

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS DE
DOS PISOS DE ADOBE EXISTENTE EN LIMA**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

Guillermo Khaliel Velarde Abugattas

ASESORES: Ing. Daniel Torrealva
Ing. Erika Vicente

Lima, Agosto de 2014

Resumen

El objetivo de esta investigación es el estudio de la estabilidad estructural de las viviendas existentes típicas de adobe de dos pisos en Canta, zona rural con peligro sísmico alto, con la finalidad de diagnosticar su estado actual y plantear lineamientos para su estabilización sísmica.

Se plantea la hipótesis de que las viviendas de adobe de dos o más pisos presentan características constructivas que son distintas de la construcción tradicional de viviendas de un piso. Estas viviendas han podido soportar los sismos leves y medianos que han ocurrido en las últimas décadas, sin embargo se estima que estas viviendas son vulnerables en caso de sismos severos, por ello es necesario estudiar el mecanismo de falla para formular sistemas de refuerzo o estabilización que permitan mejorar el comportamiento de estas viviendas ante sismos de mayor intensidad.

El desarrollo de la investigación consta de un trabajo de evaluación en campo para determinar la tipología arquitectónica y características estructurales de las viviendas existentes así como un levantamiento de daños comunes. Luego del trabajo de campo se realizará una evaluación numérica para definir los elementos vulnerables y plantear alternativas de refuerzo que les permitan resistir sismos severos.



FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PUCP

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas de dos pisos de adobe existente en Lima"
 Área : Estructuras -Investigación-
 Asesores : Ing. Daniel Torrealva
 Ing. Erika Vicente
 Alumno : GUILLERMO KHALIEL VELARDE ABUGATTAS
 Código : 2011.3234.N.412
 Tema N° : 340
 Fecha : Lima, 28 de abril de 2014



DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se plantea la hipótesis de que las viviendas de adobe de dos o más pisos presentan características constructivas que son distintas de la construcción tradicional de viviendas de un piso. Estas viviendas han podido soportar los sismos leves y medianos que han ocurrido en las últimas décadas; sin embargo, se estima que estas viviendas son vulnerables en caso de sismos severos, por ello es necesario estudiar el mecanismo de falla para formular sistemas de refuerzo o estabilización que permitan mejorar el comportamiento de estas viviendas ante sismos de mayor intensidad.

OBJETIVOS

El objetivo de esta investigación es el estudio de la estabilidad estructural de las viviendas existentes típicas de adobe de dos pisos en Canta, zona rural con peligro sísmico alto, con la finalidad de diagnosticar su estado actual y plantear lineamientos para su estabilización sísmica.

PLAN DE TRABAJO

El desarrollo de la investigación consta de un trabajo de evaluación en campo para determinar la tipología arquitectónica y características estructurales de aproximadamente 30 viviendas existentes en las localidades de Canta, Yaso, Apan, Obrajillo, Collo y Licahuasi en la provincia de Canta, departamento de Lima. También se ejecutará un levantamiento de los daños comunes que puedan presentar estas viviendas. Luego del trabajo de campo se realizará una evaluación numérica de una edificación representativa para definir los elementos vulnerables y plantear alternativas de refuerzo que les permitan resistir sismos severos.

NOTA
Extensión máxima: 100 páginas.

Dedicatoria

A DIOS

Por haberme regalado la vida y permitirme ser parte de una gran familia sólida y unida.

A MI PADRE

Quien sabiamente supo guiarme en todas mis decisiones, y me enseña a afrontar el arduo camino de la vida.

A MI MADRE

Quien me enseña con su ejemplo el significado del amor verdadero, está presente en mis logros, alegrías y tristezas.

A MI HERMANA

Con quien he compartido mis ideas y sueños desde que soy un niño y hasta el día de hoy es mi mejor amiga.

ÍNDICE

Contenido

1	INTRODUCCION	1
1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Objetivo.....	5
1.3	Hipótesis.....	6
2	ANTECEDENTES	7
2.1	Características Demográficas.....	9
2.2	Antecedentes sísmicos	9
3	METODOLOGÍA	11
3.1	Desarrollo de la investigación	11
3.1.1	Recopilación de información	11
3.1.2	Selección de las zonas a analizar	12
3.1.3	Formulación de la tipología representativa	12
3.1.4	Descripción de las lesiones y alteraciones comunes	12
3.1.5	Análisis y diagnóstico.....	12
3.1.6	Lineamientos de solución e intervención.....	13
3.2	Vulnerabilidad	13
4	DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS ESTUDIADAS	15
4.1.1	Topografía del lugar	18
4.1.2	Suelo.....	19
5	EVALUACIÓN CUALITATIVA TÍPICA DE LAS VIVIENDAS EXISTENTES EN CANTA	20
5.1	Materiales utilizados para las construcciones.....	20
5.1.1	Bloques de Adobe.....	20
5.1.2	Mortero.....	23
5.1.3	La Cimentación	24
5.1.4	El Sobrecimiento	24
5.1.5	Muros de Adobe	25
5.1.6	Vanos de puertas y ventanas.....	27
5.1.7	Entrepisos	29
5.1.8	Techo	30
5.2	Características de la vivienda típica	31

5.3	Distribución arquitectónica de la vivienda típica	33
5.4	Vulnerabilidad de las viviendas	36
	Cimiento en desnivel.....	38
	5.4.1.....	38
	5.4.2 Entrepiso	38
	5.4.3 La mano de obra del lugar	38
6	EVALUACION CUALITATIVA TÍPICA DE LAS VIVIENDAS EXISTENTES ...	39
6.1	Fallas producidas por terremotos	40
	6.1.1 Debido a fuerzas perpendiculares al plano del muro.....	40
	6.1.2 Debido a fuerzas cortantes en el plano del muro.....	44
6.2	Procesos constructivos deficientes.....	47
7	ANÁLISIS ESTRUCTURAL	49
7.1	Análisis de Vulnerabilidad	49
7.2	Metrado de cargas	51
7.3	Carga vertical	52
7.4	Cargas perpendiculares a su plano.....	53
7.5	Cargas de corte	59
7.6	Modelo dinámico	61
8	DIAGNOSTICO	71
9	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	74
10	CONCLUSIONES.....	77
11	BIBLIOGRAFÍA.....	78
12	ILUSTRACIONES Y TABLAS	80

1 INTRODUCCION

1.1 Planteamiento del problema

Con el paso de los años la población peruana ha ido creciendo y con esto la demanda de nuevas viviendas. Estas se han ido construyendo de diversos materiales y en las zonas rurales ha predominado el adobe como principal material, inclusive en zonas de alto peligro sísmico, como veremos a continuación.

El crecimiento anual de la población peruana es alrededor del 1,6% (Censo INEI, 2007), lo que origina el incremento en la demanda de viviendas que se van formando cada año.

En el Perú, el material más usado para la construcción de viviendas es la tierra cruda. Al año 2010, el Instituto Nacional de Estadística e Informática registró que más del 34% de las viviendas existentes en el Perú eran de adobe y tapial, siendo habitadas por más de 10 millones de peruanos.

Tradicionalmente es aceptado que las viviendas de adobe sin refuerzo son vulnerables a los sismos debido a su gran masa, deficientes conexiones y falta de continuidad de muros; sin embargo esta es una solución por la que la mayoría de los pobladores de zonas rurales han optado con el pasar de los años. Aunque los pobladores están optando por construir con material noble todavía se siguen utilizando estas viviendas de Adobe. Esta situación se agrava en caso de viviendas de adobe de dos pisos.

Teniendo en cuenta que las viviendas de adobe de dos pisos son una realidad en nuestro país, se decide analizar éstas viviendas en las zonas de mayor peligro sísmico del país, zona sísmica 3 como se ve en la Fig. 1. Se busca una vivienda representativa de la zona la cual se analiza para determinar su vulnerabilidad y riesgo de colapso ante una eventualidad sísmica. Se eligió Canta como provincia representativa, esta provincia se caracteriza con tener la mayor parte de sus construcciones de adobe y también porque se ubica a 45km de la costa peruana siendo una provincia de alto peligro sísmico.



Fig.1 Zonas sísmicas según Norma E.030

La necesidad de vivienda para los habitantes de la costa y sierra peruana, guarda una relación directa con el incremento demográfico. Por tanto, a mayor población corresponde un alza en su demanda. Esta demanda se satisface cada vez más con viviendas de material noble, sin embargo la construcción de viviendas de adobe sigue siendo alta.

En las regiones rurales y en la sierra en general, la construcción con adobe es predominante por dos motivos fundamentales; sus propiedades térmicas logran mantener la vivienda cálida en zonas frías de clima alto andino y también el bajo costo del material, pues la tierra está al alcance del poblador.

En las regiones rurales del departamento de Lima podemos apreciar la predominancia del adobe de 45% (Fig.2). Además, en estas zonas no se siguen los criterios estructurales propuestos por la Norma Técnica de Adobe E.080, esto se debe a que en zonas rurales la autoconstrucción es muy común y los pobladores construyen de acuerdo a sus conocimientos vernaculares. En la Fig.3 se muestra del mismo modo la predominancia del adobe en la provincia de Canta de 61%.

Porcentaje de viviendas por material predominante en las provincias de Lima

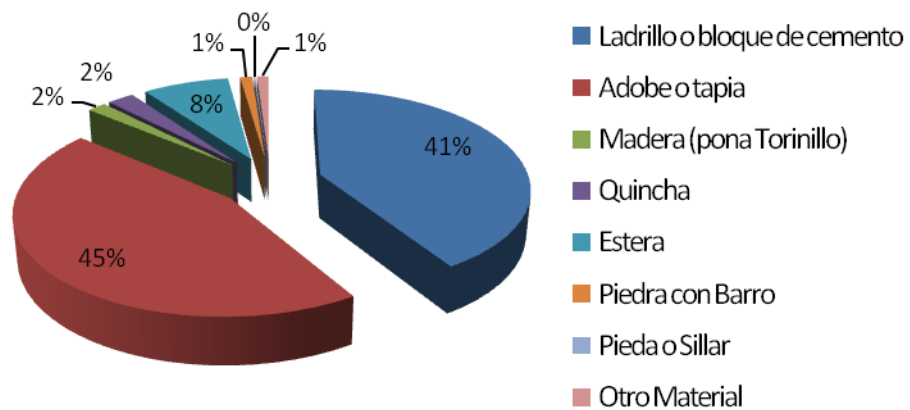


Fig.2 Lima provincias: viviendas particulares con ocupantes presentes, por material predominante en las paredes exteriores de la vivienda, Censo INEI 2007

Cantidad de viviendas en la provincia de Canta por material predominante

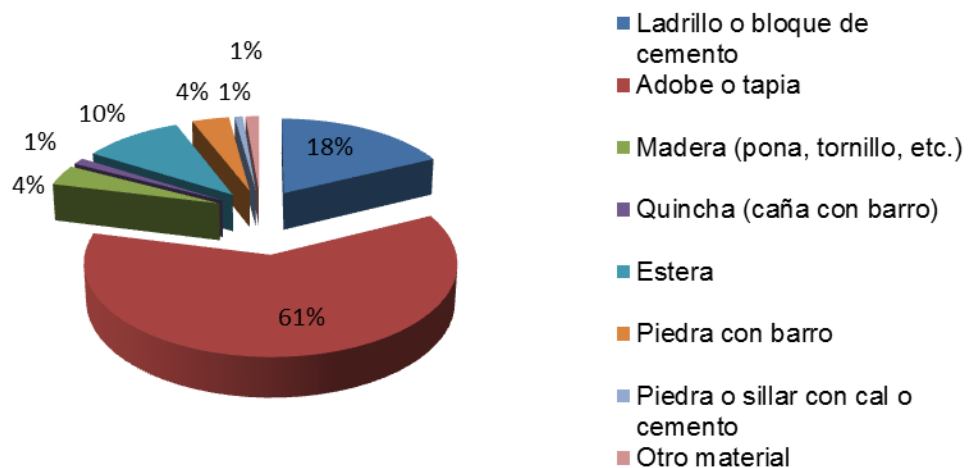


Fig.3 Canta: viviendas particulares con ocupantes presentes, por material predominante en las paredes exteriores de la vivienda, Censo INEI 2007

La Norma técnica de construcción con adobe E.080 no contempla viviendas de dos pisos de adobe, ni tampoco construcciones existentes. Siendo estas viviendas una realidad en el país, debemos de hacerles frente y plantearles una solución.

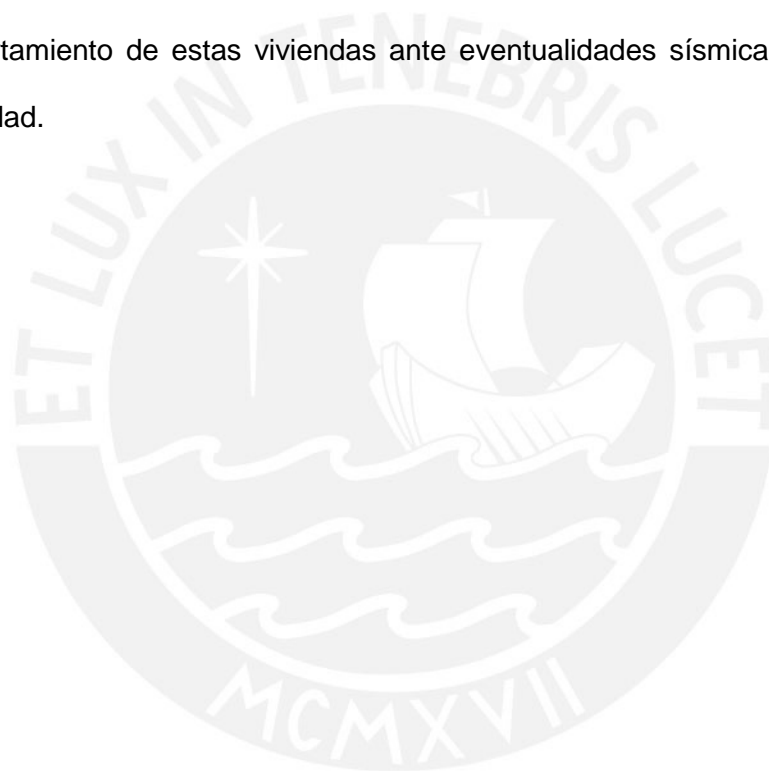
La autoconstrucción en nuestro país es muy común y los pobladores construyen de acuerdo a sus conocimientos empíricos. Por tanto, es necesario el desarrollo de un procedimiento que permita evaluar y diagnosticar la vulnerabilidad de las viviendas, para luego proponer un sistema de estabilización que cumpla con el propósito de evitar el colapso ante sismos.

1.2 Objetivo

El objetivo de esta investigación es el estudio de la estabilidad estructural de las viviendas existentes típicas de adobe de dos pisos en Canta, zona rural con peligro sísmico alto, con la finalidad de diagnosticar su estado actual y plantear lineamientos para su estabilización sísmica.

1.3 Hipótesis

Las viviendas de adobe de dos o más pisos presentan características constructivas que son distintas de la construcción tradicional de viviendas de un piso. Estas viviendas han podido soportar los sismos leves y medianos que han ocurrido en las últimas décadas. Sin embargo, se estima que estas viviendas son vulnerables en caso de sismos fuertes. Por ello es necesario formular sistemas de refuerzo o estabilización que permitan mejorar el comportamiento de estas viviendas ante eventualidades sísmicas de mayor intensidad.



2 ANTECEDENTES

La construcción con adobe es muy antigua en el Perú, se remonta a épocas prehispánicas, de modo que es claro que los conocimientos constructivos acumulados fueron muy significativos. Pero como toda cultura, en el país estos conocimientos empíricos acumulados por miles de años se han ido perdiendo paulatinamente.

El adobe es el material más empleado en la actualidad, se cuenta entonces con información técnica producida por varios centros de investigación en el Perú. Sin embargo, esta información no es suficiente para resolver todas las variables en lo que respecta a viviendas de adobe. Parte de la información recabada nos servirá para analizar las viviendas de dos pisos en el desarrollo de esta investigación.

En las zonas rurales del Perú, la autoconstrucción es la respuesta más extendida de la gente de escasos recursos económicos para adquirir una vivienda.

El adobe es un sistema constructivo de bajo costo en zonas rurales, ya que la materia prima principal, la tierra, es obtenida localmente en canteras cercanas. Del mismo modo, la mano de obra para su construcción se conforma por los mismos pobladores y dueños de la vivienda, asesorados por un maestro de obra local. Esto mantiene el bajo costo en el sistema constructivo. El bajo costo es pues una razón determinante para su profusa utilización por la gente de escasos recursos en el país. Otra particularidad del adobe es su propiedad térmica, que se caracteriza por su lentitud para calentarse y enfriarse. Esto es, las viviendas de adobe resultan cálidas

durante las noches debido a que es ese periodo los muros van restituyendo por radiación el calor acumulado durante el día; inversamente permanecen frescas durante el día, periodo en el cual los muros almacenan calor (Velarde R, 2004). El problema surge cuando en la construcción de las viviendas de adobe, no se toman en cuenta criterios estructurales necesarios para asegurar su estabilidad ante los movimientos sísmicos.

En el Perú en particular en la PUCP y en la UNI, se ha venido estudiando la construcción con adobe desde hace ya más de 40 años. Esto ha permitido dar soluciones a las viviendas ya construidas, como también a las que se siguen construyendo. Estos estudios no se han difundido a toda la población rural del país, pero aun así las investigaciones continúan. Una investigación reciente es la de un módulo de adobe de dos pisos confinado con columnas y vigas de concreto armado (DELGADO, 2006). Sin embargo, las viviendas existentes de dos pisos de adobe no han sido mayormente estudiadas, pese a ser una realidad en el país.

La vulnerabilidad sísmica es el nivel de daño que pueden sufrir las edificaciones realizadas por el hombre durante un sismo. Esta refleja la falta de resistencia y estabilidad de una edificación frente a los sismos (Bommer J, 1998) y depende de las características del diseño de la edificación, de los materiales, su calidad y de la técnica de construcción.

El peligro sísmico es la probabilidad de ocurrencia de movimientos sísmicos de cierta intensidad en una zona determinada durante un tiempo definido. El peligro también puede incluir otros efectos que el mismo sismo genera, como derrumbes en laderas y licuefacción de suelos (Bommer J, 1998).

