



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA
DE LA CASONA ESPINACH – EX PALACIO MUNICIPAL
DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera civil

Autora:

Alicia Yajaira Díaz Quiroz

Asesor:

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

Cajamarca – Perú
2015

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Alicia Yajaira Díaz Quiroz**, denominada:

**“DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA CASONA
ESPINACH – EX PALACIO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA”**

Dr.Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno
ASESOR

Dr.Ing. Orlando Aguilar Aliaga
**JURADO
PRESIDENTE**

Ing. Gerson Quispe Rodríguez
JURADO

Ing. Irene Ravines Azañero.
JURADO

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada en primer lugar 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 a afrontar el largo camino de la vida, a mi madre que me enseña con su ejemplo el significado del amor verdadero, a mi hermana Valeria quien siempre me dio ánimos para seguir adelante, haciéndome saber a cada instante que yo lograría todo lo que quisiera, a mi hermana Yesica que siempre fue uno de los pilares de la familia y con su ejemplo supo guiarme hacia el logro de mis objetivos, a mi hermano Richard quien me apoyo con su conocimiento desde el inicio de mi carrera hasta la culminación de mi tesis, a mi hermano Anthony a quien espero servirle de ejemplo.

También esta tesis va dedicada a mis compañeros de la carrera que a pesar de nuestras semejanzas y diferencias, siempre me apoyaron y me dieron fuerzas y ánimo para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis padres por haberme dado la oportunidad de estudiar esta gran carrera y a todos mis hermanos que me apoyaron a lograr mis objetivos, quisiera agradecer también a mi profesor y guía, Miguel Ángel Mosqueira Moreno quien siempre me orientó, aconsejó, apoyó y me brindó su amistad en esta investigación a pesar de las dificultades que hubo durante el estudio de esta tesis, le agradezco que haya aceptado ser mi asesor, y que me haya encaminado en el desarrollo de esta tesis.

Agradezco también al director de carrera el Ingeniero Orlando Aguilar Aliaga, quién fue un gran apoyo durante los años que estuve en la universidad, además quiero agradecer a todos y cada uno de los docentes que a lo largo de la carrera me han brindado sus conocimientos y experiencias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	15
1.3. Justificación.....	15
1.4. Limitaciones	16
1.5. Objetivos	17
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	17
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	17
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Bases Teóricas	23
2.2.1. <i>Importancia de los monumentos históricos</i>	25
2.2.2. <i>Vulnerabilidad sísmica en monumentos históricos.</i>	27
a. <i>Estructuras de tierra.</i>	29
2.2.3. <i>Características del sismo.</i>	30
a. <i>Causas de los sismos.</i>	30
b. <i>Características de los sismos</i>	31
2.2.4. <i>Tipos de daños debido a sismos</i>	34
2.2.5. <i>Comportamiento sísmico en construcciones de adobe</i>	34
a. <i>Falla por tracción en los encuentros de muros:</i>	34
b. <i>Falla por flexión:</i>	35
c. <i>Falla por corte:</i>	36
2.2.6. <i>Características de los elementos en construcciones de adobe.</i>	36
a. <i>Adobe.</i>	36
b. <i>Mortero.</i>	39
c. <i>Cimientos.</i>	40
d. <i>Vanos</i>	41
e. <i>Entrepisos</i>	42

f.	Techo:	43
g.	Escalera:	44
h.	Balcones:.....	45
i.	Elementos de piedra:	47
j.	Otros elementos arquitectónicos:	49
2.2.7.	Respuesta de edificaciones de adobe ante sismos.	50
a.	Fallas debido a fuerzas perpendiculares al plano del muro:	50
b.	Fallas debido a fuerzas cortantes al plano del muro:	52
2.2.8.	Metodología de análisis para determinar la vulnerabilidad.	54
2.2.8.1.	Fichas de reporte	54
•	Antecedentes	55
•	Aspectos técnicos	55
•	Peligros naturales potenciales	56
•	Verificación de la densidad de muros ante los sismos	56
•	Verificación de muros a corte con esfuerzos admisibles a corte de muros de adobe:	59
•	Verificación de estabilidad de muros al volteo.....	59
•	Vulnerabilidad sísmica	60
2.3.	Definición de términos básicos	62
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....		66
3.1.	Formulación de la hipótesis	66
3.2.	Operacionalización de variables	66
CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL		67
4.1.	Aplicación al caso de la Casona Espinach.	67
4.1.1.	Antecedentes.....	67
4.1.2.	Estudios previos.	68
4.1.3.	Determinación de las características de la vivienda.	69
a.	Levantamiento estructural:.....	69
b.	Ensayos realizados:.....	69
c.	Áreas tributarias por muros:.....	72
4.1.4.	Propiedades de los materiales y comportamiento.	74
a.	Propiedades del adobe:	74
4.1.5.	Ficha de reporte:.....	77
4.1.6.	Modelo dinámico:.....	86
CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....		91
5.1.	Tipo de diseño de investigación.....	91
5.2.	Material de estudio.....	91
5.2.1.	Unidad de estudio.....	91
5.2.2.	Población.	91
5.2.3.	Muestra.	91
5.3.	Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	91
5.3.1.	Para recolectar datos.....	91

5.3.2. <i>Para analizar información</i>	92
CAPÍTULO 6. RESULTADOS	93
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN	105
CONCLUSIONES	108
RECOMENDACIONES	110
REFERENCIAS	111
<i>Libros</i>	111
<i>Páginas web</i>	117
ANEXOS	118

ÍNDICE DE TABLAS

- **TABLA 1:** Fecha, magnitud, ciudades o región y consecuencias de los sismos más representativos de la historia.
- **TABLA 2:** Patrimonio monumental ante fenómenos de origen geológico, climático.
- **TABLA 3:** Porcentajes de material en adobe.
- **TABLA 4:** Factor suelo (S).
- **TABLA 5:** Coeficiente sísmico (C).
- **TABLA 6:** Factor de uso (U).
- **TABLA 7:** Valores de verificación de la densidad de muros.
- **TABLA 8:** Valores para calificación de la Vulnerabilidad.
- **TABLA 9:** Calificación para la determinación el nivel de vulnerabilidad.
- **TABLA 10:** Áreas tributarias de muros portantes.
- **TABLA 11:** Resultados del ensayo a compresión
- **TABLA 12:** Muestras seleccionadas para determinar la carga máxima total.
- **TABLA 13:** Resultados de la densidad de muros.
- **TABLA 14:** Verificación de los muros portantes a corte en el eje x del primer nivel.
- **TABLA 15:** Verificación de muros portantes a corte en el eje y, del primer nivel.
- **TABLA 16:** Verificación de los muros portantes a corte en el eje x del segundo nivel.
- **TABLA 17:** Verificación de los muros portantes a corte en el eje y del segundo nivel.
- **TABLA 18:** Estabilidad de los muros al volteo del primer nivel.
- **TABLA 19:** Estabilidad de los muros al volteo del segundo nivel.
- **TABLA 20:** Calificación de la vulnerabilidad de la casona Espinach.
- **TABLA 21:** Resultados esfuerzo sísmico a corte de los muros del primer nivel.
- **TABLA 22:** Resultados esfuerzo sísmico a corte de los muros del segundo nivel.
- **TABLA 23:** Estabilidad de muros del primer nivel.
- **TABLA 24:** Estabilidad de muros del segundo nivel.

ÍNDICE DE FIGURAS

- **FIGURA 1:** Fachada de casona afectada por factores ambientales.
- **FIGURA 2:** Casona ubicada en Jr., San Sebastián cuadra 3.
- **FIGURA 3:** Casona afectada en su estructura por la expansión distorsionada de los edificios aledaños.
- **FIGURA 4:** Distorsión estructural.
- **FIGURA 5:** Corrosión.
- **FIGURA 6:** Agentes químicos.
- **FIGURA 7:** Asentamientos en muros.
- **FIGURA 8:** City Hall Tower antes y después del llamado "Temblor de San Francisco" en 1906.
- **FIGURA 9:** Ruinas del teatro de la victoria, luego de la catástrofe del 16 de agosto de 1906 en Chile.
- **FIGURA 10:** Ruinas templo la merced luego de la catástrofe del 16 de agosto de 1906 en Chile.
- **FIGURA 11:** Plaza de armas de Ilo en ruinas.
- **FIGURA 12:** Arquería de la Plaza Mayor de Arequipa.
- **FIGURA 13:** Casona en estudio: Ex Palacio Municipal de Cajamarca.
- **FIGURA 14:** Zonas sísmicas según Norma sismoresistente.
- **FIGURA 15:** Mapa de peligros ante sismos de la ciudad de Cajamarca.
- **FIGURA 16:** Ondas Primarias (P).
- **FIGURA 17:** Ondas Secundarias o de Corte (S).
- **FIGURA 18:** Ondas Love (L).
- **FIGURA 19:** Ondas Rayleigh (R)
- **FIGURA 20:** Falla típica por tracción.
- **FIGURA 21:** Falla típica por flexión
- **FIGURA 22:** Falla típica por corte.
- **FIGURA 23:** Adobe antiguo.
- **FIGURA 24:** Prueba común para uso de material en la elaboración de adobe.
- **FIGURA 25:** Distribución de las unidades de adobe y mortero en las casonas Cajamarquinas.

- **FIGURA 26:** Cimentación ciclópea.
- **FIGURA 27:** Detalle de las ventanas principales de la casona Espinach..
- **FIGURA 28:** Detalle de portón principal de la casona Espinach.
- **FIGURA 29:** Entrepiso primer nivel de Casona.
- **FIGURA 30:** Entrepiso de segundo nivel Casona.
- **FIGURA 31:** Techo de casona vista inferior.
- **FIGURA 32:** Techo de casona vista superior.
- **FIGURA 33:** Escalera ubicada a la derecha del ingreso.
- **FIGURA 34:** Escalera ubicada a la izquierda del ingreso.
- **FIGURA 35:** Balcón corrido patio principal de la casona Espinach.
- **FIGURA 36:** Detalle de balcón corrido del patio principal.
- **FIGURA 37:** Arquería de piedra de patio principal de la casona Espinach.
- **FIGURA 38:** Portal de piedra de ingreso a zaguán.
- **FIGURA 39:** Portal de piedra de la fachada principal.
- **FIGURA 40:** Luminarias.
- **FIGURA 41:** Pileta de fierro.
- **FIGURA 42:** Jardinera.
- **FIGURA 43:** Farolas.
- **FIGURA 44:** Grieta vertical en esquina superior de muro que baja hasta muro de primer nivel.
- **FIGURA 45:** Grieta por corte en el plano del muro.
- **FIGURA 46:** Grieta en la esquina de la venta.
- **FIGURA 47:** Equipo empleado para compresión del adobe.
- **FIGURA 48:** Corte de adobe en cubos.
- **FIGURA 49:** Cubos labrados de adobe.
- **FIGURA 50:** Adobe para someter a compresión.
- **FIGURA 51:** Muestras de adobe luego de ser ensayados.
- **FIGURA 52:** Curva esfuerzo - Deformación unitaria.
- **FIGURA 53:** Determinación del peso específico del adobe.
- **FIGURA 54:** Modelo extruido de la casona Espinach.
- **FIGURA 55:** Espectro de aceleración para suelos flexibles ingresado en el SAP 2000.

- **FIGURA 56:** Estructura analizada con fuerza sísmica en X.
- **FIGURA 57:** Estructura analizada con fuerza sísmica en Y
- **FIGURA 58:** Estructura analizada con fuerza sísmica en X.
- **FIGURA 59:** Estructura analizada con fuerza sísmica en Y.
- **FIGURA 60:** Aspectos técnicos de la casona Espinach, registrados en la hoja de reporte.
- **FIGURA 61:** Antecedentes de la casona Espinach, registrados en la hoja de reporte.
- **FIGURA 62:** Deficiencias de la casona Espinach, registrados en la hoja de reporte.
- **FIGURA 63:** Peligros potenciales identificados en la casona Espinach, registrados en la hoja de reporte.
- **FIGURA 64:** Fuerza cortante para sismo en X.
- **FIGURA 65:** Fuerza cortante para sismo en Y.
- **FIGURA 66:** Desplazamiento en la dirección de X.
- **FIGURA 67:** Desplazamiento en la dirección de Y.
- **FIGURA 68:** Esfuerzo sísmico a corte de los muros de primer nivel.
- **FIGURA 69:** Esfuerzo sísmico a corte de los muros de segundo nivel
- **FIGURA 70:** Estabilidad de muros del primer nivel
- **FIGURA 71:** Esfuerzo sísmico a corte de los muros de primer nivel.

RESUMEN

Cajamarca es la ciudad más importante de la sierra norte del Perú y es conocida principalmente debido a que en 1532 los españoles capturaron al Inca Atahualpa, durante esta época se construyeron los principales templos y conventos de estilo barroco que hoy en día se pueden apreciar en el centro histórico de la ciudad, como la Catedral, el Convento de San Francisco, el Conjunto Monumental de Belén y el Convento de la Recoleta. de la época de la Colonia también quedan casonas y edificios, principalmente en la zona monumental de Cajamarca. En este trabajo de tesis se hace un estudio de la vulnerabilidad sísmica de una construcción patrimonial histórica de adobe, Casona Espinach – Ex Palacio Municipal de la Ciudad de Cajamarca. Esta casona se consideró representativa para la investigación debido a que es una estructura que aún se conserva desde hace 275 años, de la cual no se han hecho evaluaciones similares, por lo que no se sabe a ciencia cierta cuál es su estado actual, aunque se presume que es bueno, debido a su conservación y estabilidad en el presente. La casona presenta problemas como filtraciones, pequeñas fisuras y desgaste de los materiales que lo conforman, sin embargo no presenta daños estructurales visibles, aún ante la ocurrencia de diversos terremotos ocurridos, por lo cual es importante tener una visión probabilista sobre su comportamiento ante un evento sísmico futuro. La propuesta metodológica presentada en esta Tesis, está referida a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, a través de fichas de evaluación y el modelamiento de la estructura en el programa de análisis estructural SAP 2000 V. 17.2, este análisis dará un acercamiento al comportamiento y nivel de vulnerabilidad de la casona en análisis. En el documento se detalla: un amplio estado del conocimiento, los estudios realizados en los diferentes países sobre patrimonio histórico, estudios previos, propiedades mecánicas y pruebas de campo y en base a la metodología propuesta por la Pontificia Universidad Católica del Perú, con el desarrollo de la ficha de evaluación y el modelamiento de la estructura se determinó que la casona ESPINACH – EX PALACIO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA tiene alta vulnerabilidad sísmica.

ABSTRACT

Cajamarca is the most important city of the north highlands of Peru and it is known principally because in 1532 the Spanish captured the Inca Atahualpa, during this time the main temples and convents of Baroque style that today can be seen in the historic center of the city were built, as the Cathedral, the Convent of San Francisco, the Monumental Set of Belen and the Convent of the Recoleta. Of the epoch of the Cologne also large houses and buildings stay, principally in the monumental area of Cajamarca. In this Thesis work there is done a study of the seismic vulnerability of a historical hereditary construction of adobe, Large house Espinach – Former City Hall of the City of Cajamarca. This large house was considered to be representative for the investigation because it is a structure that still survives for 275 years, of which similar evaluations have not been done, therefore it is not known to true science what its current state is, although it is presumed that it is good, due to its conservation and stability in the present. The large house presents problems like filtrations, small fissures and wear of the materials that shape it, nevertheless it still does not present visible structural damages, before the occurrence of diverse happened earthquakes, so it is important to have a probabilistic view of their behavior in the future seismic event. The methodological proposal presented in this Thesis, It is referred to the evaluation of seismic vulnerability, through evaluation sheets and the modeling of the structure in the structural analysis program SAP 2000 V. 17.2, this analysis will give an approach to the behavior and level of vulnerability of the large house in analysis. The document outlined: a broad state of knowledge, studies in different countries on heritage, previous studies, mechanical properties and field testing and based on the methodology proposed by the Pontifical Catholic University of Peru, with the development of the evaluation form and the modeling of the structure it was determined that the Large house Espinach - EX Palacio Municipal de Cajamarca has high seismic vulnerability.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial existe una identidad que en gran medida ha sido construida por la humanidad, que a lo largo del tiempo ha desarrollado técnicas, tecnologías y arte, las que se han manifestado en la construcción de los edificios que hoy son un símbolo patrimonial y marcan la historia de un pueblo, dichas edificaciones demuestran el conocimiento de sus constructores en materiales y técnicas de construcción que en su época fueron adoptadas, siendo su permanencia una prueba de ello, que hasta hoy nos han heredado, sin embargo según Casas, (2012) nos dice que todo patrimonio es un conjunto muy variado de elementos heredados, de distinta naturaleza, heredados por personas, grupos sociales o la humanidad en su conjunto. Pero puede no existir la conciencia por parte de los herederos de la importancia de los bienes que reciben; es decir, dichos bienes nada significan para ellos. No existe vinculación alguna entre el bien heredado y los valores en que creen los herederos. En tal caso, el patrimonio puede desaparecer, transformarse sin que nadie se dé cuenta.

Cajamarca es considerado como “El patrimonio Histórico y Cultural de las Américas”, desde 1983, constituye un atractivo para turistas y propios, por la presencia de rastros arquitectónicos de la época pre-hispánica y colonial, destacando el Cuarto del Rescate, el Cerro Santa Apolonia, mirador natural y La Zona Monumental de la ciudad de Cajamarca (R.S. N° 2900-ME-72). Sin duda es un legado muy importante, llena de belleza e historia, es por ello que la zona monumental, posee un conjunto de bienes inmuebles de alto valor arquitectónico y artístico que sin lugar a duda no tuvieron en cuenta ningún parámetro sismoresistente, su antigüedad ha acumulado daños en la estructura haciéndolos muy vulnerables ante sismos, siendo un potencial para el estudio de la vulnerabilidad sísmica.

Cajamarca en la actualidad atraviesa por un acelerado proceso de deterioro del patrimonio cultural, en la figura 1 y figura 2, se puede apreciar una de las casonas deteriorada, siendo evidente la falta de interés por parte de los propietarios u ocupantes, quiénes están obligados a velar por la integridad y conservación de la estructura, tal como lo menciona la Norma A. 140 de Bienes Culturales Inmuebles en su artículo 32.

Fig.1: Fachada de casona afectada por factores ambientales.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig.2: Casona ubicada en Jr. San Sebastián cuadra 3.



Fuente: Elaboración propia ,2015.

Las calles de nuestro Centro Histórico albergan bellas casonas coloniales, acompañadas de arquitecturas un tanto más sencillas pero no menos importantes, que se están perdiendo dentro del proceso de crecimiento poblacional y económico. En la figura 3 se puede apreciar que la casona ha perdido gran parte de su configuración inicial, compatibilidad y conservación de todas sus partes, sin duda se está infringiendo con el artículo 34 de la Norma Bienes Culturales Inmuebles, donde menciona en uno de sus párrafos que sea cual fuere el uso que se le dé a un Monumento, no se permitirán transformaciones que vayan en menoscabo de su arquitectura y que adulteren su fisonomía original para los fines de su utilización (NORMA A. 140, 2006).

Fig.3: Casona afectada en su estructura por la expansión distorsionada de los edificios aledaños.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

La ciudad viene adoptando criterios arquitectónicos distorsionados que atenta gravemente a la configuración espacial y arquitectónica de la zona monumental, a esto se suma la escasez de espacios destinados a promover la cultura, a través de exposiciones de arte en sus diferentes expresiones (Cerna, 2012).

La falta de control urbano en la zona monumental y en toda el área central se manifiesta en el deterioro de los monumentos arquitectónicos, modificaciones inadecuadas infringiendo normas y/o sin autorización, inadecuado avisaje publicitario, congestión vehicular y desarrollo de actividades urbanas que deterioran los monumentos., la figura 4, 5, 6, 7, muestran algunos de los problemas más frecuentes encontrados en los monumentos históricos de la ciudad de Cajamarca, generada por agentes químicos, ambientales, falta de mantenimiento y conservación del patrimonio. (INDECI-PNUD, 2005).

Fig. 4: Distorsión estructural.



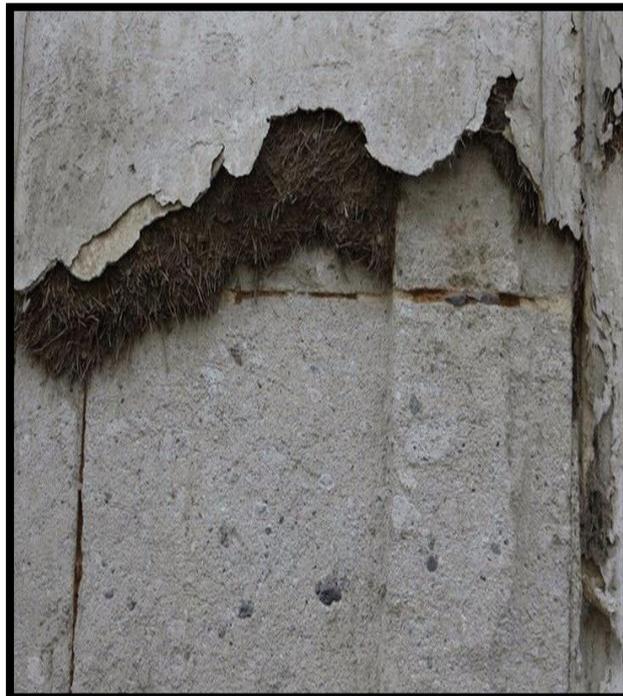
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 5: Corrosión



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 6: Agentes químicos.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig.7: Asentamientos en muros.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Las casonas son los bienes heredados de cada época que se encuentran en los distintos países del mundo. Sin embargo los peores enemigos de este tipo de construcciones antiguas son la falta de mantenimiento y la inclemencia de la naturaleza con la presencia de terremotos que han dejado grandes pérdidas históricas y humanas en países sísmicos como: Italia, Grecia, Turquía, India, China, Japón, México, Chile y Perú, coincidentemente estos países tienen una gran herencia cultural y muy antigua. (Sánchez, 2013).

A continuación se muestra un cuadro de los eventos sísmicos más representativos que han ocurrido a lo largo del tiempo. Inclemencia

Tabla N° 1: Fecha, Magnitud, Ciudades o Región y Consecuencias de los Sismos más Representativos de la Historia.

Fecha	Magnitud	Ciudades o Región	Consecuencias
1906, abril 18	8.3	Estados Unidos:California	700 muertos, llamado "Temblor de San Francisco". Ocasionó grandes danos; se observaron desplazamientos en el suelo. Después del temblor ocurrieron grandes incendios. Este fue el primer terremoto estudiado con detalle.
1906, agosto 16	8.6	Chile Valparaiso, Santiago	20.000 muertos
1908, diciembre 28	7.5	Italia: Regio	29.980 muertos
1920, diciembre 16	8.5	China Kansu y Stransi	200.000 muertos
1923, septiembre 1	8.3	Tokio Yokojawa	99.330 muertos, conocido como el terremoto de Kwanto. Tuvo desplazamientos de hasta 4.5 m y le sucedieron grandes incendios.
1927, mayo 22	8	China Nan Shan	200.000 muertos, grandes fallas, se sintió hasta Pekin.
1935, mayo 30	7.5	Paquistán Quetta	30.000 muertos, la ciudad de Quetta fue totalmente destruida.
1939, junio 25	8.3	Chile	28.000 muertos
1939, diciembre 26	7.9	Turquia Erzincan	30.000 muertos, se detectaron movimientos oscilatorios de 3.7 m de desplazamiento con movimientos trepidatorios menores.
1960, febrero 29	5.8	Marruecos Agadir	De 10.000 a 15.000 muertos, es uno de los temblores que más muertes ha ocasionado a pesar de ser baja su magnitud.
1960, mayo 22	8.5	Chile Concepcion Valparaiso	De 6.000 a 10.000 muertos, causó muchas víctimas y grandes daños en Concepción y áreas circunvecinas, dejando cerca de 2.000.000 de damnificados y daños cuantificados en más de 300 millones de dólares. Produjo un maremoto que causo daños en Hawai y Japón.
1964, marzo 28	9.2	Alaska Anchorage	173 muertos, destrucción en Alaska. Se abrieron grietas en las carreteras y los vehículos en movimiento fueron sacados de su curso. Se estimó en 129 500 kilómetros cuadrados el área de daños y produjo un maremoto registrado en las costas de Hawai. Se quebrantó seriamente la economía de Alaska
1970, mayo 31	7.7	Perú: Huara,Chimbote,Yungay	De 50.000 a 70.000 víctimas, derrumbes e inundaciones. La peor catástrofe registrada en Perú por un terremoto en este siglo.
1972, diciembre 23	5.6 6.2	Nicaragua Managua	De 4.000 a 6.000 muertos, miles de heridos. La ciudad de Managua fue casi totalmente destruida.
1976, febrero 4	6.2 7.5	Guatemala Guatemala	3.000 muertos y se calculan 76.000 heridos.
1976, agosto 27	6.3 7.9	China Noreste	655.237 muertos cerca de 800.000 heridos y danos en el área de Tanshan. Este terremoto fue probablemente el más mortífero de los últimos 4 siglos y el 2º más fuerte que registra la historia moderna.
1978, septiembre 16	7.7	Irán	De 11.000 a 15.000 muertos, muchos heridos y daños considerables en Bozonabad y áreas circunvecinas.
1984, octubre	7.1	Estados Unidos San francisco	El sismo azotó el área de la Bahía entera de San Francisco causando daños tremendos en las edificaciones del distrito de Marina. El sismo causó el colapso de la autopista de Oakland y parte del puente de la Bahía de San Francisco.
1994, enero 17	6.6	Estados Unidos	Aprox. 76 muertos, sentido en el sureste de Estados Unidos y noroeste de México. Grandes danos en obras civiles y particulares. Las ciudades más dañadas fueron los Ángeles y Santa Mónica, California.

Fuente: Goytia et al, 2001.

La tabla N° 1, muestra los sismos más representativos de la historia hasta el año de 1994, sin embargo los movimientos telúricos siempre van a ocurrir, hasta la actualidad se han registrado grandes acontecimientos sísmicos en distintos países del mundo, ya sean sismos de origen tectónico, de origen volcánico o producidos por el hombre. Siendo más devastadores los sismos de origen tectónico. (Goytia, et al. 2001).

En Estados Unidos, California, se puede observar en la Figura 8, la torre City hall antes y después del llamado "Temblor de San Francisco" el 16 de abril de 1906, donde gran parte de su identidad fue borrada por el desastre natural, en dicha época San Francisco se había convertido en una de las ciudades más bonitas de Estados Unidos, "La París de América" decían. Contaba con amplios barrios lujosos con preciosas casas victorianas, grandiosos monumentos, imponentes hoteles y una agitada vida cultural, según lo mencionado por Domingo, (2010).

Fig.8: City Hall Tower antes y después del llamado "Temblor de San Francisco" en 1906.



Fuente: (Domingo, 2010).

Sin embargo, ahí no termina la historia porque muchos años más tarde en 1984 ocurre otro gran sismo de 7.1 grados en la escala de Richter. En 1994 un sismo de menor intensidad de 6.6 grados en la escala de Richter azota nuevamente en ciudades de los Ángeles, Santa Mónica y California. Sin duda más daños, pérdidas de identidad y cultura muy aparte de las vidas humanas que se perdió en Estados Unidos. (Goytia, et al. 2001).

