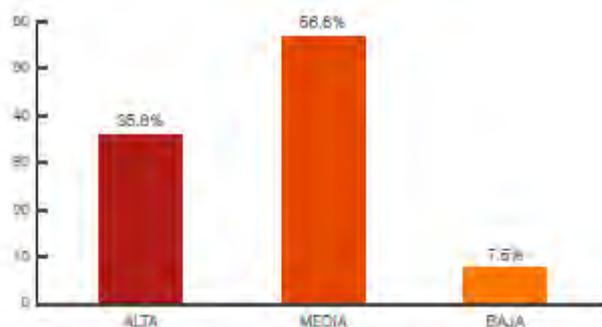


Figura 4.19 Vulnerabilidad de las viviendas seleccionadas (Swisscontact, 2016)

4.2.3.2. Peligro sísmico

Como se muestra en la Tabla 4.4 el valor del peligro sísmico depende en un 40% de la sismicidad, en un 40% del tipo de suelo y en un 20% del tipo de topografía y pendiente de la zona.

Tabla 4.4 Peligro sísmico

PELIGRO SÍSMICO					
Sismicidad (40%)		Suelo (40%)		Topografía y pendiente (20%)	
Baja	1	Roca	1	Plana	1
Media	2	Intermedio	2	Media	2
Alta	3	Blando	3	Pronunciada	3

Se considera 40% de sismicidad y tipo de suelo, porque forman parte del cálculo de la fuerza sísmica. Después de obtener el valor se determina el nivel del peligro de acuerdo con la sismicidad presente en la zona, tal como se muestra en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Rangos numéricos para la clasificación del peligro sísmica

SISMICIDAD	PELIGRO SÍSMICO	RANGO
Alta	Bajo	1.8
	Medio	2.0 - 2.4
	Alto	2.6 - 3.0
Media	Bajo	1.4 - 1.6
	Medio	1.8 - 2.4
	Alto	2.6
Baja	Bajo	1.0 - 1.6
	Medio	1.8 - 2.0
	Alto	2.2

El distrito de Villa El Salvador se encuentra en la costa peruana así que presenta una alta sismicidad, asimismo de acuerdo con la microzonificación sísmica los sectores estudiados presentan un suelo blando; por ende, todas las viviendas presentan un alto peligro sísmico.

4.2.3.3. Riesgo sísmico

Esta evaluación se realiza con los valores de peligro sísmico y vulnerabilidad. En la Tabla 4.6. se muestra la clasificación a considerar para el riesgo sísmico a partir del peligro y vulnerabilidad.

Tabla 4.6 Matriz de clasificación del riesgo sísmico (Mosqueira & Tarque, 2005)

RIESGO SÍSMICO			
VULNERABILIDAD PELIGRO	BAJA	MEDIA	ALTA
	BAJO	Bajo	Medio
MEDIO	Medio	Medio	Alto
ALTO	Medio	Alto	Alto

El resultado de la investigación es que el 92.5% de las viviendas presentan un alto riesgo sísmico, lo que significa que sufrirán daños estructurales importantes, inclusive podrían colapsar. Así mismo, podrían experimentar asentamientos considerables por el suelo blando presente.

4.3. Elección de viviendas a reforzar

4.3.1. Criterios mínimos de selección de las viviendas

Tomando como referencia la información recopilada en el proyecto CONSTRUYA PERÚ del 2015, se preseleccionaron 10 viviendas para ser visitadas y conocer su condición estructural actual.

Esta preselección se basó en la microzonificación sísmica, como se muestra en la Figura 4.20 los sectores estudiados se encuentran en las Zona III, Zona IV y Zona V.



LEYENDA		
	ZONA III	: Depósitos de arenas eólicas sueltas. Se espera un incremento severo del nivel de peligro sísmico estimado.
	ZONA IV	: Arenas eólicas de gran potencial en estado suelto y depósitos marinos. Zona de inundación por tsunamis
	ZONA V	: Rellenos de desmonte y/o basuras

Figura 4.20 Microzonificación sísmica en sectores estudiados (Adaptado de CISMID, 2011)

En la zona III se espera un incremento severo del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. La zona IV incluye áreas susceptibles a licuación de suelos, deslizamiento de taludes y amplificación sísmica, asimismo podría inundarse ante la ocurrencia de un Tsunami, es decir, presenta las condiciones más desfavorables ante la ocurrencia de un sismo severo, por lo que su uso debe ser restringido para habilitaciones urbanas. La zona V también debería estar registrado para la habilitación urbana, pues está conformada por rellenos de hasta 6 m de profundidad, constituido por materia orgánica en descomposición, desperdicios, basura, etc.

Por todo lo anterior, se preseleccionó viviendas que se encuentren solamente en la zona III, pues, aunque se espera un incremento severo del nivel de peligro sísmico, no está restringido su habilitación urbana.

Otros requisitos considerados en esta preselección fueron los siguientes:

- La técnica de construcción debe ser albañilería confinada
- El número máximo de niveles debe ser dos.
- No deben tener cimentaciones expuestas.
- El área mínima debe ser 14m², pues es un requisito del apoyo económico de reforzamiento estructural.

4.3.2. Características de las viviendas seleccionadas

Luego de visitar las diez viviendas preseleccionadas y de verificar que continúen cumpliendo con los requisitos antes mencionados, se eligieron solo dos de ellas. Es preciso mencionar que esta selección también dependió de la accesibilidad brindada por los propietarios. A continuación, se describen las dos viviendas seleccionadas:

Vivienda N°01.

Esta primera vivienda, cuyo propietario es el Sr. Mario José Sandoval Castro, está ubicada en el sector 7, Grupo 4 Mz. H Lote 01. Como se muestra en la Figura 4.21 la vivienda cuenta con dos niveles en el área de los dormitorios y solo un nivel en el área de la cocina y comedor. Los muros de la primera planta se construyeron con ladrillos King Kong hueco (espesor 13cm), mientras que en el segundo nivel se utilizó ladrillo pandereta (espesor de 11cm). Tiene una altura de entrepiso de 2.6m en todos los niveles, además todas las columnas son de 0.25x0.25m y las vigas soleras tienen un peralte igual que la losa. El techo del primer nivel es una losa aligerada en una dirección de 20 cm de espesor, mientras que el segundo nivel

está techado con calamina metálica. Además, los muros perimetrales presentan erosión por humedad y salitre.



Figura 4.21 Fachada de vivienda actual

Asimismo, como se puede observar en la Figura 4.22, la vivienda cuenta con pocos muros confinados en ambas direcciones, lo cual es común en viviendas esquineras, ya que se desea tener grandes espacios libres que dejen entrar la luz natural alrededor de todo el perímetro que da a la calle, por consecuencia existe mayor presencia de ventanas anchas y altas en esta parte:

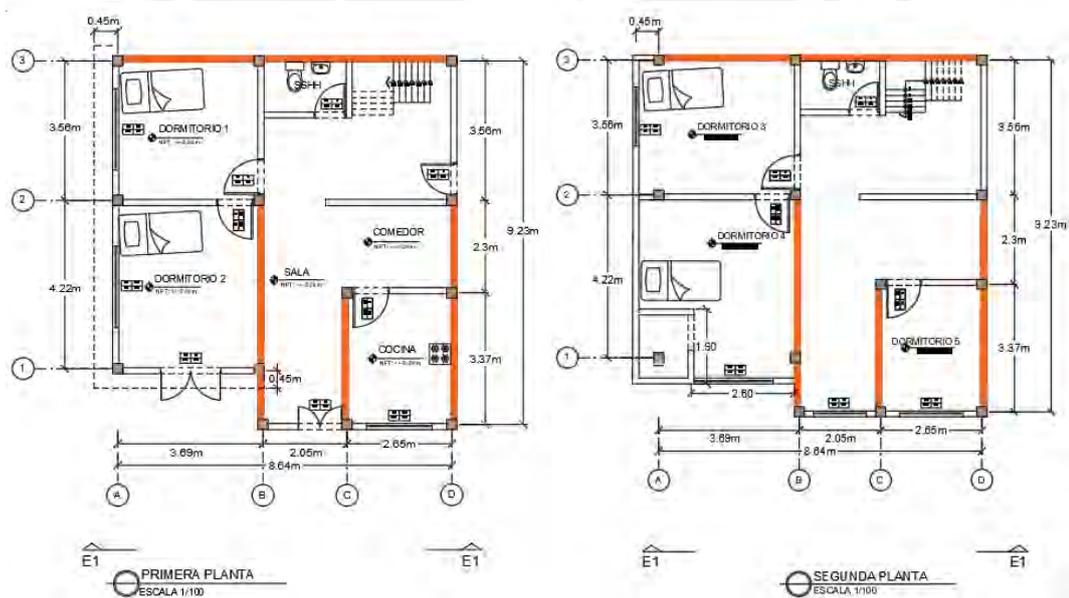


Figura 4.22 Primera y segunda planta de la vivienda N° 1

Otras deficiencias que se observaron fueron las instalaciones sanitarias que interfieren y debilitan los muros, ausencia de junta sísmica con las viviendas aledañas, presencia de humedad y salitre, tuberías y cables de electricidad expuestos.

Vivienda N°02.

La segunda vivienda, cuya propietaria es Alicia Juana Timoteo, está ubicada en Villa El Salvador, sector 9, grupo 2 Mz k lote 23. Cuenta con dos niveles y al igual que la primera vivienda los muros del segundo piso fueron construidos con ladrillo pandereta, mientras los del primer piso con ladrillo King Kong hueco. El techo del primer piso es una losa aligerada de una altura de 20cm y el segundo nivel tiene techo ligero de eternit, las columnas son de 25x25cm y las vigas tienen un peralte, como se muestra en la Figura 4.23.



Figura 4.23 Fachada de vivienda actual

Asimismo, como se puede ver en el plano, Figura 4.24, la estructura es alargada y tiene mayor número de muros perpendicular a la fachada, mientras que paralelo a esta, es deficiente.



Figura 4.24 Primera y segunda planta de la vivienda N° 2

Otras deficiencias encontradas son la humedad y uno que otro muro salitrado, aceros de refuerzo expuestos, tuberías sanitarias en los muros y ausencia de junta sísmica con una de las viviendas aledañas.

Capítulo 5: Requisitos Estructurales Mínimos y Análisis Sísmico de las Viviendas Actuales

En este capítulo se verifica la densidad mínima de muros y el esfuerzo axial máximo por cargas de gravedad de acuerdo con lo estipulado en la norma peruana E070 “Albañilería”. Asimismo, se realizará un análisis sísmico y verificación del agrietamiento de los muros portantes de las viviendas para verificar si cumplen con una adecuada resistencia, rigidez y ductilidad. Al final, se determinará el nivel de vulnerabilidad actual de cada estructura.

5.1.Verificación de la densidad mínima de muros

Los elementos estructurales principales de la albañilería confinada son los muros confinados, pues ellos resistirán las cargas de gravedad; así como, las cargas horizontales generadas por los sismos. Por ende, es importante la distribución simétrica en planta, la continuidad vertical y la densidad similar en las dos direcciones para asegurar un buen comportamiento sismorresistente (Abanto, 2017).

De acuerdo con norma E070 “Albañilería” la densidad mínima de muros reforzados se determina con la siguiente relación:

$$\frac{\text{Área de corte de los muros reforzados}}{\text{Área de la planta típica}} = \frac{\sum Lt}{A_p} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

Donde:

Z = Factor de zona

U = Factor de uso

S = Factor de suelo

N=Número de pisos de la edificación

Esta relación se cumple en viviendas construidas con ladrillo industrial King Kong macizo, requisito que no cumplen las viviendas informales que se está analizando, pues los muros fueron construidos con ladrillos King Kong hueco en el primer nivel y ladrillos Pandereta (tubulares) segundo nivel. Por tal razón, para verificar la densidad mínima de muros en cada nivel se utilizará la metodología descrita en la tesis “Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana” (Tarque, N. y Mosqueira, M., 2005).

Para obtener el área mínima de muros en el primer nivel se supone que la fuerza cortante actuante, producto de un sismo raro, dividida entre el área de muros requerida, será menor o igual que la sumatoria de las fuerzas cortantes resistentes de los muros dividida entre el área existente de muros (ecuación 1).

$$\frac{V}{A_m} \leq \frac{\sum VR}{A_e} \dots (1)$$

Donde:

V = Fuerza cortante basal actuante (kN)

VR = Fuerza de corte resistente de los muros (kN)

A_m = Área requerida o necesaria de muros (m²)

A_e = Área existente de muros confinados (m²)

La fuerza cortante basal se obtiene de la siguiente relación

$$V \leq \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} P \dots (2) \text{ (Norma E .030 "Diseño Sismorresistente")}$$

Donde:

Z = Factor de zona (para Lima es 0.45)

U = Factor de uso (para viviendas es 1)

C = Factor de amplificación sísmica (para un periodo fundamental menor a 1seg es 2,5)

S = Factor de suelo (para Suelo blando es 1.1)

R = Factor de reducción por ductilidad (para un sismo raro es 3)

P = Peso de la estructura (kN)

El peso de las viviendas de albañilería confinada en función al área techada de todos los pisos es aproximadamente 8 kN/m² (Arango, 2002).

$$P = Att * Y \dots (3)$$

Donde:

Att = Suma de las áreas techada (m²) de todos los pisos de la vivienda.

Y = 8 kN/m²

La fuerza de corte resistente de cada muro se expresa como:

$$VR = 0.5 * v'm * \alpha * t * l + 0.23 * Pg \dots (4) \text{ (Norma E .070 "Albañilería")}$$

Donde:

$v'm$ = Resistencia característica a corte puro de los muretes de albañilería (kPa)

α = Factor de reducción por esbeltez varía entre $1/3 \leq \alpha \leq 1$

t = Espesor (m) del muro en análisis

l = Longitud (m) del muro en análisis

P_g = Carga gravitacional con 25% de sobrecarga (kN)

Para calcular VR se supone la situación más desfavorable, es decir cuando el factor de reducción por esbeltez (α) es 1 (el más alto) y cuando no se tiene peso gravitacional ($P_g=0$) que ayude a estabilizar al muro frente a fuerzas horizontales. Entonces, la ecuación 4 quedaría expresada como:

$$VR = 0.5 * V'm * t * l \dots (5)$$

La condición más desfavorable para prevenir el colapso de las viviendas se da cuando la cortante basal es igual a la fuerza resistente de todos los muros de la estructura. Entonces, la ecuación 1 queda expresada de la siguiente forma:

$$\frac{V}{Am} = \frac{\sum VR}{Ae} \dots (6)$$

Entonces, para obtener el área requerida de muros (Am) se reemplazarán las ecuaciones 2, 3 y 5, en la ecuación 6, además se considera la igualdad de $\sum(tl) = Ae$:

$$Am = \frac{Z * U * C * S * Att * Y}{0.5 * R * v'm} \dots (7) \quad Am \text{ expresada en } m^2$$

Como se mencionó anteriormente, los ladrillos utilizados en la construcción de las viviendas no están permitidos para así que la resistencia característica a compresión axial ($f'm$) se obtendrá de ensayos realizados previamente por otros autores. En la Tabla 5.1 se muestra el resultado de dos estudios para cada tipo de ladrillo, para ser conservadores en la investigación se trabajará con los menores valores.

Tabla 5.1 Resistencia característica a compresión axial de la albañilería ($f'm$)

	AUTORES DE LOS ENSAYOS	$f'm$ (kg/cm ²)	$f'm$ seleccionado (kg/cm ²)
LADRILLOS KK HUECOS	San Bartolomé A. y Castro A. (2002)	86	83
	San Bartolomé, A. y Ordoñez, J. (2005)	83	
LADRILLO PANDERETA	Araoz, T., & Velezmoro, J. (2012)	24.49	24.5
	Mamani, P. (2015)	27.04	

Es preciso mencionar que las pilas de albañilería ensayadas tenían un 1cm de junta vertical y horizontal, sin embargo, en los muros portantes de las viviendas seleccionadas se presenciaron juntas de asentado en el rango de 1.5 y 2cm. Por tal razón, se hará una reducción del 45% al $f'm$, pues por “cada incremento de 3mm en la junta horizontal mínima (10mm) la resistencia a compresión de la albañilería disminuye en un 15%; asimismo, disminuye la resistencia al corte” (San Bartolomé, A., Quium, D y Silva, W., 2011, p.57). Por lo tanto, se utilizará los valores de la Tabla 5.2 para los distintos cálculos.

Tabla 5.2 Características de los ladrillos utilizados

	$F'm$ (kg/cm ²)	$V'm$ (kg/cm ²)	E_m (kg/cm ²)	G_m (kg/cm ²)	t (cm)	ν
Ladrillo hueco	45.3	6.7	22,650	9,060	13	0.25
Ladrillo tubular	13.2	3.6	6,600	2,640	11	0.25

Donde:

$F'm$ Resistencia característica a compresión axial de la albañilería

$V'm$ Resistencia característica de la albañilería al corte. $V'm=(F'm)^{1/2}$

E_m Módulo de elasticidad de la albañilería. $E_m=500f'm$

G_m Módulo de corte de la albañilería. $G_m=0.4 E_m$

t Espesor efectivo del muro (sin tarrajeo salvo que se aplique sobre una malla anclada al muro)

ν Módulo de Poisson

Mencionado todos los valores, se procede a reemplazarlos en la ecuación 7, para así obtener el área requerida de muros del primer piso ($V'm=657$ kPa) en función de la suma de áreas techadas hasta ese nivel:

$$A_m = \frac{0.45 * 1 * 2.5 * 1.1 * Att * 8}{0.5 * 3 * 657}$$

$$A_m = \frac{Att}{100} \dots (8) \text{ } A_m \text{ expresada en } m^2$$

De la misma forma, para el segundo nivel, donde los muros fueron construidos con ladrillo Pandereta ($V'm=353$ kPa), se obtendría la siguiente relación:

$$A_m = \frac{0.45 * 1 * 2.5 * 1.1 * Att * 8}{0.5 * 3 * 353}$$

$$A_m = \frac{Att}{53} \dots (9) \text{ } A_m \text{ expresada en } m^2$$

Si se expresa en función del área la relación estipulada por la Norma E.070 “Albañilería”, se obtendría lo siguiente:

$$A_m = \frac{ZUSAtt}{56} = \frac{0.45 * 1 * 1.1 Att}{56} = \frac{Att}{113} \dots (10) \text{ } A_m \text{ expresada en } m^2$$

El denominador de 113 es mayor que las dos encontradas anteriormente; por lo tanto, se obtendría un área requerida menor de muros portantes. De esta forma, se comprueba que las ecuaciones 8 y 9 muestran resultados más reales para determinar el área requerida en viviendas informales para asegurar un buen comportamiento sísmico.

Finalmente, para determinar si la densidad de muros es adecuada o no se tomará en cuenta la relación existente entre A_e y A_m , el primero se obtendrá de los planos de las viviendas y el segundo de la ecuación 8 o 9:

- Si $A_e / A_m \leq 0,80$ se concluye que la vivienda no tiene adecuada densidad de muros.
- Si $A_e / A_m \geq 1,1$ se concluye que la vivienda tiene adecuada densidad de muros.
- Si $0,8 < A_e / A_m < 1,1$ se necesita calcular con mayor detalle la suma de fuerzas cortantes resistente de los muros de la vivienda (ΣVR) y el cortante actuante.

Teniendo presente esta teoría se procede a verificar la densidad de muros en cada nivel de las viviendas seleccionadas.

Para el cálculo del área existente solo se consideró a los muros que se encuentren enmarcados en sus cuatro lados por elementos de concreto armado, pues el sismo actúa en los dos sentidos y eludir una columna hace que el tamaño de la grieta diagonal se torne incontrolable. Además, los muros deben tener una longitud mayor a 1.2m y presentar continuidad vertical. En la Figura 5.1 se muestra los muros de color anaranjado considerados en ambas viviendas.

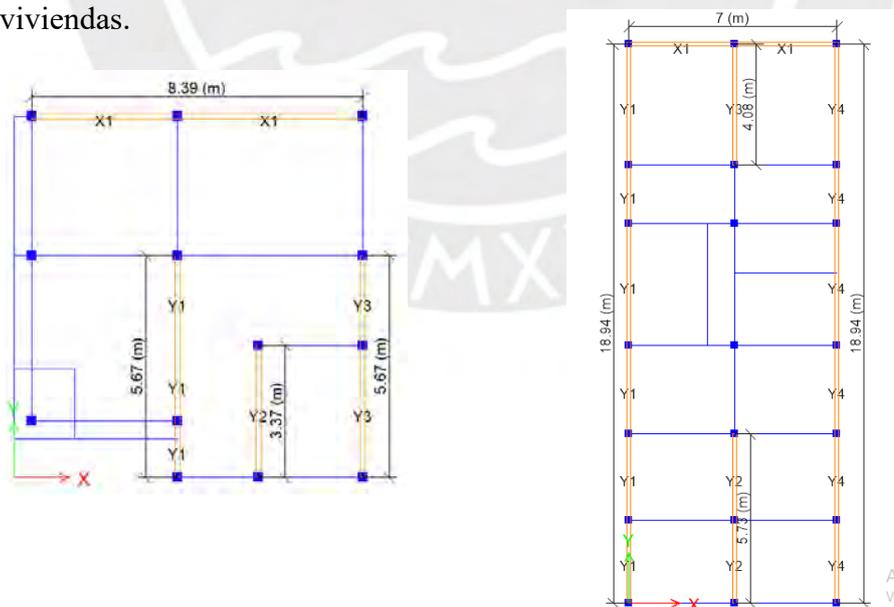


Figura 5.1 Muros confinados a considerar en la vivienda N°01 (izquierda) y vivienda N°02 (derecha)

El área existente de muros en la primera y segunda planta de la vivienda N°01 se muestra en la Tabla 5.3 y Tabla 5.4 respectivamente:

Tabla 5.3 Área existe de muros confinados en cada dirección de la primera planta de la vivienda N°1

Dirección X-X				Dirección Y-Y			
Muro	L(m)	t(m)	A(m2)	Muro	L(m)	t(m)	A(m2)
X1	8.64	0.13	1.12	Y1	5.92	0.13	0.77
				Y2	3.62	0.13	0.47
				Y3	5.92	0.13	0.77
Ae= $\sum(Lt)$			1.12	Ae= $\sum(Lt)$			2.01

Tabla 5.4 Área existe de muros confinados en cada dirección de la segunda planta de la vivienda N°1

Dirección X-X				Dirección Y-Y			
Muro	L(m)	t(m)	A(m2)	Muro	L(m)	t(m)	A(m2)
X1	8.64	0.11	0.95	Y1	5.92	0.11	0.65
				Y2	3.62	0.11	0.40
				Y3	5.92	0.11	0.65
Ae= $\sum(Lt)$			0.95	Ae= $\sum(Lt)$			1.70

De la misma forma, el área existente de muros en la primera y segunda planta de la vivienda N°02 se muestra en la Tabla 5.5 y Tabla 5.6 respectivamente:

Tabla 5.5 Área existe de muros confinados en cada dirección de la primera planta de la vivienda N°2

Dirección X-X				Dirección Y-Y			
Muro	L(m)	t(m)	A(m2)	Muro	L(m)	t(m)	A(m2)
X1	7.25	0.13	0.94	Y1	19.19	0.13	2.49
				Y2	5.98	0.13	0.78
				Y3	4.33	0.13	0.56
				Y4	19.19	0.13	2.49
Ae= $\sum(Lt)$			0.94	Ae= $\sum(Lt)$			6.33

Tabla 5.6 Área existe de muros confinados en cada dirección de la segunda planta de la vivienda N°2

Dirección X-X				Dirección Y-Y			
Muro	L(m)	t(m)	A(m2)	Muro	L(m)	t(m)	A(m2)
X1	7.25	0.11	0.80	Y1	19.19	0.11	2.11
				Y2	5.98	0.11	0.66
				Y3	4.33	0.11	0.48
				Y4	19.19	0.11	2.11
Ae= $\sum(Lt)$			0.80	Ae= $\sum(Lt)$			5.36

La primera vivienda cuenta con un área techada de 81 m² en cada piso, así que el área requerida para el primer y segundo piso sería el siguiente:

$$Am = \frac{81 * 2}{100} = 1.6m^2 \quad \text{para el primer piso}$$

$$Am = \frac{81}{53} = 1.5m^2 \quad \text{para el segundo piso}$$

En la Tabla 5.7 se muestra el valor de la relación de Ae y Am en cada dirección y piso de análisis para la vivienda N^o1, de esta tabla se concluye que existe una adecuada densidad de muros en la dirección Y, pero es inadecuada en la dirección X. Este resultado se esperaba, pues solo se tiene un muro confinado en esta dirección.