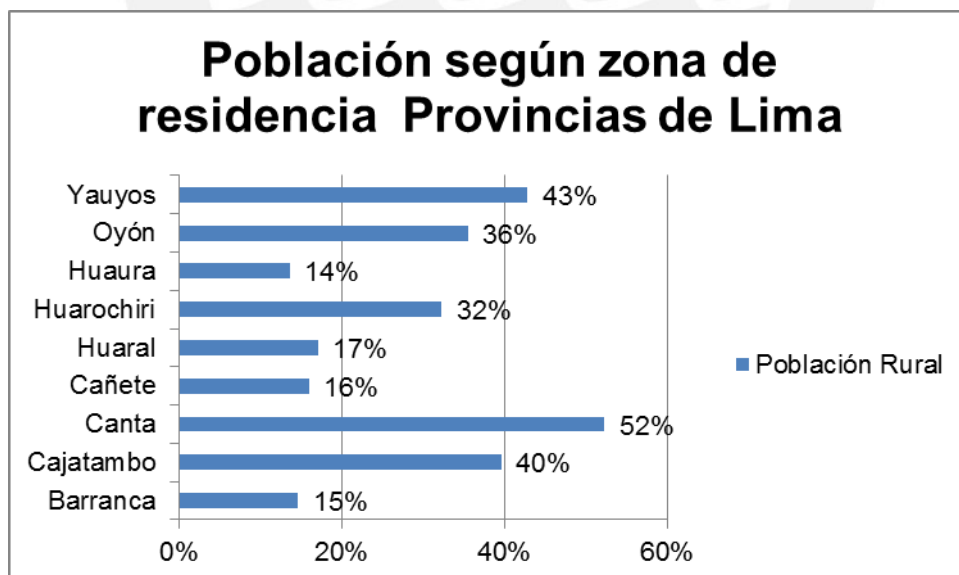
El riesgo sísmico es el grado de pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción

sísmica (Barbat A., 1998). También, el riesgo sísmico es definido como una función de la vulnerabilidad sísmica y del peligro sísmico, que de forma general se puede expresar como: $Riesgo = f(\text{vulnerabilidad})$ (Kuroiwa J. , 2002) (Fourier d'Albe, E. , 1988). Esta evaluación de riesgo se debe realizar en forma individual para cada estructura.

2.1 Características Demográficas

La provincia de Canta presenta el mayor porcentaje de población rural en la región de Lima provincias. Las poblaciones rurales son las que siguen construyendo con adobe, las construcciones en Canta son una buena muestra de lo que sucede en las provincias con 52% de población rural. Fuente: INEI Censo de Población y Vivienda 2007 (ver tabla 1).

Tabla 1. Población según zona de residencia en provincias de Lima



2.2 Antecedentes sísmicos

La provincia de Canta ha sufrido ya varios sismos de mediana intensidad que han afectado sus viviendas. Estos tuvieron su epicentro en el mar, originados

en ciudades cercanas como son los sismos de gran magnitud de los años 1940 (Callao 8,2 M), 1966 (Lima 7,5 M), 1970(Chimbote 7,7 M), 1974(Lima 7,4 M) y 2007(Pisco 7,5 M). Las viviendas de Canta, construidas desde antes de estos sismos, en su mayoría no han tenido daños irremediables, debido a la lejanía del epicentro marítimo y a su buena construcción.



3 METODOLOGÍA

Se ha determinado una tipología representativa de la construcción de viviendas en los pueblos aledaños a Canta, dado que las construcciones con adobe en los lugares estudiados guardan cierta similitud en cuanto a su morfología y también al procedimiento constructivo. En base a ello se analizó la vulnerabilidad de viviendas actuales de adobe de dos pisos y la inclusión de elementos estructurales que permitan resistir los sismos severos.

3.1 Desarrollo de la investigación

3.1.1 Recopilación de información

El trabajo de campo consistió de 3 visitas a Canta, la primera consistió en el reconocimiento y análisis de las viviendas de Canta y los pueblos aledaños principales con el fin de hallar una tipología representativa. En la segunda visita, se continuó el trabajo de reconocimiento y el registro de las mediciones de las viviendas y se observaron los pueblos aledaños, realizando entrevistas con los pobladores. También se contactó con un maestro de obra que construye actualmente con adobe en estos poblados y conoce a exactitud cuál es el proceso constructivo que ellos utilizan. En la tercera y última visita se observó que en los poblados más alejados la tipología coincidía con lo propuesto, asimismo se observó la existencia de un edificio de adobe de 4 pisos (foto anexa).

De acuerdo a información estadística (INEI, 2007) sobre tipos de construcciones de adobe, se detecta la existencia de viviendas de 2 o más

pisos en la sierra de Lima y sus provincias. Por otro lado, se buscó información sobre el análisis de estas viviendas, que no ha sido muy estudiado.

3.1.2 Selección de las zonas a analizar

Se decide analizar una provincia representativa, que pertenezca a la zona sísmica 3 según la Norma Sismo resistente Peruana y tenga un gran número de construcciones de 2 pisos de adobe.

3.1.3 Formulación de la tipología representativa

Una vez tomados los datos de estos pueblos se procedió a definir la tipología de construcción considerando características similares que adoptan las construcciones de adobe en la zona.

3.1.4 Descripción de las lesiones y alteraciones comunes

De acuerdo a la bibliografía relacionada a la caracterización de daños en construcciones de adobe del Ing. Torrealva (D. Torrealva, Junio 2003), se identificaron los daños en las viviendas de la provincia de Canta y centros poblados aledaños. También se buscó identificar daños particulares debido a procesos constructivos típicos de la zona estudiada.

3.1.5 Análisis y diagnóstico

Luego de haber definido una tipología entre las viviendas del lugar y haber identificado sus características principales, se procedió a analizar la tipología bajo esfuerzos estáticos y dinámicos para determinar su resistencia.

Este análisis fue comparado con el estado actual de la vivienda y se concluyó en un diagnóstico general de las viviendas.

3.1.6 Lineamientos de solución e intervención

Se dan alcances para la estabilización estructural, con el objetivo de cubrir todos los requerimientos de sollicitación sísmica de las viviendas, estos alcances deben ser simples de emplear, económicos y efectivos.

3.2 Vulnerabilidad

En la actualidad, los procedimientos y herramientas para el análisis de la vulnerabilidad y peligro sísmico se encuentran muy avanzados. Las teorías para el análisis de la vulnerabilidad van desde técnicas directas de campo, basada en observaciones, hasta técnicas probabilísticas con análisis computacionales.

En la evaluación de la vulnerabilidad (alta, media o baja) se ha considerado, la calidad de mano de obra y materiales, el estado actual de la vivienda tomando en cuenta sus grietas y fisuras actuales y la estabilidad de los muros al volteo.

La calidad de mano de obra y de materiales fue evaluada directamente por la persona que realizó el levantamiento de información en campo.

Usaremos la clasificación de desempeño SEAOC para determinar el estado actual de las viviendas como veremos en el siguiente cuadro (tabla 2).

Tabla 2 clasificación de desempeño SEAOC

Nivel de Desempeño	Descripción
Completamente Operacional (CO)	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan prestando servicio.
Funcional (F)	Agrietamiento en elementos estructurales, daño leve y moderado en elementos arquitectónicos. Los sistemas de evacuación y seguridad funcionan con normalidad.
Resguardo de la Vida (RV)	Daño moderado en algunos elementos. Pérdida de resistencia y rigidez del sistema resistente de cargas laterales. El sistema permanece funcional. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.
Cerca del Colapso (CC)	Daños severos en elementos estructurales. Fallo de elementos secundarios, no estructurales y contenidos. Puede llegar a ser necesario demoler el edificio.
Colapso (C)	Pérdida parcial o total de soporte. Colapso parcial o total no es posible la reparación.

4 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS ESTUDIADAS

Una generalidad en todas las zonas rurales es que las viviendas son construidas por maestros de obra de la zona y los mismos pobladores y no cuentan con asesoramiento técnico.

4.1 Características generales de la zona estudiada

La provincia de Canta (Fig.4) se encuentra ubicada al noreste de la ciudad de Lima a 55 km del mar, a un poco más de dos horas de viaje, por la carretera. Abarca una extensión de 1.687.29 km²,



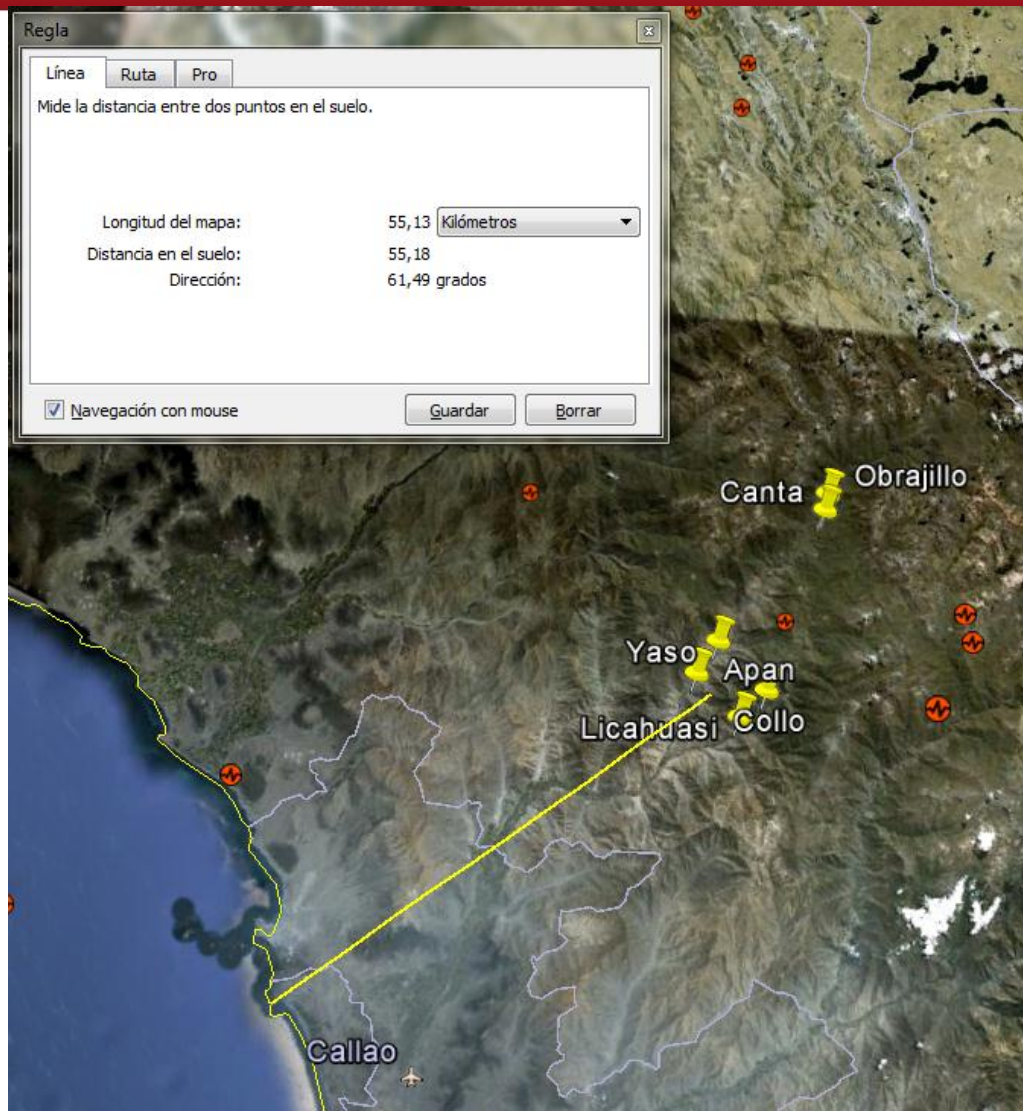


Fig.4 Ubicación de la Provincia de Canta (Google Earth 2013)



Fig.5 Provincia de Canta y Distritos (Municipalidad de Canta)

Se estudió los siguientes pueblos de la provincia de Canta: en el distrito de Canta (Canta y Obrajillo), en Santa Rosa de Quives (Yaso y Apan), en Arahuay (Licahuasi y Collo), anexas se muestran las figuras de cada Distrito.

Tabla 3. Superficie y altitud según sus Distritos

Provincia y Distritos analizados	Capital	Superficie (Km2)	Altitud (msnm)
Canta (Prov.)		1687.29	
Canta	Canta	123.09	2,819
Arahuay	Arahuay	134.29	2,505
Santa Rosa De Quives	Yangas	364.40	940

4.1.1 Topografía del lugar

La topografía del lugar es accidentada con pendientes pronunciadas (Ver fig. 6) y los poblados se encuentran en los valles de esta cadena montañosa.

Que la topografía sea accidentada no es del todo favorable para la población, ya que la mayoría de habitantes de estos pueblos ha construido su casa en terrenos a desnivel que en movimientos sísmicos pueden generar asentamientos diferenciales, derrumbes o un mal comportamiento de la vivienda.

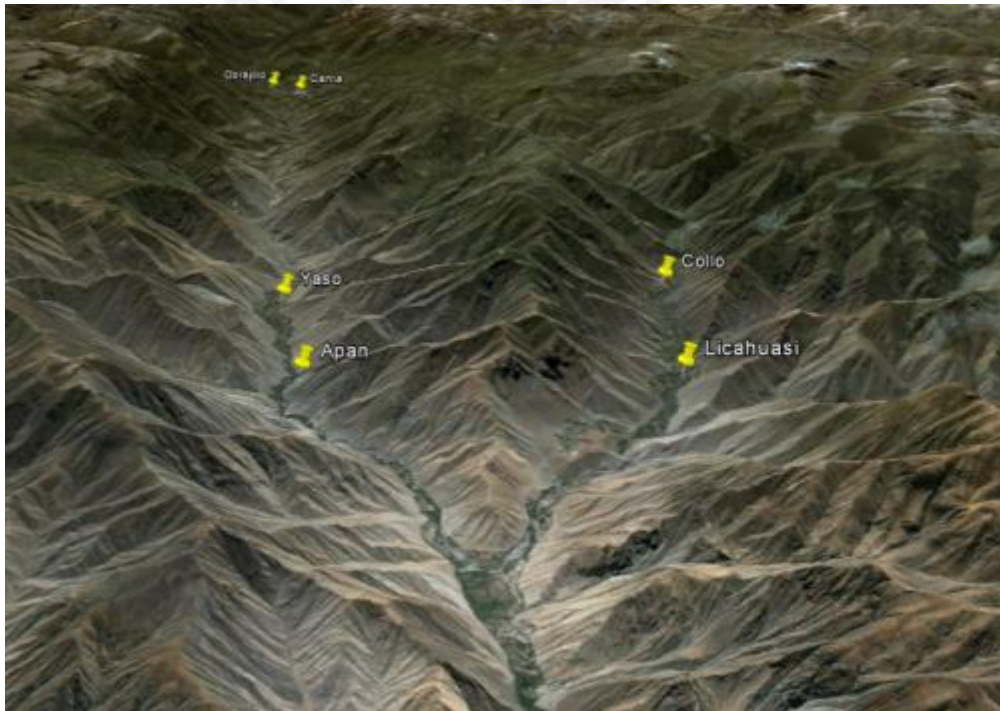


Fig.6 Relieve de la zona estudiada.

4.1.2 Suelo

El material sobre el cual han construido sus viviendas en su mayoría es rocoso y el suelo que predomina es areno limoso según lo observado.



Fig.7 Suelo de la provincia de Canta.

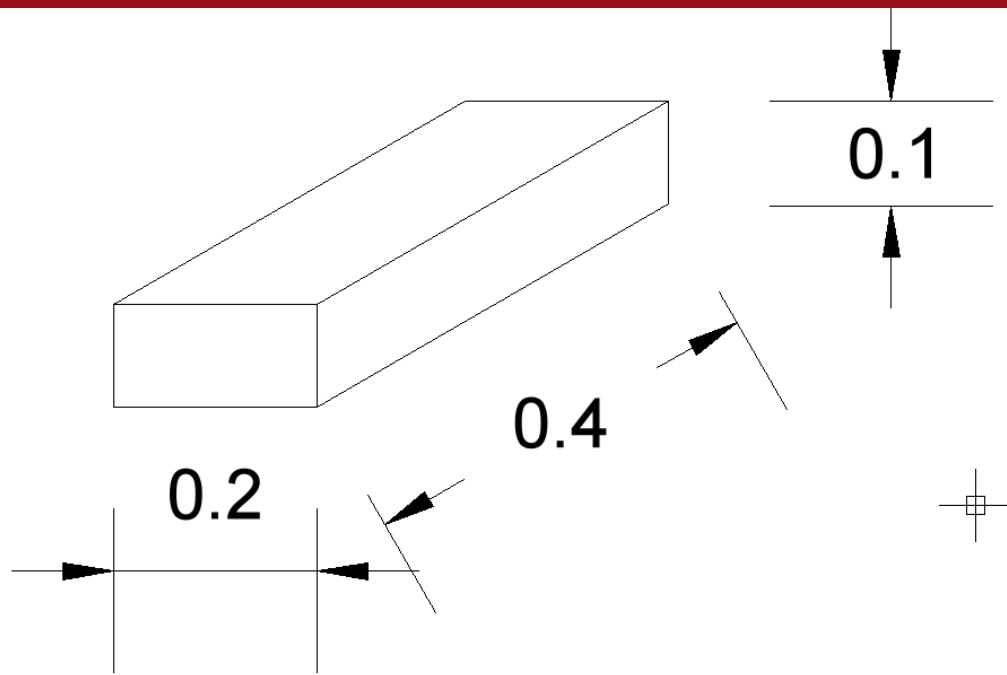
5 EVALUACIÓN CUALITATIVA TÍPICA DE LAS VIVIENDAS EXISTENTES EN CANTA

5.1 Materiales utilizados para las construcciones

5.1.1 Bloques de Adobe

La definición de adobe establecida por la Norma Técnica de Edificación E.080 ADOBE, dice que es un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos.