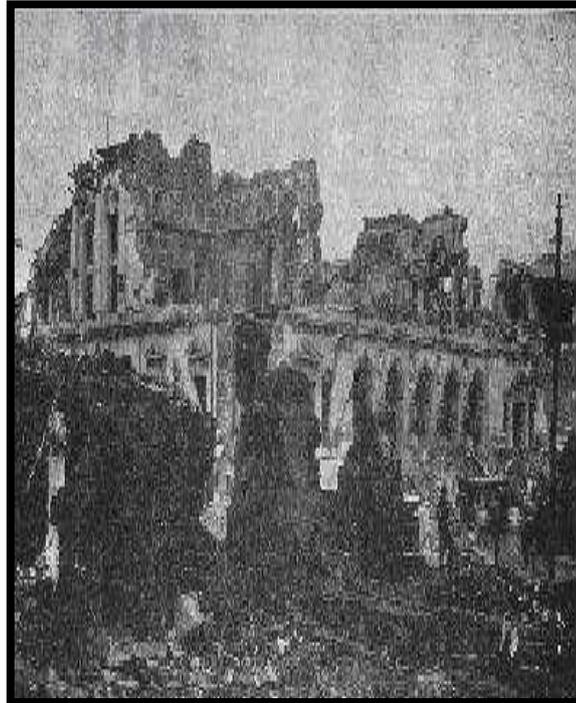
En el mismo año del sismo ocurrido en la ciudad de San Francisco, sobreviene otra catástrofe, esta vez en Chile el 16 de agosto de 1906, uno de los acontecimientos más antiguos registradas en la historia de Chile, dónde toda la ciudad de Valparaíso se vio afectada, pero no del mismo grado, esta varió de acuerdo a la naturaleza geológica de la ciudad que está conformada por suelos rocosos y arenosos, siendo los más afectados los edificios que estaban sobre suelos arenosos, que dejó a edificios valiosos e importantes en ruinas, otro de los factores agresivos fue el incendio que se desató tras el terremoto, ambos fenómenos dejaron a la ciudad con grandes pérdidas humanas, culturales y económicas; según la publicación del diario El Porvenir, citado por Sepúlveda, (2009) en su tesis de grado, Plan de Reconstrucción de Valparaíso 1906-1910: Sus Ideas Urbanas hacia el Centenario de la República.

En la figura 9, se puede apreciar uno de los daños al patrimonio de Chile dejando ruinas en el Teatro de la Victoria, luego de la catástrofe del 16 de agosto de 1906 en la República de Chile, otro de los daños causados al patrimonio fue en el templo la Merced quedando seriamente afectada, tal como se observa en la figura 10, Rodríguez, et. al. (1906) citado por Sepúlveda. (2009).

El 25 de junio de 1939 se produjo un sismo de 8.3 grados en la escala de Richter en Valparaíso y Santiago, dejando víctimas mortales, años después, el 22 de mayo de 1960 se produjo otro sismo considerado el mayor desastre registrado en la historia de Chile, con una magnitud de 8.5 en Concepción y Valparaíso, dejó cerca de 300 millones de dólares en pérdidas según lo registrado por Goytia, et al. (2001).

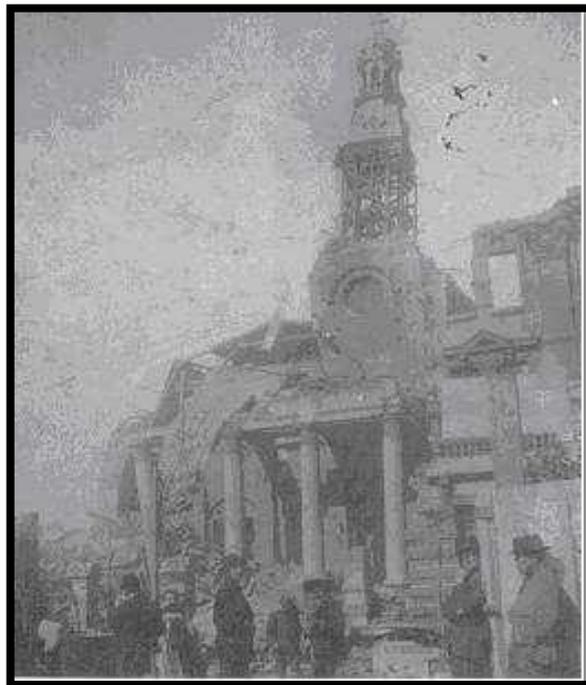
Chile es un país que actualmente está preparado para enfrentar movimientos sísmicos, con el avance de sus estudios sísmicos en infraestructuras y prevención, por otro lado la gente está educada para accionar en el preciso momento de un movimiento telúrico, sobre todo en los últimos años desde el 2010, en dónde ocurrió un sismo de 8.8 grados en la escala de Richter en la zona centro y sur de Chile causando la muerte de 156 chilenos, cuatro años después en el 2014 se registró un sismo de 8.2 en la ciudad de Iquique con daños muy insignificantes (Montes, 2014). De alguna manera esto deja ver el gran avance de dicho país que sin duda ha sabido conservar su patrimonio luego de los últimos acontecimientos sísmicos ocurridos.

Fig. 9: Ruinas del Teatro de la Victoria, luego de la catástrofe del 16 de agosto de 1906 en Chile.



Fuente: Rodríguez, et al, (1906) citado por Sepúlveda, (2009)

Fig. 10: Ruinas Templo la Merced luego de la catástrofe del 16 de agosto de 1906 en Chile.



Fuente: Rodríguez, et al, (1906) citado por Sepúlveda, (2009)

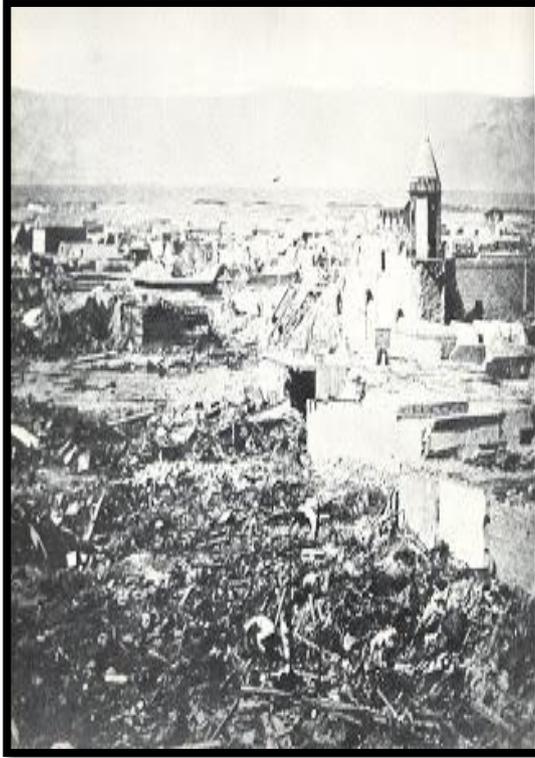
Otro de los países altamente sísmicos es México, a pesar de no estar registrado en la tabla N° 1, que el 19 de septiembre de 1985 en las zonas sur, centro y occidente, se registró un evento sísmico con una intensidad de 8.1 grados en la escala de Richter, fue el evento más desastroso ocurrido en la historia de México dejando a su paso daños en su estructura y pérdidas de vida, el factor más importante responsable de este comportamiento fue la amplificación dinámica de las ondas sísmicas incidentes en el lecho sedimentario del viejo lago de Texcoco. (CONACYT, 1986).

Nuestro país no ha sido ajeno a estos eventos sísmicos ya que se encuentra en el cinturón de fuego del pacífico, registrando según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2006), sismos ocurridos entre los años 1471- 1490, el más antiguo registrado en la historia del Perú, donde un gran terremoto destruyó el primitivo asiento de la ciudad de Arequipa, fue la época del Inca Túpac Yupanqui, en la cual perecieron todos sus habitantes y hubo la erupción del Volcán Misti, alcanzó una intensidad de VIII en escala modificada de Mercalli.

En la historia del Perú, han ocurrido un sin número de sismos, sin embargo hay algunos que han marcado la vida de todos los peruanos. Como es el caso del terremoto de 1746 en la ciudad de Lima, siendo sacudida por un sismo de magnitud entre 7.0 - 8.0 en la escala de Richter. Fue uno de los más violentos de la época colonial, destruyendo gran parte de sus edificaciones dejando en pie solo 25 de 3000 casas y causando la muerte aproximadamente 1300 de sus habitantes, un poderoso tsunami prácticamente borró del mapa al Callao, esto según Cárdenas, et al. (2010), se puede evidenciar que gran parte del patrimonio histórico y cultural se perdió en dicho evento sísmico, tal como se muestra en la figura 11 y figura 12.

Se afirma que en el año de 1868, ocurre un gran terremoto de 8.3 en la escala de Richter, sacudió la ciudad de Arica, que hasta ese entonces pertenecía a Perú, dejando al menos 1000 muertos debido al tsunami, en Tacna, Arequipa, Ilo y Moquegua, fue uno de los más terribles, las viviendas y edificaciones quedaron destrozadas, la iglesia de San Agustín de Arequipa colapsó de un momento a otro, gran parte de la ciudad quedó en ruinas (Cárdenas, et Al., 2010).

Fig. 11:Plaza de armas de Ilo en ruinas.



Fuente: Cardenas. et.Al., 2010.

Fig. 12: Arquería de la plaza mayor de Arequipa



Fuente: Cardenas. et.Al., 2010.

En 1940 en Lima- Callao, se evidencia nuevamente la inclemencia de la naturaleza afectando las costas peruanas, dónde más del 90% de las casas desaparecieron, sin embargo el mayor desastre registrado en la historia ocurre en 1970, en los departamentos de Ancash, Huánuco, La libertad y Lima, donde cerca de 3 000 personas quedaron sin hogar y sin familia. (Cárdenas, et al., 2010).

La diversidad cultural de Cajamarca es sin duda un motivo de orgullo, pues posee gran cantidad de recursos monumentales y arquitectónicos que datan de la época colonial y republicana, los cuales se encuentra en un escenario de fenómenos naturales, que se presentan de manera inesperada, tal como menciona la norma técnica de diseño sismoresistente (Norma E.030, 2006), Cajamarca se encuentra en la zona 3 colocándolo en un nivel de alta sismicidad, y aunque no se ha producido la liberación de energía de gran intensidad, existe la probabilidad de que se produzca un sismo de magnitud considerable y con intensidades que varían de severo a destructor.

De acuerdo al Estudio: "Mapa de Peligros de la Ciudad de Cajamarca", los niveles de peligro sísmico están definidos por las condiciones del sitio, dada su geología y por las características del suelo (consideraciones tectónicas, geológicas y geomorfológicas), que determinan las variaciones de intensidad sísmica en el área urbana. (INDECI, 2005).

La casona Espinach se encuentra en un nivel de peligro severa, tal como se muestra en la tabla N° 2, es una de las casonas más tradicionales de Cajamarca de estilo barroco, que data de una antigüedad de 275 años, su estado de conservación es moderado, en cuanto a los materiales de construcción predominantes están el adobe y la piedra. Fue construida en el año de 1740, a partir del año de 1954 funcionó como Municipalidad Provincial de Cajamarca, actualmente es de uso múltiple en las que se encuentran ambientes como: salón de conferencias, centro de masoterapias, biblioteca, sala infantil, oficinas, entre otros ambientes importantes para el uso de la comunidad cajamarquina. Es sin duda un atractivo para realizar estudios de vulnerabilidad y así determinar y predecir cuál será el comportamiento de la casona Espinach de Cajamarca si se presentara un sismo de magnitud moderada (INDECI, 2005).

Tabla 2: Patrimonio monumental ante fenómenos de origen geológico, climático.

USO	N°	DESCRIPCIÓN	PELIGROS									SINTESIS DE PELIGROS				
			GEOLOGICO			CLIMATICO			GEOLOGICO - CLIMATICO							
			SISMOS			INUNDACIONES			DESPLAZAMIENTOS							
			MUY SEVERO	SEVERO	MODERADO	LEVE	ZONAS DE MAYOR INUNDACION	ZONAS DE MENOR INUNDACION	EXISTENTES	PROBABLES	MENORES	MUY ALTO	ALTO MAS	ALTO	MEDIO	BAJO
	1	Plaza Recoleta		X										X		
	2	Plaza Amalia Puga		X										X		
	3	Plaza de las Monjas		X										X		
	4	Plaza Belén		X										X		
	5	Plazuela San Francisco		X										X		
	6	Atrio de San Francisco		X										X		
	7	Plaza San Pedro		X						X			X			
	8	Iglesia de Belen de Cajamarca		X										X		
	9	Iglesia y Monasterio de la Concepción de Cajamarca		X										X		
	10	Iglesia de la Recoleta de Cajamarca		X										X		
	11	Iglesia de San Francisco (San Antonio) de Cajamarca		X										X		
	12	Iglesia parroquial de San José de Cajamarca			X					X			X			
	13	Catedral de Cajamarca (Iglesia de Sta. Catalina) e Iglesia		X										X		
	14	Arco "13 de Julio de 1882" o Arco del Triunfo		X						X				X		
	15	Asilo de Ancianos (Local antiguo, Obispo Grozo)		X						X			X			
	16	Cuarto del Rescate		X										X		
	17	Hospital de Hombres de Belen de Cajamarca		X										X		
	18	Hospital de Mujeres de Belen de Cajamarca		X										X		
	19	Iglesia y Convento de la Merced de Cajamarca (Mercado)		X						X				X		
	20	Municipalidad de Cajamarca		X										X		
	21	Pila de la Plaza de Armas de Cajamarca		X										X		
	22	Teatro Municipal de Cajamarca		X										X		
	23	Obispado de Cajamarca		X						X			X			
	24	Antigua Casa de Correos y Escuela Municipal		X										X		
	25	Antiguo Hotel La Estrella del Norte		X										X		
	26	Antiguo Beaterio de La Merced		X						X				X		
	27	Colegio Industrial de la Merced		X										X		
	28	Corte Superior de Justicia		X						X				X		
	29	Centro Educativo Primaria N° 83004		X										X		
	30	(sin denominación)		X						X			X			
	31	Casa de Andrés Mejía Zegarra		X						X				X		
	32	Casa de Germán Villanueva (sólo portada)		X										X		
	33	(sin denominación)		X										X		
	34	(sin denominación)		X										X		
	35	Casa del Coronel Vicente Barrantes y Barrantes		X										X		
	36	(sin denominación)		X										X		
	37	Casa del Comde de Uceda (Banco de Crédito)		X						X				X		
	38	Casa de la Fundación		X						X			X			
	39	Casa de Amanda Agustí (casa de Prado y Castro Agustí)		X						X				X		
	40	Casa de Rosa Fusconi e Iglesias		X						X				X		
	41	Casa de Modesto Javregui		X						X				X		
	42	Casa de Wenceslao Valera Villacorta		X						X				X		
	43	Casa de la Familia Villacorta		X						X				X		
	44	Casa de la Familia Hurtado (Iglesia Evangélica)		X						X				X		
	45	(sin denominación)		X						X				X		
	46	Casa de Don Pedro Villanueva		X						X				X		
	47	Casa del Antiguo Diario Correo del Norte		X						X				X		
	48	Casa de la Familia Zañartu		X											X	
	49	Casa de Joaquín Gutiérrez		X										X		
	50	Casa del cara Fidel Chavez		X										X		

Fuente: INDECI- PNUD. (2005).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica de la casona Espinach – Ex palacio municipal en la ciudad de Cajamarca?

1.3. Justificación

Nuestro país se encuentra ubicado en el cinturón de fuego del pacífico, por ende es afectado por más del 80 % de sismos que se desatan en el planeta, la presencia de este gran número de emergencias afectan el patrimonio arquitectónico, generando daños estructurales en edificios históricos, pérdidas en costo y vidas humanas, pero sobre todo pérdidas de cultura e identidad, es por ello la importancia del estudio de vulnerabilidad en este tipo de construcciones, así se tendrá una expectativa concreta ante la presencia de un sismo, conocer como el fenómeno sísmico podría causar estragos en las viviendas de la zona monumental de Cajamarca y qué medidas se viene aplicando a fin de atenuar los desastres.

Cajamarca es considerado como “El Patrimonio Histórico y Cultural de las Américas”, desde 1983, constituye un atractivo para turistas y propios, por la presencia de rastros arquitectónicos de la época pre-hispánica y colonial, (R.S. N° 2900-ME-72). Sin duda es un gran legado llena de belleza e historia. La zona monumental, posee un conjunto de bienes inmuebles de alto valor arquitectónico y artístico que sin lugar a duda no tuvieron en cuenta ningún parámetro sismoresistente, su antigüedad ha acumulado daños en la estructura haciéndolos muy vulnerables ante sismos, siendo un potencial turístico y económico del país, es preciso la preservación de nuestro patrimonio.

En consecuencia la materia del presente estudio abarca la determinación de la vulnerabilidad sísmica de monumentos históricos de adobe, utilizando como modelo de análisis a la casona Espinach Ex Palacio Municipal de Cajamarca, teniendo en consideración cada uno de los elementos que forman parte de la estructura, de esta manera se conocerá el comportamiento ante un sismo así aportar en el proceso de toma de decisiones por parte de la entidad priorizando el mantenimiento y refuerzo de la estructura.

Fig.13: Casona en estudio: Ex Palacio Municipal de Cajamarca.



Fuente: Elaboracion propia. (2005).

Teniendo en cuenta la experiencia ya vivida en países que como el nuestro, son grandemente afectados por sismos de distintas escalas y como consecuencia ha generado pérdidas en la historia, cultura y economía, se presenta la necesidad de analizar la seguridad sísmica de la casona. Por otro lado existe la necesidad de realizar esta evaluación para poder obtener el título profesional de la carrera de ingeniería civil.

1.4. Limitaciones

- El presente estudio abarca solamente el análisis de la vulnerabilidad sísmica, sin intervenir en los sistemas de reforzamiento de la estructura.
- Se hará únicamente la evaluación de la casona con valor monumental a conservar, la cual fue declarada como Monumento Histórico el 28 de diciembre de 1972.
- Solo se realizará la evaluación de los elementos de adobe, mas no de la parte lítica de la casona.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la vulnerabilidad sísmica de la casona Espinach – Ex Palacio Municipal en la Ciudad de Cajamarca

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la resistencia a compresión del adobe.
- Determinar la densidad de muros por niveles, en la dirección de X y la dirección de Y de la casona en estudio.
- Determinar el esfuerzo sísmico a corte de los muros portantes por nivel, y comparar con el esfuerzo admisible establecido por la norma E.080 - Adobe.
- Determinar la estabilidad de los muros no estructurales (tabiquería), por los dos niveles de la casona.
- Determinar el comportamiento de la estructura, usando el programa de Ingeniería en Análisis Estructural SAP 2000 V17.2.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Muchos países que han sido afectados por sismos han desarrollado una gran experiencia en conservación y restauración, durante los últimos años se han hecho grandes inversiones en dichos estudios de la investigación, que han generado avances en las áreas de inspección, pruebas no destructivas, monitorización y análisis estructurales de las construcciones históricas. Estos desarrollos permiten medidas correctivas más seguras, económicas y adecuadas, las estructuras antiguas como muy comúnmente existen en nuestro país requieren de una evaluación la cual debe ser detallada y específica, en cada una de las casonas el comportamiento sísmico varía, según las características que posee, para una correcta evaluación se requieren de procesos que se tienen en cuenta en la construcción, el tipo de Materiales usados, las cargas solicitantes que han estado actuando, las reparaciones que se han hecho y los fenómenos naturales, por supuesto incluyendo sismos que ha soportado. Estas variables son muy importantes a la hora de modelar la estructura, ya que cada particularidad hace de cada una de estas estructuras, única en su tipo. (Peña, et al., 2007).

Los antecedentes de la referida investigación, luego de haberse realizado la búsqueda bibliográfica se orientó a determinar a aquellas Instituciones o Investigadores que han efectuado estudios relacionados con las propiedades sismoresistentes en construcciones de adobe, quiénes de alguna manera contribuirán a su desarrollo y para lo cual se señala a continuación:

Italia:

Entre las distintas investigaciones realizadas a nivel mundial, en Italia se analizó el comportamiento sísmico de un importante palacio renacentista llamado Palacio de San Francesco o con su nombre más conocido, Palazzo Renata di Francia (Mallardo, et al., 2008). Con el análisis no lineal en 3D se mostró que el edificio

fallaba con acciones fuera del plano con bajos coeficientes sísmicos. Se analizó la fachada principal con 3 diferentes modelos en 2D no lineales, el modelo fue propuesto por Podesta, (2005), este modelo permitió el análisis de la estructura usando un armazón (“shell”) no lineal, tanto del tipo estático como dinámico. Con su aplicación en la iglesia de San Rocco, en Sellano, el modelo fue capaz de simular muy bien la respuesta de la estructura bajo la acción sísmica.

Otras investigaciones realizadas en Italia, son las realizadas por Mazzolani, (2008), quien desarrolla las pruebas experimentales y análisis numéricos, llevados a cabo en cinco diferentes niveles: modelos completos a escala, modelos a gran escala, subsistemas, artefactos, materiales y elementos. Se han obtenido resultados alentadores que podrían motivar a usar estas técnicas en la protección sísmica de construcciones patrimoniales.

España:

En España existe un gran repertorio de construcciones y edificios históricos, Málaga es la ciudad más sísmica de la península ibérica, Goded. et al. (2007), realizaron una investigación para reevaluar los daños sísmicos producidos por éstos sismos en Málaga. Se realizó un estudio preliminar de los grados reales observados. Gracias a lo detallado de la información recopilada, se pudo conocer su estado de conservación, reparaciones realizadas, calidad de los materiales, etc.

Martínez, (2007), presentaron una metodología para la caracterización dinámica de edificios históricos de grandes dimensiones, partiendo desde un modelo estructural calibrado, mediante los resultados obtenidos a partir de la medición de vibraciones ambientales en diferentes puntos de la estructura. Este método resultó productivo, ya que permite calibrar de una manera simple un modelo analítico complejo y de esta manera estar en condiciones de contar con propiedades mecánicas para los diferentes materiales que servirán como punto de partida para realizar análisis estructurales no lineales, considerando las acciones sísmicas más adecuadas para

el sitio. Este modelo sirvió como base para el estudio de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de la catedral de Mallorca.

Portugal:

En Portugal existe un gran patrimonio histórico, muchos edificios han sido dañados por los diferentes terremotos, investigadores han trabajado en la caracterización de los monumentos históricos. Oliveira. et al. (1992) hicieron una base de datos con los daños provocados por el terremoto de Azores en 1980. Se clasificaron las iglesias en función del tamaño. Para cada categoría se definió el tipo de material, el tipo de diseño estructural y los elementos estructurales, el tipo de techo, dimensiones principales y geometría, etc. Otro tipo de información importante incluye la existencia de cambios y reparaciones hechas.

La importancia primordial de esta base de datos es para tomar atención sobre el estado de deterioro de estas estructuras, ayudando en caso de un terremoto, a los equipos encargados en la determinación de las que requieren un análisis más urgente. Utilizar los datos de las estructuras dañadas permitiría, en un gran número de casos, determinar la correlación del daño con las características del movimiento del suelo y el tipo de estructuras (Oliveira, 2003).

Jordania:

En la ciudad de Petra, Jordania, se encuentra el Palacio del Hijo del Faraón, fue construida entre los años 30 A.C. y 40 D.C. con mampostería de piedra, Bani-Hani y Barakat, (2006), realizaron análisis de elementos finitos para comprender la situación actual de la estructura, para ello extrajeron las propiedades geométricas y mecánicas de estudios preliminares y los escenarios de reparación propuestos. Se diseñaron medidas simples de reparación en 2D y 3D, respetando el valor histórico del edificio.

Estados unidos:

La arquitectura en Estados Unidos tiene una historia relativamente nueva, los edificios son modernos, sin embargo durante 1999, dentro del concepto de estructuras históricas vulnerables, se desarrolló la metodología Hazus por la Federal Emergency Management Agency (FEMA) para estimación de pérdida por distintos riesgos naturales. Esta evalúa la vulnerabilidad de varios tipos de construcción norteamericanos combinando la observación con análisis de estructuras no lineales. Sin embargo las funciones de vulnerabilidad utilizadas por este método son sólo aplicables para edificios de ese tipo, que son más actuales que los edificios históricos de Europa o de Centro y Sudamérica por ejemplo. Por lo tanto sería interesante desarrollar las herramientas necesarias para establecer las funciones de vulnerabilidad aplicables a estas. (Martínez., 2007)

México:

México es un país que posee un abundante número de edificios históricos de mampostería y que forman parte de su patrimonio cultural por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). La mayoría fueron construidos durante los siglos XVI y XIX y han sufrido diversos niveles y tipos de daños. De La Torre, et al. (2004), evaluaron las reparaciones realizadas a algunos edificios históricos en México durante los últimos 50 años, Las estructuras intervenidas han presentado resultados muy diversos: en algunos casos las soluciones fueron eficientes y en otros se cambió el comportamiento local, contribuyendo a las fallas. Además, con la información recogida, puedo verse que la proximidad entre los períodos asociados al modo fundamental de vibración de este tipo de edificios y el suelo, amplifica la respuesta dinámica de las estructuras, causando un mayor deterioro en las características mecánicas de los elementos que la integran.

Se concluyó que las soluciones tradicionalmente usadas y que han probado tener mayor efectividad, son las que incorporan elementos de refuerzo locales pero uniformemente distribuidos a lo largo de las naves. Por otra parte, a causa de los edificios donde las soluciones no fueron adecuadas, se recalca la necesidad de

mejores análisis para corroborar o descartar hipótesis de parámetros de diseño sísmico. (De La Torre, et al, 2004).

Chile:

El primer indicio de investigaciones en la conservación de estructuras patrimoniales fue en el 2008, con un trabajo de tesis sobre la vulnerabilidad de edificios históricos en Valparaíso (Sturm, 2008). Los objetivos principales de esta investigación fueron: generar una metodología para el estudio de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de mampostería, también llamados palacios de la zona histórica de Valparaíso, y comparar los resultados con resultados de otros países que posean también una alta sismicidad.

Perú:

Una investigación importante, fue realizada en la Catedral de Cusco compuesta por 3 templos unidos, construidos en distintas etapas, su estructura está compuesta por muros de adobe, pilares y bloques de piedra. Ha sufrido daños severos por varios sismos durante su existencia y por lo menos 5 procesos de reconstrucción o rehabilitación. (Proaño, et al. 2003).

Proaño, et al. (2003), para diagnosticar el comportamiento sísmico de su estructura, realizaron tres modelos numéricos basados en análisis de elementos finitos. Para la caracterización de los materiales se ensayaron probetas provenientes de la estructura. También se realizó un análisis de la mecánica de suelos, encontrándose que el terreno era apropiado y que los asentamientos elásticos fueron producidos durante la etapa de construcción y no tenía relación con los daños observados. Con los resultados de los análisis se obtuvo que si bien presenta cierta capacidad para soportar acciones sísmicas, ésta no soportaría un sismo importante ya que posee demasiado peso en proporción a la capacidad resistente y poca ductilidad.

Otra investigación importante fue el Palacio Legislativo del Congreso de la República, para su evaluación estructural se realizaron una serie de inspecciones técnicas para observar su estado actual. Se midieron las vibraciones ambientales (microtrepidaciones) para determinar las características dinámicas reales del edificio y se extrajeron muestras para la determinación de sus propiedades mecánicas. El modelo para el análisis sísmico lineal tridimensional con elementos tipo cascara, mostró que este edificio tiene un comportamiento relativamente aceptable frente a sismos leves y moderados (Zavala, et al., 2003).