Tabla 5.7 Relación del Área existente y Área requerida de muros de la vivienda N^o1

	Dirección	Ae (m ²)	Am (m ²)	Ae/Am	Densidad de muro
PISO 1	X	1.12	1.6	0.69	Inadecuada
	Y	2.01	1.6	1.24	Adecuada
PISO2	X	0.95	1.5	0.62	Inadecuada
	Y	1.70	1.5	1.11	Adecuada

La segunda vivienda cuenta con un área techada de 133 m² en cada piso, así que el área requerida para el primer y segundo piso sería el siguiente:

$$Am = \frac{133 * 2}{100} = 2.7 m^2 \quad \text{para el primer piso}$$

$$Am = \frac{133}{53} = 2.5 m^2 \quad \text{para el segundo piso}$$

En la tabla 5.8 se muestra el valor de la relación de Ae y Am en cada dirección y piso de análisis de esta vivienda, en esta tabla se muestra que existe una adecuada densidad de muros en la dirección Y, pero es inadecuada en la dirección X.

Tabla 5.8 Relación del Área existente y Área requerida de muros de la vivienda N^o2

	Dirección	Ae (m ²)	Am (m ²)	Ae/Am	Densidad de muro
PISO 1	X	0.94	2.7	0.36	Inadecuada
	Y	6.33	2.7	2.39	Adecuada
PISO2	X	0.80	2.5	0.32	Inadecuada
	Y	5.36	2.5	2.14	Adecuada

Como se mencionó anteriormente, es común que en las viviendas informales exista mayor cantidad de muros perpendicular a la fachada principal, mientras que en la dirección contraria es deficiente. Lo cual se comprobó con los cálculos realizados, pues ambas

viviendas tienen una inadecuada densidad de muros en la dirección X, mientras que en la dirección Y se tiene más del doble del área requerida.

5.2. Configuración de las viviendas en el programa analítico

Tomando como base las normas peruanas E.070 “Albañilería”, E.030 “Diseño Sismorresistente” y E. 020 “Cargas” se realizará el análisis sísmico de las viviendas con los elementos estructurales que posee.

5.2.1. Características de los materiales

La Norma Técnica de Albañilería indica que en la zona sísmica 4, tal es el caso de Lima, se debe utilizar ladrillos macizos (máximo 30% de aire o vacío) para construir muros portantes, lo cual no se cumple en las dos viviendas seleccionadas, pues se utilizaron ladrillos King Kong (hueco) y ladrillos Pandereta (tubular), cuyas características de los ladrillos utilizados se mostraron en la tabla 5.2.

Con respecto a las características del concreto, se reducirá el Módulo de elasticidad en un 25% para ser conservadores, pues la calidad de mano de obra y de materiales no fueron totalmente adecuadas, además suponemos que la vivienda se vio afectada por los diversos sismos frecuentes que suceden en la capital, las mencionadas características se muestran en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Característica del concreto a utilizar

	F'c (kg/cm²)	Ec (kg/cm²)	v
Características ideales	170	200 000	0.15
Características a considerar	100	150 000	0.15

Donde:

F'c: Resistencia nominal a compresión

Ec: Módulo de elasticidad $E_c = 15000(f'c)^{1/2}$

v: Módulo de Poisson

5.2.2. Cargas unitarias

Para el análisis de las dos viviendas, estas se proyectaron hasta el segundo nivel con techos vaciados y muros tarrajeados, para así poder considerar un diafragma rígido en cada nivel que permita la distribución de las cargas sísmicas de acuerdo a la rigidez de los elementos

verticales. Considerando estos detalles se muestran las cargas unitarias a considerar en el modelo:

- Peso volumétrico del concreto armado: 2.4 ton/m³
- Peso volumétrico de la albañilería: 1.8 ton/m³
- Peso volumétrico del tarrajeo: 2.0 ton/m³
- Peso volumétrico de la albañilería de ladrillo King Kong hueco + 2cm de tarrajeo: $(1.8 \times 0.13 + 2.0 \times 0.02) / 0.13 = 2.108$ ton/m³
- Peso volumétrico de la albañilería de ladrillo pandereta + 2cm de tarrajeo: $(1.8 \times 0.11 + 2.0 \times 0.02) / 0.11 = 2.164$ ton/m³
- Peso propio de la losa de techo (h=20cm): 0.3 ton/m²
 - ✓ Peso del ladrillo: 0.065 ton/m²
 - ✓ Peso del concreto: 0.235 ton/m²
- Sobrecarga: entrepiso 0.2 ton/m², en azotea: 0.1 ton/m²
- Acabados: 0.1 ton/m²

5.2.3. Características del modelo en el programa ETABS

En el programa, las losas se definieron como elementos tipo membrana para que el 100% de las cargas que reciba lo transmita a los elementos estructurales que la soportan. Además, como se trata específicamente de losas aligeradas se las dibujó como una losa nervada (Ribbed) con una vigueta en forma de T, separadas cada 40cm, con 5 cm de espesor de ala y, 15 cm de alto y 10cm de espesor del alma. Luego, se agregó el peso de los ladrillos de techo (0.065 ton/m²) y el piso terminado (0.1 ton/m²) como carga muerta tal como se muestra en la Figura 5.2.

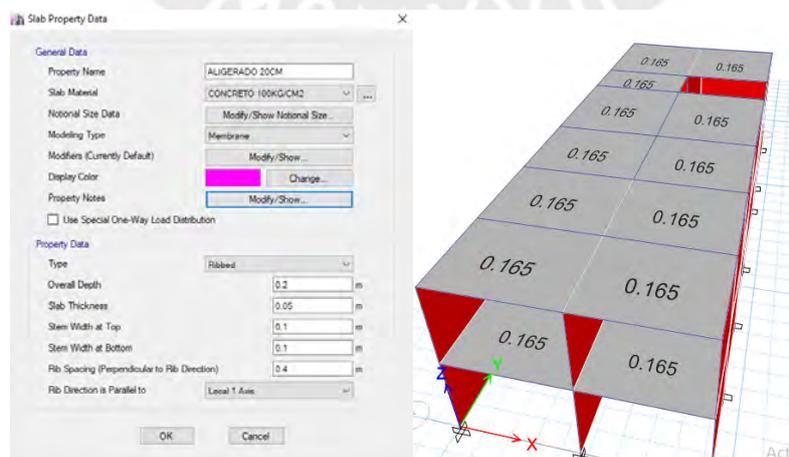


Figura 5.2 Configuración de las losas aligeradas en el programa analítico

Los muros confinados se definieron como elementos tipo Shell-thin, mientras que las columnas se definieron como elementos tipo frame como se muestra en la Figura 5.3.

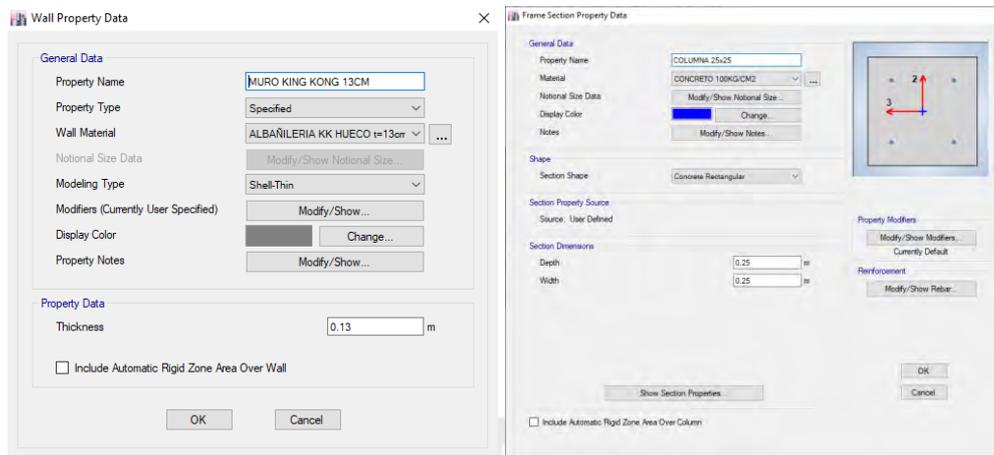


Figura 5.3 Configuración de los muros confinados y columnas en el programa analítico

Como se observa en la Figura 5.4 las vigas también se definieron como elementos tipo frame, pero se consideró con peso nulo, pues tienen el mismo peralte que la losa así que ya están consideradas con estas; sin embargo, se modelaran con la finalidad de que transmitan las cargas recibidas a los elementos verticales.

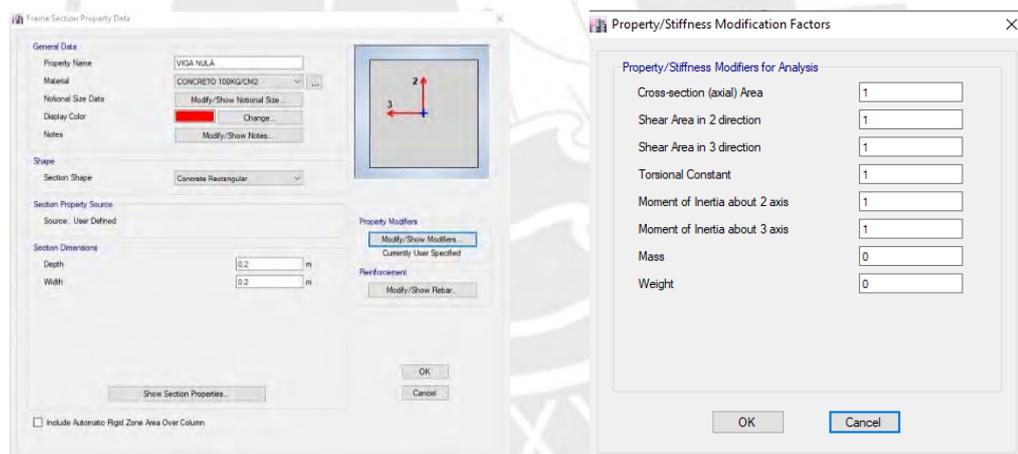


Figura 5.4 Configuración de las vigas en el programa analítico

Por último, se consideraron las sobrecargas estipuladas en la Norma E020 “Cargas”, así como el peso de las tabiquerías, alfeizers, parapetos y muros simples como se muestra en la figura 5.5.

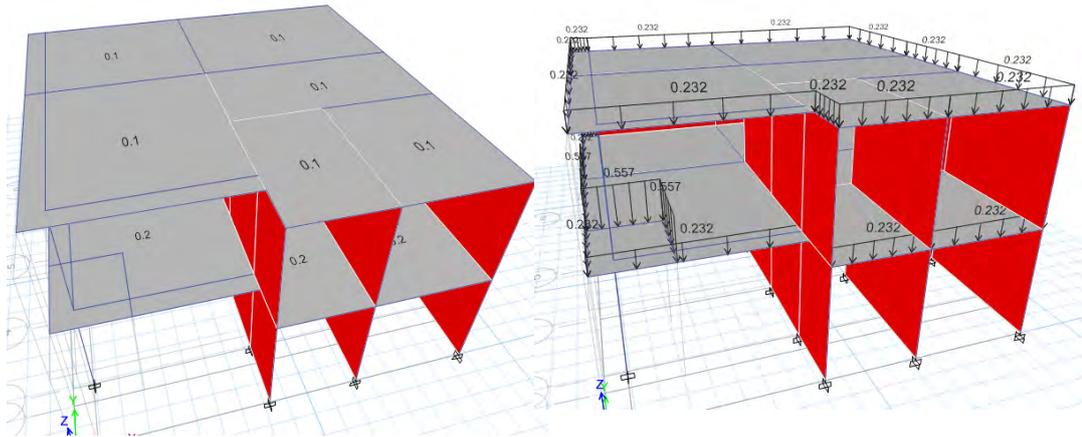


Figura 5.5 Aplicación de las sobrecargas (a la izquierda) y peso de tabiquerías, alfeizers y parapetos (a la derecha)

5.3. Verificación del Esfuerzo Axial Máximo por Cargas de Gravedad

Este análisis consiste en verificar que el esfuerzo axial máximo (F_{max}) producido en cada muro por las cargas de gravedad máxima de servicio (P_m) que incluye el 100% de la sobrecarga sea inferior al 15% de la resistencia a compresión de pilas de albañilería ($f'm$), además se debe cumplir lo siguiente:

$$F_{max} = \frac{P_m}{L * t} \leq 0.2 f'm * \left(1 - \left(\frac{h^2}{(35t)^2} \right) \right) \leq 0.15 f'm$$

Donde:

P_m : carga de gravedad máximo de servicio (ton)

L : Longitud total del muro incluyendo columnas ($L > 1.2m$)

t : espesor efectivo de muro (m)

$f'm$: Resistencia a la compresión axial de la albañilería (ton/m²)

h : altura libre del muro (m)

Para el caso de un muro construido con ladrillo pandereta, el límite de F_{max} sería 16.1 ton/m², pues es menor que 19.8 ton/m², tal como se muestra en los siguientes cálculos:

$$0.2 f'm * \left(1 - \left(\frac{h^2}{(35t)^2} \right) \right) = 0.2 \left(\frac{132 \text{ton}}{\text{m}^2} \right) * \left(1 - \left(\frac{2.4 \text{m}^2}{(35 * 0.11 \text{m})^2} \right) \right) = 16.1 \text{ ton/m}^2$$

$$0.15 * f'm = 0.15 * \frac{132 \text{ton}}{\text{m}^2} = 19.8 \text{ ton/m}^2$$

De la misma forma, para el caso de un muro construido con ladrillo King Kong hueco, el límite de F_{max} sería 65.4 ton/m², como se muestra en los siguientes cálculos:

$$0.2 f'm * \left(1 - \left(\frac{h^2}{(35t)^2} \right) \right) = 0.2 \left(\frac{453 \text{ton}}{\text{m}^2} \right) * \left(1 - \left(\frac{2.4 \text{m}^2}{(35 * 0.13 \text{m})^2} \right) \right) = 65.4 \text{ ton/m}^2$$

$$0.15 * f'm = 0.15 * \frac{453 \text{ ton}}{\text{m}^2} = 68 \text{ ton/m}^2$$

El valor de Pm se obtuvo directamente del modelo, además es preciso mencionar que para esta verificación no se consideró las columnas de confinamiento, pues se debe considerar que todo el peso lo reciben únicamente los muros; sin embargo, si se modeló las columnas aisladas como se puede observar en la Figura 5.6.

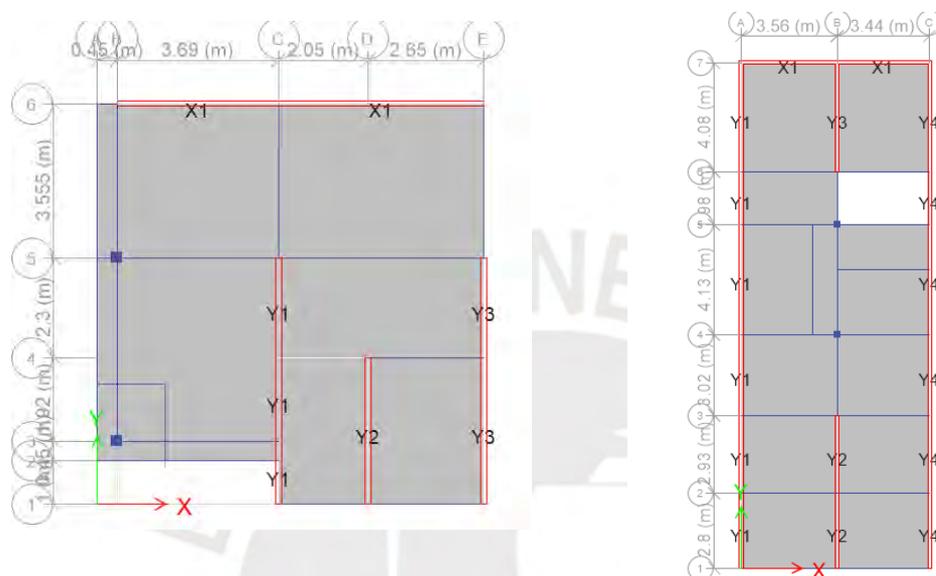


Figura 5.6 Configuración de la vivienda N°01 (a la izquierda) y la vivienda N°02 (a la derecha) para la obtención de las cargas por gravedad

La longitud total de los muros se obtuvo directamente de los planos, entonces teniendo los datos necesarios se calculó el Fmax y se comparó con el Esfuerzo Límite. Como se muestra en la tabla 5.10 y la tabla 5.11, en el segundo piso de ambas viviendas se supera el esfuerzo límite, lo cual se esperaba, pues el F'm del ladrillo pandereta es pequeño y es 45% menos debido al proceso constructivo deficiente de los muros. Asimismo, la escasa cantidad de muros influye negativamente, pues toda la carga de gravedad debe repartirse en unos pocos.

Tabla 5.10 Verificación del esfuerzo axial máximo por cargas de gravedad en la vivienda N°1

PISO	MURO	L(m)	t(m)	Pm(ton)	Fmax (ton/m2)	Esf. Límite (ton/m2)	Observación
2	X1	8.64	0.11	14.19	14.94	16.1	Cumple
2	Y1	5.92	0.11	16.91	25.96	16.1	Cambiar
2	Y2	3.62	0.11	7.13	17.90	16.1	Cambiar
2	Y3	5.92	0.11	11.40	17.50	16.1	Cambiar
1	X1	8.64	0.13	35.69	46.38	65.4	Cumple
1	Y1	5.92	0.13	16.36	34.76	65.4	Cumple
1	Y2	3.62	0.13	22.81	29.64	65.4	Cumple
1	Y3	5.92	0.11	14.19	14.94	16.1	Cumple

Tabla 5.11 Verificación del esfuerzo axial máximo por cargas de gravedad en la vivienda N°2

PISO	MURO	L(m)	t(m)	Pm(ton)	Fmax (ton/m2)	Esf. Límite (ton/m2)	Observación
2	X1	7.25	0.11	8.87	11.13	16.1	Cumple
2	Y1	19.19	0.11	29.64	14.04	16.1	Cumple
2	Y2	5.98	0.11	18.47	28.08	16.1	Cambiar
2	Y3	4.33	0.11	8.91	18.70	16.1	Cambiar
2	Y4	19.19	0.11	27.49	13.02	16.1	Cumple
1	X1	7.25	0.13	17.86	18.94	65.4	Cumple
1	Y1	19.19	0.13	59.90	24.01	65.4	Cumple
1	Y2	5.98	0.13	40.12	51.61	65.4	Cumple
1	Y3	4.33	0.13	20.21	35.90	65.4	Cumple
1	Y4	19.19	0.13	55.98	22.44	65.4	Cumple

Por otro lado, el modelo idealizado para esta verificación del esfuerzo axial máximo también permite obtener la carga axial de gravedad (P_g) en cada muro, pero solo considerando el 25% de sobrecarga. Esta carga axial de gravedad se muestra en la tabla 5.12 y 5.13 y se utilizará más adelante para el análisis de agrietamiento de los muros.

Tabla 5.12 Carga axial de gravedad en los muros de la vivienda N°01

PISO	MURO	Pg(ton)
2	X1	13.16
2	Y1	15.01
2	Y2	6.35
2	Y3	10.47
1	X1	25.44
1	Y1	30.10
1	Y2	13.98
1	Y3	20.02

Tabla 5.13 Carga axial de gravedad en los muros de la vivienda N°02

PISO	MURO	Pg(ton)
2	X1	8.36
2	Y1	27.57
2	Y2	16.28
2	Y3	7.96
2	Y4	25.76
1	X1	16.29
1	Y1	53.79
1	Y2	33.48
1	Y3	17.31
1	Y4	50.84

Por otra parte, si se considera las columnas de confinamiento en el modelo se puede obtener el peso real de la estructura, el cual expresado en función del área techada total tiene un valor de 7.7kN/m² en la primera vivienda y 7.6 kN/m² en la segunda, como se muestra en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14 Peso en función del área techada de cada vivienda

	Vivienda N°01	Vivienda N°02
Carga Muerta (Ton)	126.49	206.61
Carga Muerta (KN)	1240.88	2026.83
Área techada total (m ²)	161.86	266
Peso/A. Techada (KN/m ²)	7.7	7.6

Estos valores comprueban que el peso en función del área techada se aproxima a 8 kN/m² y que fue correcto utilizarlo para la verificación de la densidad de muros.

5.4. Análisis sísmico ante sismo severo

Después de haber verificado la densidad de muros y el esfuerzo axial máximo se procede a realizar el análisis sísmico frente a un sismo severo. Para ello, la norma técnica E.030 de diseño sismorresistente, menciona que en la zona sísmica 4, como Lima, se puede utilizar un procedimiento de análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes en viviendas de albañilería confinada con no mayor a 15 m de altura aun cuando sean irregulares.

Asimismo, la norma técnica E.070 sobre albañilería, indica que para la rigidez de los muros se debe considerar el 25% de la sección transversal de los muros que concurren ortogonalmente o 6 veces su espesor, el que sea mayor. En este caso se considerará el menor para ser conservadores, además para poder idealizar lo indicado por la norma E.070 se trabajará con dos modelos, una para realizar el análisis sísmico en la dirección X y otra para la dirección Y. La diferencia entre ellos será las columnas de confinamiento a considerar y las secciones transformadas.

Por ejemplo, para un análisis sísmico en la dirección X, en el modelo se considerarán solo las columnas de confinamiento de los muros de esa dirección y las columnas aisladas. En la Figura 5.7 se muestra la forma de aplicación de la sección transformada para el muro X1, en la cual se consideró de forma conservadora una longitud de 0.66m (6 veces el espesor efectivo del muro construido con ladrillo pandereta) de los muros Y1, Y3 y Y4 en el nivel 1 y 2 de la vivienda, así mismo se consideró el aporte de las columnas de confinamiento, para ello se las etiquetó con el mismo nombre X1.

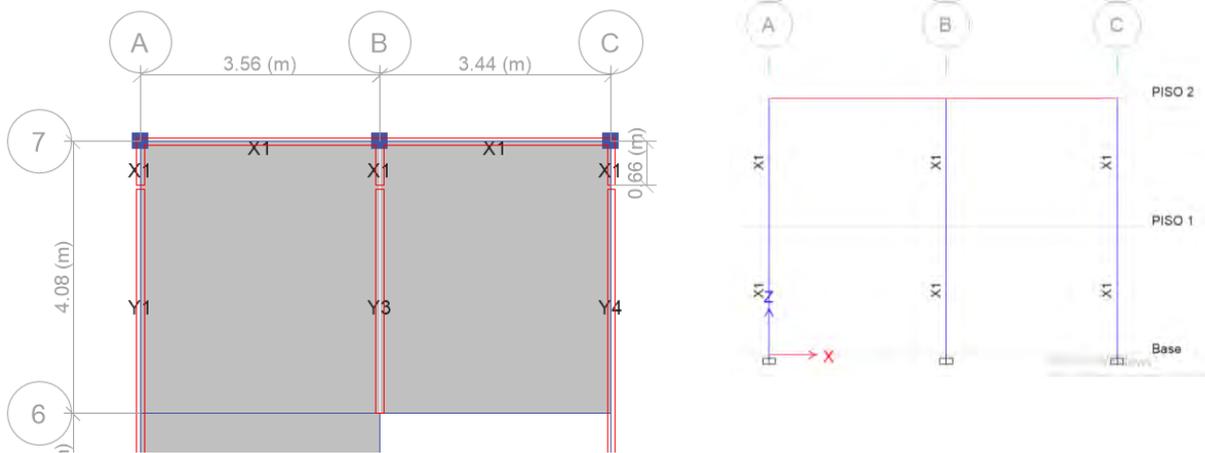


Figura 5.7 Sección transformada del muro X1 (Fuente propia)

De la misma forma, para un análisis sísmico en la dirección Y, se considerará solo las columnas de confinamiento de los muros de esa dirección y las columnas aisladas. Además, en la Figura 5.8 se muestra la sección transformada para los muros Y1, Y3 y Y4, en la cual se consideró un aporte de 0.66m del muro X1, asimismo se etiquetaron las columnas con el mismo nombre del muro al cual confinan.