Las dimensiones de los adobes en la zona estudiada fueron siempre las mismas. Las dimensiones están en el orden de 0.40 m de largo x 0.20 m de ancho x 0.10 m de alto. Estos adobes se elaboran manteniendo una proporción de $1:\frac{1}{2}:\frac{1}{4}$ entre el largo, el ancho y la altura de la pieza.



Los adobes se elaboran colocando el barro humedecido en moldes de madera con las dimensiones deseadas. De modo diferente a la fabricación de adobes en otros lugares del país, éste no se “deja dormir humedecido” simplemente se hace la mezcla en el momento de la fabricación. Se retiran los moldes y los adobes se dejan secar al aire libre desde 15 días hasta un mes. Cabe resaltar que el secado de los adobes no era necesariamente a la sombra como generalmente se recomienda, en realidad el secado era indistintamente al sol o a la sombra.

El adobe en la provincia de Canta se fabrica en su mayoría sin paja y con pequeñas piedras que llegan a tener el tamaño de 1” como se puede apreciar en la Fig.8.



Fig.8 Adobes con piedra de 1"

El material se extrae de lugares cercanos a donde va a ser la construcción, su elección es de acuerdo a la experiencia y el criterio del maestro de obra, no se pudo identificar entre los pobladores conocimiento de pruebas en obra o laboratorio para definir si el material estaba en óptimas condiciones. Lo que si se tenía como conocimiento general en los pobladores que la mejor tierra se obtenía de los lugares por donde pasaban los “Huaycos” ya que según ellos, traían todo tipo de material y era una tierra más rica en arenas y arcillas.

En la ciudad de Canta se pudo contactar a un poblador, Orlando Sosa, quien se dedicaba a fabricar adobes con paja y luego venderlos a pedido, se pudo apreciar que estos adobes tenían una mayor cantidad de arcilla por su color rojizo, como se puede ver en la Fig.9.



Fig.9 Adobes con paja en la ciudad de Canta.

5.1.2 Mortero

El mortero de asiento se hace con el mismo tipo de tierra con la que se construyó los adobes. En algunos casos al mortero también se le adiciona paja para mejorar su resistencia a la tensión. En general el espesor de las juntas de mortero es del orden de 2 cm. Se pudo apreciar que el material del mortero era el mismo del adobe por su composición. (Fig.10)



Fig.10 Mortero de pega de 2cm de espesor, se utiliza el mismo material que para los adobes

5.1.3 La Cimentación

La cimentación se construye de mampostería de piedra con mortero de barro, conformando la base de los muros principales de la edificación. La profundidad de la cimentación según el maestro de obra del pueblo y los pobladores alcanza el suelo “duro”. En estas inspecciones de estos pueblos el concepto de profundidad de cimentación depende del tipo de suelo, si éste es rocoso o no. La profundidad mínima que ellos usan es de 0.70m a 1m y esto depende de la dureza del suelo al excavarlo.

En la cimentación se utilizan piedras redondeadas y angulosas. El material de relleno de este cimiento es generalmente material arenoso y en algunos casos mezcla de cal, yeso o cemento.

5.1.4 El Sobrecimiento

Por encima de la cota del terreno hasta donde comienza el muro de adobe se proyecta el Sobrecimiento con un material rígido y resistente. Este es la continuación de la cimentación y tiene como propósito proteger el muro de adobe de la humedad, de la acción del agua superficial, del goteo y de otras acciones agresivas que ocurren a nivel de piso, además de conformar la base definitiva de asiento de los muros. Los sobrecimientos ascienden sobre el terreno generalmente hasta 0.60 m pero pueden proyectarse hasta alturas mayores como se vio en casos de hasta 1.00m. Generalmente estos sobrecimientos de piedra se cubren con un pañeteo o enlucido más grueso que el resto del muro y se pintan para generar una mayor protección. Este pañeteo es una mezcla con mortero de cemento o yeso.



Fig.11 Sobrecimiento tarrajado con mortero de cemento (lateral) y no tarrajado (posterior) de una vivienda en el pueblo de Apan.

5.1.5 Muros de Adobe

Las figuras a continuación muestran la forma de asentado más representativa para los muros portantes (aquellos que soportan la carga vertical de entepiso y los muros superiores).

Cada hilada está compuesta por adobes asentados en soga y cabeza, formando un aparejo Francés, logrando un ancho de muro de 62 cm, como se aprecia en la Fig. 12, 13 ,14.

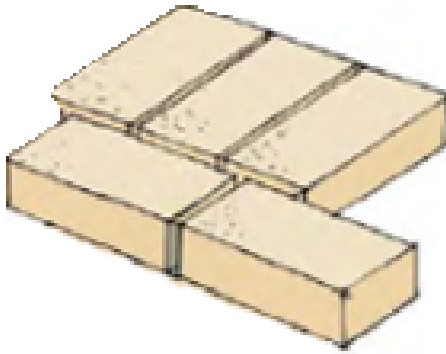


Fig.12 Asentado típico de muros en esquina

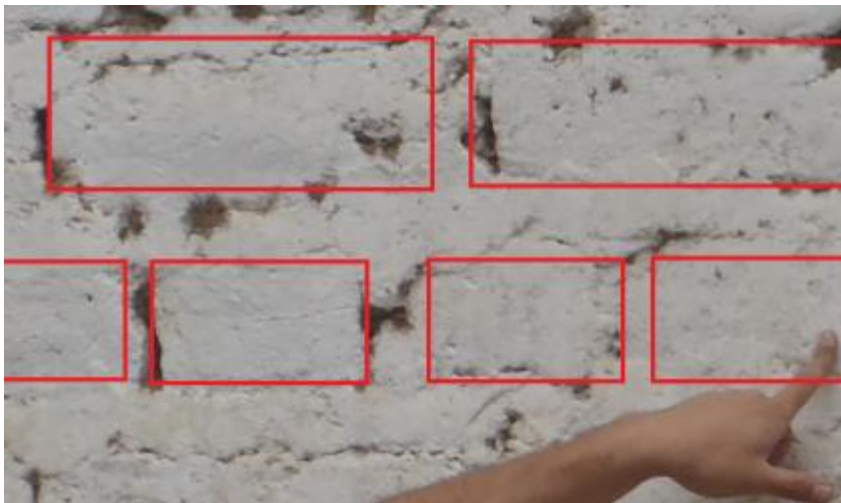


Fig.13 Asentado Típico de muros, vivienda en Apan.



Fig.14 Asentado típico en esquina, Vivienda en Yaso.

En los segundos niveles de las viviendas se pudo apreciar que en algunas construcciones el ancho de muro se reduce de 60 cm a 40cm, este criterio se realiza según los pobladores entrevistados para aligerar el peso de la estructura. Más adelante se discute con mayor detalle el criterio de construcción.

5.1.6 Vanos de puertas y ventanas

Los vanos de las puertas y ventanas presentan dinteles constituidos por dos o más vigas de madera, cuya sección aproximada es de 0.30 m x 0.80 m ver fig. 15 y 16 las cuales se empotran en el muro al menos 0.40 m a cada lado del vano.



Fig.15 Vano de puertas con dintel, vivienda en Apan.

En la provincia de Canta, los vanos de las viviendas de dos pisos han guardado similitud en la dimensión de puertas y ventanas que a su vez han guardado continuidad en altura, se encuentran centrados y conservan la rigidez de la vivienda.

Ventanas en general anchos y altos máximos de 1.00m – 1.50m

Puertas en general 1.00m de ancho y alto de 1.90m -2.40m



Fig.16 Elevación frontal de vivienda típica, Apan.

En la zona urbana de Canta se pudo observar que muchas de las casas de adobe están deshabitadas o de alguna forma alteradas con construcciones de ladrillo y concreto, por lo que no se pudo determinar una tipología. A raíz de esto se decidió analizar los pueblos cercanos donde se descubrió que la construcción con adobe era predominante y halló una tipología que se repetía en la mayoría de viviendas.

5.1.7 Entrepisos

Las vigas de entrepiso de madera van apoyadas en dos muros de adobe en la dirección más corta y son llamadas por los pobladores “terrados”, éstas

vigas cumplen la función de transmitir las cargas verticales del entrepiso hacia los muros. Las dimensiones usuales en la zona son de 2"x 6" y su espaciamiento es de 0.80m aproximadamente. Estas vigas también cumplen la función de conectar a estos muros, aunque no se hicieron con esa función ayudan a un mejor comportamiento sísmico. La conexión de estas vigas con los muros es simplemente apoyada en el muro, por lo que no es tan eficiente como si estuviera clavada a una solera o al muro(Fig. 17).

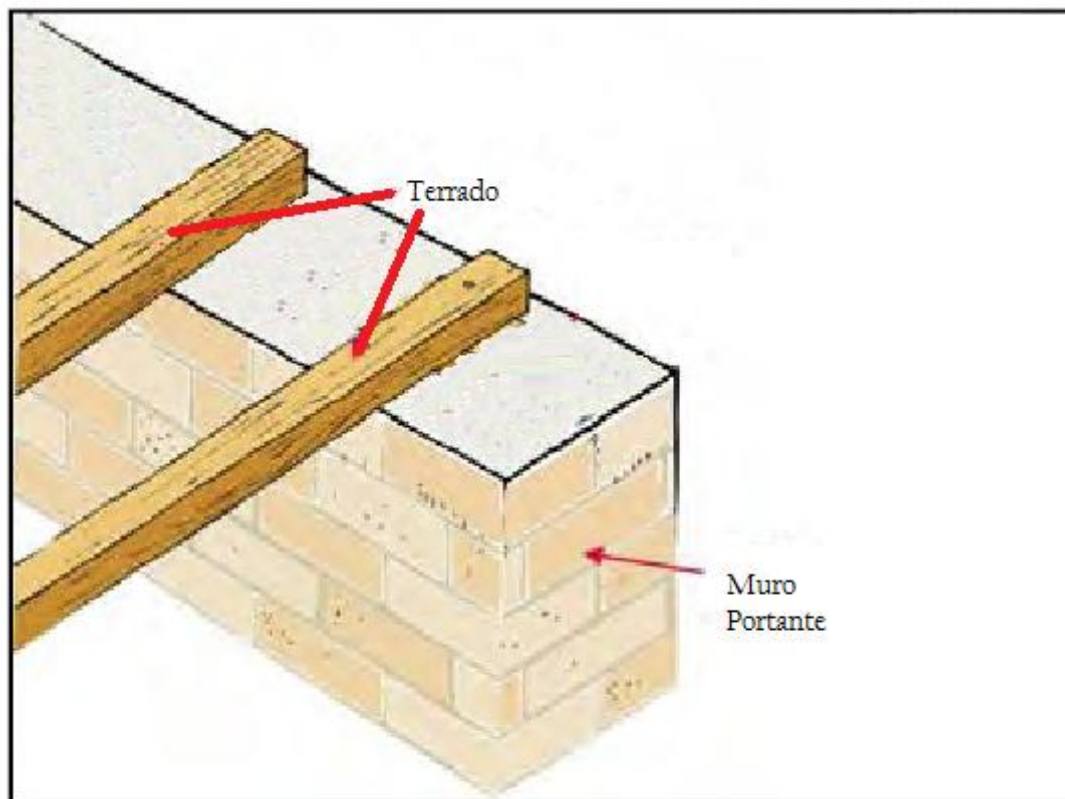


Fig.17 Terrados y cubiertas de las casas

5.1.8 Techo

Las viviendas en adobe presentan gran variedad de tipos de estructura de cubierta. En general se presentan vigas principales de dimensiones 2"x 4" espaciadas a 1.00m y viguetas secundarias de madera (Fig. 18) colocadas

en el sentido transversal, estos cubiertos con Calamina. Estas pequeñas viguetas de madera son llamadas “Chacyas” y sus dimensiones son de 3”x 3”. También existen casos de una de las estructuras que presenta par y nudillo, no obstante son casos puntuales, como la Iglesia de Yaso.

Los terrados y las chacyas se apoyan en los muros perimétricos de manera muy simple.

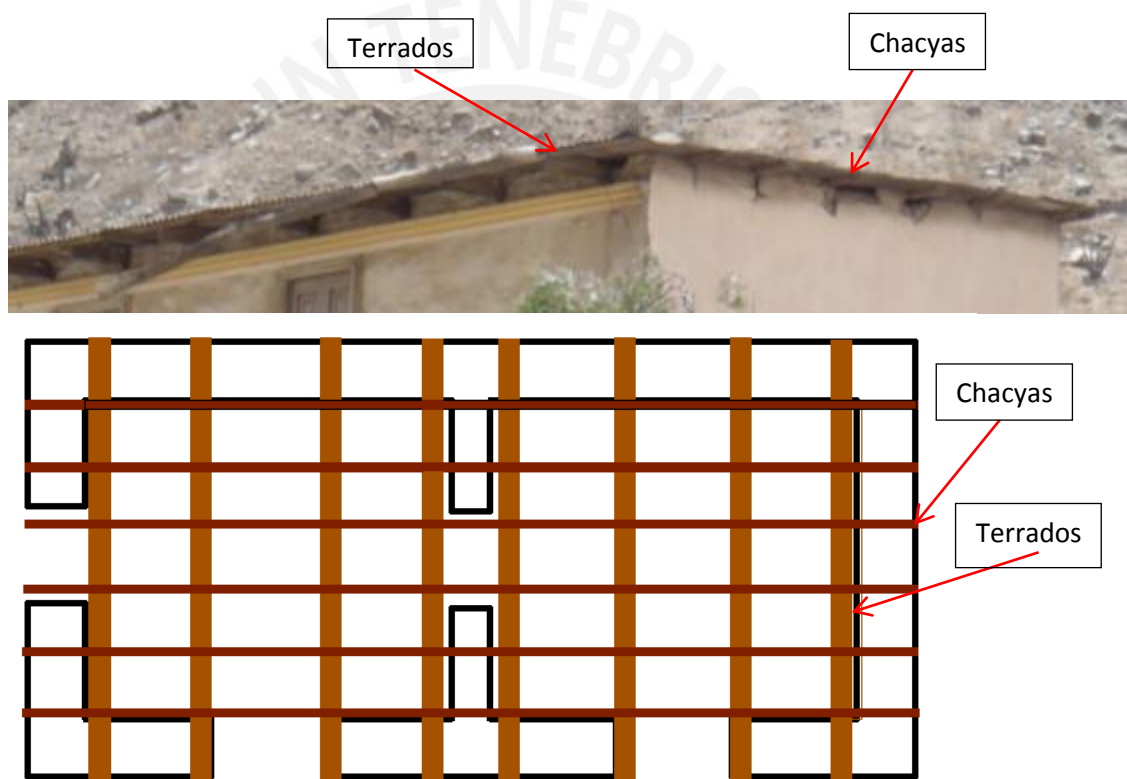


Fig.18 Ejemplo de cubierta de una casa de adobe

5.2 Características de la vivienda típica

Las viviendas de la zona visitada son de 2 pisos en general y éstas tienen configuraciones sencillas, conformadas por ambientes cuadrados que se

repiten en dimensiones en sus dos plantas. Estos ambientes están separados por muros de tabiquería de espesor menor (40cm), pero que, en su mayoría, siguen estando unidos a la estructura principal.

Las dimensiones típicas de las viviendas son como se describen a continuación:

- ➔ Longitudes Frontales típicas, entre 5m y 10m
- ➔ Longitudes Laterales típicas, entre 4m y 7m
- ➔ Longitud de Muros libres sin arriostre intermedio, entre 3m y 10m

Las viviendas analizadas en la provincia de Canta, a excepción de la misma ciudad de Canta, tienen alturas muy similares cuando comparamos entrepisos de primer y segundo nivel.

Altura de Primer Nivel 2.10m -2.70m (muros de 0.6m)

- ➔ Esbeltez: 3.5 - 4.5

Altura de Segundo Nivel 2.10m-2.50m (muros de 0.4m)