2.2. Bases Teóricas

Según Zelaya (2007), en su tesis “Estudio Sobre Diseño Sísmico en Construcciones de Adobe y su Incidencia en la Reducción de Desastres, menciona lo dicho por Julio Kuroiwa, Ernesto Deza y Hugo Jaén: la gran actividad sísmica en nuestro territorio ha cobrado siempre sus mayores víctimas en las construcciones de adobe. “...Más del 90 por ciento de los edificios dañados eran de adobe y su colapso causó más de 40 000 muertes”. Por otro lado, sin embargo, algunas construcciones de adobe resistieron sorprendentemente, los embates del sismo, las mismas que fueron construidas sobre terreno rocoso, donde los daños son mínimos. Debe aceptarse, entonces, que existen ciertas condiciones bajo las cuales este tipo de construcción puede ofrecer un comportamiento “satisfactorio” ante sismos severos.

A nivel mundial las edificaciones y monumentos históricos son considerados como patrimonio ya que están vinculados con la historia de los pueblos, por lo que deben de ser resguardados y protegidos como testimonio cultural de un país. (Arechederra, 2010). Sin duda no podemos dejar de lado que dicho patrimonio muchas veces se ha perdido por los fenómenos naturales y por el hombre mismo; pero por otro lado muchos de ellos se han mantenido de pie demostrando los conocimientos de los antiguos constructores. Gracias a las enseñanzas obtenidas con los errores estructurales o constructivos cometidos y los daños causados por

accidentes, como los sismos, se ha logrado la perfección de las edificaciones hasta lograr estructuras cada vez más eficientes.

Como sabemos nuestro país es altamente sísmico, se considera dividido en tres zonas de acuerdo a la sismicidad observada tal como lo dice la norma E030, Cajamarca se ubica en la zona 3 y su factor de aceleración máxima ($Z=0.4$), estas condiciones son las más severas y han afectado hace varias épocas el patrimonio arquitectónico, siendo un tema importante los estudios de ingeniería sobre la protección y conservación de las construcciones históricas. (Norma E.030, 2006).

Fig.14. Zonas sísmicas según norma sismoresistente.



Fuente: Norma E.030, 2006.

La conservación del patrimonio arquitectónico es una tarea compleja que necesita la participación multidisciplinaria para alcanzar buenos resultados. Se requiere analizar las edificaciones históricas en la integridad de todos sus componentes, puesto que el valor de cada edificio no se basa solo en la apariencia de sus elementos, sino que ellos representan una manera de construir específica de una época y lugar determinados; de hecho, algunos monumentos históricos constituyen

en sí mismos un logro desde el punto de vista estructural. Su permanencia es una prueba de los conocimientos que los antiguos constructores tenían acerca de los materiales y sistemas de construcción de su tiempo. (Arechederra, 2010).

Generalmente en Cajamarca como en el resto del país las casas son de adobe y piedra, estas características hacen que el estudio sea más complejo, que requiere en el proceso de análisis de la vulnerabilidad, el enorme número de combinaciones generadas por la geometría, la naturaleza y unidades, así como las características de los morteros, genera dudas sobre la exactitud de la expresión mampostería. No obstante, las investigaciones experimentales actualmente se han concentrado en la mampostería de ladrillo y de bloque, y su pertinencia para el diseño. Esto es ideal para un modelado preciso a la hora de hacer un análisis estructural profundo en construcciones de este tipo, (Lourenco, 2006).

2.2.1. Importancia de los monumentos históricos

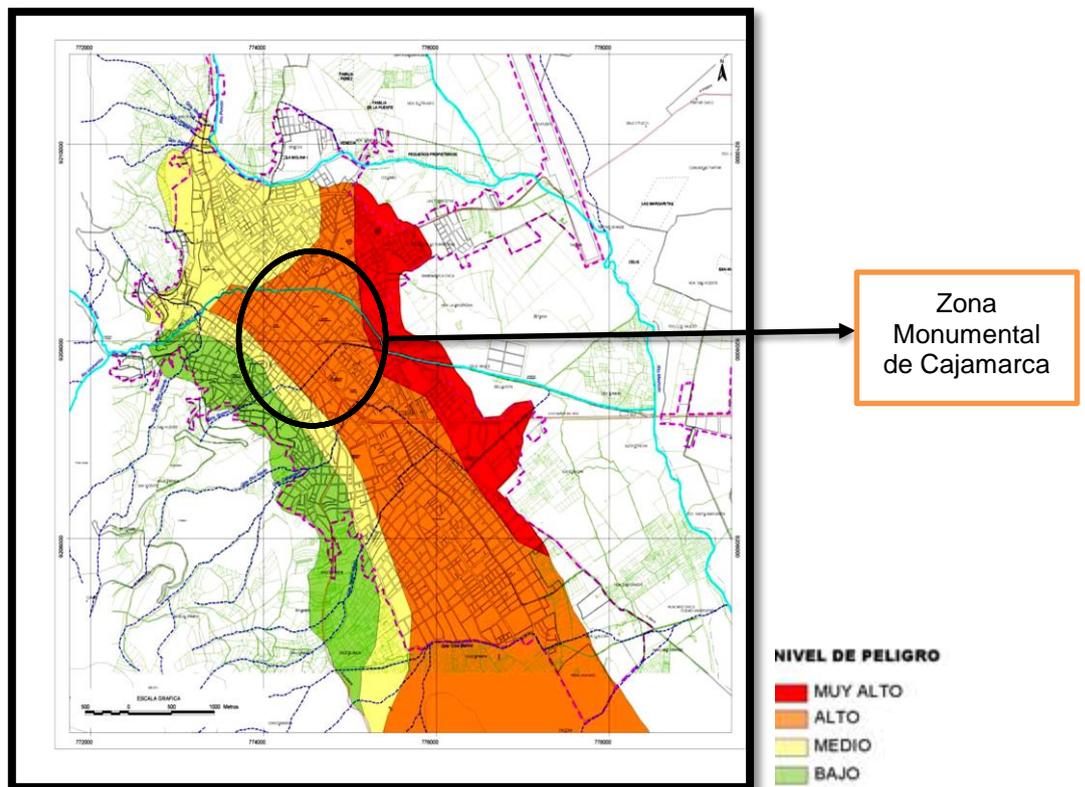
Los Monumentos Históricos son construcciones que podemos ver en casi todos los países y ciudades, estos son considerados como elementos y símbolos tangibles de mucha importancia en la historia de un pueblo, dónde queda la huella de la serie de eventos que constituyen las memorias del nacimiento de una sociedad, que sobreviven en medio del ambiente urbano y las construcciones modernas. En un estudio realizado por Casas, (2012), menciona que el patrimonio edificado, tradicionalmente denominado monumental, es la parte material o tangible del patrimonio cultural.

Se orienta esta terminología desde hace buen tiempo y sin olvidar los bienes muebles, a lo que constituyen las creaciones paisajísticas, urbanísticas, arquitectónicas y vernáculas del ser humano. No olvidemos que “monumento” en su sentido etimológico y más amplio significa, Testimonio o memoria. Generalmente los materiales, forma de edificación y configuración depende básicamente del punto del planeta en donde se

encuentren dichas construcciones históricas, únicas en cada una de ellas. Es por ello que su estudio requiere de una gran minuciosidad, y debe ser de manera individual ya que cada una reacciona diferente frente a las cargas dinámicas y eventos sísmicos. Casas, (2012),

En la zona monumental de Cajamarca existe un conjunto de bienes inmuebles de alto valor arquitectónico y artístico que se encuentran con diferente rango de peligro ante fenómenos sísmicos tal como se muestra en la figura 15, donde se muestran nivel de peligro desde muy alta a bajo, esto difiere en función de su geología, además de ello se considera que los antiguos constructores no tuvieron en cuenta ningún parámetro sismoresistente y su antigüedad ha acumulado daños en la estructura haciéndolos muy vulnerables ante sismos.(INDECI - PNUD, 2006)

Fig.15: Mapa de peligros ante sismos de la ciudad de Cajamarca.



Fuente: INDECI - PNUD, 2006

2.2.2. Vulnerabilidad sísmica en monumentos históricos.

El paso del tiempo y factores ambientales son los principales causantes de que nuestro patrimonio cultural sea vulnerable a las cargas dinámicas y su principal amenaza, los terremotos, generan el colapso total o de una parte de la estructura de manera impredecible, ya que muchas de estas construcciones no están sujetas a un continuo y adecuado mantenimiento y una gran parte presenta problemas estructurales serios, los que amenazan la seguridad de los edificios y de las personas. Cada catástrofe sísmica pone en evidencia el mal funcionamiento de un edificio y la necesidad de intervenir todas aquellas estructuras que han sido diseñadas con un criterio de normativa antiguo o, más aún, que han sido construidas antes de que existiera una normativa que regulara el diseño. (Sánchez, 2013)

El concepto de vulnerabilidad sísmica es indispensable en estudios sobre riesgo sísmico y para la mitigación de desastres por terremotos. Por otra parte, la mitigación de desastres en el ámbito de la ingeniería, corresponde a la totalidad de las acciones que tienen como objetivo la mejora del comportamiento sísmico de los edificios de una zona a fin de reducir los costos de los daños esperados después de un terremoto (Barbat, 1998), resulta evidente que para mitigar el riesgo sísmico de una zona es necesario disminuir la amenaza, la vulnerabilidad y el costo de reparación de las estructuras afectadas.

El concepto de vulnerabilidad sísmica puede definirse como la predisposición de una estructura de ser susceptible a sufrir cierto daño a consecuencia de un terremoto de cierta intensidad. Otro concepto importante, es el riesgo sísmico, que equivale a la probabilidad de pérdida en la estructura como consecuencia de un terremoto con una cierta intensidad y durante cierto período de exposición. Por otro lado, la función de vulnerabilidad de una estructura es aquella que describe de forma

gráfica o matemática su vulnerabilidad para varias intensidades de movimiento del suelo. Estas intensidades del movimiento se expresan en un parámetro físico que puede ser la aceleración máxima del terreno o la intensidad en cualquier escala macrosísmica (Caicedo, et al., 1994). Estos conceptos están íntimamente relacionados entre sí.

La vulnerabilidad sísmica es una característica intrínseca de cada estructura, que depende del criterio que se empleó para su diseño pero es independiente de la peligrosidad sísmica del sitio donde está ubicada la estructura. Cada estructura o tipo de estructuras, tiene su propia función de vulnerabilidad y la determinación de ésta es variada para comportamientos estructurales distintos (Caicedo, et al., 1994).

Hay dos tipos de daño sísmico: el daño estructural y el daño no estructural, dependiendo si el elemento con el grado de daño forma parte o no del sistema resistente de la edificación. Estos daños se relacionan, correspondientemente, con la vulnerabilidad estructural y la vulnerabilidad no estructural.

La **vulnerabilidad no estructural** está asociada a la susceptibilidad de los elementos o componentes no estructurales de sufrir daño debido a un sismo, lo que se llama daño sísmico no estructural entre los elementos no estructurales se tiene, tabiquerías, puertas, ventanas, etc, (Cardona, 1999).

Por otro lado la **vulnerabilidad estructural** se asocia a la susceptibilidad de los elementos o componentes estructurales de sufrir daño. Éste comprende el deterioro físico de aquellos elementos o componentes que forman parte integrante del sistema resistente y es el que tradicionalmente ha recibido la atención de los especialistas (Safina, 2002).

a. Estructuras de tierra.

En el Perú muchas de las edificaciones del período colonial español, fueron construidas en mampostería de adobe o tapial. Estos eran los materiales predominantes para la construcción de las iglesias y de las casas de la época, ya que era lo que estaba disponible en la región, los trabajos lo realizaban por lo general artesanos locales. (Velarde, 2014)

Por su antigüedad, las funciones que cumplieron y su diseño, los edificios de adobe y tapial son considerados como edificios de gran valor histórico.

En estas estructuras, la alta vulnerabilidad sísmica ha sido claramente identificada y muchas de éstas han sido reparadas y reconstruidas varias veces en el mismo sitio, después de un terremoto. En diversos terremotos ocurridos en todo el mundo, las estructuras construidas con este material, han demostrado tener un mal comportamiento, colapsando en forma muy rápida, incluso por sismos moderados, provocando pérdida de vidas humanas y económicas, además de las culturales y patrimoniales (Yamin, et al., 2003).

Según Guerrero, (2007), bajo el término arquitectura de tierra se engloba toda la serie de estructuras en las que el suelo natural es acondicionado mediante procedimientos de humidificación, transformación y secado al sol, para edificar elementos constructivos que hagan posible la habitabilidad de los espacios. La base de este proceso radica en la capacidad de las partículas que integran la tierra, de ser alteradas mediante mecanismos sencillos que permiten modificar la forma del conjunto y que le confieren solidez y estabilidad físico-química dentro de rangos de equilibrio específicos.

Las construcciones históricas de tierra han sido capaces de soportar los diversos eventos sísmicos a lo largo de los siglos. La reducción de la vulnerabilidad sísmica de edificios históricos y culturales de este material,

involucra consideraciones adicionales a los procesos de rehabilitación de edificios convencionales, tales como mantener lo más inalterado posible las características históricas y culturales. (Yamin, et al., 2003).

2.2.3. Características del sismo.

Según Zelaya, (2007), en su tesis de maestría define el sismo como movimiento de la corteza terrestre o como la vibración del suelo, causado por la energía mecánica emitida de los mantos superiores de la corteza terrestre, en una repentina liberación de la deformación acumulada en un volumen limitado. El paso de un camión, de un tren, pueden producir una pequeña vibración en la superficie terrestre, este fenómeno podemos relacionarlo con un Microsismo o un Temblor. Una erupción volcánica o un movimiento distrófico pueden originar una vibración fuerte dando lugar a un Macrosismo o Terremoto.

Hipocentro: Un sismo originado en un pequeño volumen, debajo de la tierra, el cual puede ser representado como un punto, es denominado hipocentro, para fines de estudio (Zelaya, 2007).

Epicentro: La proyección vertical, sobre la superficie de la tierra, del punto que representa el hipocentro, se denomina epicentro. (Zelaya, 2007).

Hay zonas de mayor sismicidad en el mundo:

Zona Circum – Pacífico (están ubicados el Perú y el Japón)

Zona Alpina Mediterránea (Ej. Yugoslavia).

a. Causas de los sismos.

De acuerdo a los estudios realizados, se puede decir que las causas de los sismos son:

La Actividad volcánica y el diastrofismo.

Si observamos un mapa del mundo, se puede ver que las áreas volcánicas y las zonas sísmicas coinciden, esto dio, por origen, a que se pensara por mucho tiempo que la causa principal de los terremotos eran las erupciones volcánicas. Ciertamente es que los volcanes al entrar en actividad pueden producir fuertes sismos, pero estos son de tipo local y menos intensos que los sismos de origen distrófico. Las numerosas investigaciones que se realizan en el mundo, indican que los sismos más fuertes que sacuden la litósfera, se deben al diastrofismo. Cuando se origina una falla, o cuando se deslizan los bloques a lo largo del plano de falla, estas producen sacudidas de la corteza terrestre. Los sismos de esta clase son los llamados Tectónicos. (Zelaya, 2007).

b. Características de los sismos

Zelaya, (2007), dentro de su estudio señala las características más importantes de un sismo los cuales son detallados a continuación.

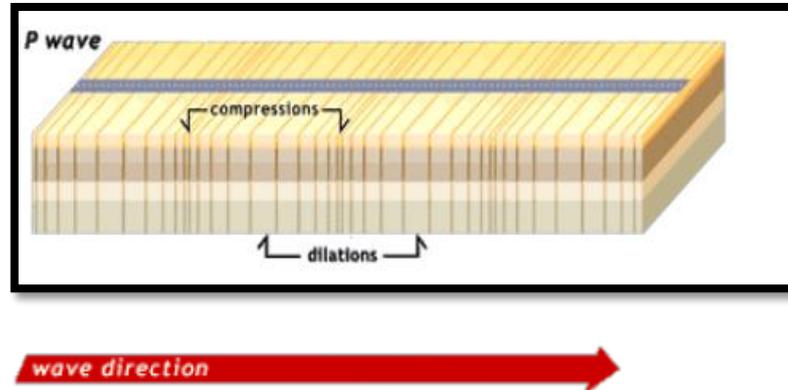
Ondas sísmicas: Producido el sismo, esta enorme cantidad de energía se propaga en forma tridimensional desde su origen, en forma de “ondas elásticas”. Estas ondas se pueden transmitir a través del mismo cuerpo sólido (masa terrestre) o a través de la superficie que separa 2 cuerpos. Esto da lugar a la siguiente clasificación. (Zelaya, 2007).

- **Ondas Corporales**

Ondas primarias (P): Son los que hacen que las partículas vibren en la dirección de propagación de las ondas produciendo sólo compresión y dilatación. Estas ondas pueden transmitirse a través de medios, Sólidos, Líquidos y Gaseosos.

Estas ondas son de tipo sonoro y su velocidad de propagación varía entre 1 Km/seg, para suelos blandos no consolidados y 14 Km/seg, para la parte más profunda del manto. (Zelaya, 2007).

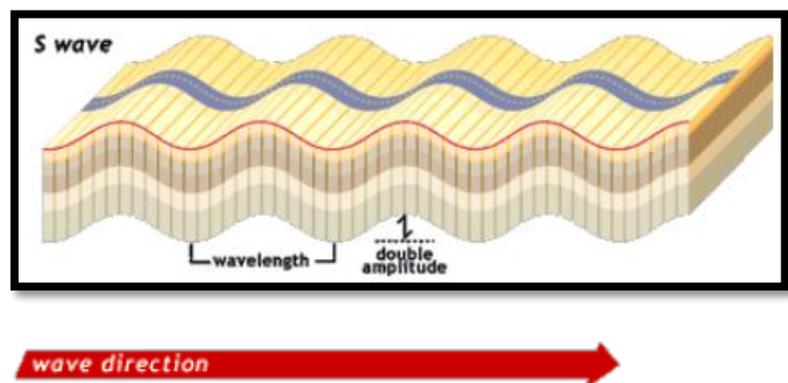
Fig. 16: Ondas Primarias (P).



Fuente: Goytia, et al, 2001.

Ondas secundarias o de corte (S): Las partículas vibran perpendicularmente a su dirección de propagación de las ondas. Estas ondas sólo se transmiten a través de sólidos. La velocidad de propagación de estas ondas es aproximadamente la mitad de la velocidad de las ondas primarias. (Zelaya, 2007).

Fig. 17: Ondas Secundarias o de Corte (S).

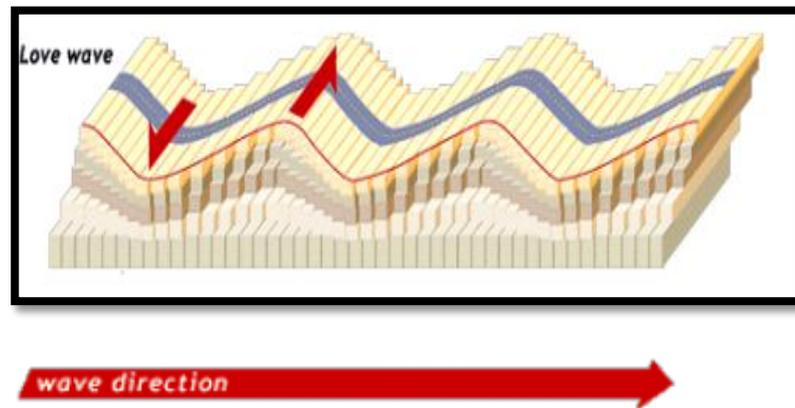


Fuente: Goytia, et al, 2001.

- **Ondas superficiales**

Ondas Love (L): Ondas de cortes horizontales, que produce vibraciones perpendiculares a la dirección de transmisión de la energía. (Zelaya, 2007).

Fig. 18: Ondas Love (L).

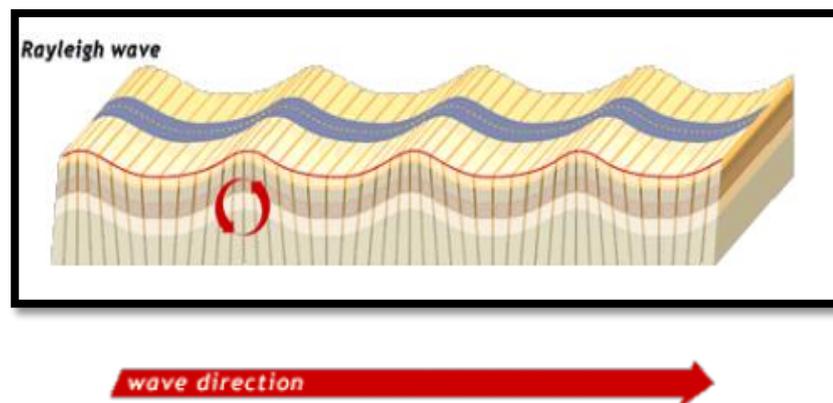


Fuente: (Goytia, et al, 2001).

Ondas Rayleigh (R): Las partículas vibran en un plano vertical. Como las ondas sísmicas recorren grandes distancias, los sismos pueden ser registrados por unos aparatos llamados Sismógrafos, situados generalmente muy lejos del epicentro.

La onda Rayleigh se mueve a lo largo del terreno como una ola que viaja a través de un lago u océano. Mientras avanza, mueve al terreno tanto de arriba abajo. (Zelaya, 2007).

Fig. 19: Ondas Rayleigh (R)



Fuente: (Goytia, et al, 2001).

2.2.4. Tipos de daños debido a sismos

Los sismos pueden ocasionar cambios en el relieve, grietas externas, deslizamientos, avalanchas, variaciones en los cursos de los ríos, etc., etc. Según Zelaya, (2007), los efectos más desastrosos del sismo se producen en las zonas densamente pobladas.

Los tipos de daños debido a sismos pueden dividirse en 3:

- a) Daños en las estructuras causadas por la Fuerza Sísmica.
- b) Daños en las estructuras causados por las deformaciones del suelo.
- c) Daños en las estructuras causados por otros fenómenos naturales.

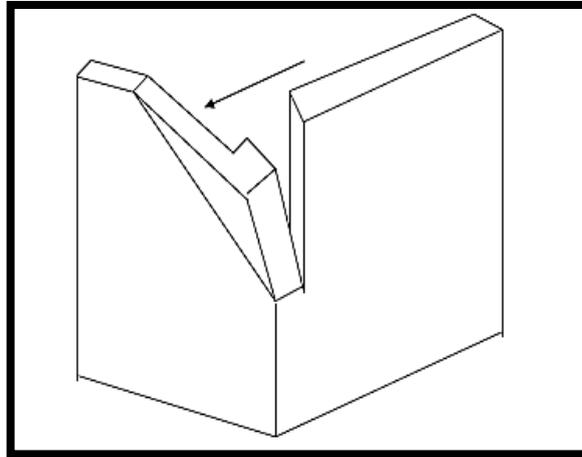
2.2.5. Comportamiento sísmico en construcciones de adobe

Según Zelaya, (2007), menciona los diferentes tipos de fallas que se presentan en las construcciones de adobe, y ellas pueden atribuirse, principalmente, a su poca resistencia en tracción y reducida adherencia entre el adobe y el mortero. Los tipos principales de fallas son las siguientes:

a. Falla por tracción en los encuentros de muros:

Tal como se muestra en la figura 20, este tipo de falla, que debe principalmente a esfuerzos de tracción directa que se produce en uno de los muros, al dar arriostre lateral a otros muros del encuentro, esta situación se agrava cuando a este se superpone los esfuerzos de flexión.(Zelaya, 2007)

Fig. 20: Falla típica por tracción.

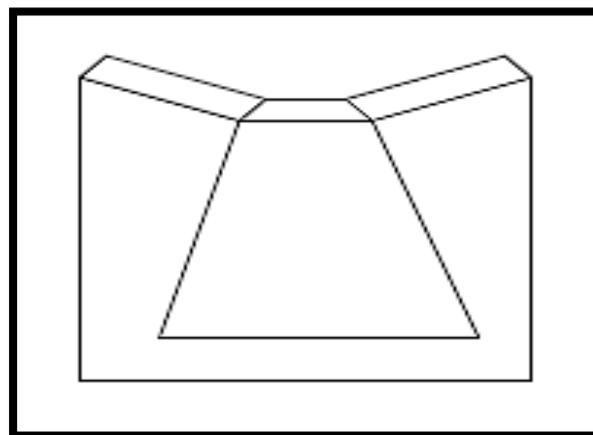


Fuente: Zelaya, 2007

b. Falla por flexión:

Otro tipo de falla muy frecuente en las construcciones de adobe, se ilustra en la figura 21, donde se observa algunas de las variantes de este tipo de falla que se debe a los esfuerzos de tracción por flexión al actuar el muro como una losa apoyada en su base y en los elementos verticales que lo arriostran. La falla puede ocurrir en secciones horizontales, verticales u oblicuas. (Zelaya, 2007).

Fig.21: Falla típica por flexión.

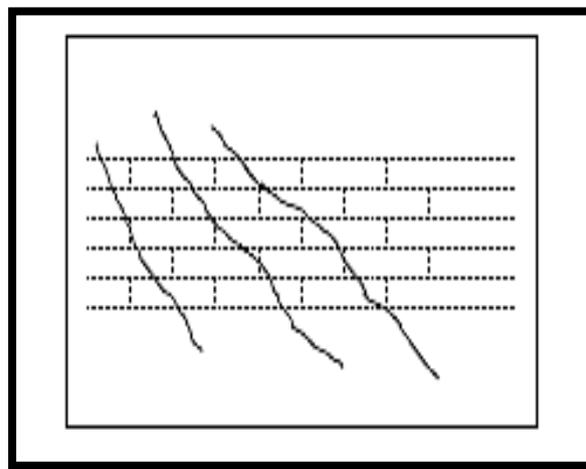


Fuente: Zelaya, 2007

c. Falla por corte:

La falla por corte es sin duda una de las fallas que más peligro representa en una construcción de adobe, este tipo de falla, se produce cuando el muro trabaja como muro de corte. Se debe principalmente, a los esfuerzos tangenciales en las juntas horizontales. Ver figura 22. (Zelaya, 2007)

Fig. 22: Falla típica por corte.



Fuente: Zelaya, 2007

2.2.6. Características de los elementos en construcciones de adobe.

a. Adobe.

La definición más exacta del adobe según lo establecido por la Norma Técnica de Edificación E.080, 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.

La casona Espinach tiene como elemento principal el adobe, estos fueron elaborados con paja y tierra y sus dimensiones están en el orden de 0.70 de largo x 0.40 de ancho y 0.10 m de alto. Los adobes se elaboran desde

muchos años atrás, colocando el barro humedecido en moldes de madera con las dimensiones deseadas. 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. Y se deja secar al sol o a la sombra. (Velarde, 2014)

Fig. 23: Adobe antiguo.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

En la tesis de grado de Velarde, (2014), menciona acerca de la extracción del material más adecuado para la fabricación de adobe, su elección es de acuerdo a la experiencia y el criterio del maestro de obra, según afirma no se puede identificar entre los pobladores conocimiento de pruebas en obra o laboratorio para definir si el material está en óptimas condiciones. Lo que si se tiene como conocimiento general en los pobladores es que la mejor tierra se obtenía de los lugares por donde pasaban los “Huaycos” ya que según ellos, traen todo tipo de material y era una tierra más rica en arenas y arcillas, esto es un criterio de los antiguos constructores.