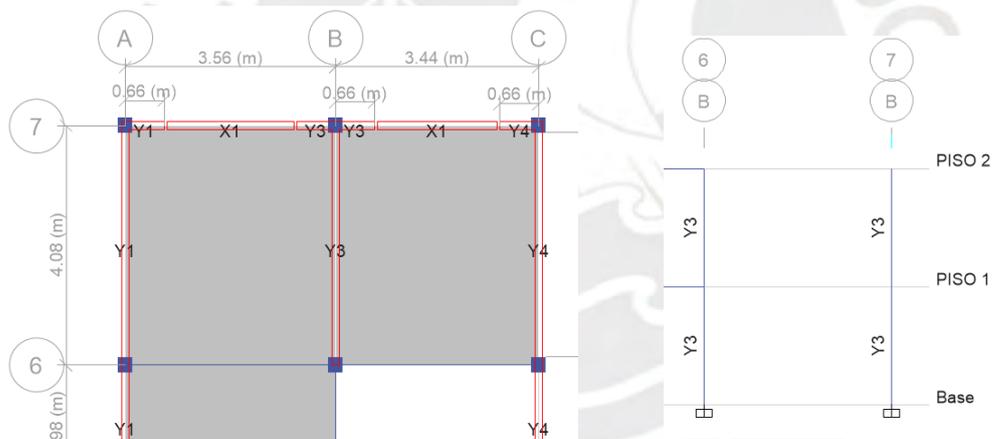


Figura 5.8 Sección transformada del muro Y1, Y3 y Y4 (Fuente propia)

El análisis sísmico estático se realizará insertando el coeficiente de la cortante basal en el programa Etabs, con este valor el programa generará fuerzas sísmicas en cada nivel en función a su peso propio más el 25% de sobrecarga. Debido a que en un principio no se conoce todas las irregularidades de la estructura se considerará el valor de 1, después de obtener los resultados se comprobará esta hipótesis. El siguiente cálculo muestra el valor del primer coeficiente de la cortante basal a insertar en el programa:

$$\frac{ZUCS}{Ro * Ip * Ia} = \frac{0.45 * 1 * 2.5 * 1.1}{3 * 1 * 1} = 0.413$$

Donde:

$Z = 0.45$ (edificación ubicada en la zona sísmica 4)

$U = 1.0$ (edificación de uso común, destinado a vivienda)

$C = 2.5$ (periodo fundamental de vibración menor que 1s)

$T = hm / 60 = 5.2 / 60 = 0.087s$ (período natural de vibrar de las viviendas)

$hm =$ altura total de la edificación = $2.6 \times 2 = 5.2$ m

$S = 1.1$ (Edificación ubicado sobre suelo blando, tipo S3.)

$R_o = 3$ (Coeficiente básico de reducción para sismo severo)

$I_p = 1$ (Irregularidad en planta)

$I_a = 1$ (Irregularidad en altura)

Después de correr el programa se verificó el periodo fundamental, para el caso de la vivienda N°01, la Tabla 5.15 muestra que la mayor masa efectiva se encuentra en la dirección X, así que el periodo fundamental es 0.325 segundos, el cual es superior a 0.087 s que se obtuvo de forma aproximada dividiendo la altura total de la edificación entre 60.

Tabla 5.15 Periodo fundamental de vibración de la vivienda N°01

Modo	Periodo (s)	Masa efectiva en dirección X	Masa efectiva en dirección Y	Rotación en la dirección Z
1	0.325	0.4629	0.0606	0.2858
2	0.141	0.2241	0.3973	0.1108
3	0.118	0.0966	0.0071	0.0948
4	0.106	0.0922	0.2873	0.3312
5	0.052	0.0792	0.1715	0.0275
6	0.039	0.0449	0.0762	0.15

En el caso de la vivienda N°02, tal como se muestra en la Tabla 5.16 se obtuvo 0.089 segundos como periodo fundamental de vibración, el cual es similar a lo obtenido de forma aproximada, 0.087 s.

Tabla 5.16 Periodo fundamental de vibración de la vivienda N°02

Modo	Periodo (s)	Masa efectiva en dirección X	Masa efectiva en dirección Y	Rotación en la dirección Z
1	0.32	0.6599	1.07E-05	0.1384
2	0.118	0.2167	4.99E-06	0.0047
3	0.113	0.0801	0.0004	0.6248
4	0.089	2.93E-05	0.7159	0.0003
5	0.046	0.0432	0.0001	0.2317
6	0.037	3.66E-06	0.2837	0.0001

Por otro lado, con los resultados obtenidos se verificó las irregularidades existentes y se encontró una irregularidad en planta por torsión extrema ($I_p=0.6$) en las dos viviendas. La cual se presenta cuando en “cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ_{\max}) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que el 50 % del permisible” (Norma Técnica E030, 2018, p.19), esta teoría se explica de manera gráfica en la Figura 5.9.

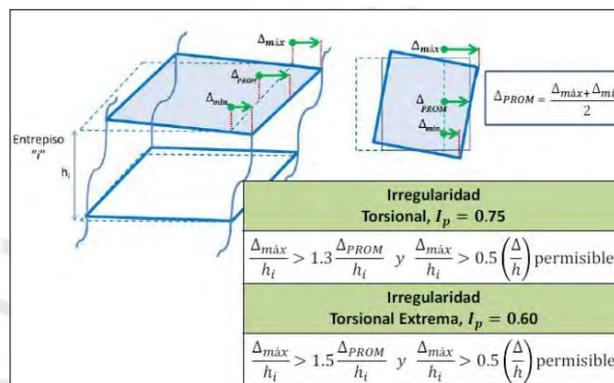


Figura 5.9 Irregularidad torsional (Adaptado de Muñoz, A., 2011)

Es preciso mencionar que la Norma E.070 establece a 1/200 o 0.005 como límite máximo de distorsión de entrepiso de las estructuras de albañilería confinada para permitir la reparación de los muros después del sismo severo. Esto es válido solo para viviendas construidas con ladrillo King Kong industrial macizo, lo cual no se cumple en las viviendas informales. Por tal razón, se utilizará distorsiones límite obtenidos de ensayos previos, 1/590 o 0.0017 en caso de muros construidos con ladrillo pandereta (Zavala, C., 2019) y 1/357 o 0.0028 en caso se utilice ladrillo King Kong hueco (San Bartolomé, A., et. al, 2009).

Conociendo el valor de las irregularidades se procedió a realizar nuevamente el análisis con el coeficiente de la cortante basal corregida:

$$\frac{ZUCS}{Ro Ia Ip} = \frac{0.45 * 1 * 2.5 * 1.1}{3 * 1 * 0.6} = 0.688$$

En este segundo análisis también se obtuvo derivas de entrepiso superiores a lo permitido, así como, la misma irregularidad torsional extrema en ambas viviendas. En la tabla 5.17 se muestra las derivas obtenidas en cada dirección de análisis de la vivienda N°1, estas derivas se

calcularon multiplicando los desplazamientos relativos de entrepiso obtenidos del análisis lineal elástico por 0.85R, si la estructura fuera regular se multiplicaría por 0.75R.

Tabla 5.17 Cálculo de derivas de la vivienda N°01

PISO	Dirección de análisis sísmico	Desplazamientos relativos de entrepiso/ h_i (1)	$0.85 * R_o * I_a * I_p$ (2)	Deriva=(1)*(2)	Límite de deriva	Deriva / Límite deriva
PISO 2	X	0.0117	1.53	0.0179	0.0017	10.5
PISO 1	X	0.0053	1.53	0.0082	0.0028	2.9
PISO 2	Y	0.0030	1.53	0.0045	0.0017	2.7
PISO 1	Y	0.0015	1.53	0.0023	0.0028	0.8

En la tabla anterior se puede ver que el límite de la deriva es superado hasta 10 veces en la dirección X, mientras que en la dirección Y es superada hasta 3 veces, esto se debe a la escasa cantidad de muros en cada dirección que proveen poca rigidez a la estructura. Entonces, como la deriva es mayor que el 50% del límite permisible se procede a verificar la irregularidad torsional extrema dividiendo el máximo desplazamiento relativo de entrepiso (Δ_{max}) entre el desplazamiento relativo promedio (Δ_{prom}), esta división debe ser mayor que 1.5, lo cual se comprueba en la tabla 5.18.

Tabla 5.18 Verificación de la irregularidad torsional extrema de la vivienda N°01

PISO	Dirección de análisis sísmico	$\frac{\Delta_{máx}}{h_i}$	$\frac{\Delta_{PROM}}{h_i}$	RATIO	Factor de irregularidad
PISO 2	X	0.0179	0.0103	1.7	0.6
PISO 1	X	0.0082	0.0047	1.8	
PISO 2	Y	0.0045	0.0025	1.8	
PISO 1	Y	0.0023	0.0012	2.0	

De la misma forma, en la Tabla 5.19 se puede notar que las derivas de entrepiso de la vivienda N°2 superan hasta 11 veces el límite frente a un análisis en la dirección X; sin embargo, en la dirección Y no se supera el 50%. Lo cual se esperaba pues en esta dirección el área existente de los muros es más del doble que el área requerida, mientras en la dirección contrario es deficiente el área de muros.

Tabla 5.19 Cálculo de derivas de la vivienda N°02

PISO	Dirección de análisis sísmico	Desplazamientos relativos de entrepiso/ h_i (1)	$0.85 \cdot R_o \cdot I_a \cdot I_p$ (2)	Deriva=(1)*(2)	Límite de deriva	Deriva/Límite deriva
PISO 2	X	0.0129	1.53	0.0197	0.0017	11.6
PISO 1	X	0.0055	1.53	0.0084	0.0028	3.0
PISO 2	Y	0.0006	1.53	0.0009	0.0017	0.5
PISO 1	Y	0.0003	1.53	0.0004	0.0028	0.1

Asimismo, en la Tabla 5.20 se verifica que en la dirección X el máximo desplazamiento relativo de entrepiso (Δ_{max}) es mayor a 1.5 el desplazamiento relativo promedio (Δ_{prom}), por el contrario, en la dirección Y solo llega a un valor de 1.1. Sin embargo, como se indica en la Norma E.030 se debe escoger el menor factor de irregularidad de ambas direcciones, es decir $I_p=0.6$.

Tabla 5.20 Verificación de la irregularidad torsional extrema de la vivienda N°02

PISO	Dirección de análisis sísmico	$\frac{\Delta_{m\acute{a}x}}{h_i}$	$\frac{\Delta_{PROM}}{h_i}$	RATIO	Factor de irregularidad
PISO 2	X	0.0197	0.0126	1.6	0.6
PISO 1	X	0.0084	0.0054	1.6	
PISO 2	Y	0.0009	0.0008	1.1	1
PISO 1	Y	0.0004	0.0004	1.1	

5.5.Verificación del agrietamiento de los muros portantes ante sismo moderado

La norma E070 especifica que los muros portantes no deben fisurarse ante un sismo moderado (2006). Esto se cumple cuando la fuerza cortante (V_e) producida en cada muro debido a un sismo moderado no supera el 55% de su resistencia a fuerza cortante (V_m).

La resistencia a fuerza cortante se calcula de la siguiente forma:

$$V_m = 0.5 v' m \alpha t L + 0.23 P_g$$

Donde:

$v'm$: resistencia característica a corte puro de los muretes de albañilería, para este caso son los siguientes:

	v'm(ton/m2)
Muretes de Ladrillo Pandereta	36
Muretes de Ladrillo King Kong (hueco)	67

α : factor de reducción de la resistencia al corte por esbeltez que se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e * L}{M_e} \leq 1$$

Donde:

V_e , M_e : fuerza cortante y momento flector en cada muro por sismo moderado

t: espesor efectivo de los muros (11cm para ladrillo pandereta y 13cm para ladrillo King Kong hueco)

L: longitud total del muro incluyendo columnas de confinamiento

P_g : carga axial de gravedad con el 25% de sobrecarga, los valores se encuentran en la Tabla 5.12 y Tabla 5.13.

Para obtener la fuerza cortante (V_e) y momento flector (M_e) se realizará un análisis estático en ambas direcciones para un sismo moderado, para ello se asumirá el valor de R_o igual a 6, que es la mitad al de un sismo severo. De esta forma, el nuevo coeficiente de la cortante basal a introducir en el programa Etabs sería 0.344:

$$\frac{ZUCS}{R_o I_a I_p} = \frac{0.45 * 1 * 2.5 * 1.1}{6 * 1 * 0.6} = 0.344$$

De esta forma se obtendría todos los datos necesarios para realizar la verificación. En la Tabla 5.21 se muestra los resultados para la vivienda N°01, se observa que en el segundo nivel se agrietan mayor cantidad de muros, lo cual es razonable, pues en este nivel se utilizaron ladrillos pandereta ($v'm = 36\text{ton/m}^2$); mientras que en el primer piso se construyeron con ladrillo King Kong hueco ($v'm = 67\text{ton/m}^2$); por ende, se tiene menos muros agrietados. Otro de los factores que influyó en la fisuración de los muros, es la escasa cantidad de muros, especialmente en la dirección X, lo que obliga a los pocos muros soportar mayor cantidad de fuerza

sísmica.

Tabla 5.21 Verificación de la fisuración de los muros de la vivienda N°01

Piso	Muro	L(m)	t(m)	Pg(ton)	Ve(ton)	Me(ton-m)	α	Vm (ton)	0.55Vm	Observación
2	X1	8.64	0.11	13.16	21.4	59.8	1	20.13	11.07	Se Agrieta
2	Y1	5.92	0.11	15.01	12.3	31.2	1	15.17	8.35	Se Agrieta
2	Y2	3.62	0.11	6.35	4.9	13.0	1	8.63	4.75	Se Agrieta
2	Y3	5.92	0.11	10.47	5.5	14.6	1	14.13	7.77	No se agrieta
1	X1	8.64	0.13	25.44	35.8	156.4	1	43.48	23.91	Se Agrieta
1	Y1	5.92	0.13	30.10	22.7	89.3	1	32.70	17.99	Se Agrieta
1	Y2	3.62	0.13	13.98	8.2	34.6	0.85	16.67	9.17	No se agrieta
1	Y3	5.92	0.13	20.02	6.0	30.7	1	30.39	16.71	No se agrieta

De la misma forma, en la Tabla 5.22 se muestra los resultados para la vivienda N°02, se observa que todos los muros del segundo piso se agrietan, esto se debe a su baja resistencia a fuerza cortante por la calidad de la albañilería y el espesor del muro, pues se construyó con ladrillo Pandereta con un espesor de 11 cm.

Tabla 5.22 Verificación de la fisuración de los muros de la vivienda N°02

Piso	Muro	L(m)	t(m)	Pg(ton)	Ve(ton)	Me(ton-m)	α	Vm (ton)	0.55Vm	Observación
2	X1	7.25	0.11	8.36	27.4	78.8	1	16.28	8.95	Se Agrieta
2	Y1	19.19	0.11	27.57	29.8	76.3	1	44.34	24.39	Se Agrieta
2	Y2	5.98	0.11	16.28	9.1	23.2	1	15.59	8.57	Se Agrieta
2	Y3	4.33	0.11	7.96	6.2	14.2	1	10.40	5.72	Se Agrieta
2	Y4	19.19	0.11	25.76	34.5	85.4	1	43.92	24.16	Se Agrieta
1	X1	7.25	0.13	16.29	57.5	228.4	1	35.32	19.43	Se Agrieta
1	Y1	19.19	0.13	53.79	48.4	202.6	1	95.94	52.77	No Se Agrieta
1	Y2	5.98	0.13	33.48	15.0	61.6	1	33.74	18.56	No Se Agrieta
1	Y3	4.33	0.13	17.31	10.3	40.1	1	22.84	12.56	No Se Agrieta
1	Y4	19.19	0.13	50.84	58.5	236.9	1	95.27	52.40	Se Agrieta

5.6.Cálculo de la vulnerabilidad sísmica de las dos viviendas seleccionadas

Como ya se realizó todos los cálculos posibles para determinar la resistencia, rigidez y ductilidad de las dos viviendas, se procede a determinar la vulnerabilidad sísmica utilizando la Tabla 5.23.

Tabla 5.23 Indicadores de vulnerabilidad sísmica (Mosqueira & Tarque, 2005)

VULNERABILIDAD SISMICA					
Estructural				No estructural	
Configuración y densidad de muros (60 %)		Mano de obra y materiales (30 %)		Elementos no estructurales (10 %)	
Adecuada	1	Buena calidad	1	Todos estables	1
Aceptable	2	Regular calidad	2	Algunos estables	2
Inadecuada	3	Mala calidad	3	Todos inestables	3

Como se pudo ver en el cálculo de la densidad de muros se tiene una adecuada cantidad de muros en la dirección X, pero es inadecuada en la dirección Y; por lo tanto, se va considerar como inadecuada la densidad de toda la estructura. Con respecto a la mano de obra y materiales, esta es de mala calidad, pues se construyeron con ladrillos King Kong hueco y Pandereta, además las juntas de los muros superan los 15mm. Por último, todos los elementos no estructurales del segundo nivel son inestables, pues este nivel posee un techo flexible (eternit o calamina), además no tiene columnetas de confinamiento, especialmente los construidos sobre el volado.

Con la información detallada, se procede a calcular la vulnerabilidad sísmica:

$$vulnerabilidad\ sísmica = 0.6(3) + 0.3(3) + 0.1(3) = 3$$

El valor de 3 obtenido lo califica como una vulnerabilidad sísmica alta tal como se especifica en la Tabla 5.24.

Tabla 5.24 Rangos numéricos para clasificación de la vulnerabilidad

Vulnerabilidad sísmica	Rango
Baja	1.0 - 1.4
Media	1.5 - 2.1
Alta	2.2 - 3.0

Como se mencionó en el capítulo anterior la zona evaluada posee un alto peligro sísmico; por lo tanto, las dos viviendas estarían en un riesgo sísmico, pues también su vulnerabilidad es alta.

Capítulo 6: Elección del Sistema de Reforzamiento

En este capítulo se describirá el comportamiento de la albañilería simple, la función de los elementos de concreto armado y; por último, se detallará las cualidades de la geomalla como sistema de reforzamiento y el procedimiento de su aplicación.

6.1. Generalidades sobre la albañilería

La mampostería de ladrillo fue concebida desde sus inicios para resistir cargas verticales, lo cual no ha cambiado hasta la actualidad, pues se ha trabajado en el aumento de la resistencia a compresión de las unidades de ladrillo y el uso del mortero de cemento/arena. Durante los sismos los muros están sometidos a fuerzas de inercia en su plano y perpendiculares a este, el primero proviene de la masa total de la edificación y se distribuye de acuerdo a la rigidez relativa de los muros, la segunda proviene de la masa propia de cada muro. Entonces, como la albañilería simple posee una baja resistencia a la tracción, en zonas sísmicas como Lima, necesita de elementos de refuerzo para evitar su colapso cuando sobrepasen esa resistencia.

La albañilería reforzada más común en el Perú consiste en enmarcar los muros de albañilería simple con vigas y columnas de concreto armado, los cuales poseen la función de arriostrar y confinar. La primera se refiere a proveer estabilidad y resistencia a los muros para soportar las cargas perpendiculares a su plano, la segunda se refiere a proveer ductilidad para que mantenga la capacidad de soportar cargas verticales posterior al agrietamiento por fuerza cortante en su plano.

Las columnas de confinamiento constituyen la última línea resistente, así que se deben diseñar de tal forma que soporten la fuerza cortante que actúa sobre el muro al momento de su agrietamiento, de esta forma la grieta no se propagará por las columnas y se mantendrá la unidad del muro. Es preciso mencionar que los elementos de concreto no incrementan la capacidad de resistir cargas verticales ni de fuerzas cortantes, esto depende solo de los muros de albañilería.

6.2. Reforzamiento con geomalla

Pueden existir dos objetivos para la aplicación de un refuerzo; el primero es el refuerzo integral, enfocado en mejorar la capacidad de los muros para resistir el corte debido a las fuerzas de inercia en el plano del muro y resistir el volteo debido a fuerzas de inercia

perpendiculares a su plano. El segundo, consiste en la estabilidad de muros contra el volteo lateral (Torrealva, 2014).

Esta investigación se enfocará en un refuerzo integral, por lo que se espera obtener lo siguiente:

- Mejorar la capacidad de resistencia al corte de los muros de albañilería.
- Proveer confinamiento a los muros.
- Proveer continuidad entre muros ortogonales.
- Controlar el agrietamiento de los muros.
- Aumentar la resistencia a flexión fuera del plano en los muros de albañilería.

El refuerzo a utilizar son las mallas estructurales de polipropileno o geomallas que son fabricadas de mantas de polímero de alta densidad, las cuales son perforadas a intervalos regulares y luego estiradas en dos o tres direcciones a temperatura y fuerza controlada a fin de obtener una malla biaxial o triaxial (Torrealva, D., 2014).

Sofronie, R. (2004) menciona tres razones mecánicas para utilizar la albañilería con la geomalla: 1) Ambos materiales tienen propiedades elásticas y plásticas en las mismas proporciones; 2) Ambos obedecen leyes de deformación similares, lo que significa que tienen casi los mismos módulos de elasticidad de Young y la relación de equivalencia de Neumann ($n = E_{\text{malla}} / E_{\text{albañilería}}$) es 1 o cerca de él; 3) Las mallas disponibles tienen niveles convenientes de resistencia y alta capacidad de disipación de la energía inducida.

Asimismo, menciona razones físicas y ambientales: 1) Las mallas son inertes a todos los productos químicos que se encuentran en los morteros y son estables para grandes campos de variación de los factores ambientales; 2) La durabilidad de las rejillas está garantizada por el productor para un servicio normal de 120 años.

Otro de sus beneficios es que en edificaciones nuevas permite eliminar los elementos estructurales pesados de concreto armado, mientras que en edificaciones existentes a menudo no se debe evacuar a los huéspedes. El sistema se basa en un concepto avanzado de diseño que permite alcanzar la máxima seguridad para la inversión pagada, por ello es conocido como sistema RICHTERGARD que significa defensa contra terremotos mensurables

Las geomallas poseen una alta resistencia a la tracción, el cual se transfiere al muro a través del mortero o resina adherida. En esta investigación se utiliza el mortero; por lo tanto, el espesor del muro aumentará en 4 cm si es reforzado por ambas caras y 2cm en caso de una

cara. Este aumento permitirá un incremento para resistir cargas verticales y horizontales; sin embargo, el aporte más importante del refuerzo es el mantener la continuidad del muro más allá del límite de resistencia a corte impidiendo su rotura y subsecuentes colapsos parciales, así mismo provee estabilidad y resistencia para soportar cargas perpendiculares a su plano. Es decir, cumple la misma función que los elementos de concreto armado, pero muestra una mayor cantidad de disipación de energía.

En la Figura 6.1 se muestran la influencia de la malla en el tipo de falla de un muro sometido a fuerza cíclica horizontal, en el panel no reforzado se muestra una grieta diagonal bastante pronunciada; mientras que en el panel reforzado se tiene una amplia red de grietas, lo que se entiende es que el colapso de los paneles reforzados requiere la formación de un gran número de superficies de fallo y, por lo tanto, un mayor valor de la resistencia final.

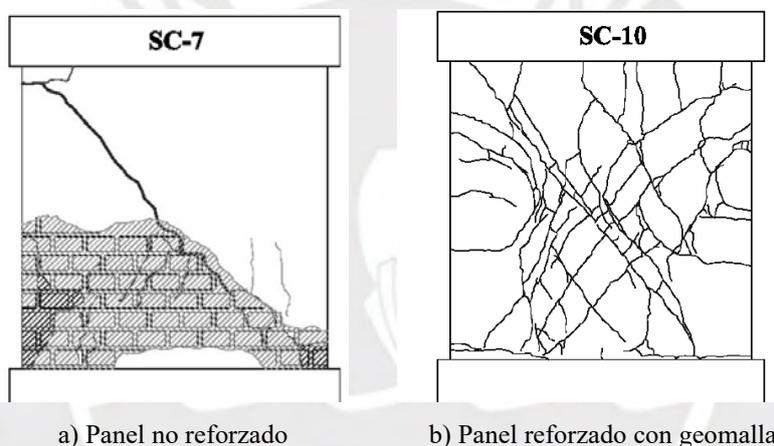


Figura 6.1 Tipo de falla de los paneles (Mezzi, M., Dusi, A & Manzoni, E, 2006)

Asimismo, el refuerzo adherido a una cara o ambas caras del muro controla la flexión fuera del plano, evitando así el volcamiento fuera del plano debido a fuerzas de inercia perpendiculares al plano del muro.