- ➔ Esbeltez 5.25 - 6.25

5.3 Distribución arquitectónica de la vivienda típica

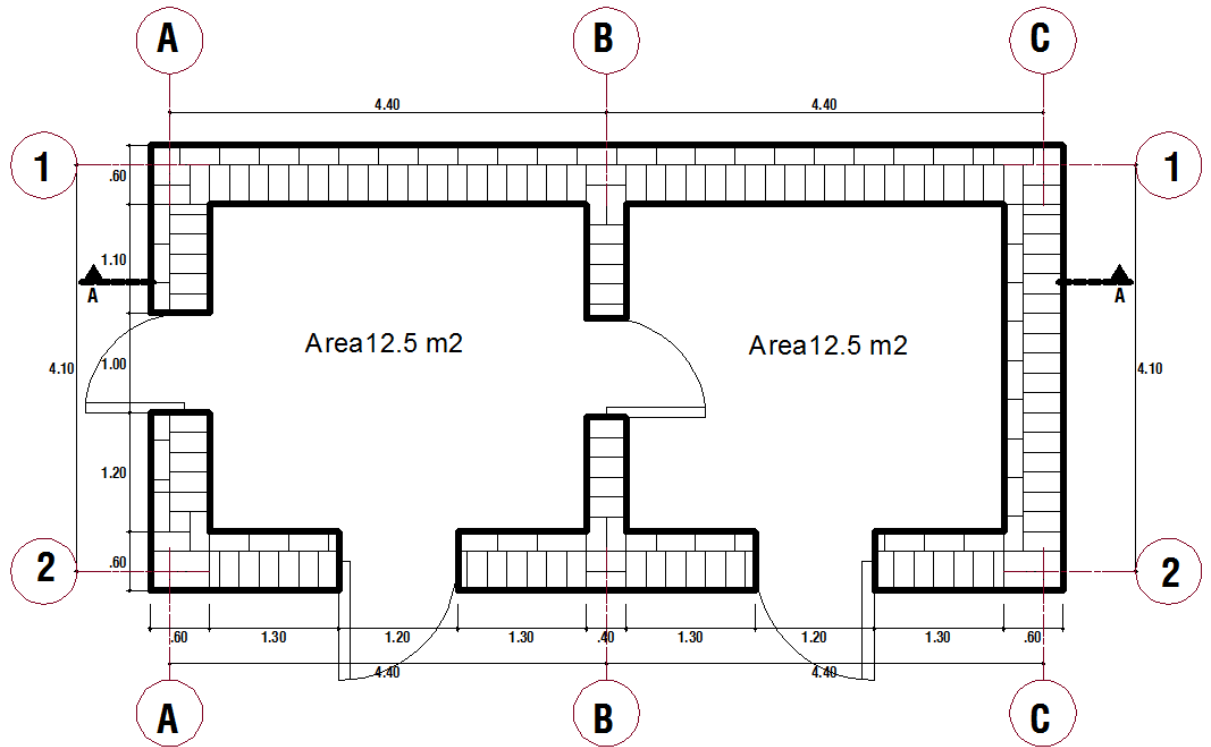


Fig.19 Vista en planta, Primera Planta

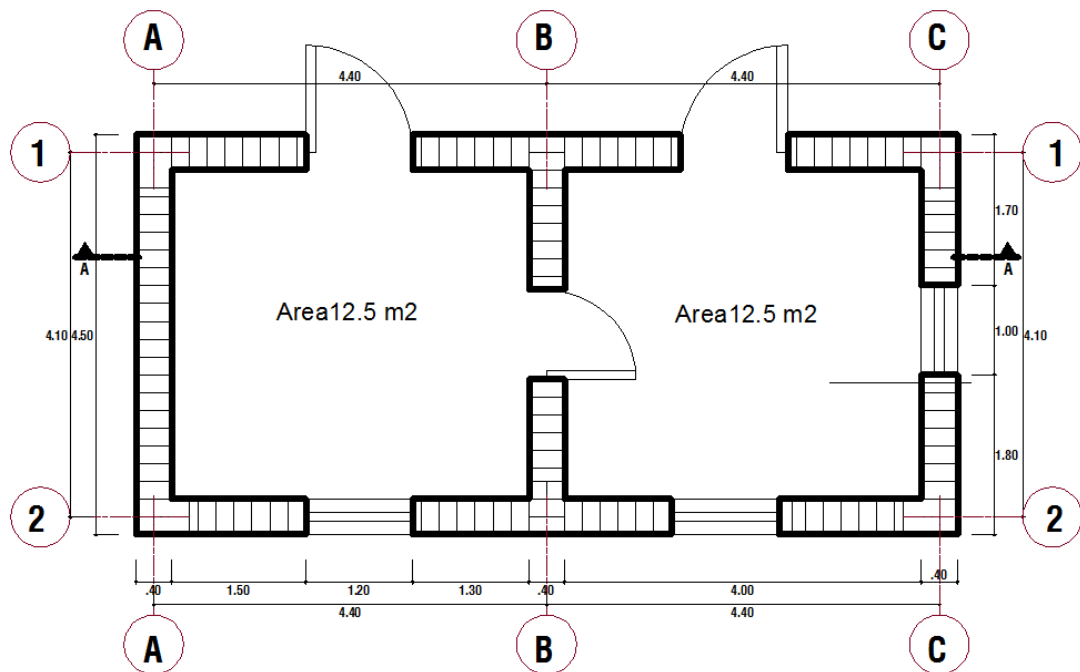


Fig.20 Vista en planta, segunda planta

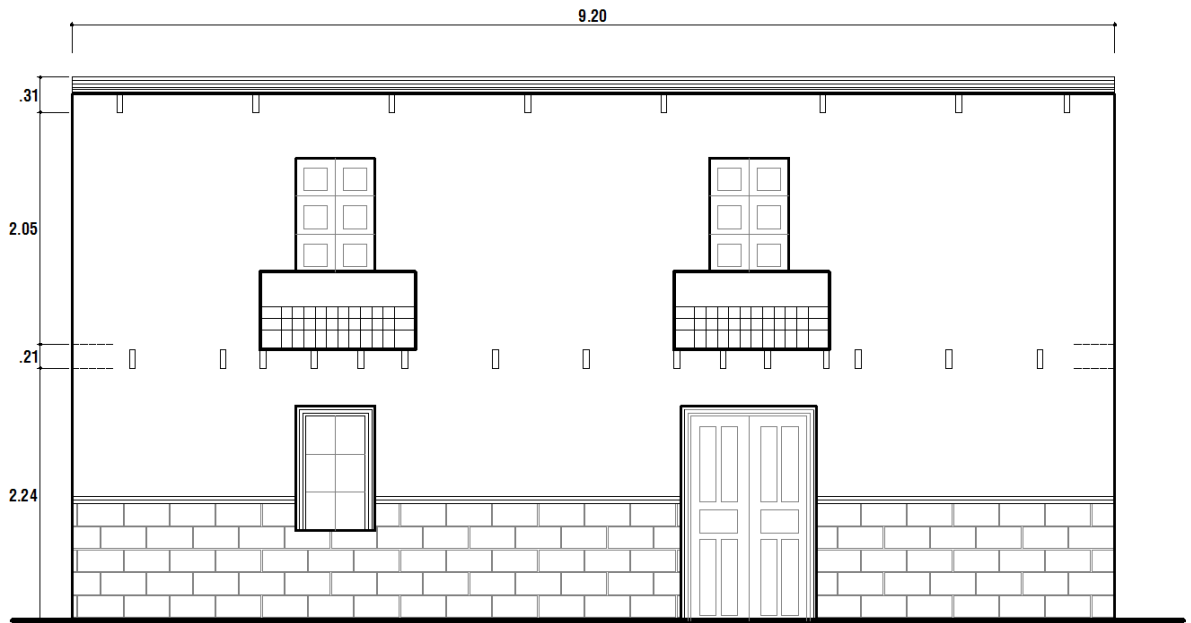


Fig.21 Elevación frontal

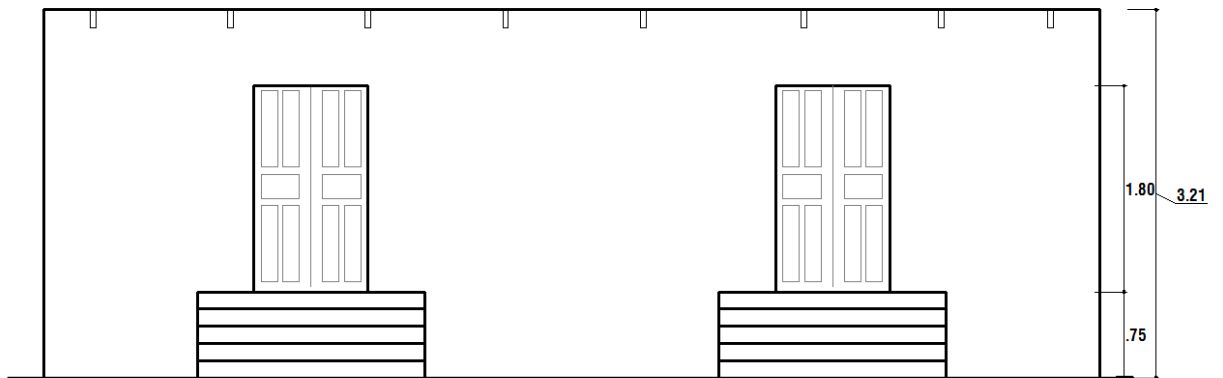


Fig.22 Elevación posterior

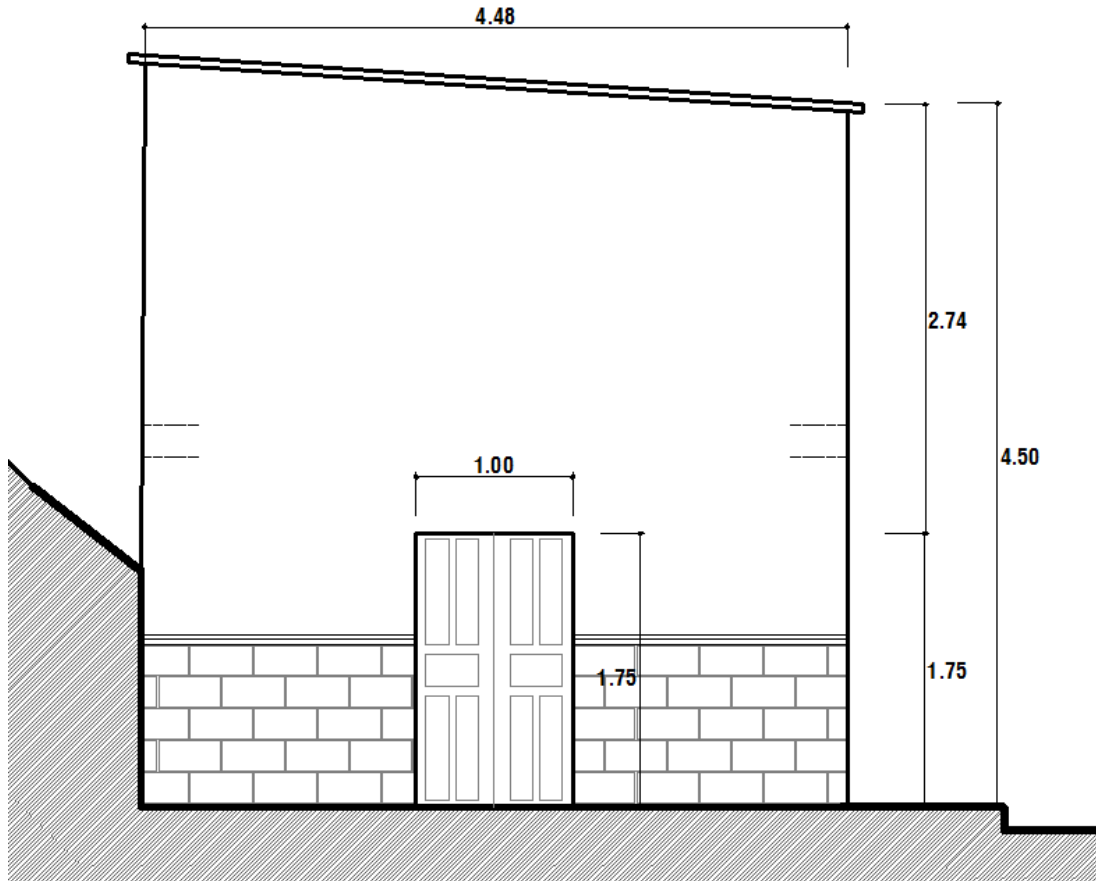


Fig.23 Elevación lateral

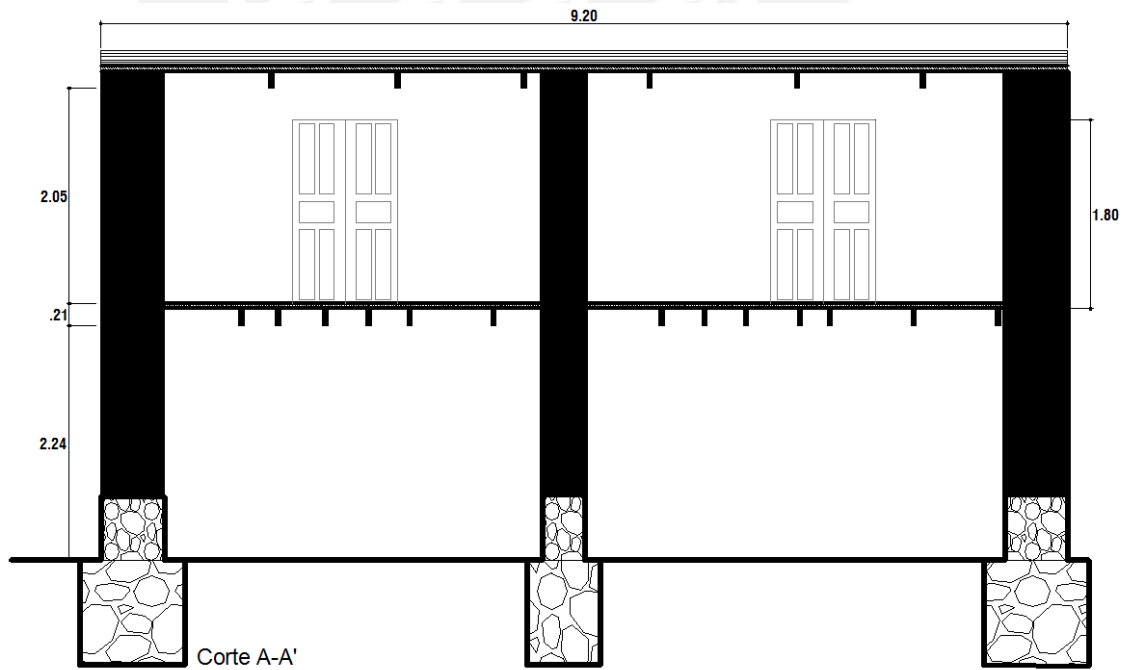


Fig.24 Corte A-A

5.4 Vulnerabilidad de las viviendas

En este acápite se describe las características particulares de las viviendas analizadas que contribuyen a la vulnerabilidad sísmica.

En Canta, en la construcción de las viviendas no se tiene en cuenta las características del suelo. Es decir, si el suelo es resistente, si es estable, inestable, si existe la posibilidad de deslizamiento o caída de rocas en caso de sismos.

Viviendas en pendiente

Como se mencionó anteriormente, la topografía del lugar es accidentada, estos pueblos se encuentran en valles generando que la gente construya sus casas en pendiente. En algunos casos el suelo es inestable y se podrían producir deslizamientos y caída de rocas.

Los muros de las viviendas ubicadas en la pendiente del cerro están enterrados soportando el empuje lateral del terreno. En las visitas realizadas se observa que todos los muros que soportan empuje lateral no han sido diseñados para actuar bajo este efecto.



Fig.25 Viviendas en pendiente y soportando empujes del terreno



Fig.26 Viviendas en pendiente y soportando empujes del terreno.

5.4.1 Cimiento en desnivel

La provincia de Canta por estar ubicada en una cadena montañosa presenta muchas viviendas construidas en desnivel como se ve en la Fig.26, esto no es recomendable. En algunos casos el suelo es inestable y se producen deslizamientos y caída de rocas. Por otro lado los muros de adobe de las viviendas ubicadas en las faldas del cerro soportan el empuje lateral del terreno. En las encuestas realizadas se observa que todos los muros que soportan empuje lateral no han sido planificados para actuar bajo este efecto.

5.4.2 Entrepiso

Usualmente las casas de adobe existentes en la provincia de Canta no cuentan con la denominada viga solera o techo de entrepiso que consiste de un elemento que une todos los muros de la vivienda que puede ser de madera o concreto, el mismo que permite integrar los muros para su trabajo en conjunto y limitar el crecimiento de las potenciales grietas. Esta viga solera no está presente ni en el primer ni el segundo nivel.

5.4.3 La mano de obra del lugar

La mano de obra es similar entre estos centros poblados, esta se puede definir como mano de obra de buena calidad ya que los adobes tenían un buen acabado y se podía ver en el asentado de los muros que estaban a plomo y que las hiladas eran simétricas. Del mismo modo los errores constructivos detectados son similares en estos lugares.

6 EVALUACION CUALITATIVA TÍPICA DE LAS VIVIENDAS EXISTENTES

De acuerdo con la bibliografía revisada (D. Torrealva, Junio 2003). y (L. Zegarra, A. San Bartolome, D. Quiun, 1997), se encontraron daños típicos en viviendas de adobe en los centros poblados rurales de Canta, estos se describen a continuación.

- Fisuras en el centro y las uniones de las paredes o muros portantes, debido a la acción de fuerzas sísmicas actuando en forma perpendicular al plano de la pared, las mismas que generan tracciones por flexión en el centro y tienden a empujar los muros separándolos en las uniones.
- A causa de las mismas fuerzas sísmicas actuando en forma perpendicular al muro, suelen aparecer fisuras en el triángulo superior que conforma el tímpano, utilizado para formar los techos a dos aguas, donde la viga de la cumbrera produce empujes importantes sobre la pared provocando usualmente su desplome.
- Las fuerzas laterales actuando en el mismo plano de la pared producen esfuerzos cortantes que generan tensión diagonal, provocando fisuramiento. En los sitios donde existen aberturas, por la presencia de puertas y ventanas, las fisuras se inician a 45° desde las esquinas y se propagan en forma curva hacia arriba. Cuando las fuerzas sísmicas son mayores, aparecen las grietas a 45° en ambas direcciones, dejando la bien conocida "X" o marca del sismo. El proceso de fisuramiento arriba descrito resulta muy peligroso puesto que impide el trabajo integrado de los muros, quedando trozos de muros sueltos, sin arriostamiento, provocando un

trabajo aislado de cada uno de ellos, por lo que al continuar el movimiento sísmico los muros tienden a su colapso total o parcial.

Ahora analizaremos cuales son los diversos tipos de falla que se observaron en la provincia de Canta. En este trabajo se describen diversos tipos de fallas que ocurren en construcciones de adobe cuya tipología arquitectónica corresponde a la utilizada en Canta, analizando fallas comunes en construcciones de adobe y también las más típicas de la zona por procesos constructivos defectuosos.

6.1 Fallas producidas por terremotos

6.1.1 Debido a fuerzas perpendiculares al plano del muro.

En un movimiento sísmico, las primeras grietas que se originan son las causadas por fuerzas fuera del plano del muro, estas grietas se producen a baja intensidad sísmica, sin embargo esto no quiere decir que hay pérdida de estabilidad en los muros. Según la caracterización de daños en construcciones de adobe (D. Torrealva, Junio 2003) los principales factores que afectan la estabilidad de los muros de adobe son:

- El grosor del muro y su esbeltez.
- La conexión entre el muro y el techo o el sistema de piso.
- Si el muro es portante o no.
- La longitud libre del muro o distancia entre la intersección de los muros transversales.
- La condición de la base del muro.

A continuación veremos los tipos de falla comunes y se compararan con los casos más comunes en la provincia de Canta.

Grietas verticales en las esquinas y volteo del muro fuera del plano

Cuando ocurre un movimiento sísmico en viviendas de techo liviano los muros en los cuales este techo se apoya no consiguen el amarre suficiente para lograr formar una buena conexión que mantenga a los muros unidos, por consecuencia se separan y se generan vibraciones independientes de estos muros. La vibración fuera del plano de muros ortogonales entre sí genera entonces una concentración de esfuerzos de tracción en la parte superior de las esquinas, formando una grieta vertical que se propaga hacia abajo. Esta grieta hace que el muro quede suelto vibrando libremente en sentido perpendicular a su plano, lo que a la postre causa su colapso fuera del plano. (D. Torrealva, Junio 2003)



Fig.27 Grieta vertical en esquina superior de muro que baja hasta muro de primer nivel, Yaso



Fig.28 Grieta vertical en esquina superior de muro, Canta.