Actualmente la norma E 080 establece los porcentajes de cada material que debe contener el adobe:

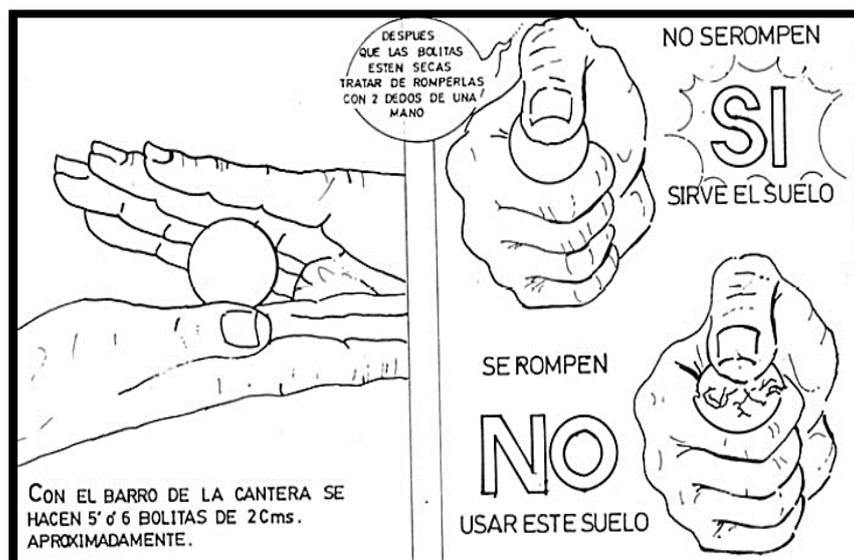
TABLA 3: Porcentajes de material en adobe.

Material	Porcentajes (%)
Arcilla	10-20
Limo	15-25
Arena	55-70

Fuente: Norma E.080, 2006.

Una prueba común y popular de probar si el suelo sirve para la preparación de adobe es coger un poco de mezcla y formar con la mano unas 5 o 6 bolitas de 2 cm de diámetro, aproximadamente, una vez que las bolitas estén secas se debe tratar de romperlas con 2 dedos de una mano, si se fractura la bolita en trozos grandes entonces el suelo sirve para la preparación de adobes, si se pulveriza es porque el suelo contiene mucha arena y si no se fractura es porque contiene demasiada arcilla. (Delgado, 2006).

Fig. 24: Prueba común para uso de material en la elaboración de adobe.



Fuente: Delgado, 2006.

b. Mortero.

El mortero de asiento se hace con el mismo tipo de tierra con la que se construyó los adobes, fijándose en la clasificación del mortero tipo 2 según la norma E 080. 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. (Velarde, 2014). En la casona Espinach el material del mortero es el mismo del adobe por su composición.

En la zona monumental de Cajamarca la mayor cantidad de casas son hechas de adobe, el mortero para unir estas unidades de adobe están hechas del mismo material y están en un rango de dimensión de 1.5 cm a 2.5 cm, la figura 25 muestra la configuración que tienen las casonas cajamarquinas.

Fig. 25: Distribución de las unidades de adobe y mortero en las casonas Cajamarquinas.



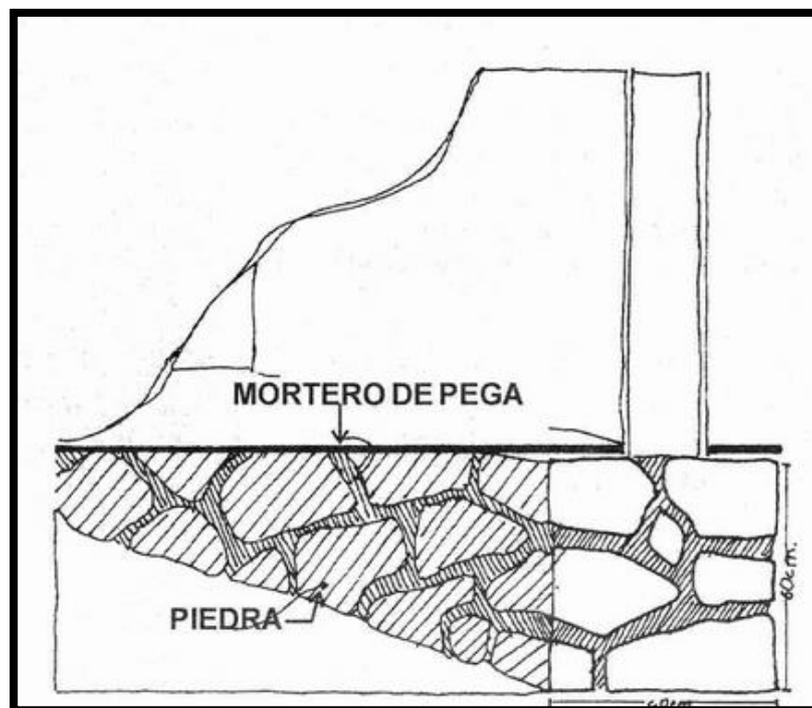
Fuente: Elaboración propia, 2015.

c. Cimientos.

Son la base de toda construcción, representa la parte más importante ya que será la que soporte el peso de toda la estructura y la trasladará al terreno, según Velarde, (2014), la cimentación de una construcción de adobe, 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 depende, generalmente hasta alcanzar el suelo duro.

La cimentación ciclópea es la más antigua que se conoce y está compuesta por piedra y algún elemento de pega que puede ser cemento-arena o Cal - arena. Es más ancho que los muros que soporta y su profundidad depende de la localización del terreno firme. (SENA, s.f).

Fig. 26: Cimentación ciclópea.



Fuente: SENA, s.f.

La Norma E. 080 menciona en el ítem 6.1-b, La cimentación deberá transmitir la carga de los muros al terreno de acuerdo al esfuerzo permisible y tendrá una profundidad mínima de 60 cm medida a partir del terreno natural y un ancho mínimo de 40 cm.

d. Vanos

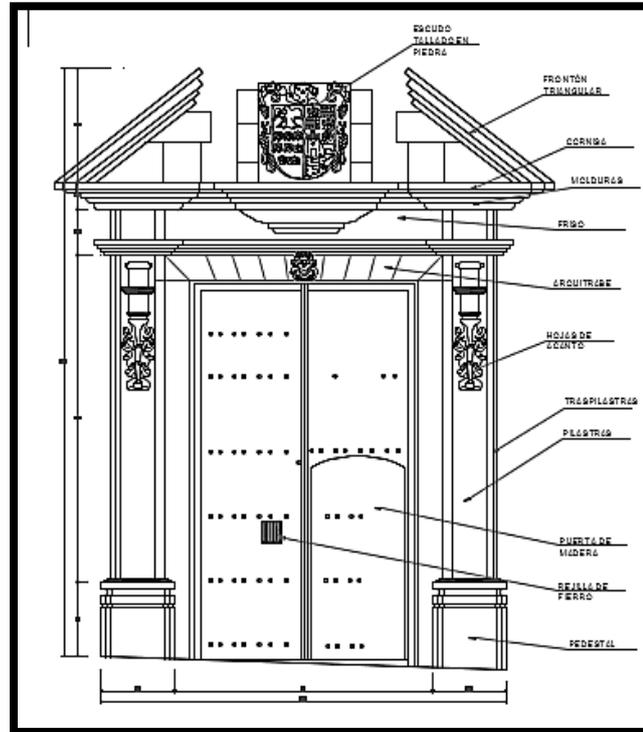
Los vanos de las puertas y ventanas presentan dinteles constituidos por vigas de madera, y varían en tamaño según las dimensiones que estos elementos tengan. Las puertas y ventanas de la casona Espinach son de un estilo barroco, pintadas de color verde oscuro, cuentan con elementos decorativos por lo general con una estructura interna de madera tallada y externa cuyos materiales que le conforman por lo general son fierro y plomo.

Fig. 27: Detalle de las ventanas principales de la casona Espinach.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 28: Detalle de portón principal de la casona Espinach.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

e. Entrepisos

Las vigas de entrepiso son de madera, van apoyadas en dos muros de adobe en la dirección más corta, cumplen la función de transmitir las cargas verticales del entrepiso hacia los muros y también ayudan a mejorar el comportamiento sísmico. Las dimensiones usuales son de 3" x 6" y su espaciamiento es de 1 m aproximadamente, es el conjunto de elementos estructurales horizontales que constituyen el soporte del acabado de piso de los espacios superiores y contribuyen a la solidez de la construcción. Los elementos estructurales de un entrepiso pueden ser vigas de madera aserrada o rolliza presentes en algunos edificios del XVII, posteriormente se instala el piso de madera, cerámica, mármol, etc., (SENA, s.f).

Fig 29: Entrepiso primer nivel de Casona. **Fig 30:** Entrepiso de segundo nivel Casona.



Fuente: Elaboración propia, 2015



Fuente: Elaboración propia, 2015

f. Techo:

Las viviendas en adobe presentan gran variedad de tipos de estructura de cubierta. En general se presentan vigas principales de dimensiones 3" x 6" espaciadas a 1.00 m y carrizo en el sentido transversal en toda la estructura, es cubierta con Calamina o teja. Se apoyan en muros y/o vigas de madera

Fig 31: Techo de casona vista inferior.



Fuente: Elaboración propia, 2015 .

Fig 32: Techo de casona vista superior.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

g. Escalera:

La casona Espinach cuenta con 2 escaleras de madera, una de ellas está ubicada del ingreso principal a la mano derecha y la otra a la mano izquierda, ambas se encuentran afectadas por la humedad y los agentes químicos, hay presencia de grietas formadas por el secado de la madera y su antigüedad, existe reducción de la sección por los ataques bióticos.

Fig 33: Escalera ubicada a la derecha del ingreso.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig 34: Escalera ubicada a la izquierda del ingreso.



Fuente: Elaboración propia, 2015

h. Balcones:

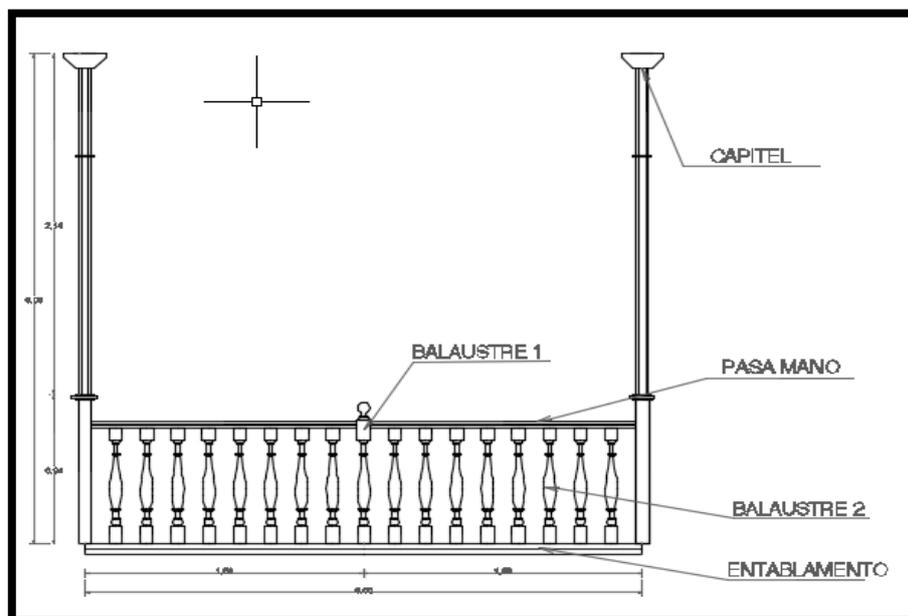
La casona Espinach cuenta con 10 balcones en la fachada, de madera torneada, en el parte del patio podemos encontrar el balcón continuo apoyado sobre arcos de piedra, las barandas de madera se encuentran deterioradas e inestables y en el patio posterior encontramos un balcón de madera apoyado sobre vigas y columnas de madera.

Fig. 35: Balcón corrido patio principal de la casona Espinach.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 36: Detalle de balcón corrido del patio Principal.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

i. Elementos de piedra:

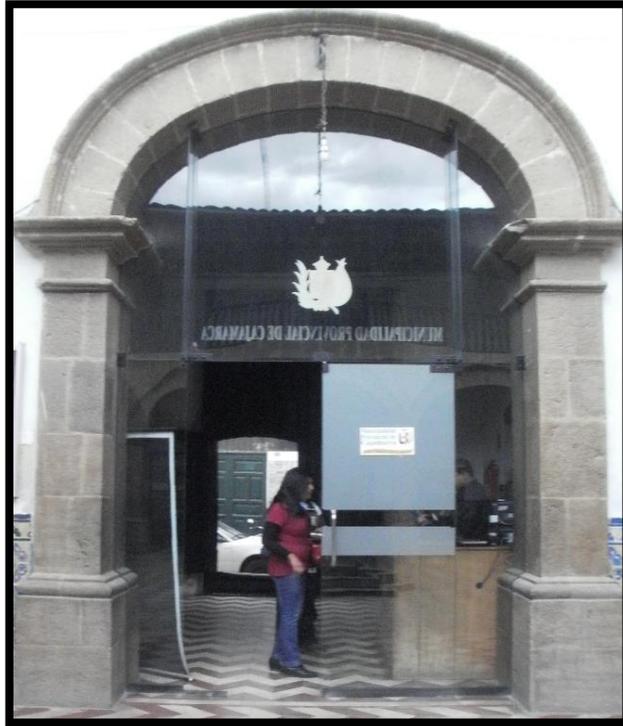
Existen elementos decorativos de piedra labrada, poseen una forma regular similar a un paralelepípedo. Podemos observar estos elementos, empezando desde la fachada principal, con el hermoso portal de piedra, luego está el arco de piedra en el ingreso al patio principal y por último la arquería de piedra que está en toda la dimensión del patio, estos arcos aportan un una gran vista en la casona, es evidente el sofisticado trabajo de los antiguos constructores al engranar cada una de las unidades de piedra para formar los arcos y portales de piedra.

Fig. 37: Arquería de piedra de patio principal de la casona Espinach.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 38: Portal de piedra de ingreso a zaguán.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 39: Portal de piedra de la fachada principal.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

j. Otros elementos arquitectónicos:

Dentro de la casona Espinach existen elementos arquitectónicos que decoran la edificación, como la pileta de hierro en el interior, además en el patio principal encontramos las luminarias sobre los postes de bronce apoyadas en base de piedra, otro de los elementos decorativos encontrados son los farolas ubicadas en los corredores y fachada, también podemos observar las jardinerías hechas de piedra tallada.

Fig. 40. Luminarias.



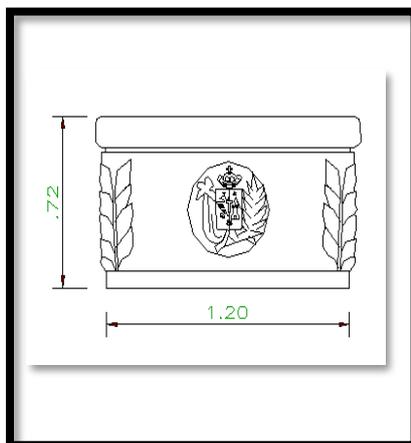
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig 41. Pileta de hierro



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 42. Jardinera.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 43: Farolas.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

2.2.7. Respuesta de edificaciones de adobe ante sismos.

El adobe, como ya lo hemos visto en páginas anteriores, es entre todos los materiales de construcción existentes en el mundo, el más antiguo y más usado, especialmente en los países que son más propensos a desastres.

Las estructuras de adobe son tradicionales a lo largo de América Latina, África, el subcontinente de India y otras partes de Asia, el Oriente Medio y el Sur de Europa. (Blondet, et. Al, 2003).

Los efectos de fenómenos naturales tales como terremotos, lluvias e inundaciones son devastadores. La construcción tradicional de adobe tiene una respuesta muy mala ante los movimientos telúricos ya que las fallas estructurales de adobe no reforzado tal como menciona la Norma E.080 es frágil, sufriendo daño estructural severo o llegando al colapso, causando con ello pérdidas significativas en pérdidas de vida y daño material.

a. Fallas debido a fuerzas perpendiculares al plano del muro:

La poca resistencia a la tracción produce falla en los amarres de las esquinas de los muros generando la pérdida de estabilidad lateral en los muros produciendo el desplome fuera del plano. (E.080, 2006).

Este es el tipo de falla en el que se genera las primeras grietas producto de las 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. Torrealva (2003), menciona los principales factores que afectan la estabilidad de los muros de adobe:

- ✓ 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.

- **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 en consecuencia causa su colapso fuera del plano. (Torrealva, 2003).

Fig. 44: Grieta vertical en esquina superior de muro que baja hasta muro de primer nivel.



Fuente: Blondet, et al., 2003.

b. Fallas debido a fuerzas cortantes al plano del muro:

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 (Torrealva, 2003).

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.

Fig. 45: Grieta por corte en el plano del muro.



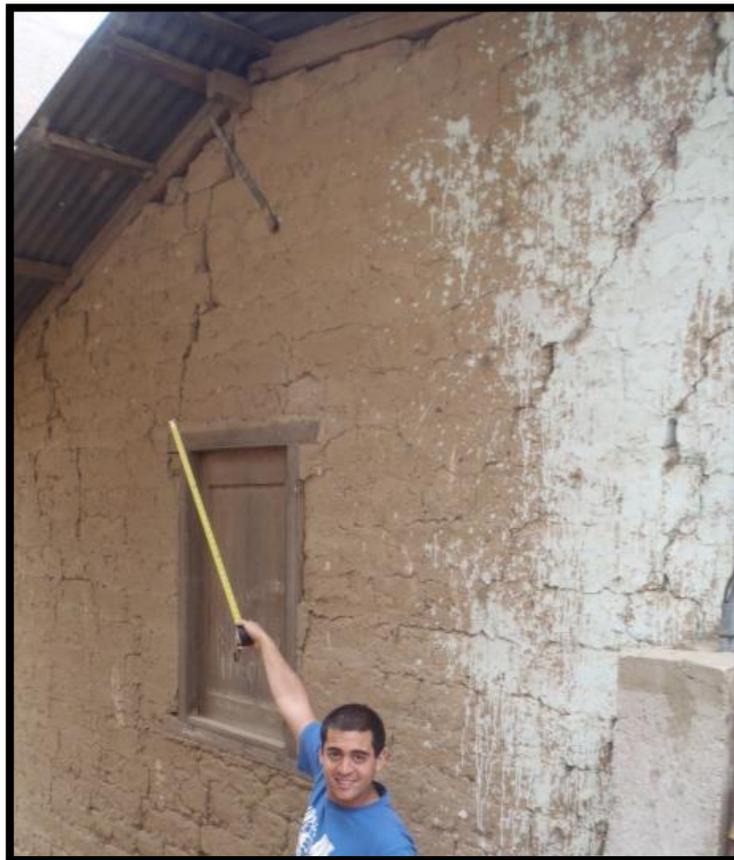
Fuente: Velarde G., 2014.

- **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 producidas debido 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. (Velarde, 2014).

Fig. 46: Grieta en la esquina de la venta.



Fuente: Velarde G., 2014.

2.2.8. Metodología de análisis para determinar la vulnerabilidad.

La vulnerabilidad sísmica de una estructura es una característica intrínseca de esta, que depende del criterio empleado en su diseño y es independiente de la peligrosidad sísmica del sitio en donde esté ubicada. Así, cada estructura tiene su propia función de vulnerabilidad y su determinación varía para comportamientos estructurales distintos (Caicedo, et al., 1994).

En el estudio de Crepellani, et al, (2001) se demostró claramente que el daño en construcciones históricas tiene mucho que ver con el tipo de terreno sobre el que se encuentran construidas. El contenido espectral así como la evolución temporal observada en registros de sismos fuertes, son de importancia crítica para el desempeño de la estructura. Estos aspectos dependen mucho de la proximidad a la falla, de la presencia de suelos blandos y de la topografía del lugar.

Para clasificar las diferentes metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, varios criterios han sido utilizados, Para evaluar la vulnerabilidad en adobe, se utilizaron dos formatos técnicos desarrollados en MS Excel. El primero se denomina Ficha de Encuesta o de Campo que básicamente permite recopilar la información sobre el estado de la vivienda y la segunda es la ficha de reporte en donde se realiza el cálculo numérico para analizar el nivel de riesgo sísmico de la vivienda.

2.2.8.1. Fichas de reporte

Son documentos elaborados en hojas de cálculo de MS Excel que sirven para anotar información de las características arquitectónicas, estructurales y constructivas de las viviendas de adobe. (PUCP, 2004)

Los primeros modelos de fichas fueron elaborados por tesis de la universidad Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), y se desarrolló para analizar la vulnerabilidad de viviendas informales de albañilería confinada, en la tesis “Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa

Peruana” elaborada por el ingeniero Miguel Ángel Mosqueira y el ingeniero sabino Nicola Tarque Ruiz, para obtener el grado de magíster en ingeniería civil, este modelo de ficha de reporte, fue adaptado determinar la vulnerabilidad en viviendas de adobe, desarrollado por alumnos de la misma universidad. (PUCP,2004)

A continuación se describe las etapas de la ficha de reporte de adobe, En la primera página se encuentran los antecedentes, aspectos técnicos y peligros naturales potenciales que afectan a las viviendas.

- **Antecedentes**

En esta etapa se describe la ubicación de la vivienda, se especifica si se recibió ayuda en la elaboración de planos y durante la construcción. Además, se describen los peligros naturales que han afectado la zona donde está construida la vivienda.

En topografía y geotecnia se especifica la fisiografía de la zona y el tipo de suelo sobre el que está construida la vivienda. El estado de la vivienda se refiere a la descripción general de cómo se encuentra la vivienda actualmente. (PUCP,2004)

- **Aspectos técnicos**

Elementos de la vivienda.

En esta etapa se describe los tipos de materiales y las dimensiones de los elementos estructurales de las viviendas. Especificando en lo posible características de los materiales y describiendo las probables deficiencias observados en los elementos estructurales, por ejemplo la dimensión de las juntas (valor importante que define la resistencia de la albañilería. (PUCP, 2004)

Deficiencias de la estructura.

En esta etapa se han agrupado los problemas que puede tener la vivienda. Estos problemas están referidos a la ubicación de la

vivienda, a los problemas constructivos y estructurales, y a la calidad de mano de obra que tuvo la construcción. (PUCP, 2004)

- **Peligros naturales potenciales**

En esta etapa se muestran los peligros naturales potenciales a los que la vivienda está expuesta, dependiendo de su ubicación. (PUCP, 2004)

Observaciones y comentarios

Se explica con mayor detalle cómo la vivienda puede ser afectada por los peligros naturales potenciales a los que está expuesta, así mismo, describir alguna característica importante que no consideren en otros ítems.

La segunda parte de las fichas de reporte servirá básicamente para analizar la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico de la vivienda encuestada. Sin embargo en esta tesis nos limitaremos al análisis de la vulnerabilidad sísmica la que está en función a la vulnerabilidad estructural y de la vulnerabilidad no estructural. (PUCP, 2004)

- **Verificación de la densidad de muros ante los sismos**

En esta etapa se realiza la verificación de la densidad de muros de la vivienda, se establece la comparación entre el área existente de muros y el área requerida. A diferencia de los muros de albañilería, en muros de adobe no existe limitación de longitud de muros ya que estos trabajan independientemente y no hay una transferencia de fuerza sísmica del diafragma hacia el muro. (PUCP, 2004)

El área requerida (A_r) para muros de adobe se obtiene de la ecuación:

$$Ar = \frac{S \cdot C \cdot W \cdot N \cdot Ap}{v' m}$$

Esta expresión se basa en el cortante sísmico estipulado en la Norma de Adobe: $H = S \cdot U \cdot C \cdot P$

Dónde:

- S : factor de suelo (NTE E.080). Ver tabla N° 4
 C : coeficiente sísmico (NTE E.080). Ver figura N° 5.
 W : peso promedio por área (KN/m²). w=16 kN/m²
 N : número de pisos
 Ap : área total techada (m²)
 v'm : esfuerzo a corte en ensayo de compresión diagonal de muretes.

TABLA 4: Factor suelo (S)

<i>Tipo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Factor (S)</i>
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible ≥ 3 kg/cm ² .	1.0
II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible ≥ 1 kg/cm ² .	1.2

Fuente: Norma E.080, 2006.

TABLA 5: Coeficiente Sísmico (C)

<i>Zonas Sísmica</i>	<i>Coeficiente sísmico (C)</i>
3	0.20
2	0.15
1	0.10

Fuente: Norma E.080, 2006.

TABLA 6: Factor de uso (U).

Tipos de edificaciones	Factor (U)
Colegios, Postas médicas, Locales comunales, Locales públicos.	1.3
Viviendas y otras edificaciones comunes	1

Fuente: Norma E080, 2006.

En general, en edificaciones de adobe o tapial, los muros del primer nivel continúan en el segundo nivel, sin embargo en la casona ocurre lo contrario. Por eso se hará el análisis por los dos niveles.

En esta etapa solo deben ingresar datos en las celdas que tengan color azul. El γ_m del adobe es 25 kPa según la Norma, E.080.

De los posibles resultados de $\frac{A_e}{A_r}$ se establece:

TABLA 7: Valores de verificación de la densidad de muros.

Relación	Resultado
$\frac{A_e}{A_r} < 0.6$	Vivienda con densidad de muros inadecuada
$\frac{A_e}{A_r} > 1.0$	Vivienda con densidad de muros adecuada
$0.6 \leq \frac{A_e}{A_r} \leq 1.0$	Será necesario realizar una verificación de algunos muros a corte

Fuente: PUCP, 2004

Dónde:

A_e : Área existente.

A_r : Área requerida.

- **Verificación de muros a corte con esfuerzos admisibles a corte de muros de adobe:**

Como se mencionó anteriormente, los esfuerzos admisible son: para adobe 25kPa según Norma E.080. En la hoja de ingresa el espesor, longitud y área tributaria (A trib). Estos datos no darán los esfuerzos sísmicos a corte de cada muro, el que luego será comparado con el esfuerzo admisible, dando como resultado si el muro es adecuado o inadecuado. (PUCP, 2004)

$$E.S.C. = \frac{S \cdot C \cdot W \cdot A.trib}{e L}$$

Dónde:

- Z : Factor de suelo (NTE E.080). Ver tabla N° 4
 C : Coeficiente sísmico (NTE E.080). Ver figura N° 5.
 W : Peso promedio por área (KN/m²). w=16 kN/m²
 A Trib : Área tributaria (m²)
 e : Espesor (m)
 L : Longitud (m)

- **Verificación de estabilidad de muros al volteo**

Se realiza solo una comparación entre el momento resistente (Mr) y el momento actuante (Ma) que soportan los tabiques, parapetos y cercos, debido a cargas perpendiculares a sus planos. Cabe recalcar que se está utilizando la ecuación de la norma E.080 de adobe. Además, a<b siempre, los valores de “m” para diferentes condiciones de borde ya han sido ajustadas a curvas logarítmicas a la función y cabe recalcar que a<b siempre (a= valor crítico de la dimensión del muro), y los valores del coeficiente C1, varían según el tipo de elemento no estructural, además para determinar el valor **m**, la hoja de reporte hace un ajuste en base una función logarítmica $y=a \cdot \ln(x+b)+c$, según la gráfica original de Timoshenko y Woinosky-Kriegerya. (PUCP,2004)

$$M a. = 0.8 Z C1 m P a^2$$

Dónde:

- Z : Factor de aceleración (NTE E.030).
C1 : Coeficiente según tipo de elemento no estructural.
(Parapeto=1.3, tabique 0.9, cerco=0.6)
m : Coeficiente según diferentes condiciones de borde
ajustados a funciones logarítmicas.
P : Peso del muro (kg).
a : Valor crítico de la dimensión del muro.

$$M r. = 0.667 Z t^2$$

Dónde:

- Z : Factor de zona (NTE E.030).
t : Espesor de muro (m)

La norma E.070 menciona que los arriostres podrán estar compuestos por la cimentación, las columnas de confinamiento, las losas rígidas de techo para el caso de muros portantes y para el caso de cercos, tabiques y parapetos por las vigas soleras y los muros transversales, si nos enfocamos en los tabiques de la casona es evidente que estas no cuentan con vigas soleras, lo que por obvias razones solo estarían arriostradas por muros transversales.