6.3. Especificaciones técnicas del reforzamiento

Las Especificaciones Técnicas han sido redactadas en base a los ensayos realizados en el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

6.3.1. Materiales

Geomalla

La geomalla que se plantea utilizar es la triaxial, una de sus características específicas es que el comportamiento de la malla es aproximadamente elástico lineal hasta la rotura; otro, es el módulo de elasticidad promedio calculados según la norma ASTM D638. Como ejemplo se considerarán los valores obtenidos de distintos ensayos realizados a la geomalla triaxial TRIAX160, cuyos valores del módulo de elasticidad para las direcciones longitudinal y diagonal son 34,846 kg/cm² y 29,473 kg/cm² respectivamente, finalmente la fuerza última promedio por filamento en la malla en las direcciones longitudinal y diagonal son 62.2kg y 56.5 kg respectivamente.

Si se desea la fuerza última en la malla, esta se obtendría multiplicando la fuerza última de cada filamento por el número total de filamentos, para el caso de TRIAX160 son 25 filamentos, razón por el cual los resultados de la fuerza última en la malla son de 1,555 Kg/m en la dirección longitudinal y 1,412 Kg/m en la dirección diagonal.

Mortero

La función principal del mortero es la adherencia para obtener el mayor porcentaje de la capacidad a tracción de la malla sin despegarse del sustrato; se tomará en cuenta ensayos previos a corte directo en tripletes de ladrillo con mortero 1:1:5 (Cemento/cal/arena) de los cuales se ha obtenido una resistencia última a la adherencia de 3.14kg/cm² y para el mortero que se usó en el tarrajeo una resistencia de compresión promedio de 70 kg/cm² (Torrealva, 2014).

Estos ensayos previos nos permiten sugerir un mortero de proporción 1:1:5 de cemento/cal/arena y asegurar un refuerzo de alta resistencia a la tracción que la malla le transferirá al muro con la finalidad de mantener la continuidad del muro más allá del límite de resistencia a corte evitando la rotura del muro y los posteriores colapsos.

La inserción de la cal en el mortero provee distintos beneficios; según Horcalsa, empresa guatemalteca dedicada a la producción y distribución de cal en Centroamérica y Sudamérica existen cinco beneficios básicos de la cal para construcción en los morteros. La primera está relacionada con la trabajabilidad, plasticidad y la retención de agua, lo que permite que la mezcla tenga un efecto lubricante. La segunda es la adherencia, lo que permite que el conjunto ladrillo-mortero este bien sellado, sin espacios entre ellos. El tercero es que permite reducir el agrietamiento, ya que cuando surgen grietas tienden a manifestarse como microfisuras dentro del mortero; sin embargo, estas microfisuras permiten que la cal gracias a los movimientos de la humedad lleve sales de calcio disueltas a través de las microfisuras que reaccionan con el

dióxido de carbono y que al endurecerse curan la grieta. El cuarto beneficio es la traspiración y control de la humedad, pues gracias a la cal la humedad en la mampostería se evapora a través del mortero. Finalmente, la durabilidad, puesto que a los cuatro beneficios previos ya mencionados se le suma que los morteros con cal desempeñan una adecuada resistencia a los ataques de sulfatos. (Horcalsa, 2021).

Alcayatas

Las alcayatas son dispositivos de fijación, cuya principal función es garantizar que la malla no se mueva durante el tarrajeado, así que su función cesa después del endurecimiento del mortero.

6.3.2. Procedimiento de instalación

Limpieza de la superficie

En caso los muros se encuentren pintados y tarrajados deberán retirarse tal como se muestra en la Figura 6.2.



*Figura 6.2 Operario retirando el acabado de la vivienda piloto en Comas
(Adaptado de SENCICO, 2015)*

Luego se deberá picar el muro a reforzar para tener una superficie rugosa o algún otro tipo de acabado liso tal como se puede apreciar en la Figura 6.3.



Figura 6.3 operario picando el muro a reforzar y otro quitando el tarrajeo (Adaptado de Torrealva, 2014)

Uniformizar la superficie de los muros

Se deberá cubrir toda hendidura o protuberancia de la superficie del muro, con la finalidad de obtener una pared semi plana, en caso se encuentre con elementos que sobresalen de la pared se deben eliminar.

Toma de medidas de los muros

Las longitudes de muros serán medidas, tanto en el interior como en el exterior, incluyendo las vueltas que se puedan hacer tal como se muestra en la Figura 6.4. Los empalmes de la malla deben hacerse a una distancia mínima de 1m de las esquinas y deben traslapar 30cm como mínimo.



Figura 6.4 Operario y ayudante realizando mediciones del muro exterior. (Adaptado de Torrealva, 2014).

Toma de medidas de la geomalla

Medir y cortar la geomalla, tal como se muestran en las Figura 6.5, Figura 6.6 y Figura 6.7, según las medidas de los muros. Como las mallas vienen en rollos de 3.95 metros de ancho, es posible colocarlo en la altura de la pared.



Figura 6.5 Operario y ayudante preparando la geomalla para medir y cortar. (Adaptado de Torrealva,2014).



Figura 6.6 Operario y ayudante realizando mediciones de la malla. (Adaptado de Torrealva,2014).



Figura 6.7 Operario cortando la malla según la medición del muro externo o interno. (Adaptado de Torrealva, 2014).

Colocación de la geomalla

Extender la malla a lo largo del muro, fijar la geomalla en el muro con ayuda de alcayatas cada 50 cm aproximadamente. Para confinar el muro se debe dar la vuelta a la malla en las aberturas de puertas y ventanas manteniendo la condición de que el empalme de la malla esté a un metro de distancia de los bordes como mínimo y deben traslapar 30cm como mínimo. La continuidad entre muros ortogonales se consigue colocando el refuerzo superficial en forma continua en las esquinas interiores y/o exteriores.

El refuerzo que se coloca en ambas caras no requiere necesariamente estar conectados entre sí a través del muro, ya que el mecanismo de transferencias de esfuerzos es por adherencia del mortero al muro.

Se debe tener cuidado en la colocación de las alcayatas, ya que debe existir un espacio entre el muro y la malla para colocarse el mortero.

En la Figura 6.8 y 6.9 se muestran la forma de enmallado en paredes externas e internas.



Figura 6.8 Operarios extendiendo la malla a lo largo del muro. (Adaptado de Torrealva, 2014).



Figura 6.9 Operarios colocando alcayatas cada 50cm para fijar las mallas en el muro. (Adaptado de Torrealva, 2014).

En la Figura 6.10 se muestra las alcayatas utilizadas.



Figura 6.10 Vista cercana de la alcayata y geomalla en el muro (Adaptado de Torrealva, 2014)

Preparar el muro para la aplicación del mortero

Se deberá humedecer con agua la superficie del muro para que el ladrillo no absorba el agua del mortero, tal como se muestra en la Figura 6.11.



Figura 6.11 Personal vertiendo agua sobre el muro. (Adaptado de Torrealva,2014).

Para mejorar la adherencia entre el mortero y ladrillo, se bañará la superficie con lechada (agua más cemento), tal como se muestra en la Figura 6.12



Figura 6.12 Personal echando lechada sobre el muro exterior e interior. (Adaptado de Torrealva,2014).

Preparación y aplicación del mortero

Preparar la mezcla para el mortero con cemento, cal y arena (1:1:5) como se muestra en la Figura 6.13.



Figura 6.13 Personal realizando la mezcla de mortero para el pañeteo, esta mezcla se realiza sin agua. (Adaptado de Torrealva,2014).

Una vez completada la mezcla y ubicado los puntos guías se procede a pañetear, se debe asegurar que la malla quede embebida en el espesor del mortero como se muestra en la Figura 6.14.



Figura 6.14 Personal realizando el pañeteo de mortero sobre el muro exterior. (Adaptado de Torrealva,2014).

Luego con la ayuda de una regla de aluminio y los puntos guías se procederá a eliminar el excedente de la mezcla, tal como se muestra en la Figura 6.15



Figura 6.15 Operario emparejando la mezcla con una regla de aluminio (Adaptado de vivienda piloto en Comas por SENCICO, 2015).

Por último, con la ayuda del frotacho se dará el acabado final eliminando las imperfecciones que hayan quedado, como se muestra en la Figura 6.16.



Figura 6.16 Operario dando el acabado final al tarrajeado (Adaptado de Torrealva,2014)

En la Figura 6.17 se muestra la imagen de una vivienda piloto de Comas con toda la fachada tarrajeada.



Figura 6.17 Vivienda piloto en Comas con fachada tarrajeada completamente (Adaptado de vivienda piloto en Comas por SENCICO, 2015).

Acabado final de la vivienda reforzada

Después del tarrajeado se coloca el imprimante y se procede a pintar, en la Figura 6.18 se muestra el resultado final de las viviendas reforzadas.



Figura 6.18 Vista interior y exterior de las viviendas piloto al final de todo el proceso de reforzamiento. (Adaptado de Torrealva, 2014)

Capítulo 7: Requisitos Estructurales Mínimos y Análisis Estructural de Viviendas Reforzadas

En este capítulo se identificará los muros portantes a ser cambiados y/o reforzados; asimismo se verifica la densidad mínima de muros y el esfuerzo axial máximo por cargas de gravedad de acuerdo con lo estipulado en la norma peruana E070 “Albañilería”. Además, se realizará un análisis sísmico y verificación del agrietamiento de los muros portantes de las viviendas reforzadas para comprobar si cumplen con una adecuada resistencia, rigidez y ductilidad. Al final, se determinará el nivel de vulnerabilidad actual de cada estructura.

7.1. Consideraciones para el análisis estructural

El espesor del tarrajeo de los muros reforzados será de 2 cm; por lo tanto, el espesor efectivo de los muros internos y de la fachada aumentarán en 4 cm, pues podrán ser reforzados por ambas caras, mientras que los muros que colindan con otras viviendas solo podrán ser reforzados por la cara interna, así que su espesor efectivo aumentará solo en 2cm.

Además, el uso de la malla en ambas caras del muro aumentará la resistencia a corte puro ($v'm$) de 1 a 1.5 veces, en este caso solo se utilizará un valor de 1.2 que es lo recomendado por distintos investigadores debido al uso frecuente de ladrillos de mala calidad en este tipo de viviendas. Los muros que serán reforzados solo por una cara no presentarán un aumento de su $v'm$, pues en distintas investigaciones se verificó este hecho. Por lo tanto, en el modelo se considerarán valores de $v'm$ y $f'm$ que se muestran en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 $v'm$ y $f'm$ de muros la ladrillo pandereta y kings kong hueco reforzados

Piso	Tipo de ladrillo	Refuerzo	Espesor efectivo(t)	$v'm$ sin refuerzo	$v'm$ con refuerzo	$f'm$ con refuerzo*
2	Pandereta	Ambas caras	15cm	3.6 kg/cm ²	4.3 kg/cm ²	18.5 kg/cm ²
		Una cara	13cm	3.6 kg/cm ²	3.6 kg/cm ²	13.2 kg/cm ²
1	King Kong hueco	Ambas caras	17cm	6.7 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²	64.0 kg/cm ²
		Una cara	15cm	6.7 kg/cm ²	6.7 kg/cm ²	45.3 kg/cm ²

* $f'm$ con refuerzo sería igual a $v'm^2$

Con respecto a los límites de la deriva será de 1/590 para muros de ladrillo pandereta (segundo nivel) y 1/357 para el caso de muros de ladrillo king kong hueco (primer nivel). Como

el límite de $1/590$ es pequeño se tuvo la necesidad de reemplazar algunos muros de ladrillo pandereta por muros de ladrillo King Kong macizo para así rigidizar la estructura, así que los valores de $f'm$ y $v'm$ para este muro serían los mostrados en la Tabla 7.2

Tabla 7.2 $v'm$ y $f'm$ de muros la ladrillo king kong macizo reforzados

Piso	Tipo de ladrillo	Refuerzo	Espesor efectivo(t)	$v'm$ sin refuerzo	$v'm$ con refuerzo	$f'm$ con refuerzo
2	King kong	Ambas caras	17cm	8.1 kg/cm ²	9.7 kg/cm ²	94.5 kg/cm ²

Cabe mencionar que, en el modelo del estado actual de la vivienda, solo se consideró muros portantes completamente confinados; sin embargo, en este nuevo modelo de la vivienda reforzada se podrá considerar muros que no estén completamente confinados, pues la malla le proporcionará el mismo confinamiento que los elementos de concreto armado.

7.2. Modelo tridimensional de las viviendas reforzadas

Considerando lo descrito en el ítem anterior, para la primera vivienda se tiene la necesidad de reemplazar los muros portantes X2, X3 y X4 del segundo nivel por otros construidos con ladrillo King Kong macizo, además serán reforzados por ambas caras, pues no poseen columna de confinamiento. También, serán reforzados los muros restantes de pandereta para evitar su agrietamiento frente a un sismo moderado. En el caso del primer nivel, se necesita reforzar los muros X2, X3, X4 y Y4, pues no están completamente confinados por elementos de concreto. En la Figura 7.1 se puede ver de color magenta los muros que fueron reemplazados y de color anaranjado los muros construidos previamente.

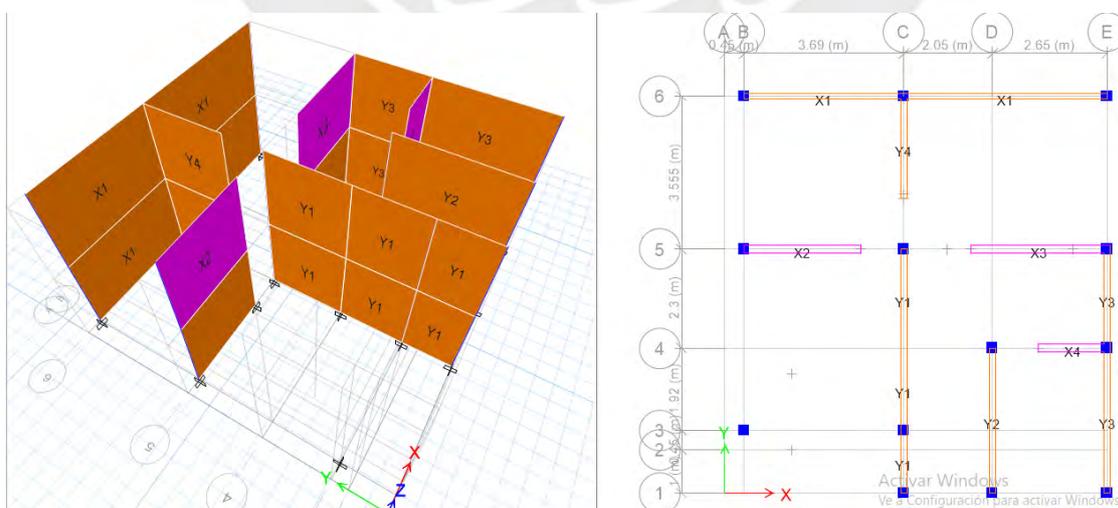


Figura 7.1 Detalle de la distribución de los muros para ambos niveles de la vivienda 1 (Fuente propia)

De la misma forma, en la vivienda 2 se tuvo la necesidad de reforzar todos los muros del segundo nivel para evitar su agrietamiento, además para que no sobrepasen la deriva límite de 0.0017, pues fueron construidos con ladrillo Pandereta. Cabe mencionar que los muros Y1, X1 y Y4 solo serán reforzados internamente, pues colindan con otras viviendas. En el caso del primer nivel que está construido con ladrillo King Kong Hueco, se tuvo la necesidad de reforzar los muros X2, X3, X4, X5 y X6 para que esté completamente confinado y de esa forma considerar su aporte en el modelo. Reforzar de esta forma permite un ahorro económico para los propietarios, pues no se tendrá la necesidad de construir muros nuevos. En la Figura 7.2 se puede ver la distribución de los muros considerados en el análisis.

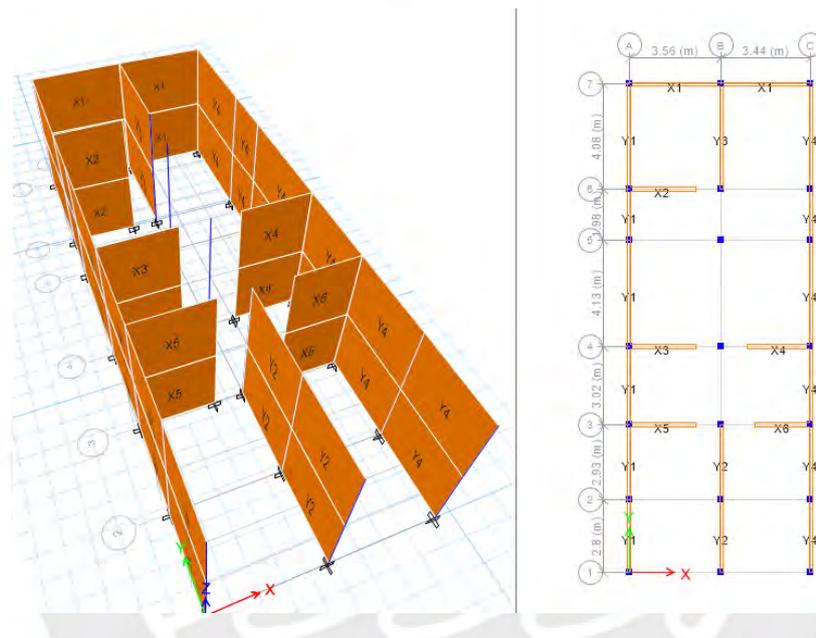


Figura 7.2 Detalle de la distribución de los muros para ambos niveles de la vivienda 2

7.3. Verificación de la densidad de muros

Para la verificación de la densidad de muros se siguió el mismo procedimiento que lo estipulado en el ítem 5.1. Así que en la Figura 7.3 se muestran las dimensiones y la etiqueta de los muros a considerar en ambas viviendas, es preciso mencionar que estas dimensiones son hasta el eje de la columna, por ende, se debe agregar un valor de 0.125m (si está presente una columna) o 0.25m (si se muestra ambas columnas) para así tener la longitud total del muro en análisis.

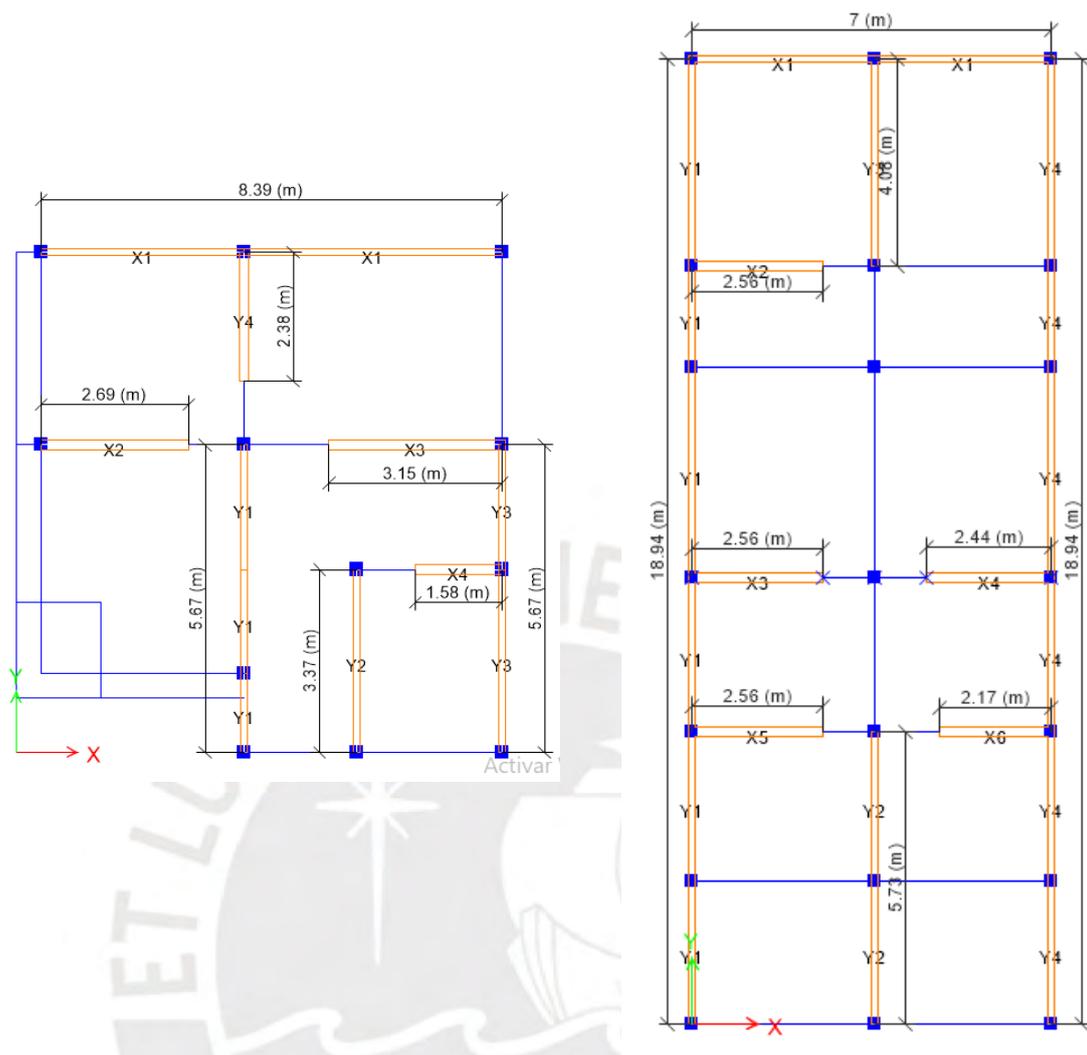


Figura 7.3 Muros confinados a considerar en la vivienda 1 (a la izquierda) y vivienda 2 (a la derecha)

Teniendo presente las figuras anteriores se procede a determinar el área existente de los muros de la primera y segunda planta de la vivienda N°1, los cuales se muestran en la Tabla 7.3 y Tabla 7.4.

Tabla 7.3 Área existente de muros reforzados en cada dirección de la primera planta de la vivienda N°1

Dirección X-X				Dirección Y-Y			
Muro	L(m)	t(m)	Ac(m ²)	Muro	L(m)	t(m)	Ac(m ²)
X1	8.64	0.13	1.12	Y1	5.92	0.13	0.77
X2	2.82	0.17	0.48	Y2	3.62	0.13	0.47
X3	3.28	0.17	0.56	Y3	5.92	0.13	0.77
X4	1.71	0.17	0.29	Y4	2.63	0.17	0.45
Ae=∑(Lt)			2.45	Ae=∑(Lt)			2.46

Tabla 7.4 Área existe de muros reforzados en cada dirección de la segunda planta de la vivienda N°1

Dirección X-X				Dirección Y-Y			
Muro	L(m)	t(m)	Ac(m2)	Muro	L(m)	t(m)	Ac(m2)
X1	8.64	0.13	1.12	Y1	5.92	0.15	0.89
X2	2.82	0.17	0.48	Y2	3.62	0.15	0.54
X3	3.28	0.17	0.56	Y3	5.92	0.13	0.77
X4	1.71	0.17	0.29	Y4	2.63	0.15	0.39
Ae=Σ(Lt)			2.45	Ae=Σ(Lt)			2.60

De la misma forma en la Tabla 7.5 y Tabla 7.6 se muestra el área existe de los muros de la primera y segunda planta de la vivienda N°02.

Tabla 7.5 Área existe de muros reforzados en cada dirección de la primera planta de la vivienda N°2

Dirección X-X				Dirección Y-Y			
Muro	L(m)	t(m)	Ac(m2)	Muro	L(m)	t(m)	Ac(m2)
X1	7.25	0.13	0.94	Y1	19.19	0.13	2.49
X2	2.69	0.17	0.46	Y2	5.98	0.13	0.78
X3	2.69	0.17	0.46	Y3	4.33	0.13	0.56
X4	2.57	0.17	0.44	Y4	19.19	0.13	2.49
X5	2.69	0.17	0.46				
X6	2.30	0.17	0.39				
Σ(Lt)			3.14	Σ(Lt)			6.33

Tabla 7.6 Área existe de muros reforzados en cada dirección de la segunda planta de la vivienda N°2

Dirección X-X				Dirección Y-Y			
Muro	L(m)	t(m)	Ac(m2)	Muro	L(m)	t(m)	Ac(m2)
X1	7.25	0.13	0.94	Y1	19.19	0.13	2.49
X2	2.69	0.15	0.40	Y2	5.98	0.15	0.90
X3	2.69	0.15	0.40	Y3	4.33	0.15	0.65
X4	2.57	0.15	0.38	Y4	19.19	0.13	2.49
X5	2.69	0.15	0.40				
X6	2.30	0.15	0.34				
Σ(Lt)			2.88	Σ(Lt)			6.54

El área existe hallada en cada dirección se compara con el área requerida calculada en el capítulo 5 para determinar si es adecuada o no la densidad de muros. En la Tabla 7.7 se muestra los resultados para la vivienda N°01, en la cual se observa que la densidad de muros es adecuada en los dos niveles y para ambas direcciones, pues la relación entre el Área existente y el requerida supera el valor de 1.1.