Fig.29 Grieta Vertical en toda la longitud del muro, Obrajillo

6.1.2 Debido a fuerzas cortantes en el plano del muro

Según la caracterización de daños en construcciones de adobe (D. Torrealva, Junio 2003), las grietas que se originan por fuerzas cortantes en el plano del muro ocurren cuando por alguna razón se ha controlado la falla por volteo y a niveles mayores de intensidad sísmica. Esta falla está directamente relacionada con la resistencia de la mampostería a la fuerza cortante. Los principales factores que influyen en los muros de adobe que son sometidos a fuerzas fuera de su plano son:

- El espesor del muro.
- La calidad de la mano de obra en la construcción del muro.
- La calidad del mortero.
- El peso del techo, que es directamente proporcional a la fuerza de inercia.
- El estado de conservación del muro.

A continuación se describen los casos vistos en la provincia de Canta (Fig.30-33).



Fig.30 Grieta de Corte en el plano del Muro, Viguetas apoyadas en el muro impidiendo su volteo



Fig.31 Grietas de corte en un muro sin vanos, con restricción al volteo por la cubierta.

Grietas cerca de los vanos

Estas grietas son también causadas por la acción de fuerzas cortantes en el plano del muro y se presentan usualmente en las esquinas superiores o inferiores de las aberturas de puertas y ventanas extendiéndose en forma diagonal hacia la parte superior o inferior del muro respectivamente. Son debidas a la concentración de esfuerzos en las esquinas de las aberturas y a la incompatibilidad de las propiedades mecánicas del adobe y el material de los dinteles.





Fig.32 Grieta en la esquina de la venta por corte y concentración de esfuerzos

6.2 Procesos constructivos deficientes.

Ya se han descrito los daños por causas de sismos que la provincia de Canta ha sufrido, sin embargo hay otras causas de daños como los que producen la humedad, la erosión por causa de deficientes procesos constructivos.

Falla por volteo del muro lateral no portante.

En las casas de adobe de la provincia ha sido casi un denominador común que la cubierta no se apoye en los 4 muros del ambiente sino en una sola dirección, usualmente en el sentido de la luz menor entre muros. Por otro lado, como se mencionó este techo es muy ligero y no logra generar una conexión entre sus muros ni proporciona apoyo a este muro que estaría en volado al separarse de sus muros perpendiculares. Esta es una característica de las viviendas que las vuelve muy vulnerables antes los sismos ya que con un próximo movimiento sísmico podrían colapsar como sería el caso en la Fig.33.



Fig.33 Muro en volado en peligro de caída inminente

7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

7.1 Análisis de Vulnerabilidad

Para poder realizar un análisis de las viviendas se han determinado parámetros de vulnerabilidad en general para todas las viviendas, estos parámetros obedecen al nivel de daño que tengan los muros en el segundo nivel en las uniones y también las grietas en general así se determinarían las probabilidades de sufrir el mayor daño. Se analiza la vulnerabilidad no cuantitativa exclusivamente en los parapetos superiores de la vivienda, debido a que, como veremos más adelante, ahí se concentran los primeros esfuerzos de falla de la vivienda. La vulnerabilidad se analiza para un eventual sismo severo que pueda afectar a estas viviendas.

Tabla 4 Nivel de Vulnerabilidad, según el estado de sus muros

Estado de Muros	Nivel de Vulnerabilidad
Estables, sin grietas ni fisuras, conectados entre sí.	Baja
Estables, poco agrietados, con pequeñas fisuras pero conectados entre sí.	Media
Con poca estabilidad aparente Agrietados, con fisuras en todo el muro y separados unos de otros en los encuentros.	Alta

El nivel de Vulnerabilidad, nos da como resultado el nivel de acción de reparación de la vivienda, si es inmediato o si solo necesita una cierta cantidad de refuerzos.

De los tipos de falla analizados, la que se presenta primero y por lo tanto a menores niveles de intensidad sísmica es la falla por volteo fuera del plano (D. Torrealva, Junio 2003). Cuando el esfuerzo de volteo se controla los esfuerzos cortantes paralelos al plano pueden agrietar los muros, los cuales dependiendo de la esbeltez y de la duración del sismo pueden causar el colapso total o parcial de los mismos. Con este concepto definiremos el análisis sísmico a nuestras construcciones.

La norma E.080 nos da recomendaciones que debemos seguir en la estructuración, estas serán contrastadas con la tipología de viviendas:

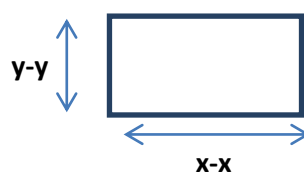
- Suficiente longitud de muros en cada dirección de ser posible todos portantes, para una buena resistencia por cortante y torsión de la estructura.
- Tener una planta que tienda a ser simétrica, preferentemente cuadrada.
- Los vanos deben de ser pequeños y de preferencia centrados.
- Dependiendo de la esbeltez de los muros, se definirá un sistema de refuerzo que asegure el amarre de las esquinas y encuentros.

Para analizar la competencia estructural de los muros de adobe utilizaremos los siguientes pasos:

1. Determinaremos las cargas actuantes sobre los muros en cuestión.
2. Analizaremos los muros considerando solo las cargas verticales, tomando en cuenta el efecto de la esbeltez de éstos. Tal análisis permitirá verificar si las dimensiones del muro resisten las solicitaciones de gravedad.
3. Analizaremos los muros considerando el efecto de las cargas horizontales que actuarían perpendicularmente al plano del muro, particularmente las debidas a sismos. Este análisis permite verificar el ancho del muro y determinar si requiere de arriostres adicionales. Es importante tomar en cuenta las condiciones de borde de los muros.
4. Analizaremos los muros para fuerzas horizontales que actuarían paralelamente al plano de los mismos, particularmente si estos están trabajando como arriostres verticales. Aquí se verifica la competencia del muro frente a esfuerzos cortantes y ante momentos de volteo.
5. En función a los resultados de los pasos anteriores analizaremos si se necesita elementos de estabilización o reforzamiento.

7.2 Metrado de cargas

El metrado detallado de la vivienda que representa la tipología se encuentra anexo, a continuación mostraremos el cuadro resumen de la vivienda:



Descripción	Área (m ²)	Peso Parcial	
Muros X-X 1er	10.02	39,512.80	kg
Muros Y-Y 1er	4.68	18,167.20	kg
Muros X-X 2do	7.36	25,221.60	kg
Muros Y-Y 2do	4.44	14,985.00	kg
Peso Total		97,886.60	kg

Tabla 5 Cuadro de Cargas tipología

7.3 Carga vertical

Para este primer análisis se consideraran los muros portantes, esto quiere decir que además de su peso propio soportan cargas verticales, transmitiéndolas a la cimentación. La resistencia de los muros bajo carga vertical depende básicamente de la resistencia de los adobes, el tipo de mortero que se ha utilizado, la esbeltez del muro y la excentricidad de la resultante de las cargas actuantes.

Los muros de la provincia de Canta se encuentran en buen estado al igual que sus adobes, por ello utilizaremos los valores de resistencia admisible de la albañilería $f_m=2\text{kg/cm}^2$ según la norma E.080 Adobe.

Para muros en el primer nivel que serían los más esforzados por resistir el peso superior según la tipología tenemos:

El peso en el primer nivel sería de 97.886 Ton, teniendo 14.7 metros cuadrados de muros, tenemos en promedio

$$\sigma = \frac{P}{\text{Área de Muros}}$$

$$\sigma = \frac{97886}{147000}$$

$$\sigma = 0.67 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 2.00 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ OK}$$

La tipología analizada tiene un área de muros de 14.7 m² en el primer nivel, esto quiere decir que bajo solicitaciones de carga vertical la vivienda de la tipología resistiría 294 ton. Siendo los requerimientos en el primer piso 97.9 ton.

$$F.S. = \frac{\text{Fuerza Resistente admisible}}{\text{Fuerza Actuante}}$$

$$F.S. = \frac{294}{97.9} = 3 \text{ OK}$$

Tenemos un Factor de Seguridad de 3 que indica que la vivienda está segura mientras solo esté sometida a cargas estáticas verticales.

7.4 Cargas perpendiculares a su plano.

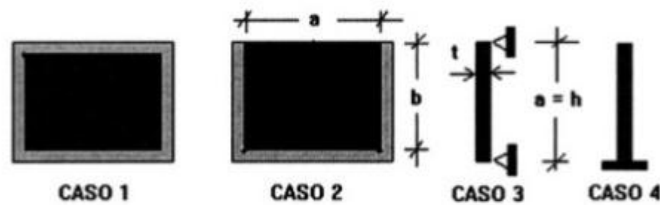
Cuando un muro debe soportar cargas perpendiculares a su plano se producen flexiones que generan en los muros esfuerzos de compresión y de tracción de la misma manera que se producen en una losa. Los esfuerzos de tracción en un muro de adobe son los que suelen ocasionar las fallas tanto en sentido vertical, perpendicular a las hiladas, como también en sentido horizontal paralelo a las hiladas.

Se utilizó la tabla N.12 de la Norma E.070 de albañilería para hallar los momentos actuantes en los muros de adobe de acuerdo a sus condiciones de borde:

Tabla 6 Valores del cociente de momentos

**TABLA 12 de la Norma E.070
VALORES DEL COEFICIENTE DE MOMENTOS «m» Y DIMENSIÓN CRÍTICA «a»**

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



MCMXVII

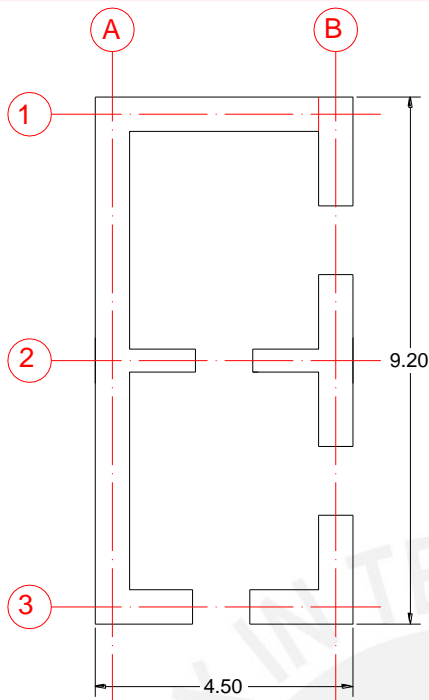


Fig. 34 Nomenclatura de ejes para vivienda

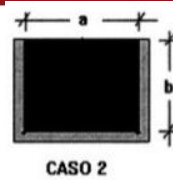
A continuación podemos ver el resumen del esfuerzo resultante a tensión al que están sometidos los muros de acuerdo a sus condiciones de borde. Los muros analizados y más vulnerables son los de segundo nivel que serían los primeros en fallar.

El caso 1 quiere decir que está arriostrado en sus 4 bordes, es decir, unido a los muros laterales y al techo.

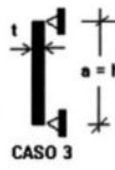


CASO 1

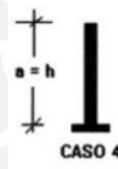
El caso 2 quiere decir que está arriostrado a los muros laterales y no al techo, este es el caso más crítico ya que el muro tiene esfuerzos de volteo que le afectarán de manera directa. Por otro lado una vez separado el muro de los muros laterales cuando se produzca la grieta vertical quedará en volado.



El caso 3 quiere decir que está arriostrado en su base y en la parte superior por el techo, este caso es cuando está unido al techo y este no permite que se voltee. Si se separa de los muros laterales no tendrá problema ya que está unido al techo.



El caso 4 quiere decir que no está arriostrado ni en el techo ni en los muros laterales, es decir, está agrietado y no lleva una viga solera ni un entrepiso que lo mantenga unido a la estructura. Este caso se da en viviendas agrietadas, altamente vulnerables ante un sismo.



Lo que se analiza ahora en cada caso es la flexión que resiste cada muro de acuerdo a sus condiciones de borde, esta flexión se comparará con una fuerza estática de $0.4g$ y se analizarán resultantes en cada muro para cada caso ya mencionado. Los resultados mostrarán en qué condiciones de borde los muros resistirán la flexión a $0.4g$. Más adelante se mostrarán los mismos resultados en un modelo dinámico.

En el primer análisis numérico de los muros 1A-1B / 3A-3B se puede concluir que los muros resistirán los esfuerzos de sollicitación sísmica para sismos severos si su condición de apoyo es según el Caso 1 o el Caso 3 para un

esfuerzo estático de 0.4g. Si el muro se apoya solo en los laterales como en el Caso 2 este muro no resistirá los esfuerzos solicitados para un esfuerzo estático de 0.4g dado que el resultado de la resistencia a flexión es negativo.

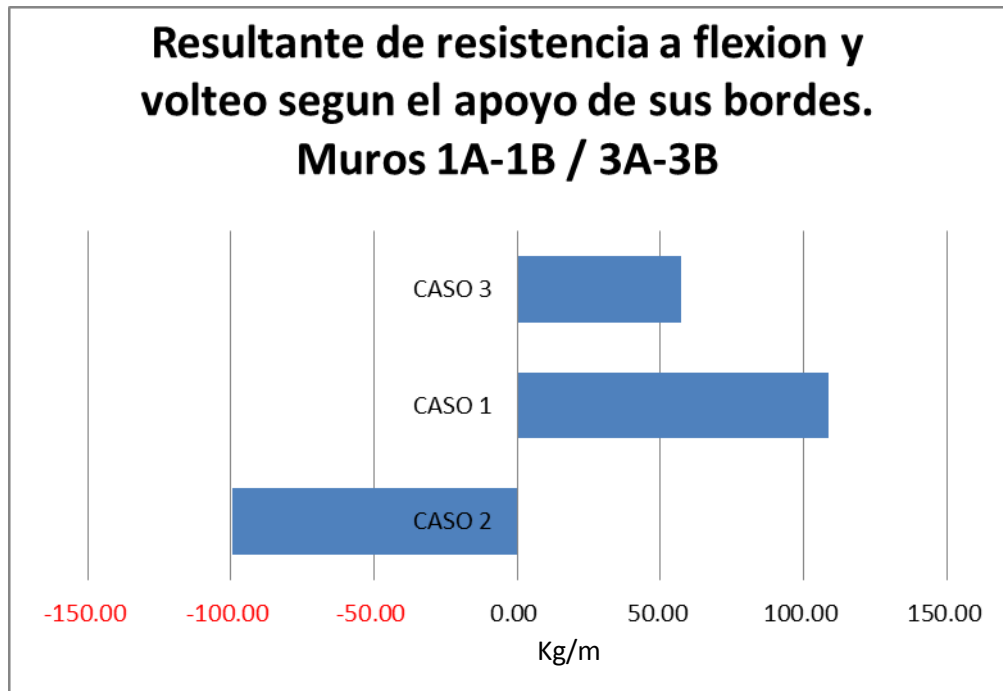


Fig.35 Resultante de resistencia a flexión y volteo según el apoyo de sus bordes

En el segundo análisis numérico de los muros A1-A3 / B1-B3 se puede concluir que los muros resistirán los esfuerzos de sollicitación sísmica para sismos severos si su condición de apoyo es según el Caso 1 o el para un esfuerzo estático de 0.4g. Si el muro se apoya de alguna otra manera o no este muro no resistirá los esfuerzos solicitados para un esfuerzo estático de 0.4g.

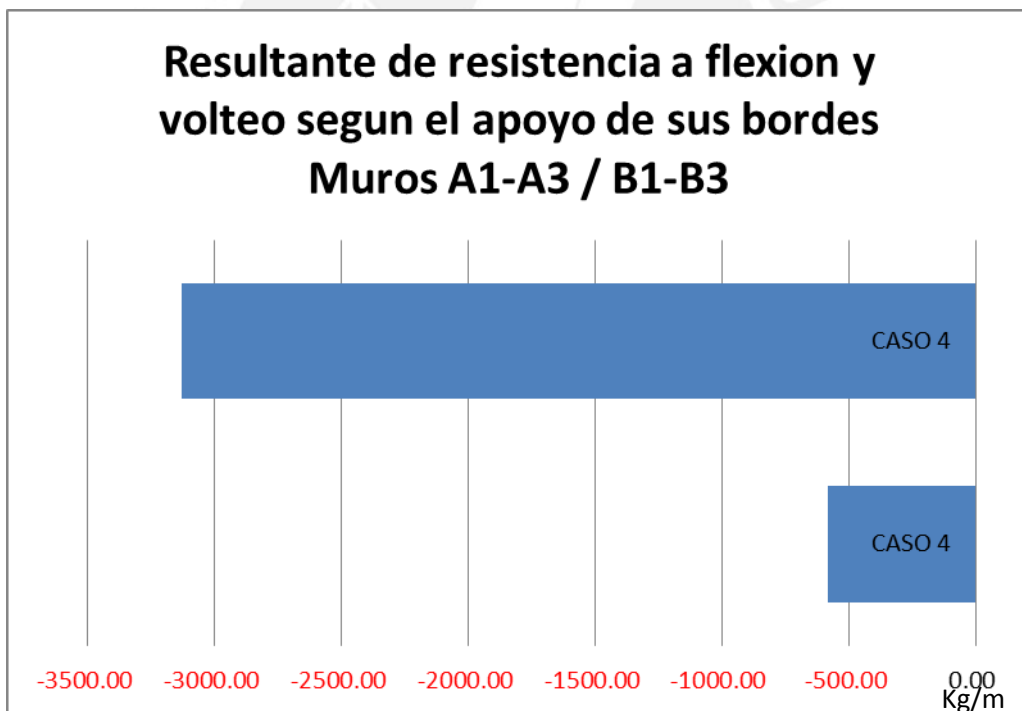
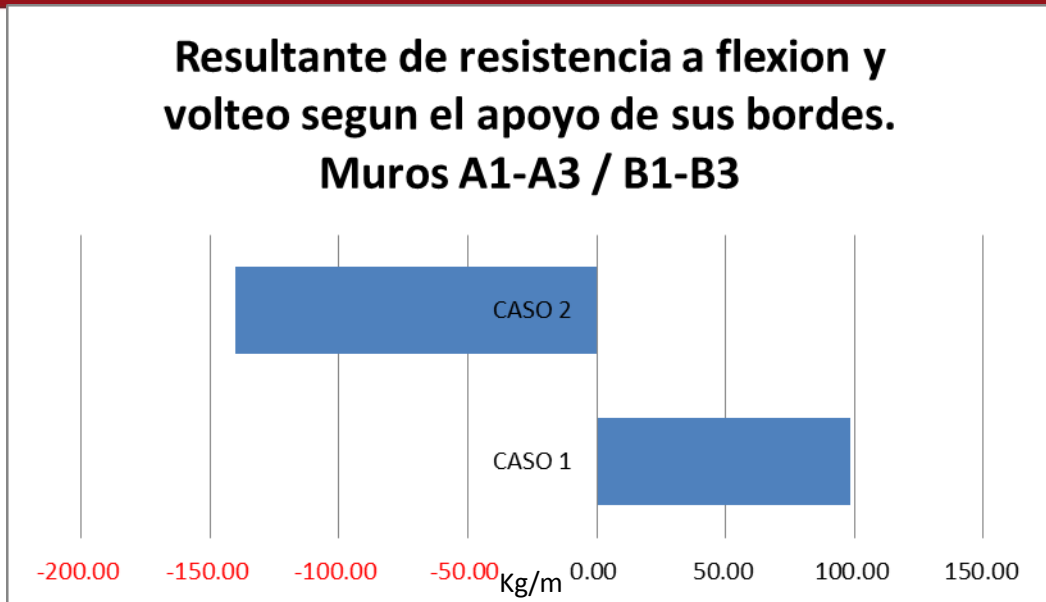


Fig.36 Resultante de flexión y volteo según el apoyo de sus bordes caso 4

Después de haber analizado los muros del segundo nivel que serían los primeros en fallar por sollicitaciones de flexión en una eventualidad sísmica,

podemos darnos cuenta de que mientras estén arriostrados en la parte superior estos muros se evitara el volteo de estos, sin embargo cuando estos muros no tienen un apoyo en la parte superior y a pesar de que están arriostrados en los lados, estos se verán expuestos a esfuerzos que generan su falla por flexión o en su defecto, volteo.