- **Vulnerabilidad sísmica**

La vulnerabilidad estructural está en función a los siguientes parámetros: la densidad de muros (con incidencia del 60%), la calidad de mano de obra y la calidad de materiales (con incidencia del 30%). La vulnerabilidad no estructural está en función a un solo parámetro: la estabilidad de muros al volteo (con incidencia del 10%) para el caso de tabiques y parapetos. En la celda respectiva solo se debe colocar una "x". (PUCP,2004)

La vulnerabilidad tendrá una calificación de baja, media y alta, la cual se calculará según la incidencia de los parámetros. A los parámetros analizados para la vulnerabilidad sísmica se le asignan un valor numérico. En función a estos valores numéricos se divide la calificación de la vulnerabilidad en tres categorías: baja, media y alta. (PUCP, 2004)

TABLA 8: Valores para calificación de la vulnerabilidad.

Vulnerabilidad					
Estructural			No estructural		
Densidad		Mano de obra y materiales	Tabiquería y parapetos		
Adecuada	1	Buena calidad	1	Todos estables	1
Aceptable	2	Regular calidad	2	Algunos estables	2
Inadecuada	3	Mala calidad	3	Todos inestables	3

Fuente: PUCP, 2004

Para evaluar la vulnerabilidad de cada una de las viviendas se establece un rango de valores donde la vulnerabilidad sísmica es:

TABLA 9: Calificación para la determinación el nivel de vulnerabilidad.

calificación de vulnerabilidad	Valores
baja	1.0 a 1.4
media	1.5 a 2.1
alta	2.2 a 3.0

Fuente: PUCP, 2004

2.3. Definición de términos básicos

Agentes atmosféricos: Son los responsables de la destrucción de los materiales que en este caso forman parte de los monumentos históricos, dentro de ellos se encuentra, la humedad, la temperatura, el viento y las precipitaciones.

Análisis estructural: Consiste en la determinación del efecto de las acciones sobre la totalidad o parte de la estructura, con objeto de efectuar las comprobaciones de los Estados Límites Últimos y de Servicio, dicho análisis debe realizarse mediante modelos estructurales que consideren todas las características del elemento a estudiar.

Casona: Es una antigua casa grande, de estilo colonial o barroco, según la época, por lo general de adobe, tapial y piedra, que históricamente representan la identidad de una nación y la sabiduría de los antiguos constructores ya que muchas se encuentran de pie hasta la actualidad.

Centro histórico: Es aquel asentamiento humano vivo, fuertemente condicionado por una estructura física proveniente del pasado, reconocido como representativo de la evolución de un pueblo. El Centro Histórico es la zona monumental más importante desde la cual se originó y desarrollo de una ciudad. Las edificaciones en centros históricos y zonas urbanas monumentales pueden poseer valor monumental o de entorno.

Cinturón de fuego del pacífico: También es conocido como el anillo de fuego del pacífico o cinturón circumpacífico, el nombre se la da debido a que el área sobre el océano pacífico tiene forma de herradura, se extiende desde América del Sur y América del Norte hasta Asia Oriental, Australia y Nueva Zelanda, Esta zona es famosa por su constante actividad sísmica.

Cultura: Es un conjunto de formas, costumbres, expresiones, creencias, normas, arquitectura y formas que caracterizan en el tiempo a un pueblo.

Sismo de origen distrófico: Son los sismos que se generan en la corteza terrestre a causa de las fuerzas internas propias de la actividad volcánica.

Ensayos destructivos: Se definen como aquellos ensayos que se realizan a un material mediante el uso de herramientas o máquinas las cuales producen una alteración irreversible de su composición química, mecánica o de su geometría dimensional.

Escala de Richter: Representa la energía sísmica liberada en cada terremoto y se basa en el registro sismográfico. Es una escala que crece en forma potencial o semilogarítmica, de manera que cada punto de aumento puede significar un aumento de energía diez o más veces mayor. Una magnitud 4 no es el doble de 2, sino que 100 veces mayor.

Ensayos no destructivos: Se denomina ensayo no destructivo a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas o dimensionales, implicando un daño imperceptible o nulo.

Escala Modificada de Mercalli: Se basa en el efecto o daño producido en las estructuras y en la sensación percibida por la gente. La intensidad puede variar en los diferentes sitios reportados, para un mismo terremoto y dependerá de:

- La energía del terremoto
- La distancia de la falla donde se produjo el terremoto.
- La forma como las ondas llegan al sitio en que se registra (oblicua, perpendicular, etc.,)
- Las características geológicas del material subyacente del sitio donde se registra la Intensidad.

Humidificación: Es uno de los procesos por los que pasa el adobe, para incrementar el nivel de humedad y facilitar la trabajabilidad, dónde se realiza el

riego de agua en los materiales que lo conforman para luego pasar al moldeado y posterior al secado.

Macrosismo: Son los que detectamos mediante nuestros sentidos; son la mayor parte de los que se presentan en el mundo.

Mampostería: Es la unión de bloques de arcilla, barro, piedra o concreto, con un mortero para conformar sistemas monolíticos tipo muro, que pueden resistir a acciones producidas por las cargas de gravedad las acciones de sismo o viento.

Microsismo: Son los que solo se registran mediante aparatos, ya que son imperceptibles por el ser humano.

Modelamiento: Es aquel proceso en la cual se representa las características y solicitaciones de carga de la estructura a través de programas de cómputo tales como SAP, estos programas sirven para el proceso de análisis y diseño en ingeniería.

Monitorización: Consiste en la observación atenta de una determinada situación con el fin de detectar cambios a lo largo del tiempo.

Monumento: La noción de monumento abarca la creación arquitectónica aislada, así como el sitio urbano o rural que expresa el testimonio de una civilización determinada, de una evolución significativa, o de un acontecimiento histórico. Tal noción comprende no solamente las grandes creaciones sino también las obras modestas, que con el tiempo, han adquirido un significado cultural.

Patrimonio Histórico: Es un conjunto de bienes materiales e inmateriales adquiridos a lo largo del tiempo que tienen un gran valor dentro de la sociedad

Peligro Sísmico: El peligro sísmico se define por la probabilidad de que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un valor fijado.

Sismo: Se denomina sismo o terremoto a las sacudidas o movimientos bruscos del terreno producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra o a la tectónica de placas. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones.

Sismorresistente: Elemento o conjunto de elementos estructurales construidos para resistir un sismo.

Tangible: Aquello a lo que se puede acceder desde el tacto. Éste es el sentido que posibilita que un organismo perciba diversas características de un objeto.

Tsunami: Fenómeno producido por un terremoto en el océano que produce la agitación de las aguas, generando grandes olas.

Vulnerabilidad Sísmica: Se define como la predisposición de una estructura de ser susceptible a sufrir cierto daño, como consecuencia de un terremoto de cierta intensidad.

Trazo de Damero: Es el tipo de planeamiento urbanístico que organiza a la ciudad mediante el diseño de sus calles en ángulo recto creando manzanas rectangulares.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

La vulnerabilidad sísmica de la casona Espinach – Ex palacio municipal de la ciudad de Cajamarca es alta.

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLE 1	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Vulnerabilidad	La vulnerabilidad sísmica es el nivel de daño que pueden sufrir las edificaciones realizadas por el hombre durante un sismo. Kuroiwa (2002:5).	Antecedentes de la vivienda	Ubicación
			Dirección técnica
			Peligros que afectan la vivienda
			Topografía
			Estado de la vivienda
		Aspectos técnicos	Elementos de la vivienda
			Deficiencias en la estructura
			Peligros naturales.
			Techos otros
		Análisis por sismo	Verificación del muro a corte
			Estabilidad de muros a volteo
			Modelamiento en SAP 2000 V. 17.2

CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL

4.1. Aplicación al caso de la Casona Espinach.

4.1.1. Antecedentes.

La ciudad de Cajamarca, refleja sin duda la influencia española en su arquitectura, caracterizada por un trazo de damero que junto a sus edificaciones de tipo religioso resaltan la belleza, a mediados del siglo XVII y principios del siglo XVIII, se levantan casas mayormente de dos pisos y con techo de tejas a dos aguas, muchas de las cuales tienen pórticos de piedra labrada. (Vigo, 2010).

La fisonomía propia y particular de las casonas monumentales, albergan características espaciales, siendo parte de este grupo la Casona Espinach - Ex Palacio Municipal; ubicada en el Jr. Cruz de Piedra con Jr. Junín y el Psje. Atahualpa, declarada Monumento Histórico mediante Resolución Suprema 2900-72-ED el 28 de diciembre de 1972, publicada el 23 de enero de 1973. (Cerna, 2012).

Hacia 1740 la casa fue construida por el coronel Miguel Espinach Masaguer, para el Monasterio de las Concebidas Descalzas, quienes por motivos desconocidos no la ocuparon. El 17 de junio de 1817 el coronel Espinach en su última disposición testamentaria, establecía que se haga masa de todos sus bienes, incluida la casa situada en Jr. Cruz de piedra y que la mitad de su valor la reciba su sobrino y albacea Pablo de Espinach y que la otra mitad quede a manejo del mismo plano, hasta que cuando llegue el caso de otorgar testamento, la aplique a sus legatarios: Buenaventura Espinach y Lorenzo Iglesias y Espinach; don Pablo Espinach se casó con doña Josefa Barahona de Arce, quien a la muerte de su esposo, donó dicha casa a la Beneficencia Pública de Cajamarca para la construcción de un hospital. Sin embargo después de un largo y ruidoso proceso judicial, la donación quedó nula y la Corte Suprema declaró como heredero a Lorenzo Iglesias y Espinach. (Cerna, 2012).

Posteriormente Iglesias la vendió a la familia Santolalla y a través de Leopoldo Santolalla la vendió a Catalino Miranda. A la muerte de Miranda la heredó a su hijo Pedro quien en 1954, siendo alcalde Aurelio Zaldívar, la vendió, el pago para la compra de este inmueble, se hizo con los fondos depositados en la Casa Sattui (destinados para la construcción del local municipal) y con la suma adicional de 2750 soles proporcionada por la Junta Pro- Desocupados. La casa antes de ser ocupada por la Municipalidad, tuvo que ser sometida a numerosas reparaciones, como arreglo del techo, empapelado y pintado de las paredes de las habitaciones, colocación de mamparas y vidrios; así como la reinstalación de agua, luz y servicios higiénicos, lo que ocasionó un gasto de más de mil soles, con tales mejoras, se lograron habilitar cuatro departamentos de alquiler, los que proporcionaban una renta de 109 soles mensuales. Los ambientes de la planta baja, fueron convertidos en las oficinas del Concejo; dos salones de sesiones, alcaldía, secretaría, tesorería, dataría civil, sindicaturas e inspecciones, patronato escolar, archivo y dos habitaciones que gratuitamente por acuerdo del Concejo, se dio la Junta Pro Desocupados, solo para realizar sus sesiones. Así mismo, y con puerta independiente a la calle, se cedió una tienda para la biblioteca popular, otra tienda, corral y cocina al nuevo director de la banda de músicos, según contrato, para su uso, y una habitación, con patio independiente, para los ensayos de la banda. El 20 de mayo de 1954, el Palacio Municipal quedó inaugurado oficialmente. Se colocó una placa de bronce para perpetuar esa fecha, incluyéndose en ella, los nombres de Octavio Alva y Amalia Puga de Losada, como padrinos de una ceremonia, en la que no estuvieron presentes. (Cerna, 2012).

4.1.2. Estudios previos.

Al comenzar este trabajo se investigó sobre estudios y trabajos previos realizados en la casona Espinach.

Según Cerna (2012), la casona Espinach, fue declarada como monumento histórico el 28 de diciembre de 1972, mediante Resolución Suprema 2900-72-ED. Fue construida por los años de 1740 por el coronel Miguel Espinach Masaguer, luego de una serie de acontecimientos que son mencionados páginas atrás, en

1954 es ocupada por la municipalidad, realizando numerosas reparaciones y ampliaciones. Con tales mejoras, se lograron habilitar cuatro departamentos de alquiler en el segundo nivel. Los ambientes de la planta baja, fueron convertidos en las oficinas del Concejo.

Actualmente la casona funciona como centro cultural Municipal, donde existe espacios que permiten generar una dinámica en el ámbito educativo y cultural de la población cajamarquina, sin duda ha atravesado un proceso de cambio debido a la incorporación de nuevas construcciones para adaptar su nuevo uso.

4.1.3. Determinación de las características de la vivienda.

a. Levantamiento estructural:

Para determinar la geometría de los elementos se realizó los planos, los cuales fueron realizados a través de un levantamiento con wincha, para determinar las medidas geométricas, la altura máxima de la estructura, las medidas y alturas de las ventanas y puertas, así lograr obtener un correcto detallado a la hora de modelar la estructura.

b. Ensayos realizados:

Se realizó el ensayo para determinar la resistencia a la compresión del adobe como unidad, la que según la norma E080, debe ser de 12 kg /cm².

Para la realización de este ensayo se siguió el procedimiento la norma E080 – artículo 8- 8.1- resistencia a la compresión de la unidad.

- **Materiales y equipos :**

- ✓ Adobe de en cubos de 0.10 m x 0.10 m x 0.10 m
- ✓ Máquina de para compresión.
- ✓ Wincha.
- ✓ Cuaderno de apuntes.

Fig. 47: Equipo empleado para compresión del adobe.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **Procedimiento:**

La resistencia a la compresión de las unidades se determinará ensayando cubos labrados cuya arista será igual a la menor dimensión de la unidad de adobe.

Fig. 48: Corte de adobe en cubos.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 49: Cubos labrados de adobe



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Para asegurar la homogeneidad de los elementos se cubrió toda la superficie con una pasta de yeso.

Fig. 50: Adobe para someter a compresión.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

El valor del esfuerzo resistente en la compresión se obtiene en base al área de la sección transversal, como mínimo según la norma se ensaya 6 cubos, definiéndose la resistencia última (f_0) como el valor que sobrepase el 80% de las piezas ensayadas.

Para los resultados, cada cubo de adobe fue ensayado en la máquina de compresión del laboratorio de concreto de la facultad de ingeniería de la Universidad Privada de Norte.

Tomando valores de carga cada 50 kg.

Fig. 51: Muestras de adobe luego de ser ensayados.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

c. Áreas tributarias por muros:

La determinación del área tributaria sirve para tener una idea aproximada de la carga que le tocará soportar a cada elemento resistente, las áreas tributarias han sido obtenidas, de acuerdo a la distribución de los muros portantes:

Tabla 10: Áreas tributarias de muros portantes

1° Piso				2° Piso			
muros portantes en x		muros portantes en y		muros portantes en x		muros portantes en y	
Muro en X	Area Trib.	Muro en Y	Area Trib.	Muro en X	Area Trib.	Muro en Y	Area Trib.
M5X	6.29	M1Y	17.90	M5X	21.58	M1Y	21.58
M6X	5.99	M2Y	25.45	M7X	14.16	M2Y	14.16
M7X	6.60	M3Y	10.79	M9X	17.08	M3Y	17.08
M8X	7.17	M6Y	10.35	M10X	9.83	M6Y	9.83
M9X	8.03	M7Y	28.33	M17X	21.39	M7Y	21.39
M10X	9.53	M8Y	17.47	M18X	37.19	M8Y	37.19
M17X	9.48	M9Y	24.06	M19X	53.89	M9Y	53.89
M18X	7.67	M10Y	13.17	M21X	16.49	M10Y	16.49
M19X	5.91	M11Y	19.75	M22X	21.14	M11Y	21.14
M20X	6.57	M12Y	20.38	M29X	22.62	M12Y	22.62
M21X	5.98	M13Y	8.96	M30X	6.53	M13Y	6.53
M22X	6.95	M14Y	16.17	M31X	21.64	M14Y	21.64
M29X	24.25	M15Y	16.87	M32X	21.46	M15Y	21.46
M30X	22.21	M16Y	26.20	M33X	39.68	M16Y	39.68
M31X	21.16	M17Y	10.54	M34X	23.60	M17Y	23.60
M32X	14.94	M18Y	11.70	M39X	14.84	M18Y	14.84
M33X	23.62	M19Y	14.03	M40X	17.76	M19Y	17.76
M34X	20.23	M20Y	9.66	M41X	18.52	M20Y	18.52
M39X	14.73	M21Y	11.99	M42X	28.25	M22Y	28.25
M40X	19.85	M22Y	15.35	M46X	60.39	M23Y	60.39
M41X	20.69	M23Y	37.79	M47X	13.22	M24Y	13.22
M42X	23.08	M24Y	17.13	M48X	9.14	M25Y	9.14
M46X	8.54	M25Y	10.36	M49X	26.02	M26Y	26.02
M47X	9.80	M26Y	27.59	M50X	6.03	M27Y	6.03
M48X	9.68	M27Y	8.63	M51X	14.88	M28Y	14.88
M49X	6.89	M28Y	9.43			M29Y	15.43
M50X	20.93	M29Y	15.85			M30Y	22.56
M51X	19.92	M30Y	9.75			M33Y	22.10
M52X	2.15	M31Y	4.68			M34Y	14.90
M53X	14.14	M32Y	6.88			M39Y	23.03
M54X	15.20	M33Y	15.22			M40Y	40.53
M55X	16.04	M34Y	14.91			M42Y	7.31
M56X	17.24	M38Y	10.18			M43Y	15.70
M57X	3.46	M39Y	18.72			M45Y	16.36
M58X	5.74	M40Y	12.56			M46Y	16.26
		M41Y	13.46			M47Y	9.37
		M42Y	7.25			M48Y	12.20
		M43Y	12.66			M49Y	21.05
		M44Y	3.92			M51Y	11.11
		M45Y	7.10			M52Y	15.42
		M46Y	5.08			M53Y	12.91
		M47Y	11.47			M54Y	9.31
		M48Y	8.47			M55Y	11.95
		M49Y	8.49			M56Y	16.84
		M50Y	8.98			M57Y	28.75
		M51Y	9.11			M58Y	12.05
		M52Y	12.87			M59Y	12.43
		M53Y	8.02			M60Y	31.21
		M54Y	6.62			M62Y	13.26
		M55Y	7.99			M63Y	13.34
		M56Y	13.61				
		M57Y	42.29				
		M58Y	8.14				
		M59Y	4.80				
AREA TOTAL	440.65	AREA TOTAL	749.08	AREA TOTAL	557.33	AREA TOTAL	982.68

Fuente: Elaboración propia, 2015.

4.1.4. Propiedades de los materiales y comportamiento.

a. Propiedades del adobe:

El adobe de la casona Espinach, se encuentra en un estado regular de conservación, este elemento ha sido sometido a ensayos para determinar sus características, las que servirán a la hora de realizar el análisis de la vulnerabilidad sísmica. Para la determinación de sus propiedades se realizó los siguientes ensayos.

- **Resistencia a la compresión del adobe:**

Para este ensayo, tal como la Norma E.080 indica, se realizó el corte de los cubos, con aristas de la menor dimensión del adobe en tamaño normal. Obteniendo 11 muestras las cuales fueron cubiertas con yeso para homogeneizar las caras, para luego someterlas a cargas de compresión arrojando los siguientes resultados:

Tabla 11: **Resultados del ensayo a compresión:**

RESUMEN	
Nº DE MUESTRA	CARGA MAXIMA
MUESTRA 1	5.521
MUESTRA 2	6.212
MUESTRA 3	7.311
MUESTRA 4	6.420
MUESTRA 6	6.179
MUESTRA 7	4.356
MUESTRA 8	6.621
MUESTRA 9	3.969
MUESTRA 10	9.879
MUESTRA 11	7.918

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Para la determinación de la resistencia se seleccionaron los valores de carga más cercanas entre sí, descartándose los que se encuentren con valores muy diferentes a la mayoría de muestras.

Para la determinación de la resistencia final, se realizó el cálculo teniendo en cuenta el ítem 5.4 – b resistencia a la compresión de la Norma E.070 la cual menciona que: La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra obtenido como resultado de la carga máxima final.

El valor obtenido fue de 5.80 Kg/cm².

TABLA 12: Muestras seleccionadas para determinar la carga máxima total.

RESUMEN	
MUESTRA 1	5.5
MUESTRA 2	6.2
MUESTRA 3	7.3
MUESTRA 4	6.4
MUESTRA 6	6.2
MUESTRA 8	6.6
MUESTRA 11	7.9
PROMEDIO	6.6
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.79
CARGA MAXIMA	5.80

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **Módulo de elasticidad del adobe:**

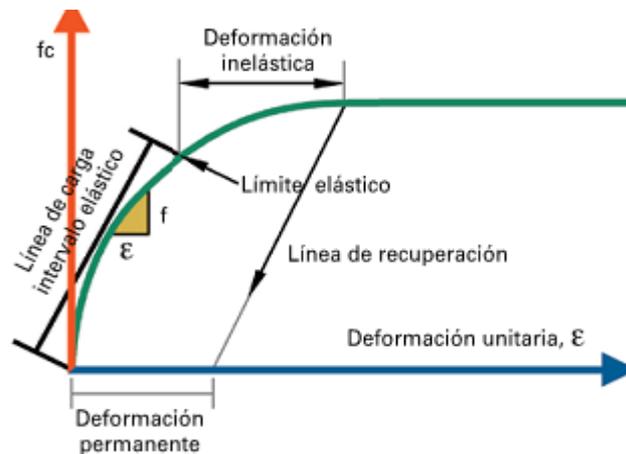
Para determinar el módulo de elasticidad, a partir de los datos de las muestras seleccionadas en la tabla 11, trazamos la curva de esfuerzo - deformación unitaria. (INCYC, s.f.)

Para el cálculo del módulo de elasticidad se procede de la siguiente forma:

- Con el área del espécimen, las cargas, las lecturas de deformación y la longitud de medición, deben calcularse los esfuerzos y las deformaciones unitarias correspondientes a cada carga, así como el esfuerzo máximo.
- Trazar la curva de esfuerzo-deformación unitaria.
- Determinar el esfuerzo "S1" en kg/cm², correspondiente a la deformación unitaria (e1) de 0.000 050., luego se emplea la siguiente formula.

$$\text{Módulo de elasticidad} = E = \frac{0.4 f_c - f_c (0.00005)}{\epsilon (0.4 f_c) - 0.00005}$$

Fig. 52: Curva Esfuerzo- Deformación Unitaria.



Fuente: INCYC, s.f.

El módulo de elasticidad obtenido es de 126. 4 kg/cm².

- **Peso específico de adobe:**

Para determinar el peso específico de la unidad tenemos la siguiente formula:

$$P.E = \frac{\textit{peso}}{\textit{volumen}}$$

Fig. 53: Determinación del peso específico del adobe



Fuente: Elaboración Propia, 2015.

PESO TOTAL	36.584		
P. ESPC.=	36.58	=	1270.27778 Kg/m3
	0.03		

4.1.5. Ficha de reporte:

A continuación se presentan la ficha de reporte aplicado al caso de la “CASONA ESPINACH – EX PALACIO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA”, uno de los monumentos más antiguos y con importante valor patrimonial

Ficha de reporte N° 01.1.

		ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DE VIVIENDAS DE ADOBE	
		FICHA DE REPORTE	
		Código de vivienda encuestada:	EH 1
		Tipo de sistema estructural:	Adobe
ANTECEDENTES			
Departamento :	CAJAMARCA	Provincia :	CAJAMARCA
Distrito :	CAJAMARCA	Dirección :	ENTRE EL JR. CRUZ DE PIEDRA Y JR JUNIN
Dirección técnica en el diseño:	Ninguna		
Dirección técnica en la construcción:	Recibió indicaciones del constructor en aquella época, según su conocimiento		
Pisos construidos:	2	Pisos proyectados:	2
		Antigüedad de la vivienda:	275 años
Peligros naturales potenciales que afectan la vivienda: Los peligros identificados en la casona son sismos severos, y lluvias intensas y moderadas.			
Topografía y geotécnica: Tiene una pendiente con un valor de 6.7 %. El suelo es de tipo gravoso y arcilloso.			
Estado de la vivienda: La vivienda se encuentra en un estado regular de conservación. Hay filtraciones causadas por la lluvia en los muros que podría conllevar a problemas posteriores debido a la humedad, hay desgaste de material en los elementos de madera, hay presencia de fisuras asentamientos en algunos muros y pequeñas grietas.			
ASPECTOS TÉCNICOS			
Elementos de la vivienda:			
Elementos	Características		
Cimientos	Aparentemente en buen estado y es un tipo de cimentación ciclópea		
Muros	Adobe de 64 cm x 40 cm x 10 cm, juntas de 1.5 cm @ 2 cm y revestimiento de yeso.		
Techo	Conformado vigas de madera eucalipto en el primer nivel y en el segundo nivel vigas de madera eucalipto y carrizo, con cobertura de teja		
Vigas	Vigas de madera eucalipto rolizo de 6" sobre muro y en dinteles.		
Otros	Típanos que varían entre 1 metro y 2 metros de altura		
Deficiencias de la estructura:			
PROBLEMAS DE UBICACIÓN		PROBLEMAS ESTRUCTURALES	
<input type="checkbox"/>	Vivienda sobre suelo de relleno	<input checked="" type="checkbox"/>	Densidad de muros inadecuada
<input type="checkbox"/>	Vivienda sobre suelo no consolidado	<input type="checkbox"/>	Muros sin viga solera de madera o concreto
<input checked="" type="checkbox"/>	Vivienda con asentamiento	<input checked="" type="checkbox"/>	Muros sin confinar resistentes a sismo
<input checked="" type="checkbox"/>	Vivienda en pendiente	<input type="checkbox"/>	Cimientos y/o sobrecimientos inadecuados
<input checked="" type="checkbox"/>	Otros: se encuentra en una zona de alto peligro sísmico	<input type="checkbox"/>	Dinteles con reducida longitud de apoyo
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Tabiquería no arriostrada
PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS		<input checked="" type="checkbox"/>	Torsión en planta
<input checked="" type="checkbox"/>	Muros expuestos a lluvia	<input checked="" type="checkbox"/>	Vivienda sin junta sísmica
<input type="checkbox"/>	Juntas de construcción mal ubicadas	<input checked="" type="checkbox"/>	Otros:
<input type="checkbox"/>	Combinación de ladrillo con adobe o tapial en muros	Estructura con una configuración irregular en planta que se asemeja a una L,	
<input type="checkbox"/>	Unión muro techo no monolítica	MANO DE OBRA	
<input type="checkbox"/>	Muros inadecuados para soportar empuje lateral	<input type="checkbox"/>	Buena
		<input checked="" type="checkbox"/>	Regular
		<input type="checkbox"/>	Mala
<input checked="" type="checkbox"/>	Unidades de adobe o tapial de baja calidad	OTROS	
<input checked="" type="checkbox"/>	Otros: Carece de juntas de construcción		
Asentamiento en algunos muros y descascamiento de revestimiento			
PELIGROS NATURALES POTENCIALES			
<input checked="" type="checkbox"/>	Sismos	<input checked="" type="checkbox"/>	Lluvia
<input type="checkbox"/>	Huayco	<input type="checkbox"/>	Viento
<input type="checkbox"/>	Deslizamiento	<input type="checkbox"/>	Inundación
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Otros
OBSERVACIONES Y COMENTARIOS			
La edificación está expuesta a lluvias de moderada intensidad que pueden debilitar los muros de adobe, hay presencia de filtraciones es muy antigua (275 años), los materiales están afectados por el desgaste y presencia de factores químicos, corrosión y humedad.			
La edificación tiene una configuración estructural irregular en L, la que puede causar torsión al generarse las fuerzas sísmicas			
La edificación no cuenta con ningún tipo de reforzamiento.			