Tabla 7.7 Relación del Área existente y Área requerida de muros de la vivienda N°1

	Dirección	Ae (m2)	Am (m2)	Ae/Am	Densidad de muro
PISO 1	X	2.45	1.6	1.51	Adecuada
	Y	2.46	1.6	1.52	Adecuada
PISO2	X	2.45	1.5	1.60	Adecuada
	Y	2.60	1.5	1.70	Adecuada

De la misma forma en la Tabla 7.8 se muestra los resultados para la vivienda N°02, en la cual también se muestra una adecuada densidad de muros en los dos pisos.

Tabla 7. 8 Relación del Área existente y Área requerida de muros de la vivienda N°2

	Dirección	Ae (m2)	Am (m2)	Ae/Am	Densidad de muro
PISO 1	X	3.14	2.7	1.18	Adecuada
	Y	6.33	2.7	2.39	Adecuada
PISO2	X	2.88	2.5	1.15	Adecuada
	Y	6.54	2.5	2.61	Adecuada

Si se modela en el programa ETABS las viviendas tal como se muestra en la Figura 7.3, se podrá obtener su peso propio, la cual se observa en la Tabla 7.9. Ambas viviendas tienen un peso de 8KN/m2 aproximadamente.

Tabla 7.9 Peso en función del área techada de cada vivienda reforzada

	Vivienda N°01	Vivienda N°02
Carga Muerta (Ton)	134.22	215.8
Carga Muerta (KN)	1316.73	2117.24
Area techada total (m2)	161.86	265.16
Peso/A.Techada (KN/m2)	8.1	7.98

7.4.Verificación del Esfuerzo Axial Máximo por Cargas de Gravedad

Para esta verificación se calculará y determinará el Esfuerzo axial límite (F_a) para cada uno de los muros de albañilería dependiendo de sus características, es decir si esta reforzado por una o ambas caras. En este último caso se tendrá un aumento de f'_m , pues el v'_m aumenta en 1.2 debido al reforzamiento. En la Tabla 7.10 se muestra el resumen de este cálculo aplicable a ambas viviendas, pues tienen las mismas características de la albañilería. Se debe recordar que el F_a es el menor de lo encontrado en las dos últimas columnas de la tabla.

Tabla 7.10 Cálculo del Esfuerzo axial límite (F_a) para cada tipo de albañilería

PISO	Descripción	$f'm$ (ton/m ²)	t(m)	h(m)	$0.2 f'm * \left(1 - \left(\frac{h^2}{(35t)^2}\right)\right)$ (ton/m ²)	$0.15 f'm$ (ton/m ²)
PISO 2	Pandereta 1C ¹ (t=13cm)	132	0.13	2.4	19.05	19.8
PISO 2	Pandereta 2C ² (t=15cm)	187	0.15	2.4	29.52	27.99
PISO 2	KK 18 Macizo 2C ² (t=17cm)	945	0.17	2.4	158.21	141.72
PISO 1	KK 18 Hueco 1C ¹ (t=15cm)	453	0.15	2.4	71.67	67.95
PISO 1	KK 18 Hueco 2C ² (t=17cm)	646	0.17	2.4	108.25	96.96

1 Muro reforzado por una cara

2 Muro reforzado por ambas caras

En la Tabla 7.11 y Tabla 7.12 se muestra los resultados de la verificación para la primera y segunda vivienda, respectivamente. Se observa que el Esfuerzo axial máximo (F_{max}) de cada muro no supera su Esfuerzo axial límite (F_a); por lo tanto, se puede verificar este requisito.

Tabla 7.11 Verificación del esfuerzo axial máximo por cargas de gravedad en la vivienda N°1

Piso	Muro	L(m)	t(m)	Pm(ton)	F_{max} (ton/m ²)	F_a (ton/m ²)	Observación
2	X1	8.64	0.13	14.06	12.52	19.05	Cumple
2	X2	2.82	0.17	9.70	20.27	141.72	Cumple
2	X3	3.28	0.17	8.63	15.50	141.72	Cumple
2	X4	1.71	0.17	4.30	14.85	141.72	Cumple
2	Y1	5.92	0.15	10.89	12.27	27.99	Cumple
2	Y2	3.62	0.15	7.29	13.43	27.99	Cumple
2	Y3	5.92	0.13	6.04	7.84	19.05	Cumple
2	Y4	2.63	0.15	4.36	11.06	27.99	Cumple
1	X1	8.64	0.13	28.51	25.38	67.95	Cumple
1	X2	2.82	0.17	20.87	43.62	96.96	Cumple
1	X3	3.28	0.17	16.10	28.93	96.96	Cumple
1	X4	1.71	0.17	6.02	20.78	96.96	Cumple
1	Y1	5.92	0.13	22.40	29.11	67.95	Cumple
1	Y2	3.62	0.13	15.47	32.86	67.95	Cumple
1	Y3	5.92	0.13	15.68	20.37	67.95	Cumple
1	Y4	2.63	0.17	7.99	17.86	96.96	Cumple

Tabla 7.12 Verificación del esfuerzo axial máximo por cargas de gravedad en la vivienda N°2

Piso	Muro	L(m)	t(m)	Pm(ton)	Fmax (ton/m2)	Fa (ton/m2)	observación
2	X1	7.25	0.13	8.60	9.12	19.05	Cumple
2	X2	2.69	0.15	4.63	11.50	27.99	Cumple
2	X3	2.69	0.15	4.76	11.81	27.99	Cumple
2	X4	2.57	0.15	4.55	11.82	27.99	Cumple
2	X5	2.69	0.15	4.93	12.24	27.99	Cumple
2	X6	2.30	0.15	4.37	12.71	27.99	Cumple
2	Y1	19.19	0.13	25.89	10.38	19.05	Cumple
2	Y2	5.98	0.15	15.42	17.20	27.99	Cumple
2	Y3	4.33	0.15	8.31	12.79	27.99	Cumple
2	Y4	19.19	0.13	25.50	10.22	19.05	Cumple
1	X1	7.25	0.13	17.19	18.24	65.39	Cumple
1	X2	2.69	0.17	9.19	20.14	96.96	Cumple
1	X3	2.69	0.17	10.70	23.44	96.96	Cumple
1	X4	2.57	0.17	10.28	23.58	96.96	Cumple
1	X5	2.69	0.17	10.76	23.57	96.96	Cumple
1	X6	2.30	0.17	9.60	24.60	96.96	Cumple
1	Y1	19.19	0.13	49.37	19.79	65.39	Cumple
1	Y2	5.98	0.13	32.67	42.02	65.39	Cumple
1	Y3	4.33	0.13	17.35	30.81	65.39	Cumple
1	Y4	19.19	0.13	48.58	19.48	65.39	Cumple

Cabe recalcar que para esta verificación no se incluye columnas de confinamiento en el modelo, pues se debe considerar que todo el peso lo reciben únicamente los muros de albañilería; sin embargo, si se modela las columnas aisladas tal como se muestra en la Figura 7.4.

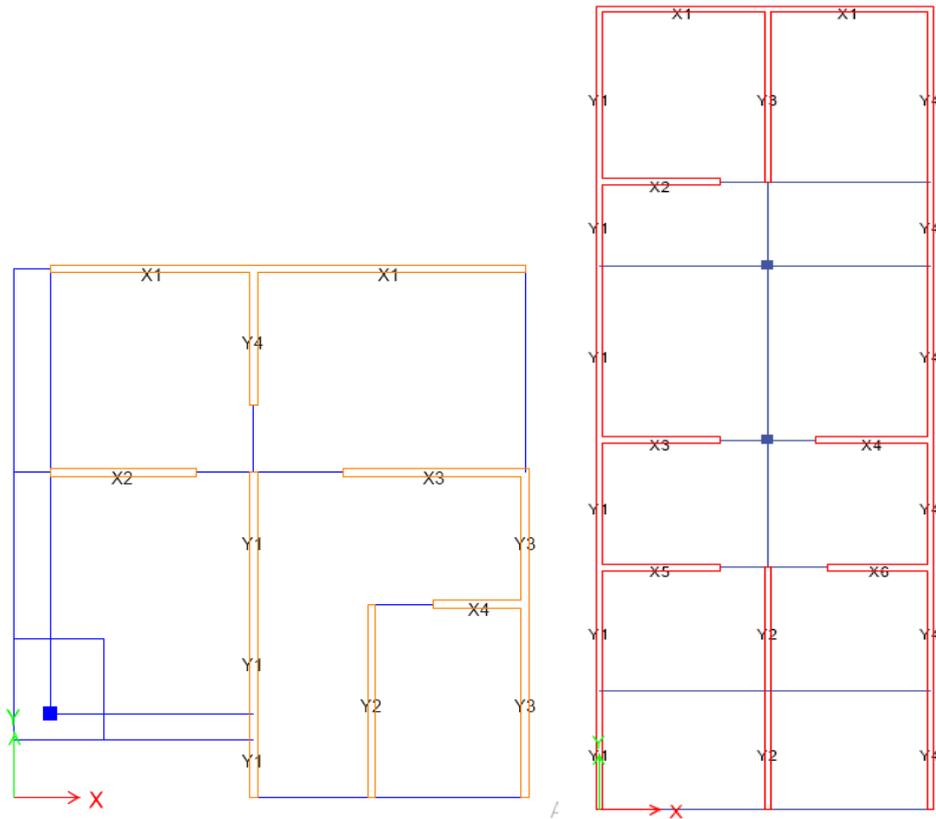


Figura 7.4 Configuración de las viviendas para la verificación del Esfuerzo Axial Máximo por Cargas de Gravedad

Este modelo idealizado también permite obtener la carga axial de gravedad (P_g) que incluye el 25% de sobrecarga en cada muro, los cuales se presentan en la Tabla 7.13 para la vivienda 1 y Tabla 7.14 para la vivienda 2.

Tabla 7.13 Carga axial de gravedad en los muros de la vivienda N°01

PISO	MURO	L(m)	t(m)	Pg(ton)
2	X1	8.64	0.13	12.76
2	X2	2.82	0.17	10.32
2	X3	3.28	0.17	7.84
2	X4	1.71	0.17	3.98
2	Y1	5.92	0.15	9.98
2	Y2	3.62	0.15	6.64
2	Y3	5.92	0.13	5.73
2	Y4	2.63	0.15	4.00
1	X1	8.64	0.13	25.23
1	X2	2.82	0.17	19.53
1	X3	3.28	0.17	14.05
1	X4	1.71	0.17	5.40
1	Y1	5.92	0.13	19.62
1	Y2	3.62	0.13	13.45
1	Y3	5.92	0.13	14.27
1	Y4	2.63	0.17	7.00

Tabla 7.14 Carga axial de gravedad en los muros de la vivienda N°02

PISO	MURO	L(m)	t(m)	Pg(ton)
2	X1	7.25	0.13	8.10
2	X2	2.69	0.15	4.26
2	X3	2.69	0.15	4.35
2	X4	2.57	0.15	4.16
2	X5	2.69	0.15	4.50
2	X6	2.30	0.15	3.99
2	Y1	19.19	0.13	24.22
2	Y2	5.98	0.15	13.82
2	Y3	4.33	0.15	7.54
2	Y4	19.19	0.13	23.94
1	X1	7.25	0.13	15.61
1	X2	2.69	0.17	8.21
1	X3	2.69	0.17	9.42
1	X4	2.57	0.17	9.06
1	X5	2.69	0.17	9.48
1	X6	2.30	0.17	8.44
1	Y1	19.19	0.13	44.39
1	Y2	5.98	0.13	27.75
1	Y3	4.33	0.13	15.03
1	Y4	19.19	0.13	44.00

7.5. Análisis sísmico ante sismo severo

El análisis sísmico de las viviendas se realiza mediante un procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes, pues se continúa cumpliendo con los requisitos de la Norma E.030 “Diseño sismorresistente”. Además, para ser conservadores se continuará utilizando el menor valor del 25% de la sección transversal de los muros que concurren ortogonalmente o 6 veces su espesor para la rigidez de los muros.

En la Figura 7.5 se muestra la configuración en planta y altura de los muros para un análisis sísmico en la dirección X para la vivienda 1, se puede observar que solo los muros de esta dirección se encuentran con sus respectivas columnas de confinamiento. Los muros X2, X3 y X4 estarán reforzados y confinados por ambas caras por la geomalla; por ende, no se necesita la construcción de una columna de confinamiento. También, se muestra el aporte de

los muros que concurren ortogonalmente y las columnas de confinamiento en la rigidez del muro en análisis, pues ambos están etiquetados de la misma forma que el muro analizado.

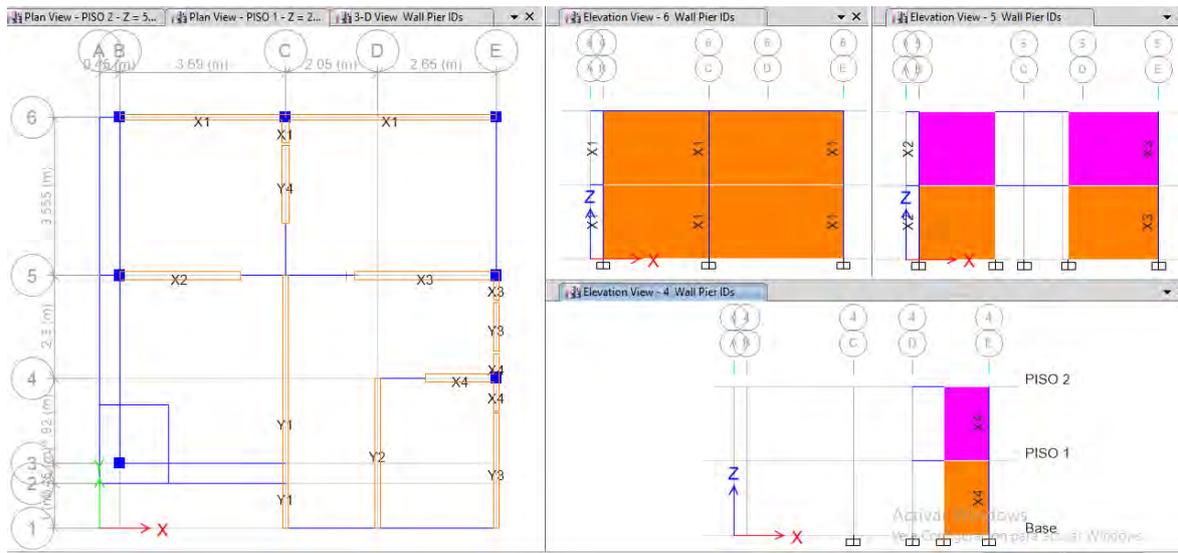


Figura 7.5 Configuración en planta y altura de los muros para un análisis sísmico en la dirección X para la vivienda 1

De la misma forma en la Figura 7.6 se muestra la configuración en planta y altura de los muros para un análisis sísmico en la dirección Y para la vivienda 1. A falta de una columna de confinamiento, el muro Y4 será reforzado con geomalla por ambas caras para que esté completamente confinado.

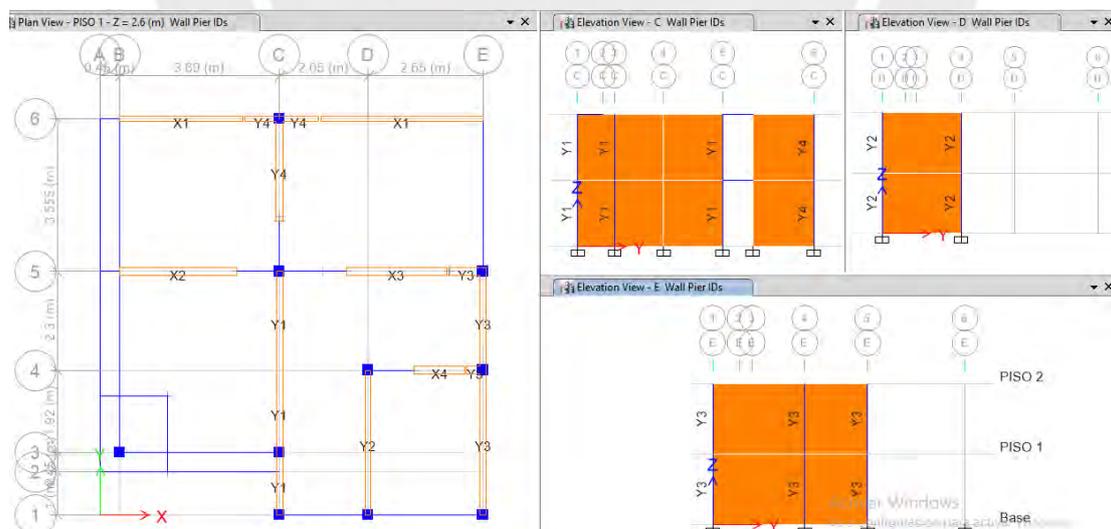


Figura 7.6 Configuración en planta y altura de los muros y columnas de confinamiento para un análisis sísmico en la dirección Y para la vivienda 1 (Fuente propia)

De la misma forma se realizó el análisis en la vivienda 2, así que en la Figura 7.7 se muestra la configuración en planta para un análisis en la dirección X y Y.

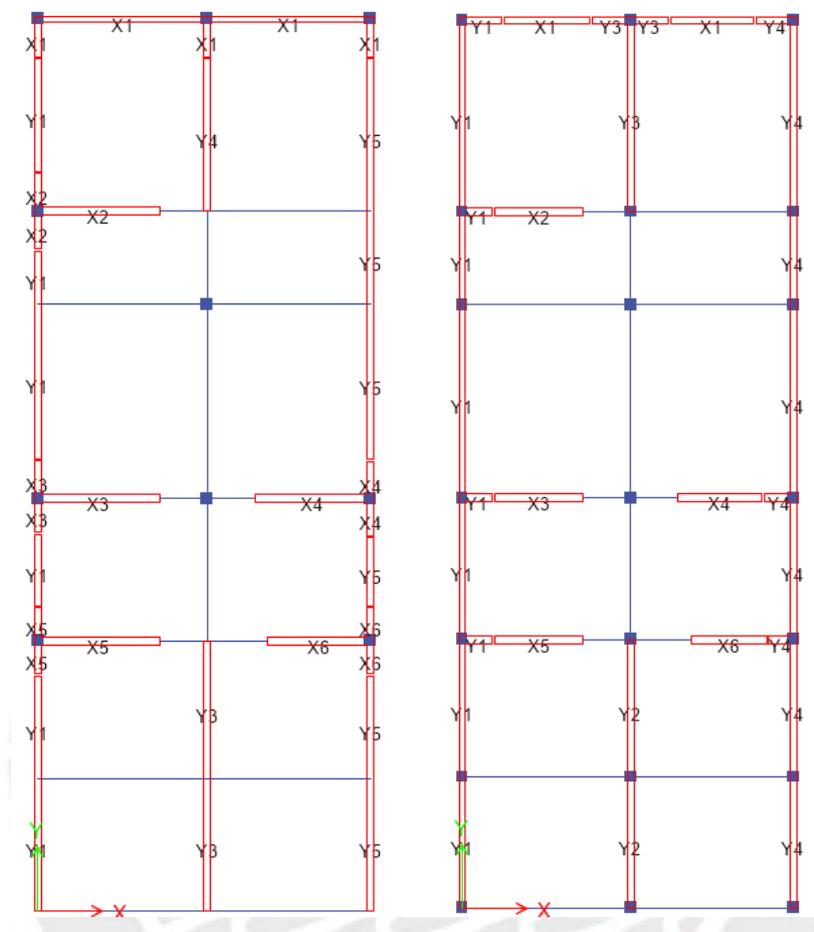


Figura 7.7 Configuración en planta de los muros y columnas de confinamiento para un análisis sísmico en la dirección X (a la izquierda) y Y (a la derecha) para la vivienda 2 (Fuente propia)

Los resultados de este análisis sísmico muestran que en la vivienda 1 se eliminó la irregularidad torsional extrema, así que el valor de la irregularidad en planta (I_p) sería igual a 0.75, mientras que la irregularidad en altura (I_a) sería igual a 1. En la Tabla 7.15 se muestra el cálculo de la irregularidad torsional extrema.

Tabla 7.15 Verificación de la irregularidad torsional de la vivienda N°01

PISO	Dirección de análisis sísmico	$\frac{\Delta_{m\acute{a}x}}{h_i}$	$\frac{\Delta_{PROM}}{h_i}$	RATIO	Factor de irregularidad
PISO 2	X	0.0035	0.0024	1.5	0.75
PISO 1	X	0.0025	0.0017	1.5	
PISO 2	Y	0.0017	0.0012	1.4	
PISO 1	Y	0.0010	0.0007	1.4	

En la Tabla 7.16 se puede observar que la deriva obtenida en el piso 1 en ambas direcciones no sobrepasa el límite de 0.0028, estipulado para muros que se construyen con ladrillo King Kong hueco. Asimismo, en la dirección Y del segundo piso tampoco se excede el valor de 0.0017, límite estipulado cuando los muros se construyen con ladrillo Pandereta; sin embargo, en la dirección X si se sobrepasa este valor; por ende, se decidió reemplazar 3 de los 4 muros portantes por otros que serán construidos con ladrillos King Kong macizo y mano de obra calificada, es por ello que se puede considerar una deriva límite de aproximadamente 0.005, la cual no se supera. Como se trata de una estructura irregular, para el cálculo de la deriva se debe multiplicar el desplazamiento relativo de entrepiso obtenidos del análisis lineal y elástico por 0.85 del coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas ($R_o * I_a * I_p$).

Tabla 7.16 Cálculo de derivas de la vivienda N°01

PISO	Dirección de análisis sísmico	Desplazamiento relativo de entrepiso/ h_i (1)	$0.85 * R_o * I_a * I_p$ (2)	Deriva=(1)*(2)	Límite de deriva
PISO 2	X	0.00226	1.53	0.0035	0.005
PISO 1	X	0.00161	1.53	0.0025	0.0028
PISO 2	Y	0.00103	1.53	0.0017	0.0017
PISO 1	Y	0.00066	1.53	0.0010	0.0028

En caso de la vivienda 2 también se obtuvo una irregularidad torsional, así que el valor de la irregularidad en planta (I_p) sería igual a 0.75 y la irregularidad en altura (I_a) sería igual a 1. En la Tabla 7.17 se muestra el cálculo de la irregularidad torsional.

Tabla 7.17 Verificación de la irregularidad torsional de la vivienda N°02

PISO	Dirección de análisis sísmico	$\frac{\Delta_{m\acute{a}x}}{h_i}$	$\frac{\Delta_{PROM}}{h_i}$	RATIO	Factor de irregularidad
PISO 2	X	0.0016	0.0013	1.3	0.75
PISO 1	X	0.0010	0.0007	1.4	
PISO 2	Y	0.0011	0.0010	1.1	
PISO 1	Y	0.0006	0.0006	1.1	

Además, el aumento de muros portantes en la dirección X permitió obtener derivas que no sobrepasen el límite, tal como se muestra en la Tabla 7.18.

Tabla 7.18 Cálculo de derivas de la vivienda N°02

PISO	Dirección de análisis sísmico	Desplazamiento relativo de entrepiso/hi (1)	$0.85 \cdot R_o \cdot I_a \cdot I_p$ (2)	Deriva=(1)*(2)	Límite de deriva
PISO 2	X	0.0008	1.91	0.0016	0.0017
PISO 1	X	0.0005	1.91	0.0010	0.0028
PISO 2	Y	0.0006	1.91	0.0011	0.0017
PISO 1	Y	0.0003	1.91	0.0006	0.0028

Es preciso mencionar que se realizó varias iteraciones del análisis sísmico aumentando y reforzando los muros necesarios para proveer una adecuada resistencia, rigidez y ductilidad a las viviendas. Al final de este proceso se obtuvo las irregularidades mostradas anteriormente que se obtuvieron al insertar los siguientes valores de coeficiente sísmico.

$$\frac{ZUCS}{R_o \cdot I_p \cdot I_a} = \frac{0.45 \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 1.1}{3 \cdot 0.6 \cdot 1} = 0.688 \quad \text{vivienda 1}$$

$$\frac{ZUCS}{R_o \cdot I_p \cdot I_a} = \frac{0.45 \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 1.1}{3 \cdot 0.75 \cdot 1} = 0.413 \quad \text{vivienda 2}$$

Donde:

Z = 0.45 (edificación ubicada en la zona sísmica 4)

U = 1.0 (edificación de uso común, destinado a vivienda)

C = 2.5 (periodo fundamental de vibración menor que 1s)

T = hm / 60 = 5.2 / 60 = 0.087s (período natural de vibrar de las viviendas)

hm = altura total de la edificación = 2.6x2 = 5.2 m

S = 1.1 (Edificación ubicado sobre suelo blando, tipo S3.)