En las viviendas analizadas pudimos darnos cuenta de que los muros de segundo nivel no están arriostrados en la parte superior y por lo consiguiente son propensos a fallar.

7.5 Cargas de corte

Finalmente después de que los muros han resistido solicitaciones de carga vertical o flexión debido a cargas perpendiculares a su plano y también se han controlado las solicitaciones por estabilidad, se procede a comprobar la resistencia por corte de sus muros. Estos se calcularan independientemente por ser un diafragma flexible.

Las cargas horizontales que actúan en el plano del muro, generalmente originadas por sismos producen dos tipos de esfuerzos principales, la aparición de esfuerzos cortantes paralelos a las hiladas del muro y la generación de momentos de volteo, en especial cuando un muro trabaja como arriostre de otro.

La fuerza cortante actuante es proporcional a las cargas de gravedad que actúan sobre la estructura, esta carga horizontal sería $C_m * P$, es conveniente analizar la sección en la base del muro donde la fuerza cortante es mayor, eso sería lo más desfavorable. Se puede entonces representar al esfuerzo cortante como:

$$v_a = \frac{Cm \cdot P}{L \cdot t} = Cm \cdot \sigma$$

Donde σ representa el esfuerzo de confinamiento sobre la sección considerada.

De otro lado se ha visto que el esfuerzo cortante admisible (Julio Vargas, Gianfranco Ottazzi, 1981) será:

$$v_{ad} = 0.45(\mu + f\sigma)$$

Las condiciones de seguridad se verifican si $V_a < V_{ad}$

De acuerdo a (Julio Vargas, Gianfranco Ottazzi, 1981) la resistencia a cortante depende de la adherencia de la pega, y la fricción entre adobes que se ve influenciada por la carga vertical:

En la base de la estructura parte crítica Muro:

Cortante Actuante:

$$\sigma = \frac{P}{A_{\text{de Muros}}}$$

$$\sigma = \frac{97886}{147000}$$

$$\sigma = 0.67 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$v_a = 0.24 \cdot 0.67$$

$$v_a = 0.16 \text{ kg/cm}^2$$

Cortante Admisible:

$$v_{ad} = 0.45(0.15 + 1.09 \cdot 0.67)$$

$$v_{ad} = 0.40 \text{ kg/cm}^2$$

En este análisis podemos apreciar que los esfuerzos cortantes actuantes son de $V=0.16 \text{ kg/cm}^2$ que son menores que los esfuerzos cortantes admisibles $V_{ad}=0.40 \text{ kg/cm}^2$.

$$F.S. = \frac{\text{Fuerza cortante Resistente}}{\text{Fuerza cortante Actuante}}$$

$$F.S. = \frac{0.40}{0.16} = 2.5 \text{ OK}$$

Se puede concluir que teniendo un factor de seguridad por cortante de 2.5, en general no habrá problemas por fallas cortante, sin embargo se tiene que tener cuidado con la concentración de esfuerzos en las esquinas de los vanos.

Según lo hallado en campo y corroborando con los resultados obtenidos del análisis, podemos comprobar que efectivamente no hay fallas por cortante en los muros pero si pequeñas separaciones de muros en donde no existe arriostre superior en los muros. Esto se produjo por pequeñas fallas por volteo en los muros.

7.6 Modelo dinámico

Mediante un modelo matemático determinaremos las concentraciones de esfuerzo y su probabilidad de colapso, tomando la aceleración de un sismo conocido (Lima 1974) escalando la aceleración a $0.4g$. En este análisis se han analizado 3 posibilidades de conexión entre muros. La primera que no considera los techos como conexión. La segunda que considera las viguetas como conectores entre los muros de primer nivel, y la tercera que considera las viguetas como conectores en los 2 niveles.

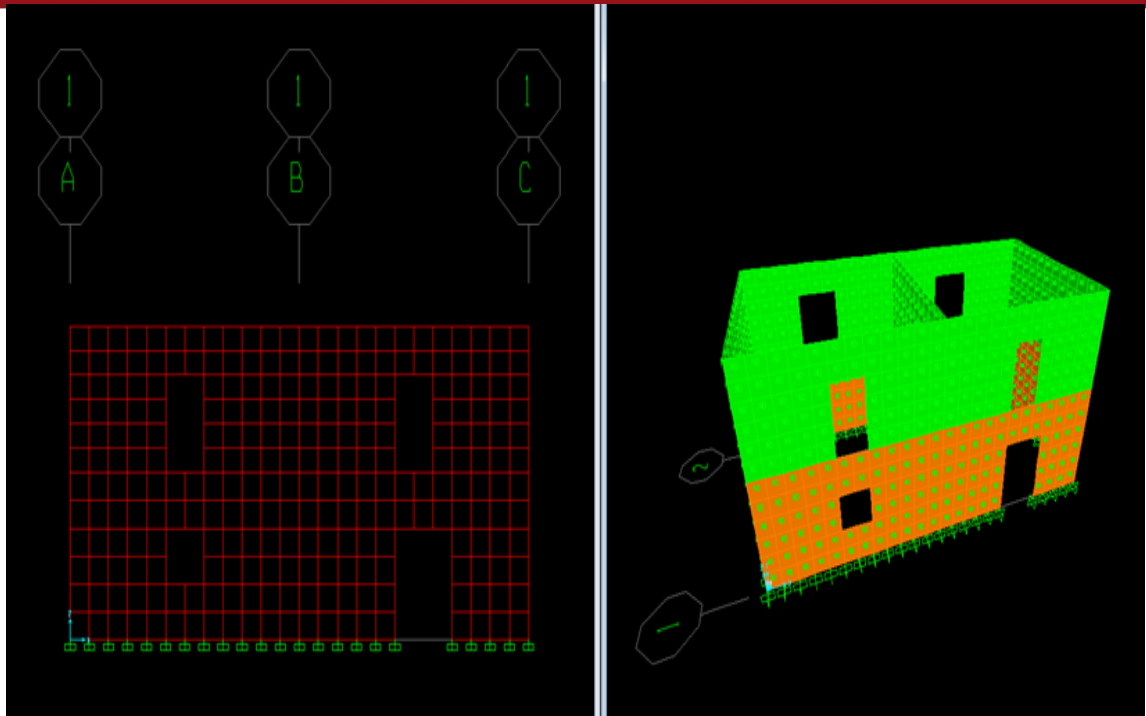


Fig.37 Modelo en Sap2000 de vivienda de adobe típica.

Primera consideración, modelado de casa de adobe sin tomar en cuenta el entepiso ni el techo para la conexión entre muros

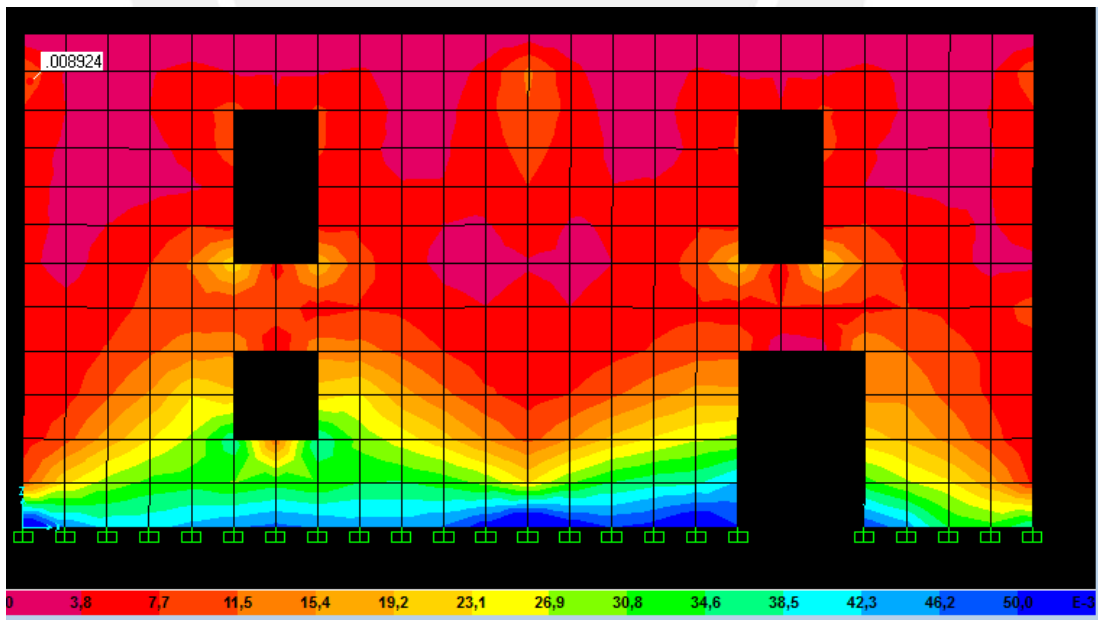


Fig.38 Momentos en Vivienda de abobe x 10-3 (Ton-m/m).

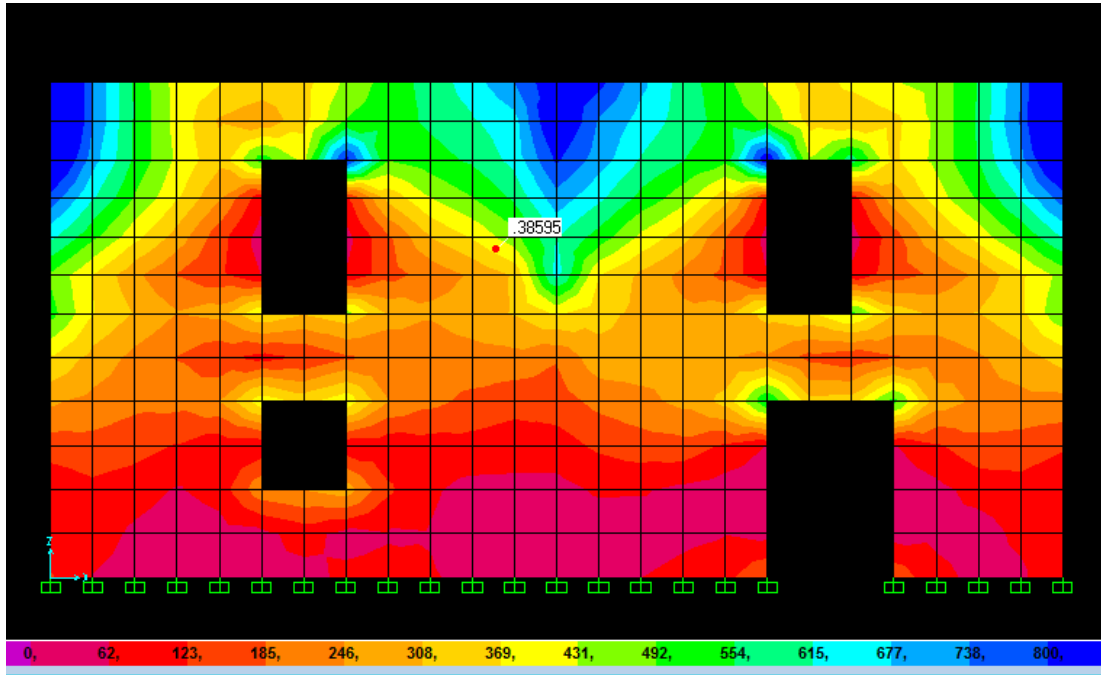


Fig.39 Esfuerzos en Muros x 10-3 (Ton/m2).

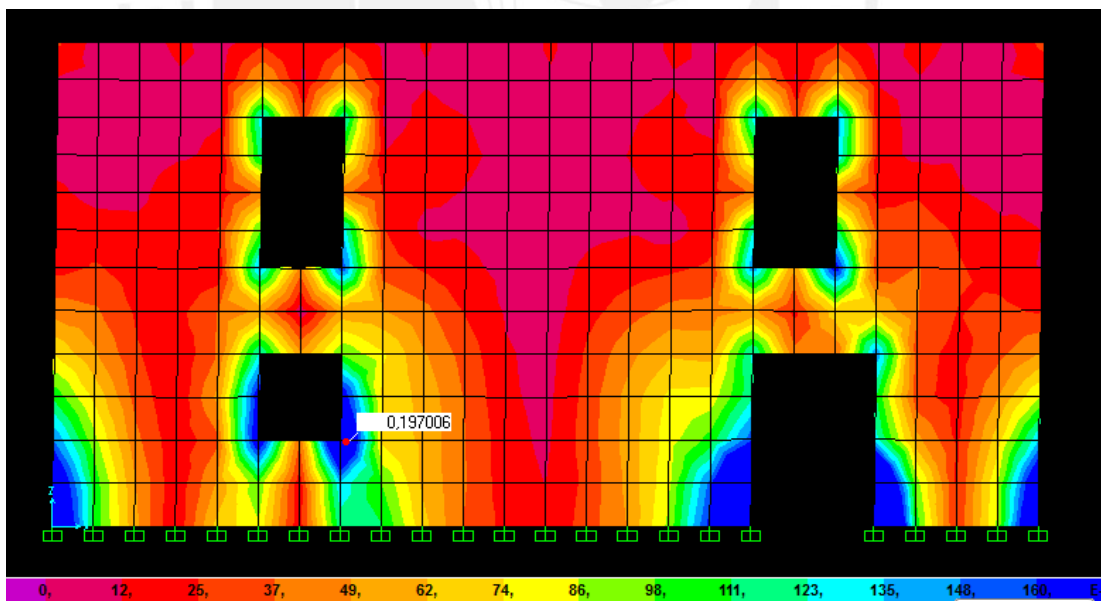
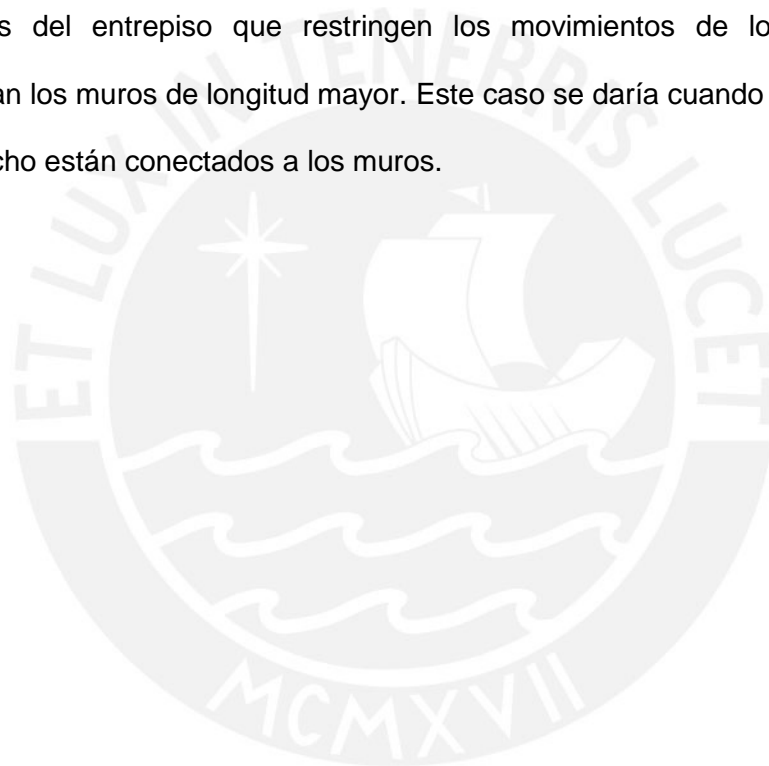


Fig.40 Cortante en Muros x 10-3 (Tonf/m).

En este primer modelo se puede apreciar que los muros se comportan como que estuvieran en volado desde la parte inferior por la concentración de esfuerzo de momentos en la parte inferior como un solo elemento en vibración de 4.50m de alto, del mismo modo se aprecia concentraciones de momento en las esquinas de la vivienda. También se puede apreciar que hay esfuerzos mayores a 0.4 tn/m² en el centro del muro que generará grietas en el adobe. Los esfuerzos cortantes en este caso son bajos ya que el muro esta en movimiento libre y no restringido. En este modelo no se consideran las viguetas del entrepiso que restringen los movimientos de los muros y conectan los muros de longitud mayor. Este caso se daría cuando el entrepiso ni el techo están conectados a los muros.