Fuente: Adaptado a ficha de reporte de estudio de vulnerabilidad, (UPCP,200

Ficha de reporte N° 01.2

Análisis por sismo (H=SUCP: U=1)							
Nº de Pisos=	2	S=	1.2	C=	0.2		
Peso prom.x m ² (muros de e=0.4m) =	16	kN/m ²	v/m=	25	kPa		
Área en	Peso prom.	Cort. Basal	Área de muros	Relación		Am/Ar > 1,0 densidad adecuada	
planta Ap	por área	H=SUCP	Existente Ae	Requerida Ar	Ae / Ar	Resultado	
m ²	kN/m ²	kN	m ²	m ²	Adim.	Am/Ar < 0,6 densidad inadecuada	
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")							
PRIMER NIVEL							
1200.5	16	9219.8	50.4	368.8	0.14	Inadecuada	
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")							
1200.5	16	9219.8	128.4	368.8	0.35	Inadecuada	
SEGUNDO NIVEL							
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")							
1475.2	16	11329.3	41.9	453.2	0.09	Inadecuada	
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")							
1475.2	16	11329.3	122.2	453.2	0.27	Inadecuada	
Tabla de verificación de muro a corte							
1° Piso							
Identificación de muro	Parámetros de Verificación				Esfuerzo	Esfuerzo	25 kPa es el valor de esfuerzo cortante de la norma
	e	L	A trib.	Peso	Sísmico a Corte	Admisible	
	m	m	m ²	kN	kPa	vadm=25kPa	
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")							
M5X	0.80	1.13	6.29	201.16	53.4	Inadecuado	0.90
M6X	0.80	1.62	5.99	191.72	35.5	Inadecuado	1.30
M7X	0.80	1.39	6.60	211.26	45.6	Inadecuado	1.11
M8X	0.80	0.83	7.17	229.29	82.9	Inadecuado	0.66
M9X	0.80	1.95	8.03	256.82	39.5	Inadecuado	1.56
M10X	0.80	2.29	9.53	304.92	39.9	Inadecuado	1.83
M17X	0.73	2.20	9.48	303.39	45.3	Inadecuado	1.61
M18X	0.76	1.63	7.67	245.49	47.6	Inadecuado	1.24
M19X	0.70	0.80	5.91	189.14	81.1	Inadecuado	0.56
M20X	0.70	1.15	6.57	210.32	62.7	Inadecuado	0.81
M21X	0.70	1.39	5.98	191.48	47.2	Inadecuado	0.97
M22X	0.70	1.92	6.95	222.42	39.7	Inadecuado	1.34
M29X	0.70	3.64	24.25	775.88	73.1	Inadecuado	2.55
M30X	0.70	1.55	22.21	710.84	157.2	Inadecuado	1.09
M31X	0.70	1.52	21.16	677.00	152.7	Inadecuado	1.06
M32X	0.70	1.56	14.94	477.99	105.1	Inadecuado	1.09
M33X	0.69	2.34	23.62	755.71	112.3	Inadecuado	1.61
M34X	0.70	1.72	20.23	647.47	129.1	Inadecuado	1.20
M39X	0.70	1.38	14.73	471.33	117.1	Inadecuado	0.97
M40X	0.70	1.45	19.85	635.19	150.2	Inadecuado	1.02
M41X	0.70	1.45	20.69	662.03	156.5	Inadecuado	1.02
M42X	0.70	2.26	23.08	738.51	112.0	Inadecuado	1.58
M46X	0.70	2.09	8.54	273.30	44.8	Inadecuado	1.46
M47X	0.70	1.82	9.80	313.73	59.1	Inadecuado	1.27
M48X	0.70	1.84	9.68	309.80	57.7	Inadecuado	1.29
M49X	0.70	1.69	6.89	220.42	44.7	Inadecuado	1.18
M50X	0.70	2.05	20.93	669.65	112.0	Inadecuado	1.44
M51X	0.70	1.96	19.92	637.56	111.5	Inadecuado	1.37
M52X	0.45	0.83	2.15	68.71	44.2	Inadecuado	0.37
M53X	0.45	5.78	14.14	452.58	41.8	Inadecuado	2.60
M54X	0.45	5.81	15.20	486.32	44.6	Inadecuado	2.61
M55X	0.70	5.86	16.04	513.40	30.0	Inadecuado	4.10
M56X	0.70	4.52	17.24	551.54	41.8	Inadecuado	3.16
M57X	0.50	2.27	3.46	110.76	23.4	OK	1.14
M58X	0.50	2.72	5.74	183.75	32.4	Inadecuado	1.36
							50.45

Fuente: Adaptado a ficha de reporte de estudio de vulnerabilidad, (UPCP, 2004)

2° Piso							
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")							area de muro
M5X	0.80	2.44	10.68	341.90	42.0	Inadecuado	1.95
M7X	0.80	6.48	33.60	1075.20	49.8	Inadecuado	5.18
M9X	0.80	2.04	13.66	437.26	64.3	Inadecuado	1.63
M10X	0.80	2.67	20.66	661.26	74.3	Inadecuado	2.14
M17X	0.70	2.20	12.21	390.67	60.9	Inadecuado	1.54
M18X	0.70	1.66	10.87	347.82	71.8	Inadecuado	1.16
M19X	0.70	4.52	19.31	618.06	46.9	Inadecuado	3.16
M21X	0.69	1.38	9.82	314.17	79.2	Inadecuado	0.95
M22X	0.70	1.73	10.78	344.96	68.4	Inadecuado	1.21
M29X	0.70	0.88	5.50	176.07	68.6	Inadecuado	0.62
M30X	0.70	3.36	32.25	1031.85	105.3	Inadecuado	2.35
M31X	0.70	2.78	33.82	1082.34	133.5	Inadecuado	1.95
M32X	0.71	2.18	23.05	737.46	114.3	Inadecuado	1.55
M33X	0.70	1.72	28.52	912.70	181.9	Inadecuado	1.20
M34X	0.70	2.42	25.67	821.48	116.4	Inadecuado	1.69
M39X	0.70	1.39	14.76	472.21	116.5	Inadecuado	0.97
M40X	0.70	1.45	19.81	633.78	149.9	Inadecuado	1.02
M41X	0.70	1.45	20.69	662.03	156.5	Inadecuado	1.02
M42X	0.70	3.67	23.05	737.68	68.9	Inadecuado	2.57
M46X	0.70	2.09	12.60	403.10	66.1	Inadecuado	1.46
M47X	0.70	1.83	14.52	464.66	87.1	Inadecuado	1.28
M48X	0.70	1.85	14.40	460.88	85.4	Inadecuado	1.30
M49X	0.70	1.67	11.77	376.57	77.3	Inadecuado	1.17
M50X	0.70	2.05	22.36	715.62	119.7	Inadecuado	1.44
M51X	0.70	1.96	15.70	502.29	87.9	Inadecuado	1.37
							41.88

Fuente: Adaptado a ficha de reporte de estudio de vulnerabilidad, (UPCP, 2004)

1° Piso						
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")						
M1Y	0.80	5.71	17.90	572.88	30.1	Inadecuado
M2Y	0.80	5.83	25.45	814.31	41.9	Inadecuado
M3Y	0.80	5.48	10.79	345.16	18.9	OK
M6Y	0.72	6.22	10.35	331.23	17.8	OK
M7Y	0.80	5.89	28.33	906.63	46.2	Inadecuado
M8Y	0.85	6.02	17.47	558.96	26.2	Inadecuado
M9Y	0.80	11.07	24.06	770.01	20.9	OK
M10Y	0.80	1.77	13.17	421.39	71.4	Inadecuado
M11Y	0.80	1.73	19.75	631.95	109.6	Inadecuado
M12Y	0.80	1.85	20.38	652.15	105.8	Inadecuado
M13Y	0.80	0.78	8.96	286.63	110.2	Inadecuado
M14Y	0.80	1.14	16.17	517.55	136.2	Inadecuado
M15Y	0.80	1.20	16.87	539.98	135.0	Inadecuado
M16Y	0.80	8.88	26.20	838.42	28.3	Inadecuado
M17Y	0.78	2.63	10.54	337.14	39.4	Inadecuado
M18Y	0.80	1.29	11.70	374.36	87.1	Inadecuado
M19Y	0.80	1.45	14.03	448.91	92.9	Inadecuado
M20Y	0.80	0.92	9.66	309.11	100.8	Inadecuado
M21Y	0.80	1.36	11.99	383.52	84.6	Inadecuado
M22Y	0.80	1.35	15.35	491.19	109.2	Inadecuado
M23Y	0.78	12.41	37.79	1209.14	30.0	Inadecuado
M24Y	0.80	0.87	17.13	548.24	189.0	Inadecuado
M25Y	0.80	2.18	10.36	331.36	45.6	Inadecuado
M26Y	0.78	3.75	27.59	882.91	72.4	Inadecuado
M27Y	0.78	1.99	8.63	276.07	42.7	Inadecuado
M28Y	0.70	2.28	9.43	301.72	45.4	Inadecuado
M29Y	0.70	2.80	15.85	507.20	62.1	Inadecuado
M30Y	0.70	2.45	9.75	311.92	43.7	Inadecuado
M31Y	0.70	1.00	4.68	149.74	51.3	Inadecuado
M32Y	0.70	0.85	6.88	220.11	88.8	Inadecuado
M33Y	0.70	2.52	15.22	487.12	66.3	Inadecuado
M34Y	0.70	9.40	14.91	477.17	17.4	OK
M38Y	0.78	2.13	10.18	325.64	47.0	Inadecuado
M39Y	0.78	5.71	18.72	599.08	32.3	Inadecuado
M40Y	0.78	2.08	12.56	401.90	59.5	Inadecuado
M41Y	0.78	2.63	13.46	430.63	50.4	Inadecuado
M42Y	0.70	1.00	7.25	231.89	79.5	Inadecuado
M43Y	0.83	1.66	12.66	405.28	70.6	Inadecuado
M44Y	0.70	0.59	3.92	125.29	72.8	Inadecuado
M45Y	0.86	1.70	7.10	227.12	37.3	Inadecuado
M46Y	0.78	0.89	5.08	162.50	56.2	Inadecuado
M47Y	0.78	4.05	11.47	367.20	27.9	Inadecuado
M48Y	0.78	2.29	8.47	270.88	36.4	Inadecuado
M49Y	0.78	1.08	8.49	271.53	77.4	Inadecuado
M50Y	0.78	1.26	8.98	287.38	70.2	Inadecuado
M51Y	0.78	1.30	9.11	291.55	69.0	Inadecuado
M52Y	0.78	2.08	12.87	411.83	60.9	Inadecuado
M53Y	0.86	1.99	8.02	256.52	36.0	Inadecuado
M54Y	0.78	1.61	6.62	211.96	40.5	Inadecuado
M55Y	0.78	1.46	7.99	255.71	53.9	Inadecuado
M56Y	0.80	2.32	13.61	435.39	56.3	Inadecuado
M57Y	0.78	9.09	42.29	1353.16	45.8	Inadecuado
M58Y	0.78	1.48	8.14	260.35	54.1	Inadecuado
M59Y	0.78	1.32	4.80	153.75	35.8	Inadecuado

Fuente: Adaptado a ficha de reporte de estudio de vulnerabilidad, (UPCP, 2004)

2° Piso							
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")							area de muro
M1Y	0.80	2.11	21.58	690.71	98.2	Inadecuado	1.69
M2Y	0.80	4.27	14.16	453.27	31.8	Inadecuado	3.42
M3Y	0.80	4.18	17.08	546.40	39.2	Inadecuado	3.34
M6Y	0.72	4.77	9.83	314.55	22.0	OK	3.43
M7Y	0.80	2.54	21.39	684.58	80.9	Inadecuado	2.03
M8Y	0.85	6.02	37.19	1190.10	55.8	Inadecuado	5.12
M9Y	0.80	11.20	53.89	1724.40	46.2	Inadecuado	8.96
M10Y	0.80	1.96	16.49	527.58	80.8	Inadecuado	1.57
M11Y	0.80	1.27	21.14	676.35	159.8	Inadecuado	1.02
M12Y	0.80	1.45	22.62	723.85	149.8	Inadecuado	1.16
M13Y	0.80	0.47	6.53	208.87	133.3	Inadecuado	0.38
M14Y	0.80	1.14	21.64	692.62	182.3	Inadecuado	0.91
M15Y	0.80	1.20	21.46	686.74	171.7	Inadecuado	0.96
M16Y	0.80	8.87	39.68	1269.87	42.9	Inadecuado	7.10
M17Y	0.78	4.81	23.60	755.20	48.3	Inadecuado	3.75
M18Y	0.80	1.27	14.84	475.00	112.2	Inadecuado	1.02
M19Y	0.80	1.48	17.76	568.30	115.2	Inadecuado	1.18
M20Y	0.80	1.75	18.52	592.49	101.6	Inadecuado	1.40
M22Y	0.80	3.00	28.25	903.91	90.4	Inadecuado	2.40
M23Y	0.80	12.39	60.39	1932.50	46.8	Inadecuado	9.91
M24Y	0.78	1.68	13.22	422.95	77.5	Inadecuado	1.31
M25Y	0.80	2.41	9.14	292.46	36.4	Inadecuado	1.93
M26Y	0.80	3.75	26.02	832.65	66.6	Inadecuado	3.00
M27Y	0.78	0.63	6.03	192.92	94.2	Inadecuado	0.49
M28Y	0.78	2.66	14.88	476.25	55.1	Inadecuado	2.07
M29Y	0.70	2.79	15.43	493.67	60.7	Inadecuado	1.95
M30Y	0.70	3.73	22.56	721.88	66.4	Inadecuado	2.61
M33Y	0.70	3.38	22.10	707.24	71.7	Inadecuado	2.37
M34Y	0.70	9.40	14.90	476.86	17.4	OK	6.58
M39Y	0.74	4.46	23.03	736.89	53.6	Inadecuado	3.30
M40Y	0.80	5.81	40.53	1296.99	67.0	Inadecuado	4.65
M42Y	0.80	1.01	7.31	233.77	69.4	Inadecuado	0.81
M43Y	0.78	1.66	15.70	502.29	93.1	Inadecuado	1.29
M45Y	0.78	2.30	16.36	523.37	70.0	Inadecuado	1.79
M46Y	0.78	2.30	16.26	520.44	69.6	Inadecuado	1.79
M47Y	0.78	1.45	9.37	299.76	63.6	Inadecuado	1.13
M48Y	0.70	2.07	12.20	390.55	64.7	Inadecuado	1.45
M49Y	0.83	2.35	21.05	673.61	82.9	Inadecuado	1.95
M51Y	0.70	1.30	11.11	355.51	93.8	Inadecuado	0.91
M52Y	0.86	2.08	15.42	493.33	66.2	Inadecuado	1.79
M53Y	0.78	2.22	12.91	413.06	57.3	Inadecuado	1.73
M54Y	0.78	1.65	9.31	297.81	55.5	Inadecuado	1.29
M55Y	0.78	1.50	11.95	382.30	78.4	Inadecuado	1.17
M56Y	0.78	2.33	16.84	538.85	71.2	Inadecuado	1.82
M57Y	0.78	4.32	28.75	920.15	65.5	Inadecuado	3.37
M58Y	0.78	1.54	12.05	385.48	77.0	Inadecuado	1.20
M59Y	0.78	1.33	12.43	397.88	92.0	Inadecuado	1.04
M60Y	0.86	3.52	31.21	998.63	79.2	Inadecuado	3.03
M62Y	0.86	2.03	13.26	424.25	58.3	Inadecuado	1.75
M63Y	0.86	2.23	13.34	426.72	53.4	Inadecuado	1.92
							122.23

Fuente: Adaptado a Ficha de Reporte de Estudio de Vulnerabilidad, UPCP, 2004.

Estabilidad de los muros al volteo												
Peso volumétrico del muro		16	kNm ³		Z=	0.4						
Muro	Identific. de muro	a-b			Lados Arriostros	Factores		Valor m	M. Actuante 0.8ZC1mPa ²	Mresist 6,667t ²	Resultado Ma/Mr	
		a	b	t		P	C1					
		m	m	m			kNm ²	adim.	adim.	kN-m/m	kN-m/m	Adim.
1° Piso												
Tabique	V0X	1.30	1.12	0.80	2	12.8	0.9	0.125	0.78	4.27	Estable	
Tabique	V1y	1.15	1.89	0.79	2	12.6	0.9	0.125	0.60	4.16	Estable	
Tabique	V2y	0.97	1.35	0.78	2	12.5	0.9	0.125	0.42	4.06	Estable	
Tabique	V3y	0.97	1.35	0.78	2	12.5	0.9	0.125	0.42	4.06	Estable	
Tabique	TX1	1.21	4.60	0.80	1	12.8	0.9	0.500	2.70	4.27	Estable	
Tabique	TX2	3.28	4.60	0.80	1	12.8	0.9	0.500	19.83	4.27	Inestable	
Tabique	TX3	0.75	4.60	0.80	1	12.8	0.9	0.500	1.04	4.27	Estable	
Tabique	TX4	1.27	4.60	0.80	1	12.8	0.9	0.500	2.97	4.27	Estable	
Tabique	TX11	1.33	4.60	0.80	1	12.8	0.9	0.500	3.26	4.27	Estable	
Tabique	TX12	2.14	4.60	0.80	1	12.8	0.9	0.500	8.44	4.27	Inestable	
Tabique	TX13	1.86	4.60	0.80	1	12.8	0.9	0.500	6.38	4.27	Inestable	
Tabique	TX14	2.19	4.60	0.78	1	12.5	0.9	0.500	8.62	4.06	Estable	
Tabique	TX15	2.16	4.60	0.78	1	12.5	0.9	0.500	8.38	4.06	Inestable	
Tabique	TX16	1.8	4.60	0.99	1	15.8	0.9	0.500	7.39	6.53	Inestable	
Tabique	TX23	2.11	4.60	0.74	1	11.8	0.9	0.500	7.59	3.65	Inestable	
Tabique	TX24	2.32	4.60	0.74	1	11.8	0.9	0.500	9.18	3.65	Estable	
Tabique	TX25	2.27	4.60	0.75	1	12.0	0.9	0.500	8.90	3.75	Inestable	
Tabique	TX26	2.26	4.60	0.75	1	12.0	0.9	0.500	8.83	3.75	Inestable	
Tabique	TX27	2.38	4.60	0.70	1	11.2	0.9	0.500	9.14	3.27	Inestable	
Tabique	TX28	2.32	4.60	0.70	1	11.2	0.9	0.500	8.68	3.27	Estable	
Tabique	TX35	0.91	4.60	0.70	1	11.2	0.9	0.500	1.34	3.27	Estable	
Tabique	TX36	2.03	4.60	0.68	1	10.9	0.9	0.500	6.46	3.08	Inestable	
Tabique	TX37	2.12	4.60	0.70	1	11.2	0.9	0.500	7.25	3.27	Inestable	
Tabique	TX38	4.60	5.78	0.45	1	7.2	0.9	0.500	21.94	1.35	Estable	
Tabique	TX43	4.78	4.60	0.70	1	11.2	0.9	0.500	36.85	3.27	Inestable	
Tabique	TX44	1.53	4.60	0.70	1	11.2	0.9	0.500	3.78	3.27	Inestable	
Tabique	TX45	4.60	7.68	0.70	1	11.2	0.9	0.500	34.13	3.27	Inestable	
Tabique	TX52	0.83	4.60	0.45	1	7.2	0.9	0.500	0.71	1.35	Estable	
Tabique	TX53	4.60	5.78	0.45	1	7.2	0.9	0.500	21.94	1.35	Inestable	
Tabique	TX54	4.60	5.81	0.45	1	7.2	0.9	0.500	21.94	1.35	Inestable	
Tabique	TX55	4.60	5.86	0.70	1	11.2	0.9	0.500	34.13	3.27	Inestable	
Tabique	TX56	4.52	4.60	0.70	1	11.2	0.9	0.500	32.95	3.27	Inestable	
Tabique	TX57	2.27	4.60	0.50	1	8.0	0.9	0.500	5.94	1.67	Inestable	
Tabique	TX58	2.72	4.60	0.50	1	8.0	0.9	0.500	8.52	1.67	Inestable	
Tabique	TY4	4.60	5.54	0.80	1	12.8	0.9	0.500	39.00	4.27	Inestable	
Tabique	TY5	4.60	5.79	0.72	1	11.5	0.9	0.500	35.10	3.46	Inestable	
Tabique	TY35	4.60	6.27	0.74	1	11.8	0.9	0.500	36.08	3.65	Inestable	
Tabique	TY36	3.17	4.60	0.80	1	12.8	0.9	0.500	18.52	4.27	Inestable	
Tabique	TY37	2.27	4.60	0.80	1	12.8	0.9	0.500	9.50	4.27	Inestable	

Fuente: Adaptado a ficha de reporte de estudio de vulnerabilidad, (UPCP, 2004)

Factores influyentes para la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad				
Estructural			No estructural	
Densidad	Mano de obra y materiales		Tabiquería	
Adecuada	Buena calidad		Tdos estables	
Aceptable	Regular calidad		Algunos estables	X
Inadecuada	X	Mala calidad	Todos inestables	
Vulnerabilidad			Alta	

Calificación
Vulnerabilidad
Alta

Diagnóstico:

La casona sin lugar a duda ha tenido un largo periodo de vida y no se ha visto afectada por daños importantes es importante reconocer la adecuada conservación y mantenimiento, además del trabajo de los antiguos constructores que han sabido manejar todo el proceso constructivo y selección de materiales.

La densidad tanto en X como en Y es inadecuada, ya que el área de muros existente no satisface el área de muros requerida esfuerzos cortantes superaron los 25 Kpa en la mayoría, no cabe duda que de presentarse un sismo los daños serían irreparables

Debido a la falta de reforzamiento de los muros estos en su mayoría son inestables.

Debido a la irregularidad de la estructura se generaran fuerzas de torsión que podrían afectar en gran medida la edificación Casi todos los muros portantes exceden a mas del doble del valor del esfuerzo cortante admisible en ambas direcciones habrá problemas de humedecimiento en los muros en forma constante, reduciendo la calidad estructural.

Por ello, podemos concluir que es vulnerable sísmicamente. Además, debido a las lluvias que sufre la localidad habrá problemas de humedecimiento en los muros en forma constante, reduciendo la calidad estructural.

Recomendaciones

La vivienda podría reforzarse, con malla electrosoldada, internamente y externamente, para aumentar la resistencia de algunos muros.

También se podría colocar elementos para asegurar los arriostres los que podrían ser de madera o acero teniendo cuidado de no afectar la configuración inicial.

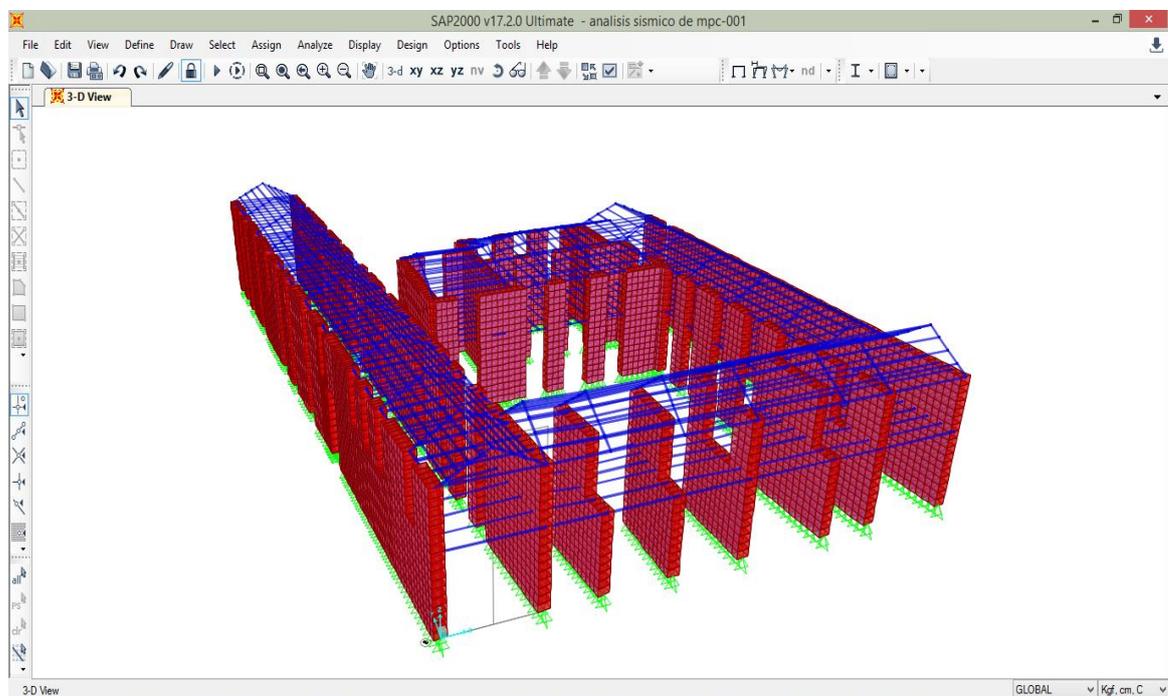
Otra recomendación para el reforzamiento es colocar tirantes de acero en forma de anillo en la parte superior e intermedia del muro esto proporciona rigidez a la estructura por problemas de configuración y altura.

Fuente: Adaptado a ficha de reporte de estudio de vulnerabilidad (UPCP,2004)

4.1.6. Modelo dinámico:

Para la modelación de la estructura se usó el software de análisis estructural SAP 200 V. 17.2, en el cual se simuló las características geométricas a partir de los planos, las propiedades de los materiales a partir de los ensayos realizados y la bibliografía existente. En la figura 54 podemos observar la modelación de la casona extruida en la que se puede apreciar los muros de adobe y las vigas de madera.

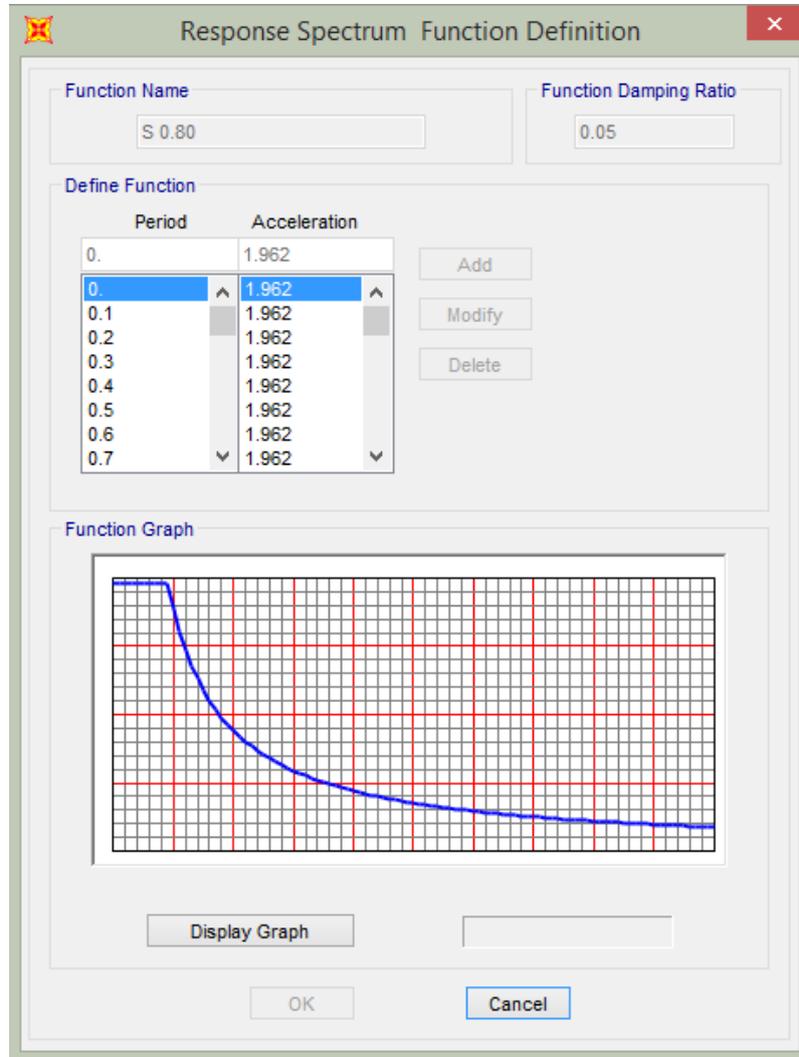
Fig. 54: Modelo extruido de la casona Espinach.



Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V17.2, 2015

La estructura de la casona Espinach, será modelado con el método más usado universalmente para el cálculo de fuerzas sísmicas, a través de un análisis modal espectral, que representa la sismografía de un determinado lugar, la casona está ubicado sobre suelo flexible, por ello se empleara el espectro de aceleración para suelos flexibles.

Fig. 55: Espectro de aceleración para suelos flexibles ingresado en el software SAP 2000.



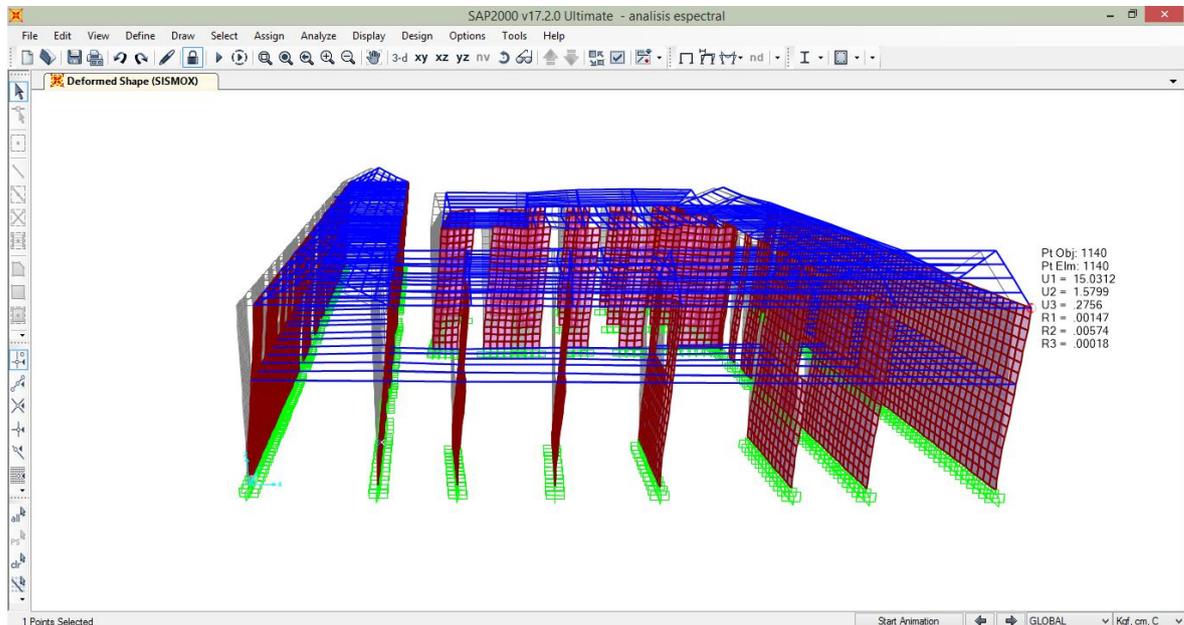
Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V17.2, 2015

Para el análisis sísmico modal espectral se define la carga viva y carga muerta sobre las vigas de madera de cada nivel, también se ingresan las propiedades de los materiales previamente definidas, así mismo cargamos el espectro de aceleración para suelos flexibles, el que definirá las fuerzas sísmicas actantes en los muros según el espectro de aceleración.

Corremos el análisis dinámico y tenemos:

En la figura 56, se puede observar la deformación de la estructura en la dirección de X, obteniendo un desplazamiento máximo de 15.03 cm

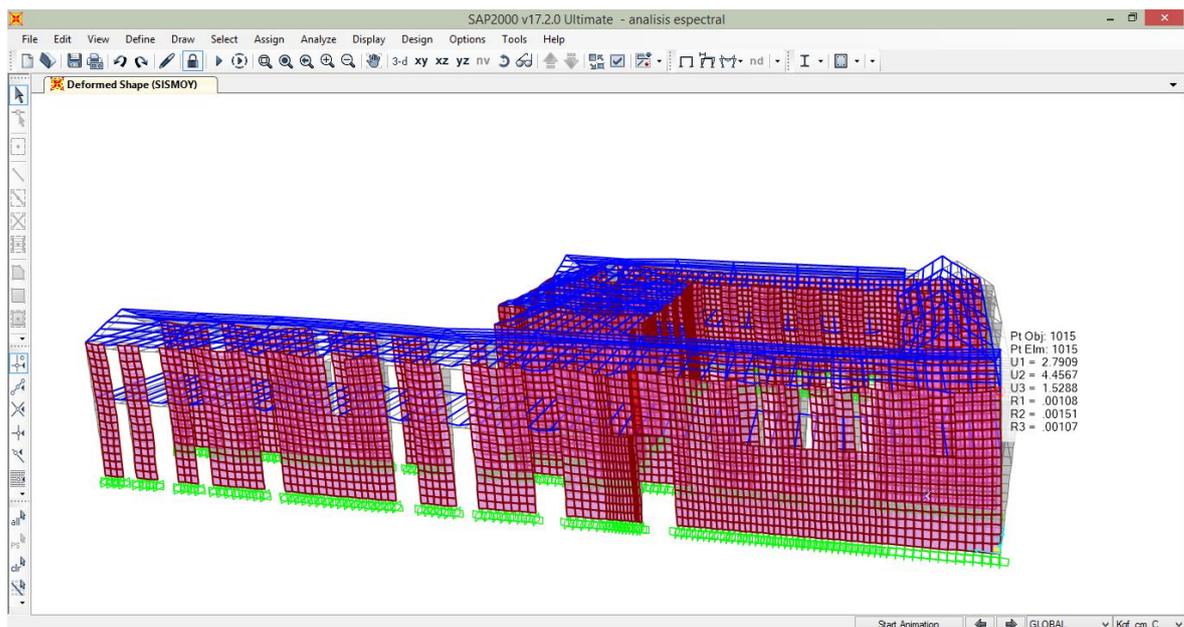
Fig. 56: Estructura analizada con fuerza sísmica en X.



Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V17.2, 2015.

Si sometemos a la estructura con la fuerza sísmica en Y, obtenemos la siguiente deformación en la dirección de Y, el programa muestra que la estructura se desplaza 4.45 cm.

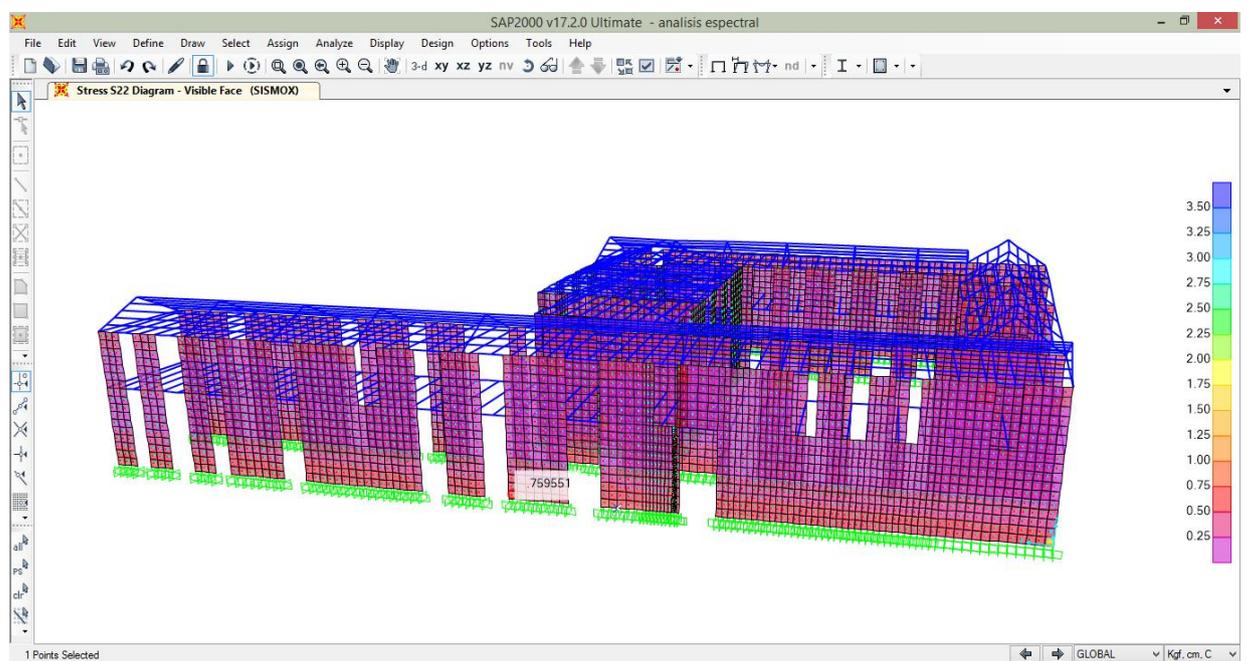
Fig. 57: Estructura analizada con fuerza sísmica en Y.



Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V17.2, 2015.

De acuerdo al análisis sísmico, si analizamos la estructura con la fuerza sísmica en X, obtenemos fuerzas cortantes que superan los 0.25 kg/cm², establecido por la norma de adobe. Podemos determinar que la fuerza sísmica supera muy por encima del valor de cortante admisible, en la figura 58 podemos ver que la mayor fuerza cortante se presenta en la base de los muros, con un valor 0.76 kg/cm².

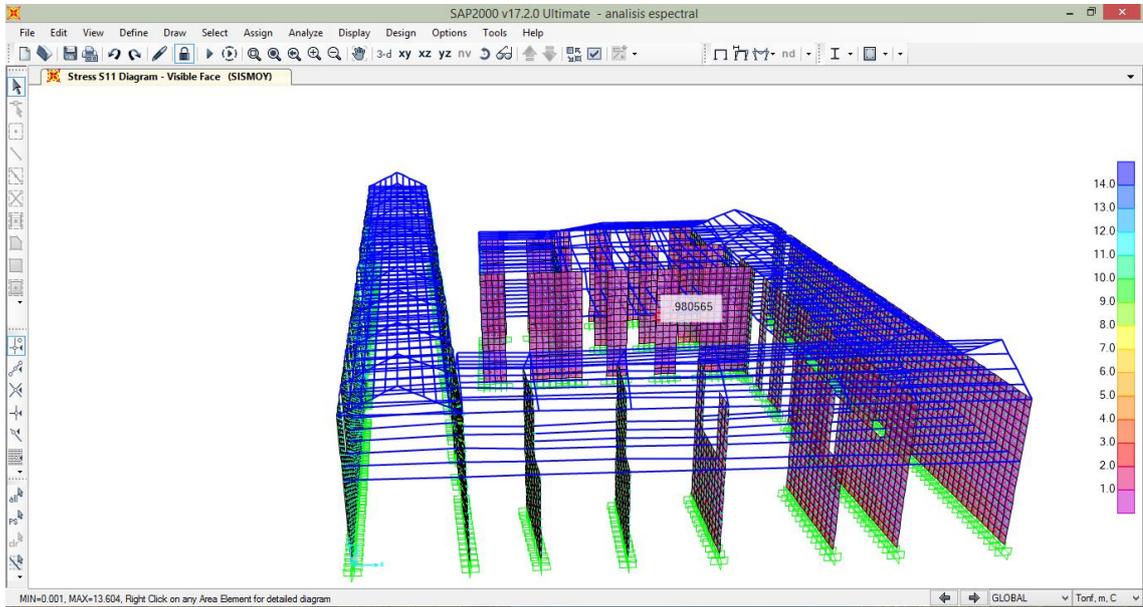
Fig. 58: Estructura analizada con fuerza sísmica en X.



Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V17.2, 2015.

Así mismo analizando la estructura con la fuerza sísmica en Y, en la figura 69, podemos apreciar que tenemos fuerzas cortantes con un valor de 0.98 kg/cm².

Fig. 59: Estructura analizada con fuerza sísmica en Y.



Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V17.2, 2015.

CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Tipo de diseño de investigación.

- a.* **Transeccional o transversal:** Descriptivo

5.2. Material de estudio.

5.2.1. Unidad de estudio.

Casona Espinach – Ex Palacio Municipal de Ciudad de Cajamarca.

5.2.2. Población.

Todas las casonas de adobe de la zona monumental de Cajamarca.

5.2.3. Muestra.

Los elementos que forman parte de la estructura de la Casona Espinach.

5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

5.3.1. Para recolectar datos.

La metodología para conseguir la información de esta investigación está conformada por las siguientes actividades:

- La principal de ellas está en una revisión exhaustiva del estado del arte a lo que está referida la investigación, considerando a las diferentes técnicas y metodologías utilizadas en el mundo para evaluar la vulnerabilidad sísmica en edificios históricos, revisando trabajos de autores experimentados en el tema, desde bases de datos en internet de revistas y tesis de ingeniería actualizadas.

- Recopilar antecedentes históricos sobre la construcción, materiales utilizados, geometría, reformas que se han realizado en la estructura de la Casona Espinach – Ex Palacio Municipal de la Ciudad de Cajamarca.
- Escoger la metodología más idónea para aplicar al caso de estudio.

5.3.2. Para analizar información.

La metodología para realizar el análisis de la investigación está conformada por las siguientes actividades:

- Realizar un estudio para la identificación y caracterización de los materiales y su configuración estructural, con información obtenida de la literatura y pruebas experimentales y de campo.
- Construir un modelo analítico para la estructura escogida, a partir de medidas de planos y la definición de las características de sismicidad local de la zona en la que está ubicada la casona.
- Realizar el análisis de vulnerabilidad utilizando las hojas de reporte para determinar la vulnerabilidad sísmica de la Casona Espinach – Ex palacio Municipal en la Ciudad de Cajamarca.
- Realizar el modelamiento en el programa de análisis estructural SAP 2000 -17.2.
- Obtener resultados y conclusiones del desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Los resultados para determinar la vulnerabilidad sísmica de la casona están en función a las hojas de reporte de vulnerabilidad en adobe.

Así mismo para poder determinar el comportamiento de la estructura se ha realizado el modelado en el software de análisis estructural, SAP 2000 V. 17.2

Hojas de Reporte:

En la hoja de reporte N° 01.1 se logró identificar las características propias del estado actual de la casona a través de un análisis cualitativo en el cual se determinó los antecedentes de la casona, el cual pone en evidencia su antigüedad y sobretodo los peligros potenciales que afectan la zona donde se ubica. (Ver figura 60)

Fig. 60: Antecedentes de la casona Espinach, registrados en la hoja de reporte.

 ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DE VIVIENDAS DE ADOBE FICHA DE REPORTE			
Código de vivienda encuestada:			EH 1
Tipo de sistema estructural:			Adobe
ANTECEDENTES			
Departamento :	CAJAMARCA	Provincia :	CAJAMARCA
Distrito :	CAJAMARCA	Dirección:	ENTRE EL JR. CRUZ DE PIEDRA Y JR JUNIN
Dirección técnica en el diseño:	Ninguna		
Dirección técnica en la construcción:	Recibió indicaciones del constructor en aquella época, según su conocimiento		
Pisos construidos:	2	Pisos proyectados:	2
Antigüedad de la vivienda:	275 años		
Peligros naturales potenciales que afectan la vivienda:	Los peligros identificados en la casona son sismos severos, y lluvias intensas y moderadas.		
Topografía y geotécnica:	Tiene una pendiente con un valor de 6.7 %. El suelo es de tipo gravoso y arcilloso.		
Estado de la vivienda:	La vivienda se encuentra en un estado regular de conservación. Hay filtraciones causadas por la lluvia en los muros que podría conllevar a problemas posteriores debido a la humedad, hay desgaste de material en los elementos de madera, hay presencia de fisuras asentamientos en algunos muros y pequeñas grietas.		

Fuente: Adaptado a ficha de reporte de estudio de vulnerabilidad. (UPCP, 2004)

En cuanto a los aspectos técnicos, como es de suponerse esta casona se construyó con los conocimientos propios del antiguo constructor y la configuración adaptada en la época. Se identificó los elementos que conforman la edificación, los cuales se detallan en la figura 61.

Fig. 61: Aspectos técnicos de la casona Espinach, registrados en la hoja de Reporte.

ASPECTOS TÉCNICOS	
Elementos de la vivienda:	
Elementos	Características
Cimientos	Aparentemente en buen estado y es un tipo de cimentación ciclópea
Muros	Adobe de 64 cm x 40 cm x 10 cm, juntas de 1.5 cm @ 2 cm y revestimiento de yeso.
Techo	Conformado vigas de madera eucalipto en el primer nivel y en el segundo nivel vigas de madera eucalipto y carrizo, con cobertura de teja
Vigas	Vigas de madera eucalipto rollizo de 6" sobre muro y en dinteles.
Otros	Tímpanos que varían entre 1 metro y 2 metros de altura

Fuente: Adaptado a ficha de reporte de estudio de vulnerabilidad. (UPCP, 2004)

Entre las deficiencias de la estructura se ha podido identificar los siguientes problemas referidos, a la ubicación, la mano de obra, los problemas constructivos, estructurales y mano de obra. (Ver figura 62).

Fig. 62: Deficiencias de la casona Espinach, registrados en la hoja de reporte.

Deficiencias de la estructura:	
PROBLEMAS DE UBICACIÓN	PROBLEMAS ESTRUCTURALES
<input type="checkbox"/> Vivienda sobre suelo de relleno	<input checked="" type="checkbox"/> Densidad de muros inadecuada
<input type="checkbox"/> Vivienda sobre suelo no consolidado	<input type="checkbox"/> Muros sin viga solera de madera o concreto
<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda con asentamiento	<input checked="" type="checkbox"/> Muros sin confinar resistentes a sismo
<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda en pendiente	<input type="checkbox"/> Cimientos y/o sobrecimientos inadecuados
<input checked="" type="checkbox"/> Otros:	<input type="checkbox"/> Dinteles con reducida longitud de apoyo
se encuentra en una zona de alto peligro sísmico	<input type="checkbox"/> Tabiquería no arriestrada
PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS	<input checked="" type="checkbox"/> Torsión en planta
<input checked="" type="checkbox"/> Muros expuestos a lluvia	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda sin junta sísmica
<input type="checkbox"/> Juntas de construcción mal ubicadas	<input checked="" type="checkbox"/> Otros:
<input type="checkbox"/> Combinación de ladrillo con adobe o tapial en muros	Estructura con una configuración irregular en planta que se asemeja a una L.
<input type="checkbox"/> Unión muro techo no monolítica	MANO DE OBRA
<input type="checkbox"/> Muros inadecuados para soportar empuje lateral	<input type="checkbox"/> Buena <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala
<input checked="" type="checkbox"/> Unidades de adobe o tapial de baja calidad	OTROS
<input checked="" type="checkbox"/> Otros: Carece de juntas de construcción	
Asentamiento en algunos muros y descascaramiento de revestimiento	

Fuente: Adaptado a ficha de reporte de estudio de vulnerabilidad. (UPCP, 2004).

Según las características de Cajamarca y la zona dónde está ubicada la casona se ha identificado los siguientes peligros potenciales:

Fig. 63: Peligros potenciales identificados en la casona Espinach, registrados en la hoja de reporte.

PELIGROS NATURALES POTENCIALES	
<input checked="" type="checkbox"/> Sismos	<input checked="" type="checkbox"/> Lluvia
<input type="checkbox"/> Huayco	<input type="checkbox"/> Viento
<input type="checkbox"/> Deslizamiento	<input type="checkbox"/> Inundación
<input type="checkbox"/> Otros	
OBSERVACIONES Y COMENTARIOS	
La edificación está expuesta a lluvias de moderada intensidad que pueden debilitar los muros de adobe, hay presencia de filtraciones	
es muy antigua (275 años), los materiales están afectados por el desgaste y presencia de factores químicos, corrosión y humedad.	
La edificación tiene una configuración estructural irregular en L, la que puede causar torsión al generarse las fuerzas sísmicas	
La edificación no cuenta con ningún tipo de reforzamiento.	

Fuente: Adaptado a ficha de reporte de estudio de vulnerabilidad. (UPCP, 2004)

En la hoja de reporte 01.2, como ya se mencionó anteriormente, se hace un análisis en base a la norma de adobe E. 080, el resultado del análisis por sismo arrojó que la densidad de muros en X y en Y es inadecuada, tanto para el primer y segundo nivel, estos resultados están en función a la relación de Área existente / Área requerida (A_e/A_r), arrojó los siguientes valores, definidos en la tabla N° 13,

TABLA 13: Resultados de la densidad de muros

NIVELES	EJES	Relación	Resultado
		A_e / A_r	
PRIMERO	Eje X	0.14	Inadecuada
	Eje Y	0.35	Inadecuada
SEGUNDO	Eje X	0.09	Inadecuada
	Eje Y	0.27	Inadecuada

Fuente: Elaboración propia, 2015

El siguiente análisis realizado, es la verificación de esfuerzo admisible para los muros de adobe (muros portantes), para ello se determinó las áreas tributarias que carga cada muro, y se compara el esfuerzo sísmico a corte, con el esfuerzo admisible que según norma no debe superar los 25KPa, los resultados para cada nivel son los siguientes.

En la tabla 14 tenemos los valores de los muros portantes en el eje X para el primer piso, como se puede observar en este nivel los muros son inadecuados, superando hasta 6 veces el valor del esfuerzo admisible.

Tabla 14: Verificación de los muros portantes a corte en el eje X del primer Nivel.

VERIFICACION DE MUROS A CORTE - PRIMER NIVEL				
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")				
Identificación del muro	Área tributaria (m ²)	Esfuerzo Sísmico a Corte (Kpa)	Esfuerzo Admisible (Kpa)	Resultado
M5X	6.29	53.4	25	Inadecuado
M6X	5.99	35.5	25	Inadecuado
M7X	6.6	45.6	25	Inadecuado
M8X	7.17	82.88	25	Inadecuado
M9X	8.03	39.51	25	Inadecuado
M10X	9.53	39.95	25	Inadecuado
M17X	9.48	45.34	25	Inadecuado
M18X	7.67	47.56	25	Inadecuado
M19X	5.91	81.06	25	Inadecuado
M20X	6.57	62.7	25	Inadecuado
M21X	5.98	47.23	25	Inadecuado
M22X	6.95	39.72	25	Inadecuado
M29X	24.25	73.08	25	Inadecuado
M30X	22.21	157.24	25	Inadecuado
M31X	21.16	152.71	25	Inadecuado
M32X	14.94	105.05	25	Inadecuado
M33X	23.62	112.33	25	Inadecuado
M34X	20.23	129.06	25	Inadecuado
M39X	14.73	117.1	25	Inadecuado
M40X	19.85	150.19	25	Inadecuado
M41X	20.69	156.54	25	Inadecuado
M42X	23.08	112.04	25	Inadecuado
M46X	8.54	44.83	25	Inadecuado
M47X	9.8	59.1	25	Inadecuado
M48X	9.68	57.73	25	Inadecuado
M49X	6.89	44.72	25	Inadecuado
M50X	20.93	112	25	Inadecuado
M51X	19.92	111.53	25	Inadecuado
M52X	2.15	44.15	25	Inadecuado
M53X	14.14	41.76	25	Inadecuado
M54X	15.2	44.64	25	Inadecuado
M55X	16.04	30.04	25	Inadecuado
M56X	17.24	41.84	25	Inadecuado
M57X	3.46	23.42	25	OK
M58X	5.74	32.43	25	Inadecuado

Fuente: Elaboración propia, 2015

Del mismo modo ocurre para la dirección Y del primer nivel, como se puede apreciar en la tabla 15, el menor esfuerzo cortante obtenido es de 17.4, KPa, muy cerca del límite establecido en la norma y el máximo valor obtenido es 136.2, KPa, sin duda la fuerza

sísmica supera los 25 KPa en la gran mayoría de los muros portantes de la dirección Y del primer nivel.

Tabla 15: Verificación de muros portantes a corte en el eje Y, del primer nivel.

VERIFICACION DE MUROS A CORTE - PRIMER NIVEL				
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")				
Identificación del muro	Área tributaria (m ²)	Esfuerzo Sísmico a Corte (Kpa)	Esfuerzo Admisible (Kpa)	Resultado
M1Y	17.90	30.10	25	Inadecuado
M2Y	25.45	41.90	25	Inadecuado
M3Y	10.79	18.90	25	OK
M6Y	10.35	17.75	25	OK
M7Y	28.33	46.18	25	Inadecuado
M8Y	17.47	26.22	25	Inadecuado
M9Y	24.06	20.87	25	OK
M10Y	13.17	71.42	25	Inadecuado
M11Y	19.75	109.59	25	Inadecuado
M12Y	20.38	105.75	25	Inadecuado
M13Y	8.96	110.24	25	Inadecuado
M14Y	16.17	136.20	25	Inadecuado
M15Y	16.87	134.99	25	Inadecuado
M16Y	26.20	28.33	25	Inadecuado
M17Y	10.54	39.44	25	Inadecuado
M18Y	11.70	87.06	25	Inadecuado
M19Y	14.03	92.88	25	Inadecuado
M20Y	9.66	100.80	25	Inadecuado
M21Y	11.99	84.60	25	Inadecuado
M22Y	15.35	109.15	25	Inadecuado
M23Y	37.79	29.98	25	Inadecuado
M24Y	17.13	189.05	25	Inadecuado
M25Y	10.36	45.60	25	Inadecuado
M26Y	27.59	72.44	25	Inadecuado
M27Y	8.63	42.69	25	Inadecuado
M28Y	9.43	45.37	25	Inadecuado
M29Y	15.85	62.11	25	Inadecuado
M30Y	9.75	43.65	25	Inadecuado
M31Y	4.68	51.34	25	Inadecuado
M32Y	6.88	88.78	25	Inadecuado
M33Y	15.22	66.27	25	Inadecuado
M34Y	14.91	17.40	25	OK
M38Y	10.18	47.04	25	Inadecuado
M39Y	18.72	32.28	25	Inadecuado
M40Y	12.56	59.45	25	Inadecuado
M41Y	13.46	50.38	25	Inadecuado
M42Y	7.25	79.51	25	Inadecuado
M43Y	12.66	70.60	25	Inadecuado
M44Y	3.92	72.81	25	Inadecuado
M45Y	7.10	37.28	25	Inadecuado
M46Y	5.08	56.18	25	Inadecuado
M47Y	11.47	27.90	25	Inadecuado
M48Y	8.47	36.40	25	Inadecuado
M49Y	8.49	77.36	25	Inadecuado
M50Y	8.98	70.18	25	Inadecuado
M51Y	9.11	69.00	25	Inadecuado
M52Y	12.87	60.92	25	Inadecuado
M53Y	8.02	35.97	25	Inadecuado
M54Y	6.62	40.51	25	Inadecuado
M55Y	7.99	53.89	25	Inadecuado
M56Y	13.61	56.30	25	Inadecuado
M57Y	42.29	45.80	25	Inadecuado
M58Y	8.14	54.13	25	Inadecuado
M59Y	4.80	35.84	25	Inadecuado

Fuente: Elaboración propia, 2015

Con respecto al segundo nivel, todos los muros del eje X, superan el esfuerzo admisible, obteniendo un valor máximo de 181.93 KPa, y un valor mínimo de 42.04 KPa.