R_o = 3 (Coeficiente básico de reducción para sismo severo)

I_p = 1 (Irregularidad en planta)

I_a = 1 (Irregularidad en altura)

De la misma forma, después de correr el programa se verificó el periodo fundamental, para el caso de la vivienda N°01, la tabla 7.19 muestra que la mayor masa efectiva se encuentra en la dirección Y, así que el periodo fundamental es 0.143 segundos, el cual es superior a 0.087 s que se obtuvo de forma aproximada dividiendo la altura total de la edificación entre 60.

Tabla 7.19 Periodo fundamental de vibración de la vivienda N°01

Mode	Periodo (Seg)	UX	UY	RZ
1	0.28	0.3436	0.0553	0.4134
2	0.143	0.157	0.5915	0.0034
3	0.106	0.3402	0.1136	0.2608
4	0.081	0.0063	0.0203	0.2246
5	0.048	0.0395	0.1992	0.0057
6	0.037	0.1133	0.0201	0.0921

En el caso de la vivienda N°02, tal como se muestra en la Tabla 7.20 se obtuvo 0.089 s como periodo fundamental de vibración, el cual es similar a lo obtenido de forma aproximada, 0.087 s.

Tabla 7.20 Periodo fundamental de vibración de la vivienda N°02

Mode	Periodo	UX	UY	RZ
1	0.172	0.5496	0.0001	0.1831
2	0.105	0.177	0.0004	0.5552
3	0.089	1.21E-06	0.7548	0.0004
4	0.056	0.1829	0.0001	0.0926
5	0.041	0.0905	0.0004	0.1681
6	0.036	0.0001	0.2443	0.0005

7.6.Verificación del agrietamiento de los muros portantes ante sismo moderado

Se verifica que los muros portantes no se fisuren ante un sismo moderado, para ello la fuerza cortante (V_e) producida en cada muro no debe superar el 55% de su resistencia a fuerza cortante (V_m). Para ello, se procede de la misma forma que lo explicado en el ítem 5.5.

La resistencia a fuerza cortante se calcula de la siguiente forma:

$$V_m = 0.5 v'm \alpha t L + 0.23 P_g$$

Recordar que la resistencia a corte puro de los muretes de albañilería ($v'm$) aumentará un 20% si se refuerza el muro por ambas caras, tal como se muestra en la Tabla 7.21

Tabla 7.21 Resistencia a corte puro a utilizar

Piso	Descripción	t(m)	v'm (ton/m2)
2	Ladrillo Pandereta	0.13	36
	Ladrillo Pandereta	0.15	43.2
1	Ladrillo King Kong (hueco)	0.13	67
	Ladrillo King Kong (hueco)	0.17	80.4
2	Ladrillo King Kong (macizo)	0.17	97.2

En la Tabla 7.22 y Tabla 7.23 se muestran los resultados para la vivienda 1 y vivienda 2, respectivamente. Se puede ver que ningún muro se agrieta, pues ninguna fuerza cortante (V_e) supera el 55% de la resistencia a fuerza cortante (V_m) de cada muro.

Tabla 7.22 Verificación de la fisuración de los muros de la vivienda N°01

PISO	MURO	L(m)	t(m)	Pg(ton)	V_e (ton)	M_e (ton-m)	α	V_m (ton)	0.55 V_m (ton)	OBSERVACION
2	X1	8.64	0.13	12.76	3.82	10.78	1	23.15	12.73	No se agrieta
2	X2	2.82	0.17	10.32	7.96	18.39	1	25.63	14.10	No se agrieta
2	X3	3.28	0.17	7.84	10.96	27.91	1	28.86	15.87	No se agrieta
2	X4	1.71	0.17	3.98	2.82	5.36	0.90	13.55	7.45	No se agrieta
2	Y1	5.92	0.15	9.98	12.50	26.88	1	23.48	12.91	No se agrieta
2	Y2	3.62	0.15	6.64	5.20	13.57	1	13.26	7.29	No se agrieta
2	Y3	5.92	0.13	5.73	5.06	13.32	1	15.17	8.34	No se agrieta
2	Y4	2.63	0.15	4.00	3.06	4.44	1	9.44	5.19	No se agrieta
1	X1	8.64	0.13	25.23	9.35	36.22	1	43.43	23.89	No se agrieta
1	X2	2.82	0.17	19.53	11.08	45.02	0.85	20.84	11.46	No se agrieta
1	X3	3.28	0.17	14.05	13.52	43.63	1.02	25.95	14.27	No se agrieta
1	X4	1.71	0.17	5.40	6.50	23.00	1.00	12.89	7.09	No se agrieta
1	Y1	5.92	0.13	19.62	16.50	64.62	1	30.29	16.66	No se agrieta
1	Y2	3.62	0.13	13.45	7.24	32.74	0.80	15.72	8.65	No se agrieta
1	Y3	5.92	0.13	14.27	9.53	38.37	1	29.06	15.99	No se agrieta
1	Y4	2.63	0.17	7.00	8.94	24.58	0.96	18.79	10.34	No se agrieta

Tabla 7.23 Verificación de la fisuración de los muros de la vivienda N°02

PISO	MURO	L(m)	t(m)	Pg(ton)	V_e (ton)	M_e (ton-m)	α	V_m (ton)	0.55 V_m (ton)	OBSERVACION
2	X1	7.25	0.13	8.10	5.88	14.85	1	18.83	10.36	No se agrieta
2	X2	2.69	0.15	4.26	2.04	3.83	1	9.68	5.32	No se agrieta
2	X3	2.69	0.15	4.35	2.56	4.30	1	9.70	5.33	No se agrieta
2	X4	2.57	0.15	4.16	5.92	12.11	1	13.85	7.62	No se agrieta
2	X5	2.69	0.15	4.50	6.14	13.57	1	14.53	7.99	No se agrieta
2	X6	2.30	0.15	3.99	1.50	3.00	1	8.35	4.59	No se agrieta
2	Y1	19.19	0.13	24.22	9.04	22.13	1	50.48	27.76	No se agrieta
2	Y2	5.98	0.15	13.82	0.97	1.98	1	22.55	12.40	No se agrieta
2	Y3	4.33	0.15	7.54	1.00	8.46	1	15.76	8.67	No se agrieta

PISO	MURO	L(m)	t(m)	Pg(ton)	Ve(ton)	Me(ton-m)	α	Vm (ton)	0.55Vm(ton)	OBSERVACION
2	Y4	19.19	0.13	23.94	4.60	7.24	1	50.41	27.73	No se agrieta
1	X1	7.25	0.13	15.61	9.68	40.03	1	35.16	19.34	No se agrieta
1	X2	2.69	0.17	8.21	5.37	16.96	0.85	17.49	9.62	No se agrieta
1	X3	2.69	0.17	9.42	7.56	21.94	0.93	19.15	10.53	No se agrieta
1	X4	2.57	0.17	9.06	4.89	22.39	0.56	11.90	6.54	No se agrieta
1	X5	2.69	0.17	9.48	5.88	27.39	0.58	12.75	7.01	No se agrieta
1	X6	2.30	0.17	8.44	6.12	18.49	0.76	13.85	7.62	No se agrieta
1	Y1	19.19	0.13	44.39	16.65	65.34	1	93.78	51.58	No se agrieta
1	Y2	5.98	0.13	27.75	2.25	7.38	1	32.43	17.83	No se agrieta
1	Y3	4.33	0.13	15.03	6.39	24.48	1	22.31	12.27	No se agrieta
1	Y4	19.19	0.13	44.00	3.75	11.13	1	93.69	51.53	No se agrieta

Un cotejo adicional que se debe realizar para asegurar el buen diseño de la vivienda es la verificación de la resistencia al corte de la vivienda, la cual consiste en comprobar que la resistencia a fuerza cortante en cada piso y dirección supere la cortante basal (V_{basal}) frente a sismo severo. En la Tabla 7.24 y 7.25 se muestra que en ambas viviendas se cumple lo mencionado anteriormente.

Tabla 7.24 Verificación de la resistencia al corte de la vivienda N°01

Piso	Dirección	Vm(ton)	V _{basal} (ton)	Vm/V _{basal}
2	X	91.19	51.46	1.77
2	Y	61.34	52.00	1.18
1	X	103.12	84.40	1.22
1	Y	93.87	85.60	1.10

Tabla 7.25 Verificación de la resistencia al corte de la vivienda N°02

Piso	Dirección	Vm(ton)	V _{basal} (ton)	Vm/V _{basal}
2	X	74.93	49.28	1.52
2	Y	139.20	101.06	1.38
1	X	110.30	79.56	1.39
1	Y	242.21	164.08	1.48

7.7. Cálculo de la vulnerabilidad sísmica de las dos viviendas reforzadas

Como ya se realizó todos los cálculos posibles para determinar la resistencia, rigidez y ductilidad de las dos viviendas reforzadas, se procede a determinar la vulnerabilidad sísmica tomando como referencia la Tabla 7.26.

Tabla 7.26 Indicadores de vulnerabilidad sísmica (Mosqueira & Tarque, 2005)

VULNERABILIDAD SÍSMICA					
Estructural				No estructural	
Configuración y densidad de muros (60 %)		Mano de obra y materiales (30 %)		Elementos no estructurales (10 %)	
Adecuada	1	Buena calidad	1	Todos estables	1
Aceptable	2	Regular calidad	2	Algunos estables	2
Inadecuada	3	Mala calidad	3	Todos inestables	3

Como se apreció en los ítems anteriores, después de ser reforzadas se espera que las viviendas tengan una adecuada configuración y densidad de muros, así que el valor a considerar sería 1. Con respecto a la mano de obra y materiales se considerará de forma conservadora de regular calidad, pues a pesar de estar de que las viviendas estén construidas de forma deficiente, el reforzamiento lo suplirá y le proveerá de una adecuada resistencia, rigidez y ductilidad. Por último, con respecto a los elementos no estructurales se espera que sean reforzados algunos de ellos para que se encuentren estables, pues el presupuesto que se obtiene para el reforzamiento de los muros portantes en ambas viviendas es menor que los S/15 000 que brinda el estado para este fin, así que se espera que los propietarios puedan acceder a este beneficio y utilizar todo el dinero para reforzar los muros portantes y no portantes.

De acuerdo con la información detallada, se procede a calcular la vulnerabilidad sísmica:

$$vulnerabilidad\ sísmica = 0.6(1) + 0.3(2) + 0.1(2) = 1.4$$

El valor obtenido de 1.4 lo califica como una vulnerabilidad sísmica baja, tal como se especifica en la Tabla 7.27. Como el peligro es alto, el riesgo sísmico sería medio, es decir disminuye con respecto a lo obtenido anteriormente, el cual fue un riesgo alto.

Tabla 7.27 Rangos numéricos para clasificación de la vulnerabilidad sísmica (Mosqueira & Tarque, 2005)

Vulnerabilidad sísmica	Rango
Baja	1.0 - 1.4
Media	1.5 - 2.1
Alta	2.2 - 3.0

Capítulo 8: Costos y Presupuestos

En este capítulo se realizará el todo el procedimiento necesario para la obtención del costo del reforzamiento por vivienda. Se iniciará por el Análisis de Precios Unitarios (APU) de todas las partidas necesarias y se adjuntará en el anexo 2, luego se realizará el debido metrado y por último el presupuesto. Asimismo, el costo de este reforzamiento será comparado con el costo aproximado de construcción de una vivienda de Albañilería Confinada para así mostrar la factibilidad del reforzamiento.

8.1. Análisis de Costos Unitarios (ACU) del reforzamiento

Para obtener el costo del reforzamiento se estimará el costo de mano de obra, materiales y herramientas sin IGV a septiembre del 2021, para ello se utilizará como base el libro de Costos y Presupuestos en Edificaciones publicado por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO); sin embargo, los datos deberán ser actualizados al momento de aplicarlo en obra.

Parte de los muros portantes a reforzar se encuentran al interior de las viviendas y el resto limita con las viviendas colindantes; por ende, serán reforzados solo por la cara interior. Por lo tanto, se realizará un análisis de costo del reforzamiento solo para muros interiores.

Asimismo, como el tarrajeo forma parte del reforzamiento se tomará como base el análisis de costo de esta partida. En edificaciones es común que este tarrajeo sea de un espesor de 1.5cm y la mezcla del mortero tenga una proporción C:A de 1:5, si se considera a un operario y la mitad de un peón con un rendimiento de 15m²/día, además de un costo de herramientas manuales de 3% del costo de mano de obra el costo unitario por metro cuadro sin IGV de esta partida tendría el valor de S/.19.77, tal como se muestra en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1 Costo unitario por m2 de tarrajeo de muros

Ind.	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio Unitario	Parcial
Partida: 1.1.1.1 TARRAJEO MUROS INTERIORES C/A 1:5 E=1.5CM						
					Rendimiento: m2/Día	15
					Costo unitario por m2	19.77
MANO DE OBRA						
	Operario	hh	1	0.5333	19.38	10.34
	Peón	hh	0.5	0.2667	13.88	3.70
MATERIALES						
	Cemento Portland Tipo I (42.5KG)	bis		0.1170	19.40	2.27
	Arena Fina	m3		0.0165	33.81	0.56
	Madera tornillo	p2		0.5800	4.12	2.39
	Clavos de 3"	kg		0.0220	4.20	0.09
EQUIPO						
	Herramientas Manuales	%MO		0.0300	14.04	0.42

Para el análisis de costo del muro reforzado se considerará la misma cantidad de personal, pero con un rendimiento menor de 12 m2/día, pues previo al tarrajeo el personal deberá realizar el trabajo de picado de la pared con cincel para obtener una superficie rugosa y colocar la malla sujetándolas con alcayatas cada 50cm. Por lo tanto, la cantidad de mano de obra se obtendría de la siguiente forma:

$$Cantidad\ operario = \frac{cuadrilla * jornada}{rendimiento} = \frac{1 * 8horas}{12m2/día} = 0.6667\ día * hora/m2$$

$$Cantidad\ peón = \frac{cuadrilla * jornada}{rendimiento} = \frac{0.5 * 8horas}{12m2/día} = 0.3333\ día * hora/m2$$

De acuerdo a la Tabla de Salarios y Beneficios Sociales para el Régimen de Construcción Civil el sueldo bruto semanal (6 días) de un operario y peón es de S/.930.21 y S/. 666.09 respectivamente. Así que el precio unitario diario (48 horas) sería:

$$P.U\ operario = \frac{S/930.21}{48horas} = S/19.38 /hora$$

$$P.U\ peón = \frac{S/666.09}{48horas} = S/13.88 /hora$$

Con respecto a la mezcla del mortero esta debe contener cal, así que la proporción de Cemento: Cal: Arena sería 1:1:5, así mismo el espesor del tarrajeo será de 2 cm; por lo tanto, la cantidad de los materiales que integran este mortero por m2 considerando 5% de desperdicio sería de 0.1386 bolsas de cemento (42.5kg), 0.2927 bolsas de cal (20kg) y 0.0195m3 de arena

pandereta, se reforzará por ambas caras como medida de protección de los habitantes, pues estos explotan cuando fallan. Ahora bien, si el muro pandereta se desea reemplazar por un muro nuevo, se debe considerar el costo adicional de demoler el muro y acarreo de material.

Tabla 8.3 Costo unitario por m2 de la construcción de un muro en sogá

Partida:	1.1.1.1	MURO DE LADRILLO KK 18 HUECOS DE SOGA C/A 1:5 JUNTA 1CM	Rendimiento: m2/Día	9.46		
			Costo unitario por m2	60.40		
Ind	Descripción	Unid.	Recursos	Cantidad	Precio unitario	Parcial
MANO DE OBRA						
	Operario	hh	1	0.8457	19.38	16.39
	Peón	hh	0.5	0.4228	13.88	5.87
MATERIALES						
	Cemento Portland Tipo I (42.5KG)	bls		0.2180	19.40	4.23
	Arena Gruesa	m3		0.0310	42.37	1.31
	Ladrillo 24x13x9	Und		39.0000	0.75	29.25
	Madera tornillo	p2		0.5800	4.12	2.39
	Cordel	m		0.2000	1.00	0.20
	Clavos de 3"	kg		0.0220	4.20	0.09
EQUIPO						
	Herramientas Manuales	%MO		0.0300	22.26	0.67

8.2. Presupuesto de reforzamiento en cada vivienda

Habiendo obtenido el costo del reforzamiento por metro cuadrado se procede a realizar el metrado de toda la superficie a reforzar, para ello se multiplicará el largo de los muros por su altura. Si va ser reforzado por ambas caras, adicionalmente se multiplicará por dos el valor obtenido, en la Tabla 8.4 y 8.5 se presenta el metrado obtenido en la vivienda 1 y vivienda 2.

Tabla 8.4 Metrado de la superficie a reforzar de la vivienda 1

	Muro	Largo (m)	Altura (m)	Veces	Parcial (m2)
PISO 1	X2	2.82	2.4	2	13.54
	X3	3.28	2.4	2	15.74
	X4	1.71	2.4	2	8.21
	Y4	2.63	2.4	2	12.62
PISO 2	X1	8.64	2.4	1	20.74
	X2	2.82	2.4	2	13.54
	X3	3.28	2.4	2	15.74
	X4	1.71	2.4	2	8.21
	Y1	5.92	2.4	2	28.42
	Y2	3.62	2.4	2	17.38
	Y3	5.92	2.4	2	28.42
	Y4	2.63	2.4	2	12.62
TOTAL					195.17

Tabla 8.5 Metrado de la superficie a reforzar de la vivienda 2

	Muro	Largo (m)	Altura (m)	Veces	Parcial (m2)
PISO 1	X2	2.69	2.4	2	12.91
	X3	2.69	2.4	2	12.91
	X4	2.57	2.4	2	12.34
	X5	2.69	2.4	2	12.91
	X6	2.3	2.4	2	11.04
	PISO 2	X1	7.25	2.4	1
X2		2.69	2.4	2	12.91
X3		2.69	2.4	2	12.91
X4		2.57	2.4	2	12.34
X5		2.69	2.4	2	12.91
X6		2.3	2.4	2	11.04
Y1		19.19	2.4	1	46.06
Y2		5.98	2.4	2	28.70
Y3		4.33	2.4	2	20.78
Y4		19.19	2.4	1	46.06
TOTAL					283.22

Es preciso mencionar que en la vivienda 1 se requiere construir muros nuevos, por ello en la Tabla 8.6 se presenta el metrado de esta actividad.

Tabla 8.6 Metrado de los muros nuevos a construcción en la vivienda 1

	Muro	Largo (m)	Altura (m)	Parcial (m2)
PISO 2	X2	2.82	2.4	6.77
	X3	3.28	2.4	7.87
	X4	1.71	2.4	4.10
TOTAL				18.74

Con el metrado obtenido se procede a determinar el presupuesto del reforzamiento por cada vivienda, para ello se multiplica el metrado por el costo unitario de cada partida. De esta forma se obtendrá el costo directo del reforzamiento, al cual se le debe agregar el 18% por Impuesto General a las Ventas (IGV) para así obtener el costo total del reforzamiento. De esta forma se obtuvo un presupuesto de S/ 8,350.95 y S/ 10,180.06 para la vivienda 1 y vivienda 2, respectivamente. Los cuales, expresados en función del área techada sería S/ 103 y S/77 para la vivienda 1 y vivienda 2, respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 8.7 y Tabla 8.8. Al comparar los últimos valores nos damos cuenta que cuesta más reforzar la primera vivienda, lo cual se esperaba, pues se tenía una deficiente densidad de muros para disminuir la torsión en planta; por ende, vio la necesidad de demoler tres muros y construirlos con los estándares de calidad para que no se agrieten frente a los sismos moderados.

Tabla 8.7 Presupuesto del reforzamiento de la vivienda 1

Descripción	Metrado (m2)	Costo Unitario por m2	Parcial (S/.)
REFORZAMIENTO DE MUROS INTERIORES C:C: A 1:1:5 E=2CM	195.17	30.46	5944.93
MURO DE LADRILLO KK 18 HUECOS DE SOGA C/A 1:5 JUNTA 1CM	18.74	60.40	1132.14
Costo directo			S/ 7,077.08
IGV (18%)			S/ 1,273.87
Total			S/ 8,350.95
Área techada (m2)			81
Costo Total (S/. /m2)			103

Tabla 8.8 Presupuesto del reforzamiento de la vivienda 2

Descripción	Metrado (m2)	Costo Unitario por m2	Parcial (S/.)
REFORZAMIENTO DE MUROS INTERIORES C:C: A 1:1:5 E=2CM	283.22	30.46	8627.17
		Costo directo	S/ 8,627.17
		IGV (18%)	S/ 1,552.89
		Total	S/ 10,180.06
		Área techada (m2)	133
		Costo Total (S/. /m2)	77

El costo de la construcción de una vivienda de albañilería confinada es aproximadamente S/ 1056 por metro cuadrado de área techada, así que el costo total de reforzamiento de la vivienda 1 y vivienda 2 representa aproximadamente el 10% y 7%. Los cuales, son bastante adecuados en comparación a todos los beneficios brindados por este sistema de reforzamiento. Además, es preciso mencionar que el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento peruano otorga ayudas económicas a las familias que viven en distritos de alto riesgo sísmico, tales como Villa El Salvador, para el reforzamiento de sus viviendas. Este bono al año 2021 asciende al monto de S/15 000, el cual es superior al presupuesto de reforzamiento obtenido, así que es un incentivo para que los propietarios se animen a reforzar sus viviendas.

Aprovechando esta ayuda económica, se recomienda a los propietarios reforzar los muros no estructurales que se encuentran sobre los volados y en la ruta de evacuación, el primero para evitar que fallen por volteo y el segundo para mantener segura la ruta de evacuación de los habitantes.

Capítulo 9: Conclusiones

- Por medio de esta tesis se comprobó que es posible reducir la vulnerabilidad sísmica de las dos viviendas de albañilería confinada del distrito de Villa El Salvador mediante el reforzamiento de los muros portantes con geomalla, pues esta se redujo de un nivel alto a uno bajo.

- Se seleccionó las dos viviendas de acuerdo con la microzonificación sísmica, características propias y la accesibilidad brindada por parte de los propietarios. En ellas se evidenció la escasa cantidad de muros confinados en dirección a la fachada principal, además de la deficiente calidad de los ladrillos y la mano de obra, puesto que se utilizó el ladrillo King Kong hueco en el primer nivel y el ladrillo Pandereta en el segundo. Asimismo, se observó juntas de asentado entre el rango de 1.5 y 2cm, superior al límite establecido en la norma (15mm), lo que disminuyó en un 45% la resistencia característica a compresión axial ($f'm$) de la albañilería. Es por ello, que al final el valor de esta característica y de la resistencia a corte ($v'm$) fue de solo 45.3 kg/cm² y 6.7 kg/cm² para el caso de ladrillo hueco, mientras que para el caso del ladrillo tubular fue de 13.2 kg/cm² y 3.6 kg/cm², respectivamente. De la misma forma, se redujo en un 25% el módulo de elasticidad (E_c) del concreto, por la mala calidad de los materiales, mano de obra deficiente y los sismos frecuentes que dañan a la estructura, así que se utilizó de forma conservadora un valor de 100 kg/cm² de resistencia nominal a compresión ($f'c$) del concreto.