Segunda consideración, modelado de casa de adobe tomando en cuenta el entepiso pero no el techo para la conexión entre muros

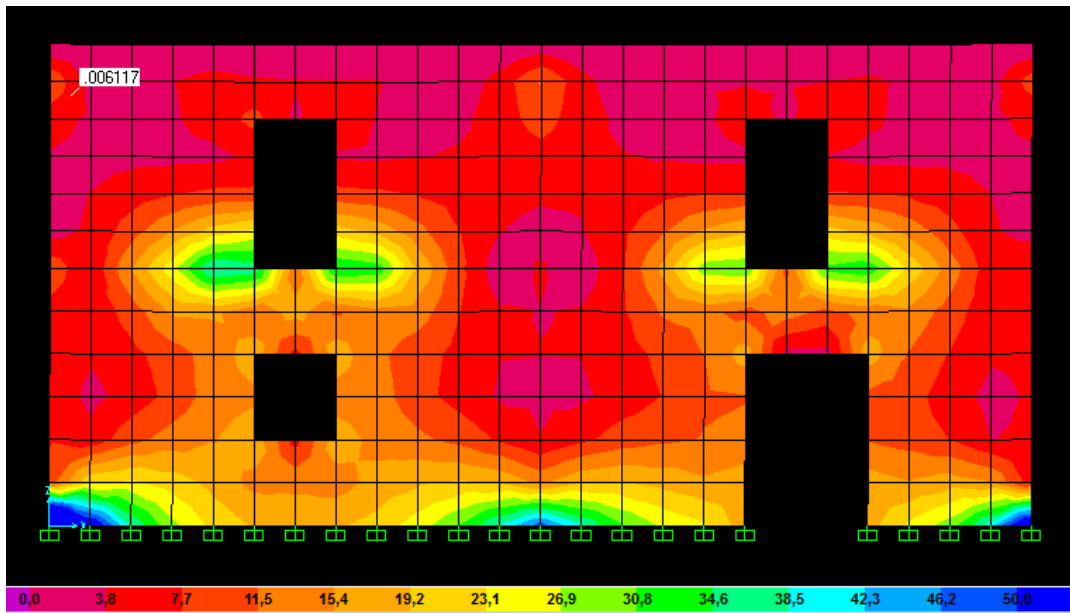


Fig.41 Momentos en Vivienda de abobe x 10-3 (Ton-m/m).

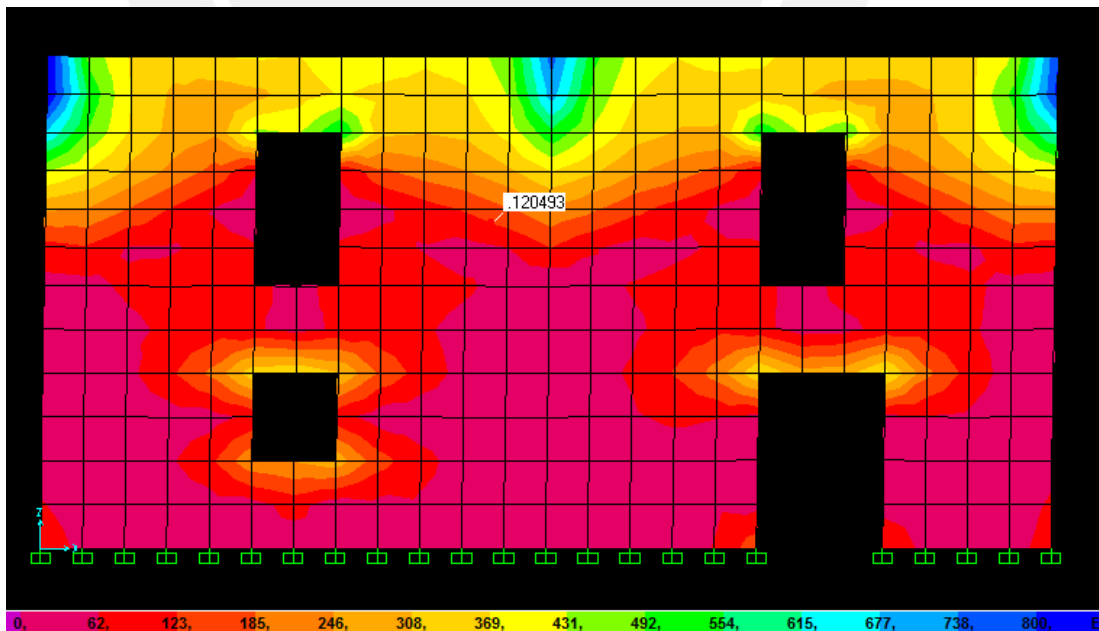


Fig.42 Esfuerzos en Muros x 10-3 (Ton/m2).

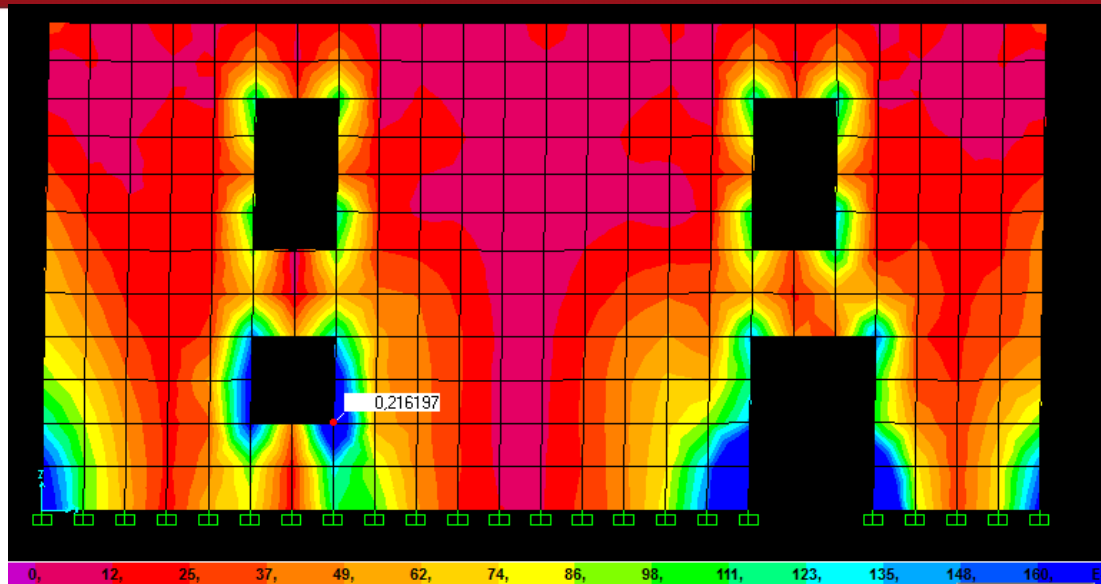


Fig.43 Cortante en Muros x 10-3 (Tonf/m).

Este segundo modelo muestra que la distribución de momentos ya no solo es en la parte inferior sino en la parte superior e inferior de la vivienda. Al distribuirse estos momentos se han reducido en la base de la vivienda y en las esquinas hasta en un 46%.

Los esfuerzos concentrados de tracción se han reducido en las esquinas de la vivienda en un 27% y en el centro del muro en un 222%. Esto puede deberse a que se han reducido desplazamientos que generan estas grietas.

Sin embargo al volver más rígida la vivienda se ha producido esfuerzos de corte mayores hasta en un 10%, esfuerzos concentrados en las esquinas de ventanas que no generan mayor problema por el ancho de muro.

Este modelo representa que ahora se tomó en cuenta las viguetas del entrepiso que conectan los muros, esto creo un modo de vibración distinto.

Este modelo muestra cómo actúan las viviendas de cancha en la actualidad, sin tener conexión en la parte superior de los muros de segundo nivel.

Tercera consideración, modelado de casa de adobe tomando en cuenta el entepiso y el techo para la conexión entre muros

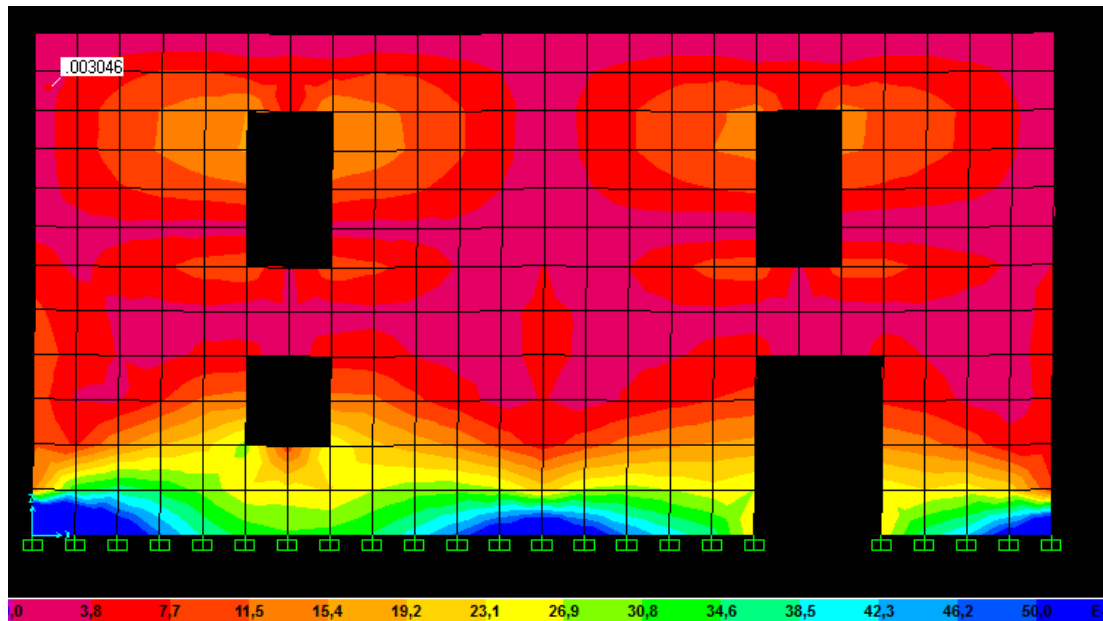


Fig.44 Momentos en Vivienda de adobe x 10-3 (Ton-m/m).

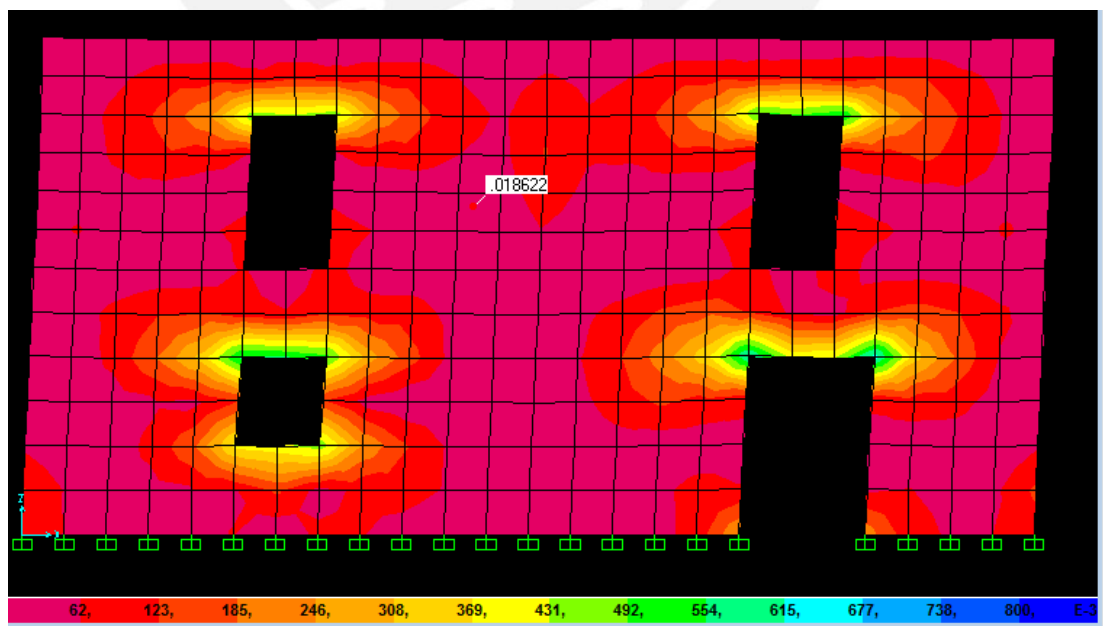


Fig.45 Esfuerzos en Muros x 10-3 (Ton/m2).

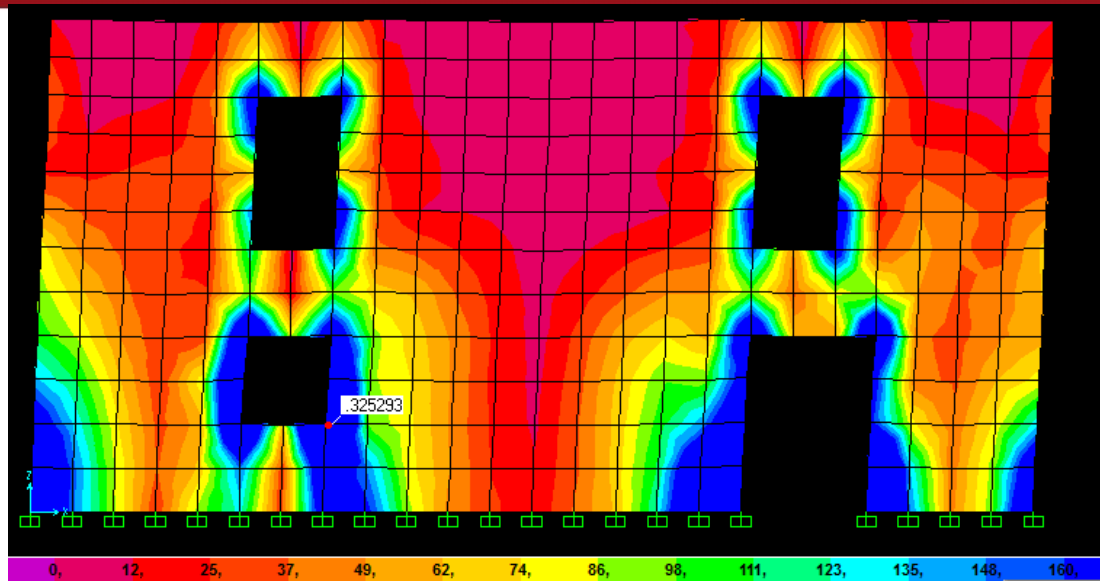


Fig.46 Cortante en Muros x 10-3 (Tonf/m).

Este tercer modelo muestra que la distribución de momentos es mucho más homogénea, con una ligera concentración en la parte inferior. Al distribuirse estos momentos conectando la parte superior de la vivienda se reducen momentos en las esquinas de la vivienda hasta en un 103% a comparación del modelo anterior.

Los esfuerzos concentrados de tracción se han reducido en casi toda la vivienda en una gran magnitud llegando a reducciones del orden del 500% hasta 1500%. Este aproximación se puede deber a la rigidización superior e inferior de todos los muros que genera muros rígidos y con poco desplazamiento horizontal

Sin embargo al volver más rígida aun esta vivienda se ha producido esfuerzos de corte mucho mayores hasta en un 76% con respecto al modelo anterior, esfuerzos concentrados en las esquinas de ventanas que pueden generar grietas pero no superar el valor de cortante admisible antes calculado

COMPARATIVOS DE LOS 3 CASOS

Graficos de SAP	Sin Uniones	Union Nivel 1	Union Nivel 1 y 2	Comparativo sin Union a Union Nivel 1	Comparativo de Union en nivel 1 a union en Nivel 1 y 2
Momentos en esquinas de Vivienda Ton-m/m	0.0089	0.0061	0.0030	-46%	-103%
Momenetos en Ventanas Ton-m/m	0.0025	0.0034	0.0015	36%	-127%
Esfuerzos en Esquinas de Vivienda (Ton/m2)	0.9560	0.7500	0.0400	-27%	-1775%
Esfuerzos en Centro de Muro (Ton/m2)	0.3860	0.1200	0.0180	-222%	-567%
Cortante en Ventana 1er Nivel YY (Tonf/m)	0.0410	0.0500	0.0880	22%	76%
Cortante en Ventana 1er Nivel XX (Tonf/m)	0.1970	0.2160	0.3250	10%	50%

Fig.47 Cuadro comparativo de los tres modelos de SAP

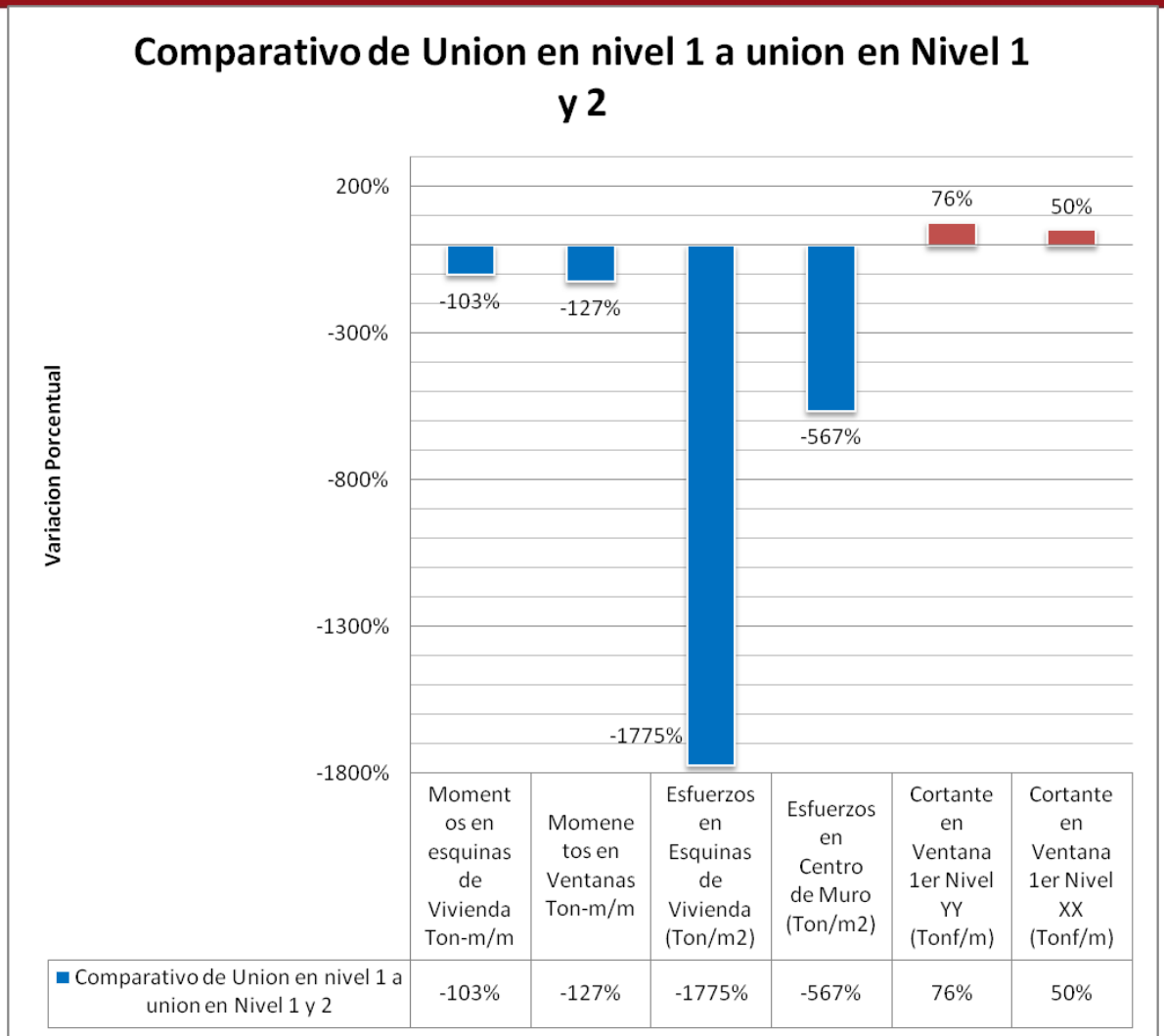


Fig.48 Grafica de variaciones porcentuales en Esfuerzos según SAP

En este comparativo de modelos matemáticos en SAP se puede apreciar que una buena conexión de muros reduce grietas por esfuerzos de tracción y también momentos en esquinas de casas que generan separación de muros. Se puede apreciar también que los esfuerzos cortantes aumentan significativamente pero sin llegar a afectar a la vivienda.