- Se verificó los requisitos estructurales mínimos y se realizó el análisis sísmico de las dos viviendas utilizando el software de análisis estructural ETABS y respetando las normas técnicas peruanas. La primera verificación realizada fue la densidad mínima de muros, para ello el área de los muros portantes existentes debía superar como mínimo en 10% al área requerida (A_m), la cual expresado en función del área techada es igual a $Att/53$ en caso de muros construidos con ladrillo Pandereta y $Att/100$ en caso sea con ladrillo King Kong hueco. Como resultado del análisis, en ambas viviendas se obtuvo una inadecuada densidad de muros paralelo a la fachada principal, pero si fue adecuada en la dirección contraria. La segunda verificación consistió en comprobar que el esfuerzo axial máximo (F_{max}), producido en cada muro por la carga de gravedad máxima de servicio (P_m) que incluye el 100%, no supere el límite de 16.1 ton/m² en caso de muros construidos con ladrillo Pandereta y 65.4 ton/m² en caso de ser construidos con ladrillo King Kong hueco.

Como la resistencia característica a compresión axial (f_m) de las pilas de ladrillo Pandereta es de solo 132 ton/m² y se tiene deficiente cantidad de muros, resultó que en más del 50% de los muros del segundo nivel de ambas viviendas se supera el límite establecido. Para esta verificación no se consideró las columnas de confinamiento, porque se debe considerar que todo el peso lo reciben únicamente los muros. Después de las dos verificaciones, se procedió con el análisis sísmico estático ante sismo severo, para ello ambas viviendas se proyectaron hasta el segundo nivel con techos vaciados y muros tarrajeados, para así poder considerar un diafragma rígido en cada nivel. Con respecto al peligro sísmico presente en las viviendas, se consideró un factor de zona (Z) igual a 0.45 (Lima), un perfil de suelo tipo S3, ya que se trata de suelo blando, así el valor del factor de suelo (S) sería igual a 1.1; por último, se consideró un factor de amplificación dinámica (C) igual a 2.5. El análisis se desarrolló en dos modelos para así idealizar la sección transformada en cada dirección de análisis, también se utilizó distorsiones límites igual a 0.0017 en caso de muros construidos con ladrillo Pandereta y 0.0028 para ladrillo King Kong hueco, pues el límite de 0.005 estipulado por la norma es para ladrillo King Kong macizo industrial. Del análisis resultó que el límite de la deriva es superado en ambas viviendas, especialmente en el segundo nivel que es hasta 11 veces más en la dirección X, mientras que en la dirección Y es hasta 3 veces más; además se obtuvo una irregularidad torsional extrema en ambas viviendas. Por todo lo anterior, se concluye que las viviendas no cumplen con los requisitos de rigidez, resistencia ni ductilidad que aseguren un buen desempeño sísmico. La última verificación para realizar fue que los muros portantes no se agrietan ante sismo moderado, para ello la fuerza cortante (V_e) producida en cada muro no debía superar el 55% de su resistencia a fuerza cortante (V_m), lo cual no se cumplió en el 90% de los muros del segundo nivel. Este resultado se esperaba, pues los ladrillos tubulares son muy frágiles, adicional a esto se tiene pocos muros portantes.

- Se calculó y describió la vulnerabilidad sísmica actual de las dos viviendas. Como era de esperar se obtuvo una vulnerabilidad sísmica alta, pues ambas viviendas presentan una inadecuada densidad de muros, una mala calidad de mano de obra y materiales, y la mayoría de los muros no estructurales son inestables.

- Se eligió la geomalla como elemento de reforzamiento por el bajo costo, la resistencia ante productos químicos que se encuentran en los morteros, la durabilidad de aproximadamente 120 años, además permite sustituir los elementos de concreto armado. Asimismo, tiene una alta capacidad de disipación de la energía inducida y aumenta la

resistencia característica al corte de la albañilería ($v'm$) de 1 a 1.5 veces, para la presente investigación, de forma conservadora, se consideró un incremento del 20%. De esta forma, permite mejorar la capacidad de los muros para resistir la fuerza cortante generada por el sismo en el plano del muro y soportar el volteo debido a fuerzas de inercia perpendiculares a su plano.

- Se identificó muros portantes para ser reconstruidos y/o reforzarlos con geomallas de acuerdo tres características, primero que no estén reforzados correctamente por elemento de concreto armado, segundo que se agrieten irremediablemente frente a un sismo moderado, por último, que estén contruidos con ladrillo Pandereta, pues presentan una falla frágil. Es así como en la vivienda 1 se requirió reconstruir tres muros, reforzar todos los del segundo nivel y cuatro del primer nivel, de la misma forma en la vivienda 2 se requirió reforzar todos los muros del segundo nivel y cinco en el primero.

- Se verificó en las viviendas ya reforzadas los requisitos estructurales mínimos y se comprobó mediante el análisis sísmico la adecuada resistencia, rigidez y ductilidad. La primera verificación realizada fue la densidad mínima de muros, la cual fue adecuada, ya que en la vivienda 1 se pudo hasta duplicar el área existente de los muros, por lo que se sobrepasó la relación A_e/A_m incluso en un 51% de la requerida. De la misma forma, en la vivienda 2 se pudo más que triplicar el área existente de los muros paralelo a la fachada, dirección más deficiente, por lo que se superó el valor requerido de 1.1 de la relación A_e/A_m ; en la dirección Y solo se tuvo un aumento de hasta el 22%, pues la vivienda actual posee una cantidad suficiente de muros portantes. La segunda verificación realizada fue del esfuerzo axial máximo (F_{max}) por cargas de gravedad, para ello se calculó nuevamente el esfuerzo axial límite (F_a), pues el espesor del muro aumenta en 2cm por cada cara reforzada con geomalla, asimismo, en muros reforzados por ambas caras aumenta la resistencia característica a corte ($v'm$) en un 20% y por ende la resistencia característica a compresión ($f'm$). Entonces, como mejora la calidad de la albañilería y se tiene una mayor cantidad de muros para soportar las cargas de gravedad, todos ellos no superar el Esfuerzo axial límite. Después de las dos verificaciones, se procedió a realizar el análisis sísmico estático ante sismo severo de la misma forma que para las viviendas actuales, pero considerando el incremento de las resistencias características de los muros reforzados por ambas caras y el espesor adicional de 2cm por cara reforzada. Los resultados mostraron que se eliminó la irregularidad torsional extrema en ambas viviendas; sin embargo, todavía hay presencia de irregularidad torsional (irregularidad en planta igual a 0.75). Con respecto a las derivas, en

las dos viviendas no se sobrepasa el límite establecido; por lo tanto, se concluye que las viviendas reforzadas cuentan con una adecuada resistencia, rigidez y ductilidad. La última verificación realizada fue que los muros portantes no se agrieten ante sismo moderado, lo cual se cumplió, porque hubo un aumento del espesor de los muros y de la resistencia característica a corte; así como, de la cantidad de muros portantes para soportar la fuerza producida por el sismo.

- Se calculó la vulnerabilidad sísmica de las dos viviendas reforzadas, como era de esperar se obtuvo una vulnerabilidad baja, pues si se ejecuta las obras de reforzamiento, ambas viviendas presentarían una adecuada densidad de muros, una regular calidad de mano de obra y materiales, y algunos de los muros no estructurales estarían estables.

- Se realizó un análisis de costo unitario del reforzamiento de muros interiores y se obtuvo un valor de S/30.46/m², el cual es superior en S/10.69 /m² al tarrajeo tradicional, mientras que si se compara con el costo de la construcción de un muro simple de ladrillo King Kong macizo en soga (S/60.40 /m²), este representaría el 50% si se refuerza por una cara y 100% si se refuerza por ambas ca-ras. Asimismo, se determinó el presupuesto de reforzamiento de S/ 8,350.95 para la vivienda 1 y S/ 10,180.06 para la vivienda 2, los cuales representarían el 10% y 7%, respectivamente, del costo de construcción de una vivienda de albañilería confinada, cuyo valor es S/ 1,056 por metro cuadrado de área techa-da. Además, el presupuesto encontrado es inferior a S/15, 000 que es el monto de la ayuda económica brindada por parte del estado para el reforzamiento de las viviendas, por lo que se recomienda a los propietarios también reforzar los muros no estructurales que se encuentran sobre los volados y en la ruta de evacuación. Por todo lo anterior, el costo de reforzamiento de cada vivienda es compensado por los beneficios brindados por la geomalla.

- En esta tesis se resumió parte de las investigaciones realizadas hasta el momento sobre el reforzamiento de la albañilería simple con geomalla y se mencionó que el Ing. Ramiro Sofronie, creador de este sistema, descubrió que en edificaciones nuevas la geomalla puede reemplazar a las vigas y columnas de concreto armado, los cuales incrementan sustancialmente el costo de la vivienda, así que se recomienda realizar una mayor investigación sobre el diseño de este tipo de edificaciones y determinar el nivel máximo que se puede llegar a construir. Asimismo, se recomienda investigar sobre un método de reforzamiento de las losas de viviendas informales, así como la construcción de bóveda de doble curvatura en reemplazo de las losas aligeradas, pues es totalmente seguro en casos de sismo y permite un ahorro del 40% con respecto al costo de la losa tradicional.

Así que si se implementa tanto la geomalla como las bóvedas de doble curvatura permitirían un gran ahorro en la construcción de viviendas populares de nuestro país.



Referencias Bibliográficas

Abanto, F (2017). Análisis y diseño de edificaciones de albañilería. Lima.

Aceros Arequipa (2010). Construye Seguro-Manual del maestro constructor. Lima.

Arango, J. 2002. *Análisis, diseño y construcción en albañilería*. American Concrete Institute. Lima, Perú.

Araoz, T. & Velezmoro, J. (2012). *Reforzamiento de viviendas existentes construidas con muros confinados hechos con ladrillos pandereta*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Astroza, I., Schmidt, A., Maximiliano, & Andrés. (2004). *Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño*. Revista De Ingeniería Sísmica. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61807003>

Blondet, M. et al. (2018) Construcción antisísmica de viviendas de ladrillo para albañiles y maestros de obra. Perú, Lima: Fondo Editorial PUCP.

Bommer, J., Salazar, W., & Samayoa, R. (1997). *Riesgo sísmico en la Región Metropolitana de San Salvador*. Programa Salvadoreño de Investigación Sobre Desarrollo y Medio Ambiente.

Cáceda, S. (2019). *Análisis de la situación de salud del distrito de Villa El Salvador*. Dirección de Redes Integradas de Salud Lima Sur.

CISMID. (2011). Microzonificación sísmica del distrito de Villa el Salvador. Lima.

Consultores PNUD, Kuroiwa, J. & Salas, J. (2009). Manual para la reparación y reforzamiento de viviendas de albañilería confinada dañadas por sismo. Lima.

Contentlab. (2018, febrero 26). El alto riesgo de las viviendas informales. Recuperado de <https://elcomercio.pe/especial/construyebien/noticias/alto-riesgo-viviendas-informales-noticia-1993016?datasection=customURL2>

El COMERCIO (2011, octubre 24). ¿Cómo se define que una persona pertenezca a un determinado nivel socioeconómico?. Recuperado de <http://archivo.elcomercio.pe/economia/personal/como-se-define-que-persona-pertenezca-determinado-nivel-socioeconomico-noticia-1322839>

Gallegos, H. (1989). Albañilería estructural. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú, Lima: Fondo Editorial PUCP.

Horcalsa (15 de marzo de 2021). *5 beneficios de la cal para construcción en los morteros*. Recuperado de <https://www.horcalsa.com/blog/5-beneficios-de-la-cal-para-construccion-en-los-morteros/>

INADUR, I. N. de D. (1996). Plan Urbano de Villa El Salvador. Lima

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2018). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Recuperado de <http://censo2017.inei.gob.pe/resultados-definitivos-de-los-censos-nacionales-2017/>

Ipsos Perú (2019). *Características de los niveles socioeconómicos en el Perú*. Recuperado de http://cpi.pe/images/upload/paginaweb/archivo/26/mr_poblacional_peru_201905.pdf

Mamani, P. (2015). *Comportamiento mecánico de muros de albañilería tubular confinada reforzados con malla electrosoldada ante cargas sísmicas y gravitacionales*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Municipalidad Distrital de Villa El Salvador (2015). Plan Operativo Institucional con Enfoque de Resultados y Perspectivas de Programación. Lima, Perú.

Muñoz, A. (2011). “Apuntes del curso de Ingeniería sismorresistente”. Capítulo 3: Peligro sísmico. Perú, Lima: Fondo Editorial PUCP.

- Norma Técnica E.030. "Diseño Sismorresistente". Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. SENCICO, 2016.
- Norma Técnica E.070, "Albañilería". Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. SENCICO, 2006.
- Pari,S. & Manchego,J. (2017). Análisis experimental de muros de albañilería confinada en viviendas de baja altura en Lima. Perú, Lima: Fondo Editorial PUCP.
- ProInversión (2018). Ley N°29230-Ley de Obras por Impuestos. Recuperado de <https://www.obrasporimpuestos.pe/0/0/modulos/JER/PlantillaStandard.aspx?ARE=0&PFL=0&JER=24>
- Resolución Ministerial N°294-2014-VIVIENDA (Reglamento Operativo del BFH). Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (28 de agosto de 2014). <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/13406-294-2014-vivienda>
- Resolución Ministerial N°426-2018-VIVIENDA (Reglamento Operativo del BFH). Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (20 de diciembre de 2018). <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/235273-426-2018-vivienda>
- Rodríguez A., Claudia M., Proyectos Especiales Sur & DARS_PUCP. (2009). Módulo Básico de Adobe Reforzado con Geomalla. Fondo Editorial PUCP, Lima.
- San Bartolomé, A. (1994). *Construcciones de albañilería- comportamiento sísmico y diseño estructural*. Perú, Lima: Fondo Editorial PUCP.
- San Bartolomé, A. y Castro, A. (2002). *Reparación de un muro de albañilería confinada mediante malla electrosoldada*. Perú, Lima: Fondo Editorial PUCP.
- San Bartolomé, A. y Loaysa, J. (2008) *Reparación y reforzamiento con varillas de fibra de vidrio en un muro de albañilería confinada*. Perú, Lima: Fondo Editorial PUCP.
- San Bartolomé, A. y Coronel, C. (2009). *Reparación y reforzamiento de un muro de albañilería confinada mediante fibra de carbono*. Perú, Lima: Fondo Editorial PUCP.

- San Bartolomé, A., Paredes, J. & Caycho, D. (2009). *Control de la trituración de los ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- San Bartolomé, A., Quium, D. & Silva, W. (2011). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería*. Perú, Lima: Fondo Editorial PUCP.
- SENCICO (2016) Diagnóstico de las condiciones de vulnerabilidad de las viviendas en zonas preseleccionadas del distrito de villa el salvador.
- Sofronie, R. (abril, 2004). Seismic strengthening of masonry in buildings and cultural heritage. 6° Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Oporto, Portugal.
- Swisscontact. (2016). Situación actual de las viviendas de construcción de tipo informal en Villa El Salvador.
- Tarque, N. y Mosqueira (2005). *Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana*. Magister en Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Tensor. The Company You Can Build On (24 de julio de 2019). Especificación de Producto-Geomalla TriaxTX160. Recuperado de <https://www.tensarcorp.com/>.
- Torrealva, D. y Dusi, A. (June 3-6, 2007). *Structural Polymer Grid Reinforcement for Brick Masonry Walls – The Ductile Approach*, 10th North American Masonry Conference, St. Louis, Missouri, USA.
- Torrealva, D. (2014). Guía para la evaluación y refuerzo de viviendas informales de mampostería de ladrillo para reducir su vulnerabilidad sísmica.
- Zavala, C. (setiembre, 2019). Diseño de vivienda sismorresistente. [Sesión de foro]. Retos para el Desarrollo de la Vivienda Sostenible, Lima, Perú. https://www.youtube.com/watch?v=nXGM65Q3IGE&ab_channel=Sencico

Anexos

A1. Plano de la vivienda actual del Sr. Mario Sandoval

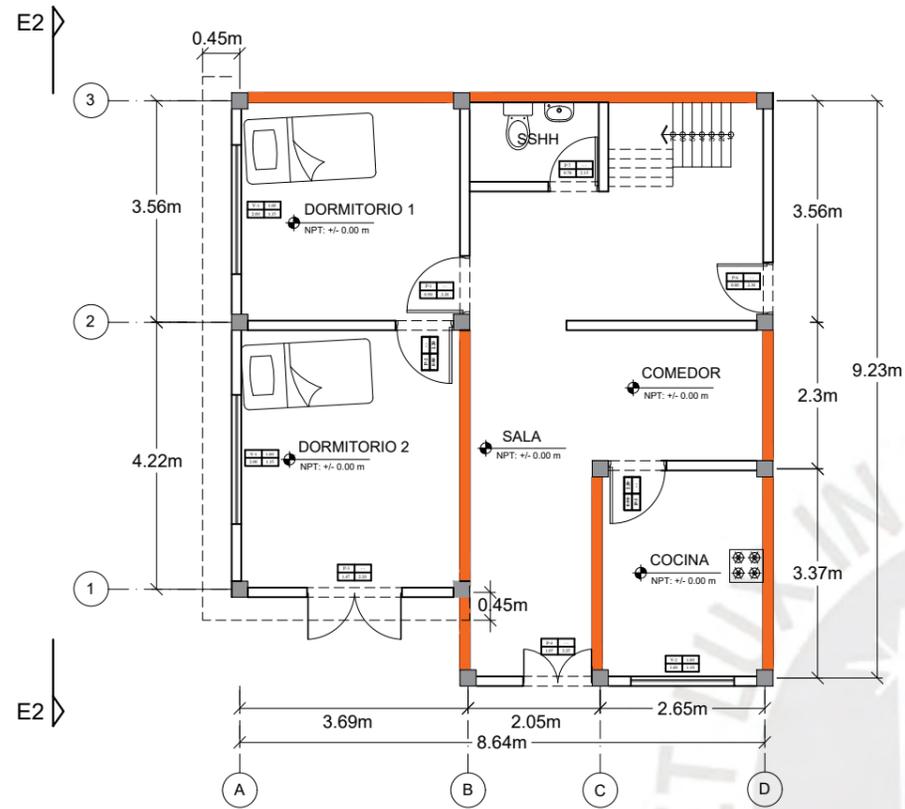
A2. Plano de la vivienda reforzada con geomalla del Sr. Mario Sandoval

A3. Plano de la vivienda actual de la Sra. Alicia Timoteo

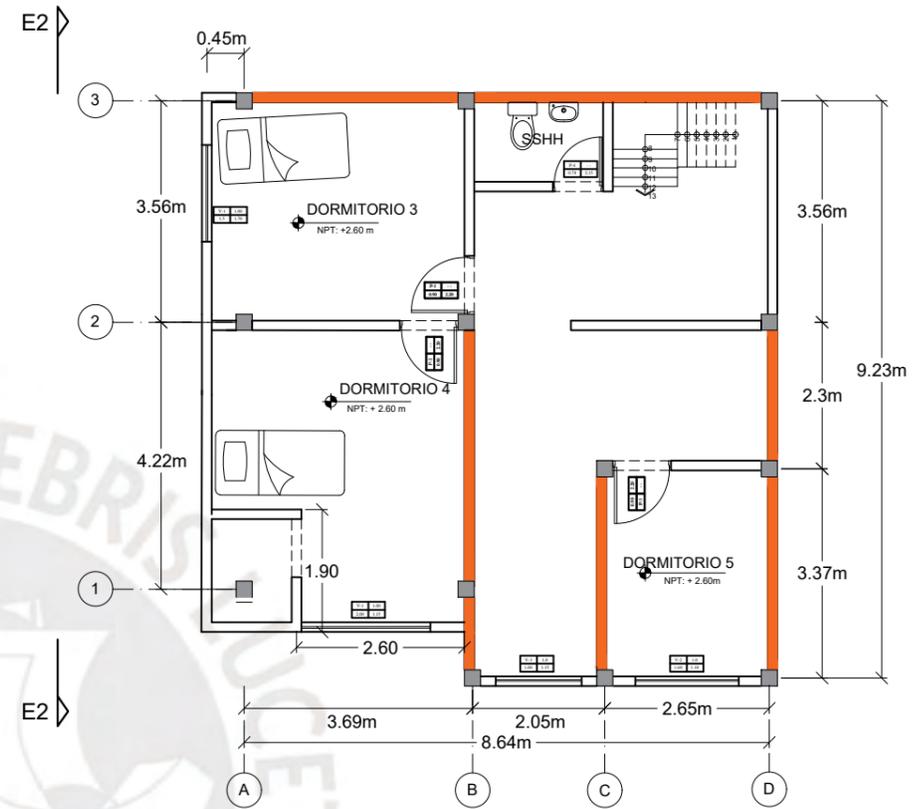
A4. Plano de la vivienda reforzada con geomalla de la Sra. Alicia Timoteo



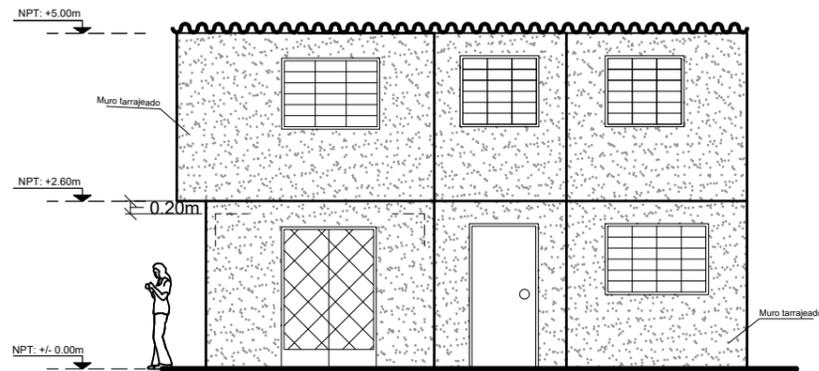
A1. Plano de la vivienda actual del Sr. Mario Sandoval



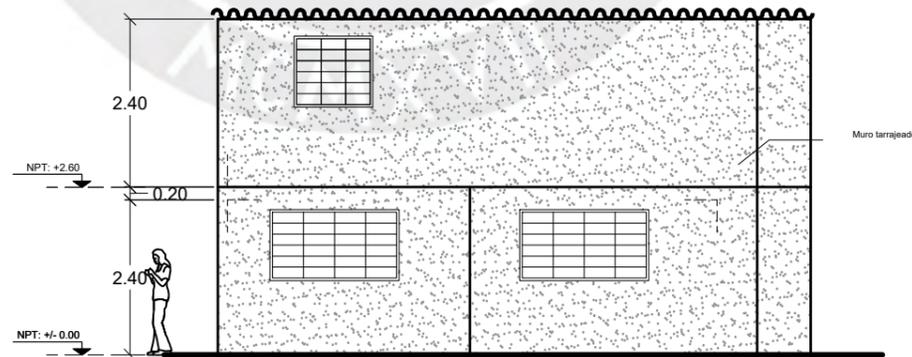
PRIMERA PLANTA
ESCALA 1/100



SEGUNDA PLANTA
ESCALA 1/100



ELEVACION E1
ESCALA 1/100

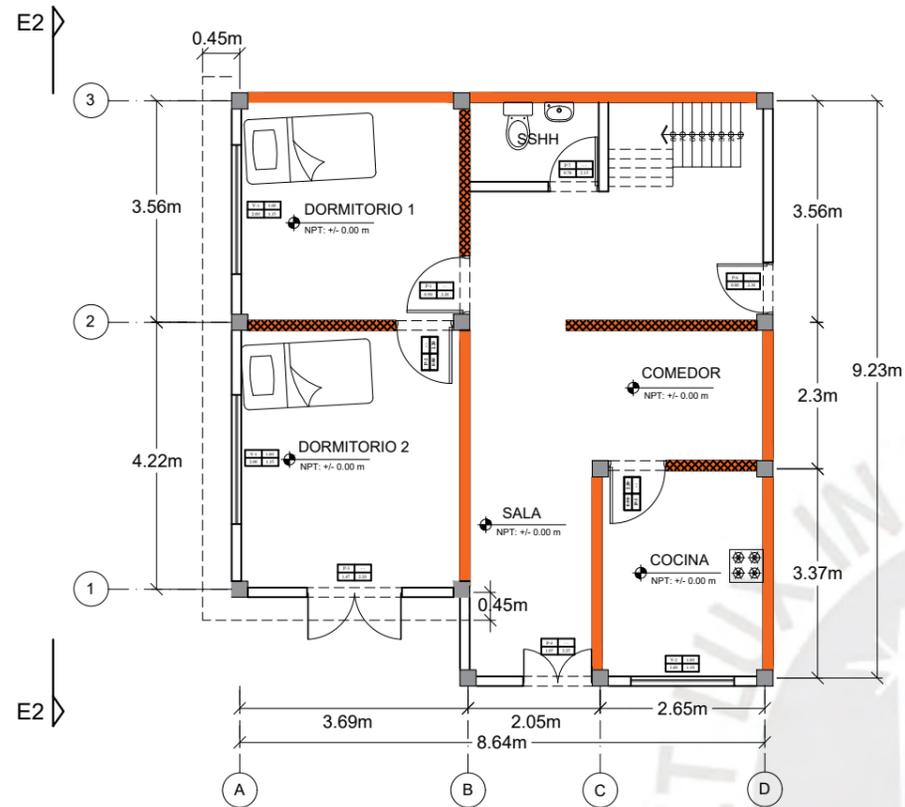


ELEVACION E2
ESCALA 1/100

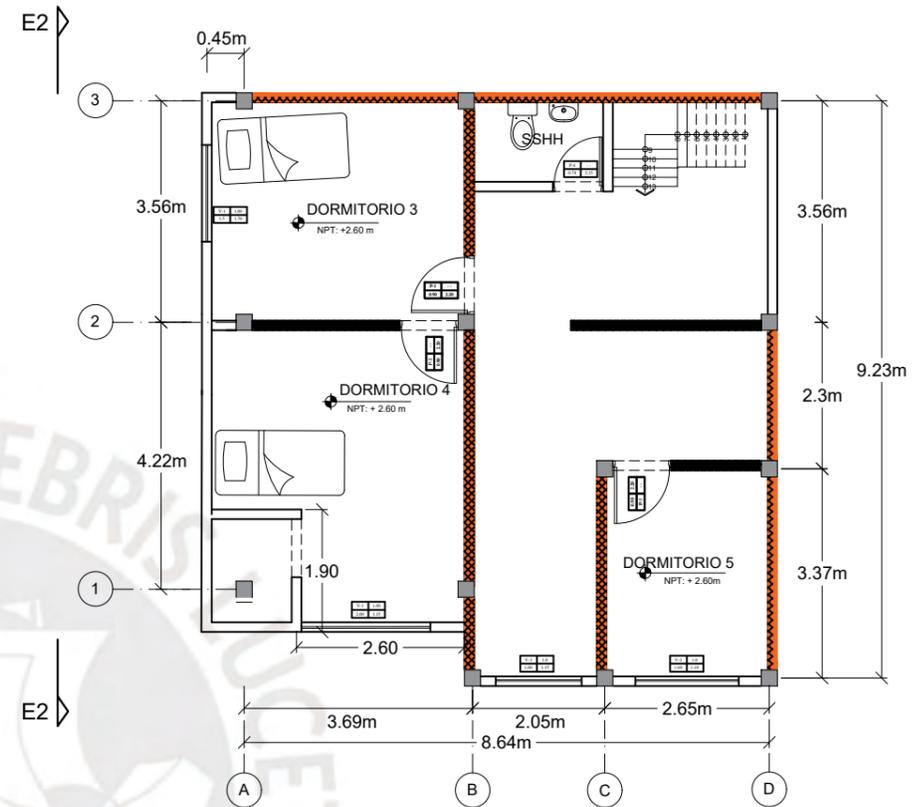
LEYENDA VIVIENDA ACTUAL	
	MUROS CONFINADOS t=13cm muros de ladrillo King Kong hueco - Nivel 1 t=11cm muros de ladrillo Pandereta - Nivel 2

PROYECTO:	TESIS		
	PROPUESTA DE REFORZAMIENTO CON GEOMALLA EN DOS VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA UBICADAS EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR, LIMA		
PLANO:	PLANTAS Y ELEVACIONES DE LA VIVIENDA REFORZADA	PROPIETARIO:	MARIO JOSE SANDOVAL CASTRO
SECTOR:	07	UBICACIÓN:	MZ H LT 01
GRUPO:	04	DISTRITO:	Villa El Salvador
PROVINCIA:	Lima	LEVANTAMIENTO Y DIBUJO:	Diana Ichpas y Luzvenia Pillaca
		FECHA:	JULIO 2021

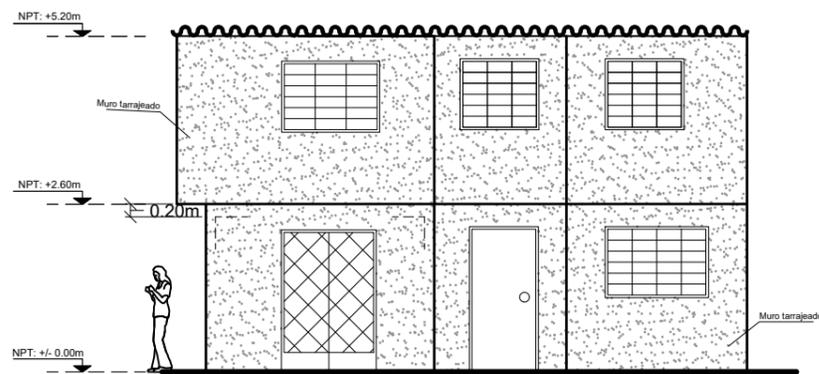
A2. Plano de la vivienda reforzada con geomalla del Sr. Mario Sandoval



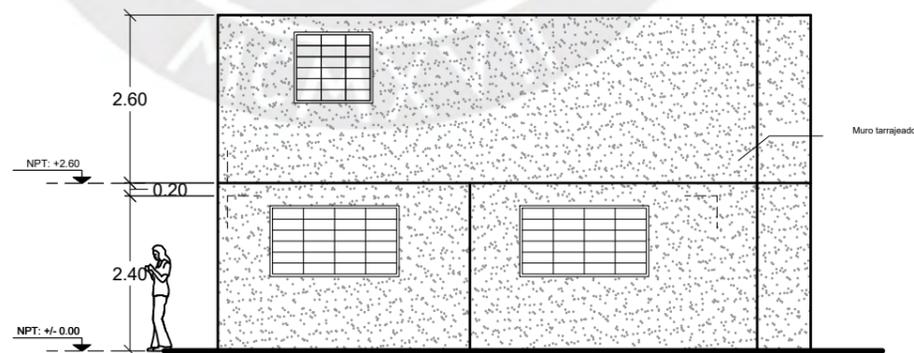
PRIMERA PLANTA
ESCALA 1/100



SEGUNDA PLANTA
ESCALA 1/100



ELEVACION E1
ESCALA 1/100

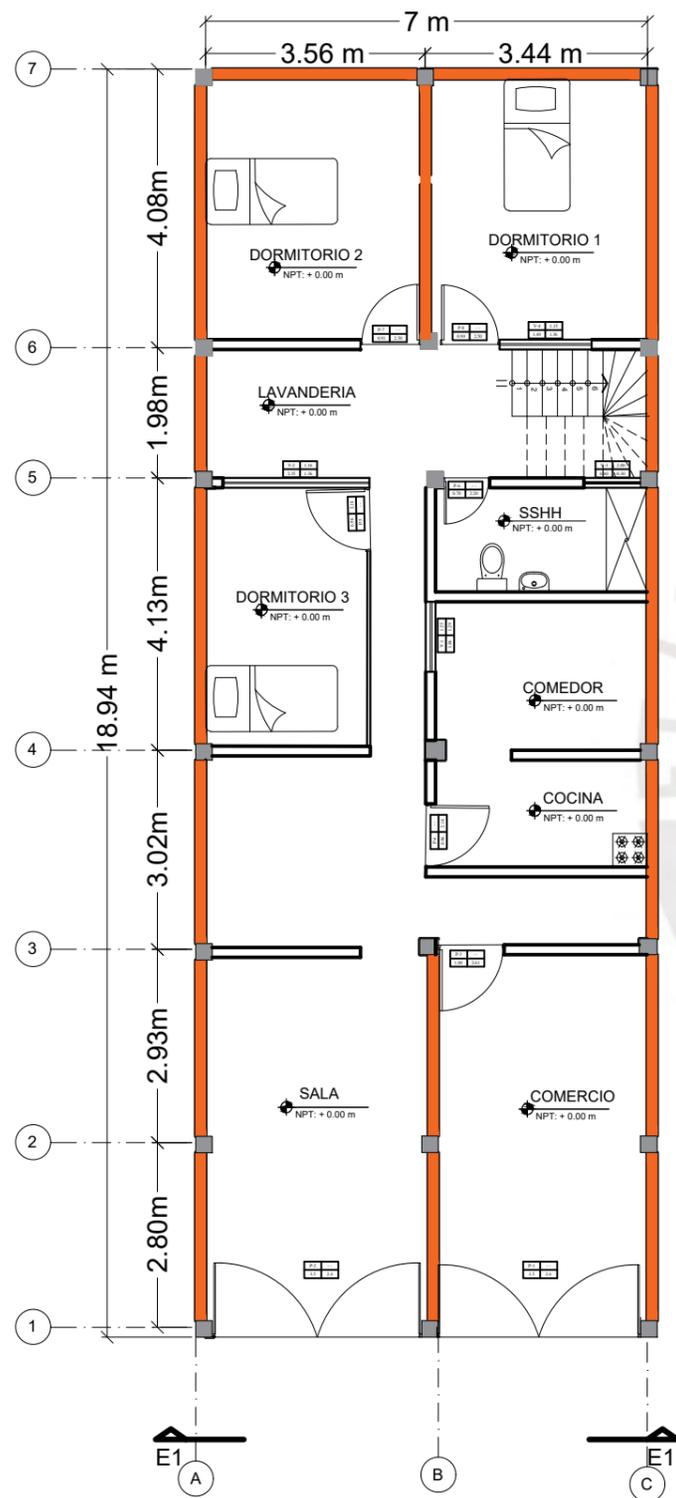


ELEVACION E2
ESCALA 1/100

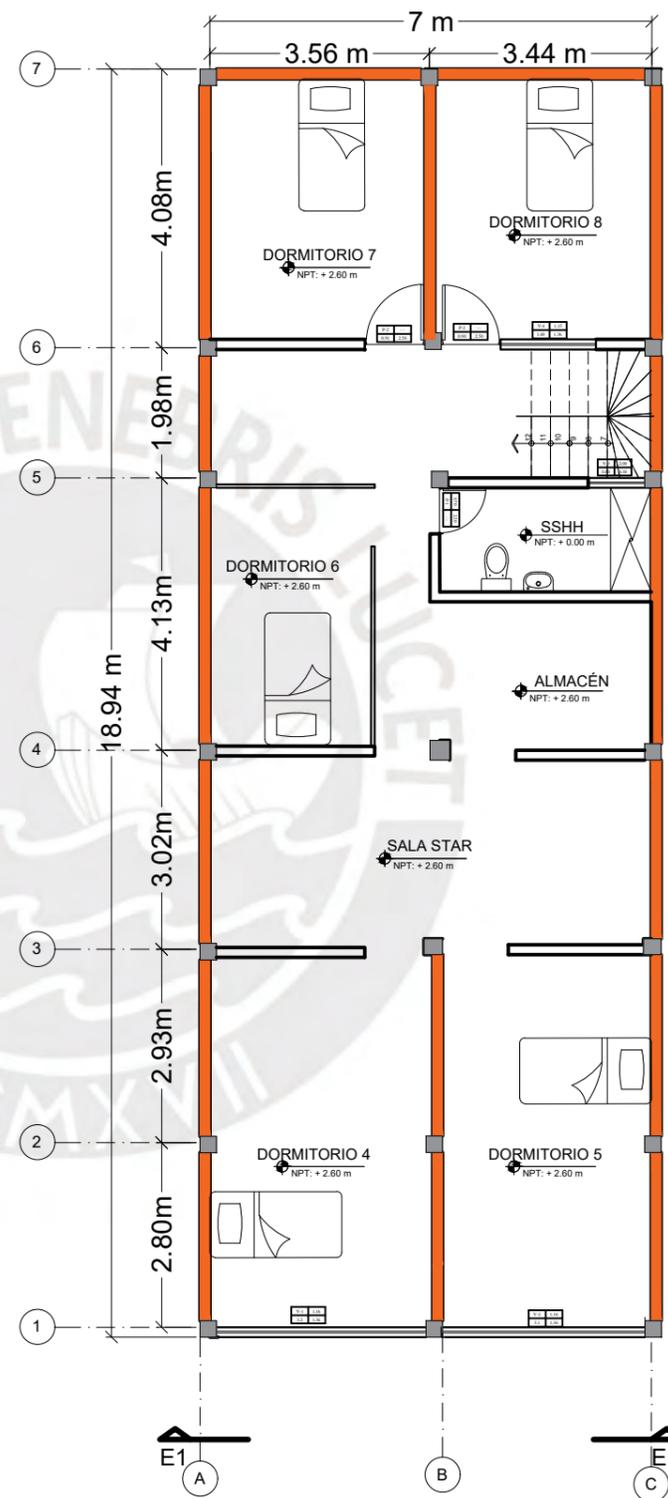
LEYENDA VIVIENDA REFORZADA	
	MUROS CONFINADOS t=13cm muros de ladrillo King Kong hueco - Nivel 1 t=11cm muros de ladrillo Pandereta - Nivel 2
	MUROS REFORZADOS POR AMBAS CARAS t=17cm muros de ladrillo King Kong hueco - Nivel 1 t=15cm muros de ladrillo Pandereta - Nivel 2
	MUROS REFORZADOS POR UNA CARA t=15cm muros de ladrillo King Kong hueco - Nivel 1 t=13cm muros de ladrillo Pandereta - Nivel 2
	MUROS NUEVOS REFORZADO POR AMBAS CARAS t=17cm muros de ladrillo King Kong macizo - Nivel 2

PROYECTO:	TESIS		
	PROPUESTA DE REFORZAMIENTO CON GEOMALLA EN DOS VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA UBICADAS EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR, LIMA		
PLANO:	PLANTAS Y ELEVACIONES DE LA VIVIENDA REFORZADA	PROPIETARIO:	MARIO JOSE SANDOVAL CASTRO
SECTOR:	07	UBICACIÓN:	MZ H LT 01
GRUPO:	04	DISTRITO:	Villa El Salvador
PROVINCIA:	Lima	LEVANTAMIENTO Y DIBUJO:	Diana Ichpas y Luzvenia Pillaca
		FECHA:	JULIO 2021

A3. Plano de la vivienda actual de la Sra. Alicia Timoteo



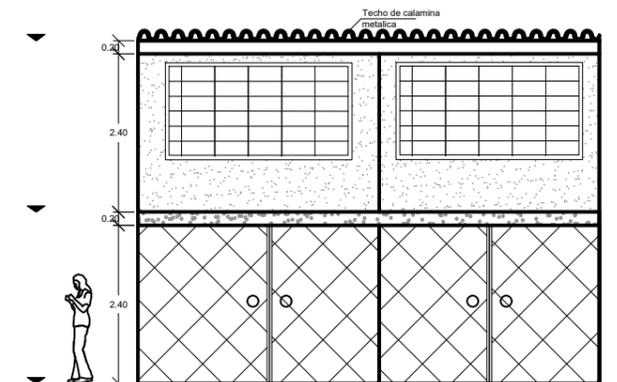
PRIMERA PLANTA
ESCALA 1/100



SEGUNDA PLANTA
ESCALA 1/100

LEYENDA

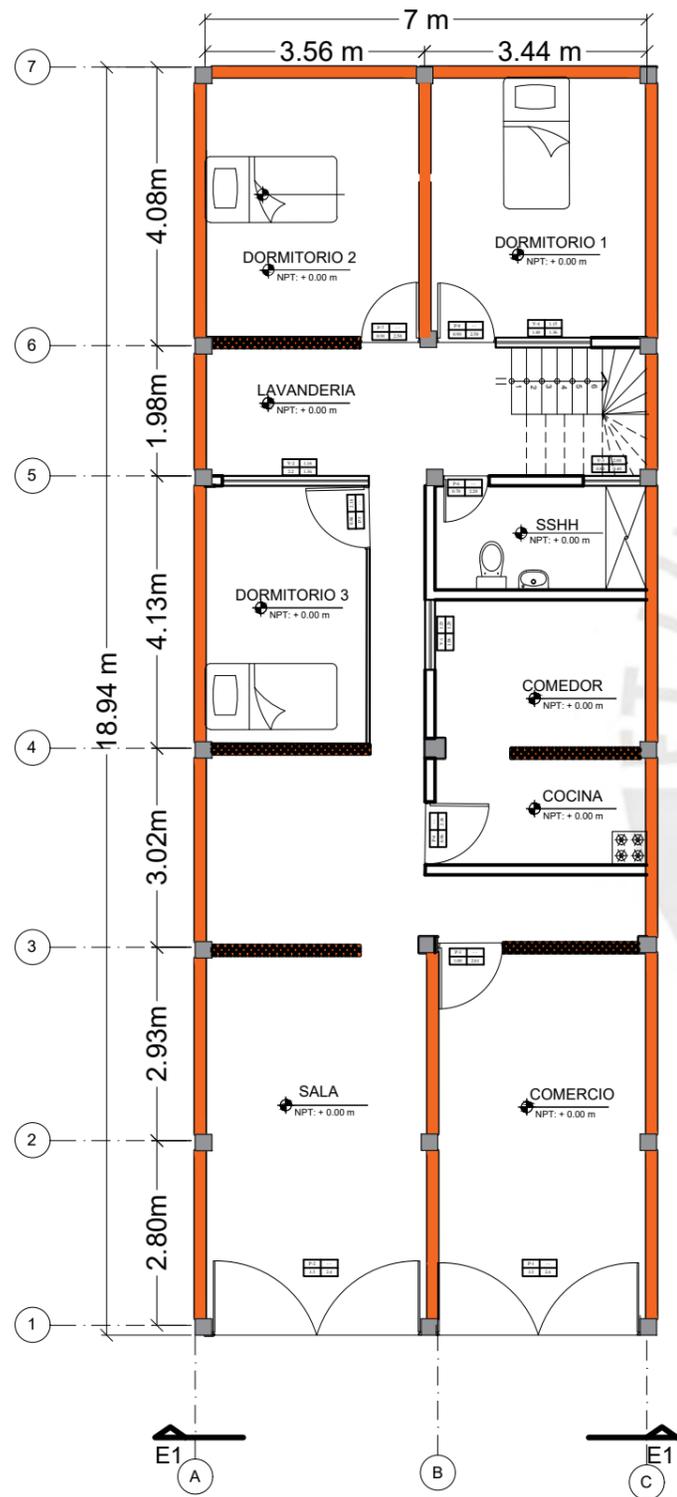
- MUROS CONFINADOS
- t=13cm muros de ladrillo King Kong hueco - Nivel 1
- t=11cm muros de ladrillo Pandereta - Nivel 2



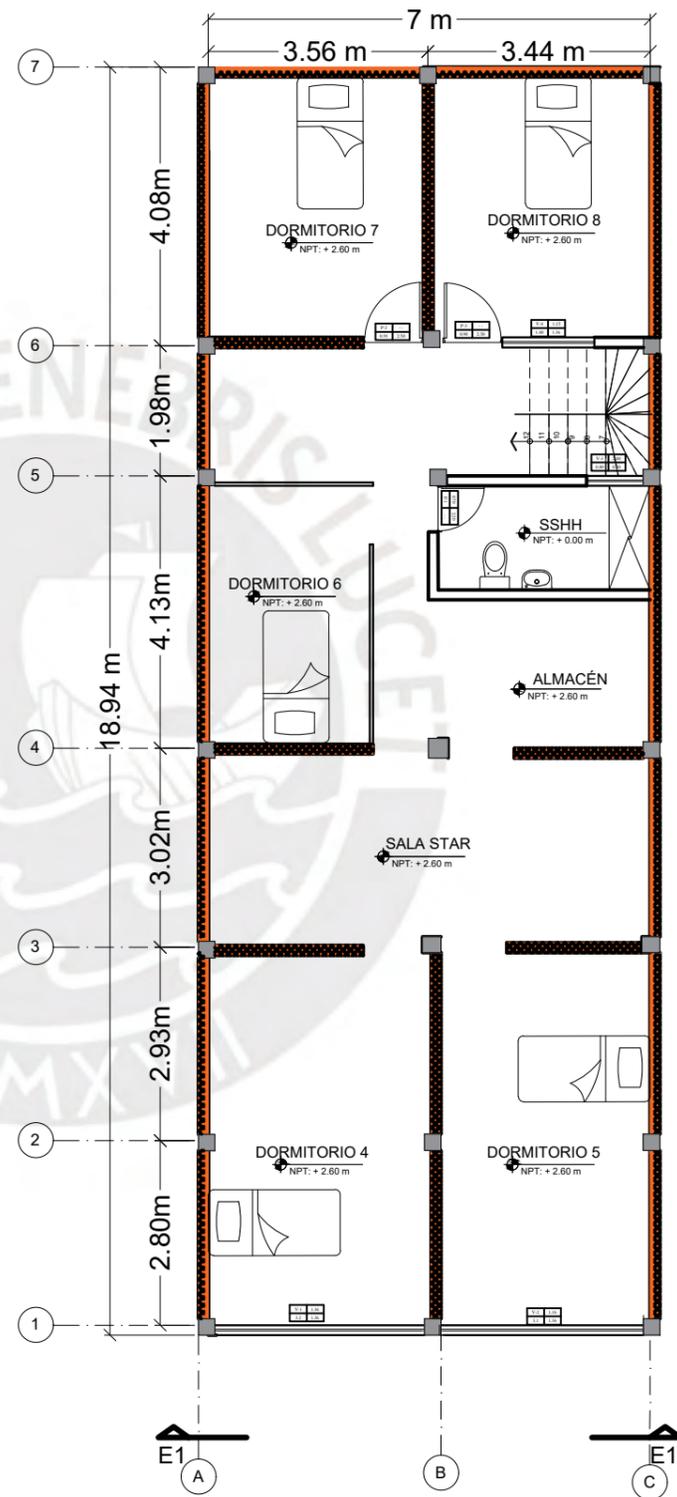
ELEVACION E1
ESCALA 1/100

PROYECTO: TESIS		PROPIETARIO: ALICIA JUANA TIMOTEO	
PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN DOS VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA UBICADAS EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR, LIMA			
PLANO: PLANTAS Y ELEVACIÓN DE LA VIVIENDA ACTUAL	SECTOR: 09	UBICACIÓN: MZ K LT 23	FECHA: Julio 2021
GRUPO: 02	PROVINCIA: Lima	DISTRITO: Villa El Salvador	LEVANTAMIENTO Y DIBUJO: Diana Ichpas y Luzvenia Pillaca

A4. Plano de la vivienda reforzada con geomalla de la Sra. Alicia Timoteo



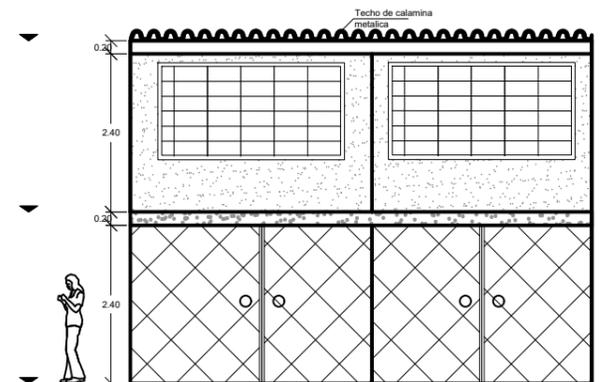
PRIMERA PLANTA
ESCALA 1/100



SEGUNDA PLANTA
ESCALA 1/100

LEYENDA

	MUROS CONFINADOS t=13cm muros de ladrillo King Kong hueco - Nivel 1 t=11cm muros de ladrillo Pandereta - Nivel 2
	MUROS REFORZADOS POR AMBAS CARAS t=17cm muros de ladrillo King Kong hueco - Nivel 1 t=15cm muros de ladrillo Pandereta - Nivel 2
	MUROS REFORZADOS POR UNA CARA t=15cm muros de ladrillo King Kong hueco - Nivel 1 t=13cm muros de ladrillo Pandereta - Nivel 2



ELEVACION E1
ESCALA 1/100

PROYECTO:	TESIS		
PROPUESTA DE REFORZAMIENTO CON GEOMALLA EN DOS VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA UBICADAS EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR, LIMA			
PLANO:	PLANTAS Y ELEVACION DE LA VIVIENDA ACTUAL	PROPIETARIO:	ALICIA JUANA TIMOTEO
SECTOR:	09	UBICACION:	MZ K LT 23
GRUPO:	02	DISTRITO:	Villa El Salvador
PROVINCIA:	Lima	LEVANTAMIENTO Y DIBUJO:	Diana Ichpas y Luzvenia Pillaca
		FECHA:	Julio 2021