8 DIAGNOSTICO

De las viviendas observadas y estudiadas en la provincia de Canta se han obtenido resultados sobre su tipología y estado de conservación.

Las viviendas de adobe de la provincia de Canta se encuentran en buen estado de conservación y fueron construidas con buena calidad de materiales y mano de obra.

Su resistencia bajo cargas de gravedad está cubierta con un factor de seguridad de 2.5, esto en el caso de la mayoría de viviendas que conservan su mampostería de adobe seca y en buenas condiciones lo que es bueno y se corrobora en campo ya que no se vieron problemas en viviendas bajo carga vertical.

Después de los movimientos sísmicos leves que ha pasado la provincia de Canta no se han visto daños importantes por cortante a excepción de algunas concentraciones de esfuerzos en vanos. El factor de seguridad de sus muros por cortante es de 2.5, un factor de seguridad bueno. Al observarse en campo no se encontraron daños significativos por este tipo de esfuerzo.

El problema es la vulnerabilidad en estas viviendas en casi el total de ellas son los esfuerzos por flexión perpendicular al plano que se presentan en el segundo nivel, estos esfuerzos se han calculado estática y dinámicamente y se concluye que los muros no resistirían un movimiento sísmico sin dañarse y tienen la posibilidad de voltearse ante un sismo severo. En la provincia de Canta se han visto también varios casos de fallas en muros de segundo nivel que ya han producido grietas verticales en esquina y están en peligro de

volteo inminente, esto se debe a la concentración de esfuerzos de flexión en estos muros.

Como vimos en los resultados por cargas perpendiculares al plano, mientras los muros de segundo nivel no estén restringidos al desplazamiento lateral en la parte superior, estos se voltearán ante alguna eventualidad sísmica. Asimismo las viviendas de la provincia de Canta muestran daños por grieta vertical en esquina, lo que las hace más vulnerables ante alguna eventualidad sísmica. Se ha encontrado que casi la totalidad de viviendas al no tener vigas soleras tienen a sus muros superiores en peligro de caerse en momento de un sismo. Esto es debido a que el techo no se encuentra conectado y no ayuda a mantener los muros unidos y formar una conexión que permita a los muros trabajar en conjunto.

Este caso de muros sin unión en la parte superior de los techos se repite en casi la totalidad de viviendas de la provincia de Canta, situación que alarma por el alto riesgo de colapso de las viviendas de la provincia.

El techo no tiene el peso suficiente ni el amarre necesario a los muros en donde se apoya para al menos conectarlos entre sí, por lo tanto las aceleraciones horizontales generan una vibración independiente en cada muro del segundo nivel respecto a los restantes.

Las viviendas de la provincia de Canta en promedio en la actualidad según clasificación SEAOC se encuentran en desempeño entre funcional y resguardo de vida, debido a los movimientos de sismo ocasional anteriores, ahora después de estos análisis, una vivienda con las restricciones de desplazamiento que se proponen, en sollicitación de un sismo raro de 10% de excedencia y tiempo de retorno de 50 años, se logrará que la vivienda no colapse.



9 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Problema

Como ya se mencionó anteriormente en la parte superior de los muros no se tienen elementos de unión o estabilizadores que mantienen unidos a los muros en un movimiento sísmico, ni algún otro elemento que simule un diafragma para conectar los muros, esto causa que los muros vibren libre e independientemente uno del otro.

Consecuencias

La vibración fuera del plano de muros ortogonales entre sí genera una concentración de esfuerzos de tracción en la parte superior de las esquinas, formando una grieta vertical que se propaga hacia abajo. Esta grieta hace que el muro quede suelto vibrando libremente en sentido perpendicular a su plano, lo que a la postre causa su colapso fuera del plano.

Objetivo

Evitar que esos muros generen esa grieta vertical, oscilen libremente y finalmente colapsen al caer por inestabilidad, esto generaría daños en toda la vivienda causando su colapso total.

Alternativas para la estabilización de muros del segundo nivel

Alternativa 1. Chavetas en vigas del techo

De acuerdo a la investigación de conexión de muros con chavetas (Vicente, 2013), utilizar los terrados de madera eucalipto para resistir el volteo de muros uniéndolos un muro al otro paralelo y poniéndoles topes (chavetas) él en extremo exterior. De este modo se transferirán los esfuerzos a los perpendiculares.



Fig.49 Refuerzo con Chavetas

Los eucaliptos tienen resistencias a la tracción altísimas, ósea con la disposición de terrados que ya tienen los techos de 1.20m es suficiente, solo es cuestión de que la vigueta este más de 3 hiladas dentro de muro y de preferencia apoyado en una viga solera para distribuir esfuerzos.

Alternativa 2. Colocar Geomalla como zuncho alrededor de la vivienda

De acuerdo a la investigación (Fernandez Yhosimi , Daniel Torrealva, 2009) para refuerzo de estructuras con geomalla, recubrir con Geomalla los muros en la parte superior y las esquinas a lo alto del muro formando de esta forma un diafragma que mueva al muro como un todo. También evitando el desprendimiento de los extremos del muro y que se pierda la estabilidad de la casa. La alta resistencia a la tracción de la Geomalla es suficiente para las solicitaciones en ese punto en las viviendas, de este modo estas viviendas pueden agrietarse pero no se separarán en esos puntos críticos.

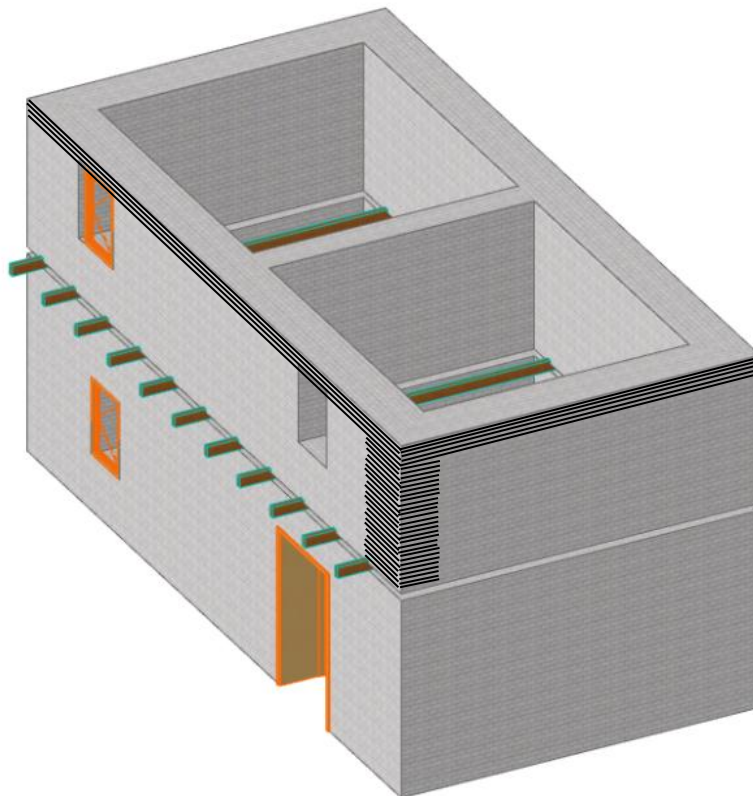


Fig.50 Geomalla que recubre las esquinas y la parte superior como una viga solera. (Fernandez Yhosimi , Daniel Torrealva, 2009)

10 CONCLUSIONES

Concluimos que las viviendas de canta tienen una tipología que trata de adecuarse a la zona sísmica a pesar de ser de 2 niveles por el significativo grosor de sus muros y su arquitectura de luces pequeñas.

Los materiales y los procesos constructivos presentan un buen estado de conservación.

Sin embargo estas viviendas son vulnerables por que los muros del segundo nivel sufren mayores aceleraciones y no están preparados para recibir esfuerzos y desplazamientos en un sismo severo, la debilidad de las conexiones entre muros es grande ya que el techo no funciona como diafragma y estas uniones se encuentran agrietadas.

La falla por volteo en segundos pisos es una falla potencial debido a que con un mínimo agrietamiento los muros se encuentra en vibración independiente y al no estar unidos entre ellos presentan grandes posibilidades de caer y destruir la vivienda en un sismo severo.

Para mejorar el comportamiento de estos muros longitudinales de segundo nivel se debe mejorar la estabilidad de estos mediante la reducción del desplazamiento lateral y la unión de ellos, de esta forma se mejorara notablemente su comportamiento en un sismo severo. Un refuerzo de unión en el techo para generar unión en la parte superior de los muros es una solución económica y factible en la zona rural de Canta.

11 BIBLIOGRAFÍA

- A. San Bartolome , D. Quiun y W. Silva. (2011). *Diseño y construcción de estructuras sismoresistentes de albañilería*. Lima: PUCP.
- Asociación colombiana de ingeniería sísmica. (2007). *Manual de rehabilitación de viviendas construidas con adobe y tapia pisada*. Colombia: AIS.
- Barbat A. (1998.). *“El riesgo sísmico en el diseño de edificios ”*. Madrid: calidad siderúrgica.
- Bommer J, S. W. (1998). *Riesgo sísmico en la región metropolitana de San Salvador, Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente*. San Salvador.
- Concha, O. (1977). *Tesis de grado, Diseño Sismo Resistente de muros de Adobe*. Lima: UNI.
- DELGADO, E. F. (2006). *Comportamiento Sísmico de un Módulo de Adobe de Dos Pisos con Refuerzo Horizontal y Confinamientos de Concreto Armado*. Lima: PUCP.
- D. Torrealva, D. (Junio 2003). *Serie cuadernos de adobe Titulo 1: Caracterización de daños en construcciones de adobe*. Lima: PUCP.
- Fernandez Yhosimi , Daniel Torrealva. (2009). *Sistema de refuerzo estructural en monumentos históricos en la ciudad del Cuzco*. Cuzco: PUCP.
- Fourier d’Albe, E. . (1988). *“An approach to earthquake risk management”*. Engineering Structures.
- Gallegos, H. (1989). *Albañilería Estructural: Diseño y calculo de muros*. Lima: PUCP.
- Julio Vargas, Gianfranco Ottazzi. (1981). *Investigaciones en adobe*. Lima: PUCP.
- Kuroiwa J. . (2002.). *“Reducción de desastres – Viviendo en armonía con la naturaleza”*. Lima, Perú.: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
- L. Zegarra, A. San Bartolome, D. Quiun. (1997). *Manual técnico para el reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la costa y sierra*. Lima: PUCP-GTZ-CERESIS.
- Nicola Tarque, Ángel Mosqueira. (Junio 2005). *Recomendaciones técnicas para mejorar la seguridad sísmica de viviendas de albañilería confinada de la costa peruana*. Lima, Trujillo, Arequipa, Chiclayo, Ica, Mollendo: PUCP.

- PUCP GTZ SENCICO. (2000). *Manual práctico elaborado por COPASA para la construcción*. Lima.
- RESESCO. (1997). *Reglamento para la seguridad estructural de las construcciones: folleto complementario adobe (Regulations for the structural security of constructions: complementary brochure adobe)*. Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, Ministerio de Obras . El Salvador.
- Tejada U, U. S. (2001). *Buena Tierra apuntes para el diseño y construcción con adobe*. Lima: CIDAP.
- Tolles leroy, E. (2002). *Guías de planeamiento e ingeniería para la estabilización sismo resistente de estructuras históricas de adobe*. California, Los Angeles: Getty Publications.
- Torrealva, D. (2007). *CARACTERIZACION DE DAÑOS, REPARACION Y REFUERZO EN CONSTRUCCIONES DE ADOBE*. Lima: Pucp.
- Velarde R, G. (2004). *Estudio de adobe como material natural de vivienda*. Arequipa: Los Trinos.
- Vicente, E. (2013). *Evaluación de conexión de chavetas en muros de edificaciones históricas*. Cuzco: PUCP.

12 ILUSTRACIONES Y TABLAS

Fig.1 Zonas sísmicas según Norma E.030	2
Fig.2 Lima provincias: viviendas particulares con ocupantes presentes, por material predominante en las paredes exteriores de la vivienda, Censo INEI 2007.....	4
Fig.3 Canta: viviendas particulares con ocupantes presentes, por material predominante en las paredes exteriores de la vivienda, Censo INEI 2007	4
Fig.4 Ubicación de la Provincia de Canta (Google Earth 2013)	16
Fig.5 Provincia de Canta y Distritos (Municipalidad de Canta).....	17
Fig.7 Suelo de la provincia de Canta	19
Fig.8 Adobes con piedra de 1"	22
Fig.9 Adobes con paja en la ciudad de Canta.....	23
Fig.10 Mortero de pega de 2cm de espesor, se utiliza el mismo material que para los adobes	23
Fig.11 Sobrecimiento tarrajeado con mortero de cemento (lateral) y no tarrajeado (posterior) de una vivienda en el pueblo de Apan.	25
Fig.12 Asentado típico de muros en esquina	26
Fig.13 Asentado Típico de muros, vivienda en Apan.....	26
Fig.14 Asentado típico en esquina, Vivienda en Yaso.....	27
Fig.15 Vano de puertas con dintel, vivienda en Apan.....	28
Fig.16 Elevación frontal de vivienda típica, Apan.	29
Fig.17 Terrados y cubiertas de las casas.....	30
Fig.20 Vista en planta, segunda planta	33
Fig.21 Elevación frontal.....	34
Fig.22 Elevación posterior	34
Fig.23 Elevación lateral	35
Fig.24 Corte A-A.....	35
Fig.25 Viviendas en pendiente y soportando empujes del terreno	37
Fig.26 Viviendas en pendiente y soportando empujes del terreno.	37
Fig.27 Grieta vertical en esquina superior de muro que baja hasta muro de primer nivel, Yaso.....	42
Fig.28 Grieta vertical en esquina superior de muro, Canta.....	43
Fig.29 Grieta Vertical en toda la longitud del muro, Obrajillo.....	43
Fig.30 Grieta de Corte en el plano del Muro, Viguetas apoyadas en el muro impidiendo su volteo	45
Fig.31 Grietas de corte en un muro sin vanos, con restricción al volteo por la cubierta.	45
Fig.32 Grieta en la esquina de la venta por corte y concentración de esfuerzos	47
Fig. 34 Nomenclatura de ejes para vivienda.....	55
Fig.35 Resultante de resistencia a flexión y volteo según el apoyo de sus bordes	57

Fig.36 Resultante de flexión y volteo según el apoyo de sus bordes caso 4..	58
Fig.37 Modelo en Sap2000 de vivienda de adobe típica.....	62
Fig.38 Momentos en Vivienda de abobe x 10-3 (Ton-m/m).....	62
Fig.39 Esfuerzos en Muros x 10-3 (Ton/m2).....	63
Fig.40 Cortante en Muros x 10-3 (Tonf/m).....	63
Fig.41 Momentos en Vivienda de abobe x 10-3 (Ton-m/m).....	65
Fig.42 Esfuerzos en Muros x 10-3 (Ton/m2).....	65
Fig.43 Cortante en Muros x 10-3 (Tonf/m).....	66
Fig.44 Momentos en Vivienda de abobe x 10-3 (Ton-m/m).....	67
Fig.45 Esfuerzos en Muros x 10-3 (Ton/m2).....	67
Fig.46 Cortante en Muros x 10-3 (Tonf/m).....	68
Fig.48 Grafica de variaciones porcentuales en Esfuerzos según SAP	70
Fig.49 Refuerzo con Chavetas.....	75
Tabla 1. Población según zona de residencia en provincias de Lima	9
Tabla 2 clasificación de desempeño SEAOC	14
Tabla 3. Superficie y altitud según sus Distritos.....	17
Tabla 4. Nivel de Vulnerabilidad, según el estado de sus muros.....	17
Tabla 5 Cuadro de Cargas tipología	52
Tabla 6 Valores del cociente de momentos.....	54