Tabla 16: Verificación de los muros portantes a corte en el eje X del segundo Nivel.

VERIFICACION DE MUROS A CORTE - SEGUNDO NIVEL				
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")				
Identificación del muro	Área tributaria (m ²)	Esfuerzo Sísmico a Corte (Kpa)	Esfuerzo Admisible (Kpa)	Resultado
M5X	10.68	42.04	25	Inadecuado
M7X	33.60	49.78	25	Inadecuado
M9X	13.66	64.30	25	Inadecuado
M10X	20.66	74.30	25	Inadecuado
M17X	12.21	60.88	25	Inadecuado
M18X	10.87	71.84	25	Inadecuado
M19X	19.31	46.88	25	Inadecuado
M21X	9.82	79.18	25	Inadecuado
M22X	10.78	68.37	25	Inadecuado
M29X	5.50	68.60	25	Inadecuado
M30X	32.25	105.29	25	Inadecuado
M31X	33.82	133.48	25	Inadecuado
M32X	23.05	114.35	25	Inadecuado
M33X	28.52	181.93	25	Inadecuado
M34X	25.67	116.38	25	Inadecuado
M39X	14.76	116.48	25	Inadecuado
M40X	19.81	149.86	25	Inadecuado
M41X	20.69	156.54	25	Inadecuado
M42X	23.05	68.92	25	Inadecuado
M46X	12.60	66.13	25	Inadecuado
M47X	14.52	87.05	25	Inadecuado
M48X	14.40	85.41	25	Inadecuado
M49X	11.77	77.31	25	Inadecuado
M50X	22.36	119.69	25	Inadecuado
M51X	15.70	87.86	25	Inadecuado

Fuente: Elaboración propia, 2015

Para la dirección Y del segundo nivel, no ocurre lo contrario, pues solo dos muros tienen un valor inferior al esfuerzo admisible el mínimo es de 17.39 Kpa., y el máximo valor obtenido es de 182.27 KPa, (ver tabla 17).

Tabla 17: Verificación de los muros portantes a corte en el eje Y del segundo nivel.

VERIFICACION DE MUROS A CORTE - SEGUNDO NIVEL				
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")				
Identificación del muro	Área tributaria (m ²)	Esfuerzo Sísmico a Corte (Kpa)	Esfuerzo Admisible (Kpa)	Resultado
M1Y	21.58	98.21	25	Inadecuado
M2Y	14.16	31.85	25	Inadecuado
M3Y	17.08	39.22	25	Inadecuado
M6Y	9.83	21.98	25	OK
M7Y	21.39	80.86	25	Inadecuado
M8Y	37.19	55.82	25	Inadecuado
M9Y	53.89	46.19	25	Inadecuado
M10Y	16.49	80.75	25	Inadecuado
M11Y	21.14	159.77	25	Inadecuado
M12Y	22.62	149.76	25	Inadecuado
M13Y	6.53	133.32	25	Inadecuado
M14Y	21.64	182.27	25	Inadecuado
M15Y	21.46	171.69	25	Inadecuado
M16Y	39.68	42.95	25	Inadecuado
M17Y	23.60	48.31	25	Inadecuado
M18Y	14.84	112.21	25	Inadecuado
M19Y	17.76	115.20	25	Inadecuado
M20Y	18.52	101.57	25	Inadecuado
M22Y	28.25	90.39	25	Inadecuado
M23Y	60.39	46.79	25	Inadecuado
M24Y	13.22	77.46	25	Inadecuado
M25Y	9.14	36.41	25	Inadecuado
M26Y	26.02	66.61	25	Inadecuado
M27Y	6.03	94.22	25	Inadecuado
M28Y	14.88	55.09	25	Inadecuado
M29Y	15.43	60.67	25	Inadecuado
M30Y	22.56	66.35	25	Inadecuado
M33Y	22.10	71.74	25	Inadecuado
M34Y	14.90	17.39	25	OK
M39Y	23.03	53.59	25	Inadecuado
M40Y	40.53	66.97	25	Inadecuado
M42Y	7.31	69.44	25	Inadecuado
M43Y	15.70	93.10	25	Inadecuado
M45Y	16.36	70.02	25	Inadecuado
M46Y	16.26	69.62	25	Inadecuado
M47Y	9.37	63.61	25	Inadecuado
M48Y	12.20	64.69	25	Inadecuado
M49Y	21.05	82.88	25	Inadecuado
M51Y	11.11	93.76	25	Inadecuado
M52Y	15.42	66.19	25	Inadecuado
M53Y	12.91	57.25	25	Inadecuado
M54Y	9.31	55.54	25	Inadecuado
M55Y	11.95	78.42	25	Inadecuado
M56Y	16.84	71.16	25	Inadecuado
M57Y	28.75	65.54	25	Inadecuado
M58Y	12.05	77.02	25	Inadecuado
M59Y	12.43	92.05	25	Inadecuado
M60Y	31.21	79.17	25	Inadecuado
M62Y	13.26	58.32	25	Inadecuado
M63Y	13.34	53.40	25	Inadecuado

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Otro parámetro importante fue el análisis de la estabilidad de muros al volteo, en donde se identificó todos los muros que no cargan, los que funcionan como tabiquería (elementos no estructurales), determinándose el Momento Actante (M_a) y Momento Resistente (M_r) que soportan, posterior a ello se hace una verificación de estabilidad, el Momento Actante debe ser menor que el Momento Resistente ($M_a < M_r$).

Como se puede ver en la tabla 18, la gran mayoría de elementos no estructurales son inestables y sin lugar a duda estos ante un movimiento sísmico, se desplomarían.

Tabla 18: Estabilidad de los muros al volteo del primer nivel.

ESTABILIDAD DE MUROS AL VOLTEO - PRIMER NIVEL					
tipo de elemento no estructural	Identificación del muro	Lados Arriostrados	M. Actuante kN-m/m	M.resistente	Resultado
Tabique	V0X	2	0.78	4.27	Estable
Tabique	V1y	2	0.6	4.16	Estable
Tabique	V2y	2	0.42	4.06	Estable
Tabique	V3y	2	0.42	4.06	Estable
Tabique	TX1	1	2.7	4.27	Estable
Tabique	TX2	1	19.83	4.27	Inestable
Tabique	TX3	1	1.04	4.27	Estable
Tabique	TX4	1	2.97	4.27	Estable
Tabique	TX11	1	3.26	4.27	Estable
Tabique	TX12	1	8.44	4.27	Inestable
Tabique	TX13	1	6.38	4.27	Inestable
Tabique	TX14	1	8.62	4.06	Inestable
Tabique	TX15	1	8.38	4.06	Inestable
Tabique	TX16	1	7.39	6.53	Inestable
Tabique	TX23	1	7.59	3.65	Inestable
Tabique	TX24	1	9.18	3.65	Inestable
Tabique	TX25	1	8.9	3.75	Inestable
Tabique	TX26	1	8.83	3.75	Inestable
Tabique	TX27	1	9.14	3.27	Inestable
Tabique	TX28	1	8.68	3.27	Inestable
Tabique	TX35	1	1.34	3.27	Estable
Tabique	TX36	1	6.46	3.08	Inestable
Tabique	TX37	1	7.25	3.27	Inestable
Tabique	TX38	1	21.94	1.35	Inestable
Tabique	TX43	1	36.85	3.27	Inestable
Tabique	TX44	1	3.78	3.27	Inestable
Tabique	TX45	1	34.13	3.27	Inestable
Tabique	TX52	1	0.71	1.35	Estable
Tabique	TX53	1	21.94	1.35	Inestable
Tabique	TX54	1	21.94	1.35	Inestable
Tabique	TX55	1	34.13	3.27	Inestable
Tabique	TX56	1	32.95	3.27	Inestable
Tabique	TX57	1	5.94	1.67	Inestable
Tabique	TX58	1	8.52	1.67	Inestable
Tabique	TY4	1	39	4.27	Inestable
Tabique	TY5	1	35.1	3.46	Inestable
Tabique	TY35	1	36.08	3.65	Inestable
Tabique	TY36	1	18.52	4.27	Inestable
Tabique	TY37	1	9.5	4.27	Inestable

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla 19: Estabilidad de los muros al volteo del segundo nivel.

ESTABILIDAD DE MUROS AL VOLTEO - SEGUNDO NIVEL					
tipo de elemento estructural	Identificación del muro	Lados Arriostrados	M. Actuante kN-m/m	M.resistente	Resultado
Tabique	V1x	2	0.15	3.27	Estable
Tabique	V2x	2	0.15	3.27	Estable
Tabique	V3x	2	0.15	3.27	Estable
Tabique	V4x	2	0.12	2.09	Estable
Tabique	V1y	2	0.16	4.06	Estable
Tabique	V2y	2	0.16	4.06	Estable
Tabique	V3y	2	0.16	4.06	Estable
Tabique	TX1	1	2.23	4.27	Estable
Tabique	TX2	1	1.66	4.06	Estable
Tabique	TX3	1	18.41	4.27	Inestable
Tabique	TX12	1	9.03	4.37	Inestable
Tabique	TX13	1	7.24	4.37	Inestable
Tabique	TX14	1	9.08	4.27	Inestable
Tabique	TX15	1	8.6	4.27	Inestable
Tabique	TX16	1	5.11	3.27	Inestable
Tabique	TX23	1	8	4.06	Inestable
Tabique	TX24	1	9.22	3.65	Inestable
Tabique	TX25	1	8.98	3.75	Inestable
Tabique	TX26	1	8.9	3.75	Inestable
Tabique	TX27	1	1.9	3.46	Estable
Tabique	TX28	1	2.01	3.46	Estable
Tabique	TX36	1	6.78	3.08	Inestable
Tabique	TX37	1	7.25	3.27	Inestable
Tabique	TX43	1	6.08	2.09	Inestable
Tabique	TX44	1	6.59	2.09	Inestable
Tabique	TX45	1	11.76	3.27	Inestable
Tabique	TX55	1	23.29	3.27	Inestable
Tabique	TX56	1	23.29	3.27	Inestable
Tabique	TX57	1	5.83	1.67	Inestable
Tabique	TX58	1	7.2	1.67	Inestable
Tabique	TX59	1	3.68	3.27	Inestable
Tabique	TY3	1	26.62	4.27	Inestable
Tabique	TY4	1	23.29	3.27	Inestable
Tabique	TY5	1	23.29	3.27	Inestable
Tabique	TY61	1	3.53	3.27	Inestable
Tabique	TY35	1	3.68	3.27	Inestable
Tabique	TY36	1	24.62	3.65	Inestable
Tabique	TY37	1	9.5	4.27	Inestable

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Luego de realizar este análisis en función a los parámetros analizados, se tiene como resultado de la investigación, que la vulnerabilidad sísmica de la casona Espinach – Ex Palacio Municipal de la Ciudad de Cajamarca **es alta**.

Tabla 20: Calificación de la vulnerabilidad de la casona Espinach.

Incidencia Vulnerabilidad				
Parámetros	Situación	Valores	Incidencia	Resultado
Densidad	Inadecuada	3	1.8	2.6
Mano de obra y materiales	Regular calidad	2	0.6	
Tabiquería	Algunos estables	2	0.2	

Factores influyentes para la vulnerabilidad				
Vulnerabilidad				
Estructural			No estructural	
Densidad	Mano de obra y materiales		Tabiquería	
Adecuada	Buena calidad		Tdos estables	
Aceptable	Regular calidad		X	Algunos estables
Inadecuada	X	Mala calidad	Todos inestables	
Vulnerabilidad			Alta	
Calificación				
Vulnerabilidad				
Alta				

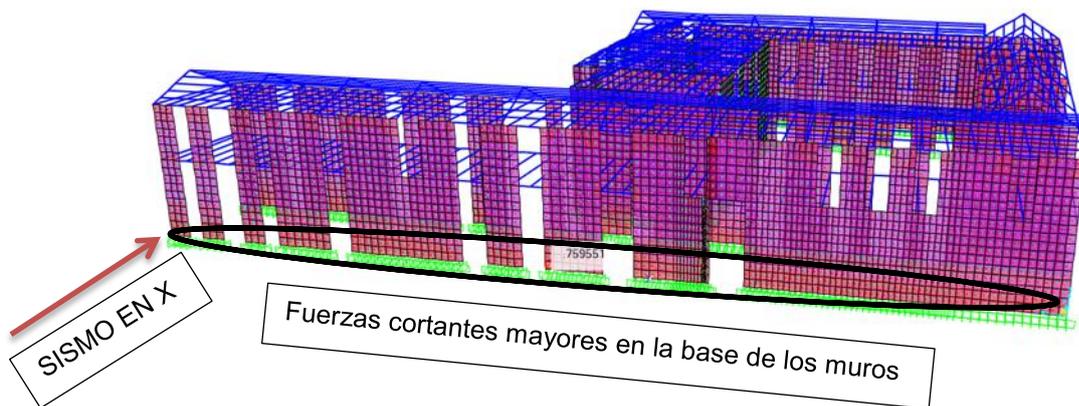
Fuente: Adaptado a Ficha de Reporte de Estudio de Vulnerabilidad. UPCP.

Modelo dinámico de la casona:

Para determinar el comportamiento de la estructura se hizo un modelo dinámico, en el cual a través de las características obtenidas con las pruebas de campo, se idealizó la estructura con la finalidad de determinar su comportamiento, según el espectro de aceleración para suelos flexibles.

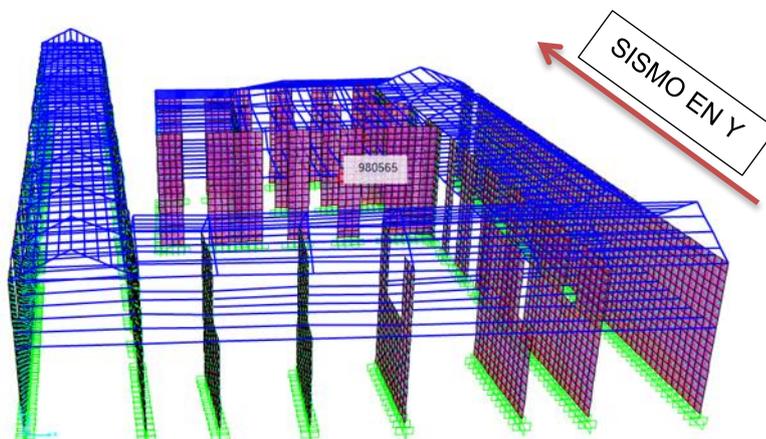
Las fuerzas cortantes analizadas con el modelo dinámico, en la mayoría de muros han superado los esfuerzos cortantes que establece la norma. Con el sismo en X las mayores fuerzas cortantes se presentan en la base de la estructura, con valores que están en el orden de los 0.76 kg/cm², como se puede observar en la figura 64, para el sismo en Y obtenemos valores que están alrededor de 0.98 kg/cm².

Fig.64: Fuerza cortante para sismo en X.



Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V17.2

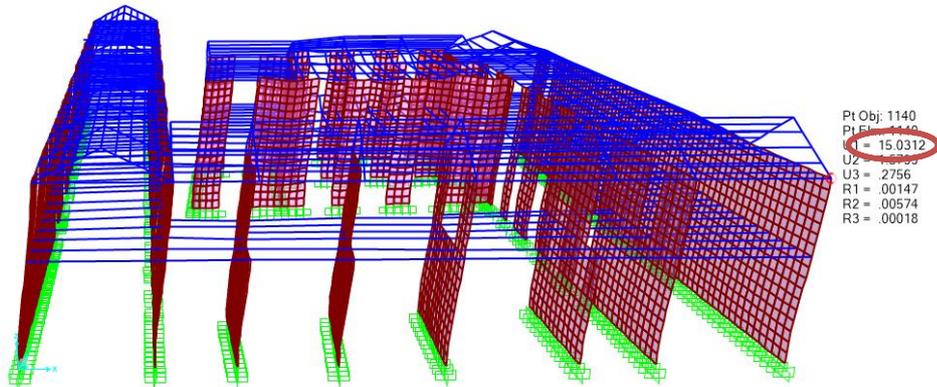
Fig. 65: Fuerza cortante para sismo en Y.



Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V17.2

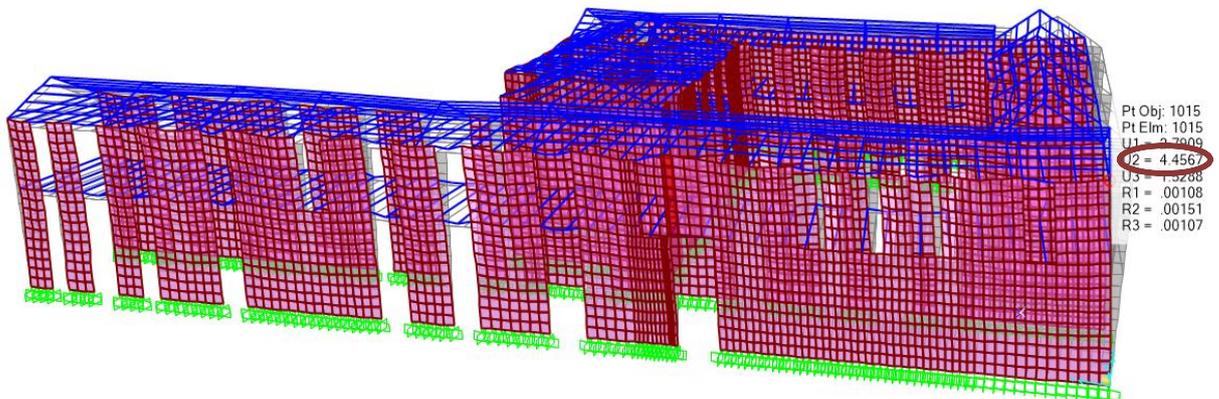
Con respecto al desplazamiento de la estructura en la dirección de X y Y, tenemos un valor de desplazamiento acumulado en la dirección de X de 15.03 cm (Ver figura 66), y con respecto al sismo en Y, un desplazamiento acumulado de 4.46 cm. (Ver figura 67).

Fig. 66: Desplazamiento en la dirección de X.



Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V17.2.

Fig. 67: Desplazamiento en la dirección de Y.



Fuente: Adaptación al software SAP 2000. V17.2

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Evaluar un edificio histórico es complicado, ya que prácticamente no se cuenta con mucha información de la casona en estudio, no se conocía ni las características ni las principales propiedades de los elementos que la conforman, un parámetro importante es la resistencia a la compresión del adobe obtenido el cual fue de 5.80 kg/cm^2 , muy por debajo de los 12 kg/cm^2 que sería lo óptimo, esto podría ser resultado de la antigüedad de del elemento, que ha sido afectado por distintos factores ambientales que han reducido su resistencia.

En nuestra ciudad no se han hecho estudios similares a cerca de las casonas de la zona monumental de Cajamarca, a pesar de que contamos con un muy valioso patrimonio histórico, actualmente en nuestra ciudad, encontramos casonas muy antiguas con peligro de colapsar.

En cuanto al estudio de la vulnerabilidad en la hoja de reporte 01.1 de acuerdo a los resultados obtenidos en esta etapa, se ha tiene un alcance de las características más importantes de la casona, esta casona sin lugar a duda ha tenido un largo periodo de vida y no se ha visto afectada por daños importantes, es preciso reconocer la adecuada conservación y mantenimiento, además del trabajo de los antiguos constructores que han sabido manejar todo el proceso constructivo y selección de materiales, así contar con este patrimonio tan importante en nuestra ciudad hasta la actualidad, aún no se ha registrado un sismo importante en la ciudad de Cajamarca, a pesar que está ubicada en en la zona de alto peligro sísmico, sin embargo en nuestra ciudad hay un periodo de silencio sísmico, y nos deja con gran incertidumbre de cuando, como y con qué intensidad se presente.

Un parámetro importante es la verificación por sismo la cual se ha desarrollado en la hoja de reporte N° 01.2. En esta etapa como ya se ha mencionado páginas atrás, la primera verificación es la densidad de muros, según los resultados obtenidos en la ficha de reporte para el caso de la casona Espinach, nos indica que los valores de la densidad tanto en X como en Y es inadecuada, ya que el área de muros existente no satisface el

área de muros requerida, por ello como resultado se tiene densidades inadecuados, siendo este resultado, el indicio para predecir la alta vulnerabilidad de la casona.

El siguiente análisis es la verificación del muro a corte, el análisis se ha realizado para los dos niveles, tanto para los muros portantes en la dirección de X como los muros portantes en la dirección de Y, cada muro carga un área tributaria, que evidentemente es muy superior a la capacidad del muro portante, es por ello que en el primer y segundo nivel nos arroja en su gran mayoría esfuerzos cortantes que superaron los 25 KPa, no cabe duda que de presentarse un sismo los daños serían irreparables, afectando en gran medida la seguridad de las personas y la pérdida del patrimonio.

El último pero no menos importante de los análisis, es la verificación de estabilidad de los muros al volteo realizado exclusivamente para tabiquería y parapetos (elementos no estructurales), en el que se hace una comparación del Momento Actante (M_a) y Momento Resistente (M_r), que soportan los elementos no estructurales, debido a las cargas perpendiculares a su plano. Sí, hacemos la comparación en la mayoría de elementos no estructurales, se obtiene que $M_r < M_a$. Dando como resultado que los tabiques son inestables, en el primer y segundo nivel, según los resultados en la mayoría hay inestabilidad estos resultados eran de esperarse ya que los muros no tienen un adecuado arrojamiento, el cual nos deja una gran inquietud, aunque dicha casona este en pie y sin aparentes daños estructurales, podría colapsar ante cualquier sismo moderado.

La vulnerabilidad como claramente se mencionó páginas atrás, está en función de la vulnerabilidad estructural, que mide los siguientes parámetros: la densidad de muros con una incidencia del 60%, la calidad de mano de obra y calidad de materiales con una incidencia del 30% y la vulnerabilidad no estructural; que está en función únicamente de la estabilidad de muros al volteo con una incidencia del 10 %, es aquí en donde se obtiene el resultado final, el que sin duda define la vulnerabilidad de la estructura, y tal como lo dice la hipótesis el resultado se reafirma, la vulnerabilidad sísmica de la casona Espinach es alta.

En cuanto al análisis dinámico de la estructura se puede determinar que las fuerzas cortantes de los muros son altas y superan lo establecido por la norma E.080,

Efectivamente, de presentarse un sismo este monumento, tendría serios daños estructurales, otro factor importante que nos da a entender el alto nivel de vulnerabilidad en el que se encuentra la Casona Espinach.

CONCLUSIONES

Por consiguiente a este estudio, se han obtenido Las conclusiones del análisis de la vulnerabilidad para la casona Espinach, una estructura de adobe no reforzada que tiene una antigüedad de 275 años, usando la metodología de las fichas de reporte desarrollada por alumnos de la Pontificia Universidad Católica del Perú, a través de la cual se logra una valoración sísmica fiable y satisfactoria desde el punto de vista probabilista y son:

1. Se logró determinar en función a los parámetros que la casona Espinach – Ex Palacio Municipal en la Ciudad de Cajamarca tiene un nivel de alta vulnerabilidad sísmica, obteniendo una calificación de 2.6.
2. Se logró determinar la resistencia a compresión del adobe, obteniendo un valor de 5.80 kg/cm², un valor que está muy por debajo de lo que indica la norma E.080 (12.kg/cm²).
3. Se determinó que la densidad de muros por nivel de la casona es inadecuada, tanto para el primer y como para el segundo nivel.
4. Se determinó que el esfuerzo sísmico a corte de los muros portantes en su mayoría es inadecuado para primer y segundo nivel, por lo tanto de presentarse un sismo moderado la casona presentaría daños irreparables.
5. Se determinó que la estabilidad de los muros no estructurales (tabiquería), por los dos niveles de la casona es en su mayoría inestable.
6. Se determinó el comportamiento de la estructura, usando el programa de Ingeniería en Análisis Estructural SAP 2000 V17.2, en el cual se comprobó, Que la estructura falla por sismo, los valores obtenidos de esfuerzos cortantes son mayores que 0.25 kg/cm² que es el esfuerzo admisible según la norma E. 080. La estructura tiene un desplazamiento máximo en X de 15.03 cm y en Y de 4.46 cm,

el desplazamiento en Y es menor ya que en ese sentido hay mayor cantidad de muros que se oponen al movimiento. Muy al contrario de la dirección de X.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que en coordinación con el INC, Universidad Privada de Norte y Municipalidad Provincial de Cajamarca, se haga un estudio de la vulnerabilidad para cada casona del centro Histórico de Cajamarca.
2. Se recomienda al INC en coordinación con la Municipalidad provincial de Cajamarca y Universidad Privada del Norte, promover los estudios de reforzamiento masivo para las edificaciones que se encuentran en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca con el fin de reducir el nivel de vulnerabilidad sísmica.
3. Se recomienda a los alumnos de la Universidad Privada del Norte, ampliar el estudio a la parte de la casona que fue construida años posteriores (área con valor monumental a liberar).

REFERENCIAS

Libros

1. ARECHEDERRA E., (2010), *Método de Evaluación de Inmuebles Históricos*, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Primera Edición.
2. BARBAT, A. H. (1998). *El riesgo sísmico en el diseño de edificios*. Calidad Siderúrgica, S.R.L.
3. BARAKAT, S. BANI- HANI K.(2006). *Analytical evaluation of repair and strengthening measures of Qasr al-Bint historical monument-Petra, Jordan. Engineering Structures*.
4. BLONDET, M. VILLA, G. LOAIZA, C. (2003). *Viviendas Sismorresistentes de tierra: Una visión a futuro*. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Iquitos, Perú.
5. CAICEDO, A. H. BARBAT; J. A. CANAS; R. AGUILAR. 1994. *Vulnerabilidad Sísmica de Edificios, Monografías de Ingeniería Sísmica*, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE).
6. CARDONA O. (1999). *Vulnerabilidad Sísmica de Hospitales - Fundamentos para ingenieros y arquitectos. Monografías de Ingeniería Sísmica*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona.
7. CASAS, J.H. (2012). *Restauo UNI Breve antología de textos de restauración del patrimonio monumental edificado*, Perú, Universitaria.
8. CERNA, S. (2012). *perfil de inversión pública de centro cultural “casona Espinach – Ex palacio municipal en la cuidad de Cajamarca*. Municipalidad Provincial de Cajamarca”. Cajamarca, Perú.

9. CISMID, (2010). *Evaluación de la Vulnerabilidad, Peligro y Riesgo Sísmico del distrito de la Molina, Universidad Nacional de Ingeniería- Centro Peruano- Japonés de investigaciones sísmicas Y mitigación de Desastres.*
10. CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Y EL NACIONAL RESEARCH COUNCIL, (1986). *Informe técnico preparado por los comités conjuntos de México y UEA.*
11. CREPELLANI, T.; UZIELLI, M. (2001). *Geotechnical Analysis and interpretation of seismic damage for the church of S. Filippo at Nocera Umbra, Italy.* XV ICSMGE Satellite Conference on “Lessons from Recent Strong Earthquakes Istanbul.
12. DELGADO, E. (2006) *“Comportamiento Sísmico de un Módulo de Adobe de Dos Pisos con Refuerzo.* (Tesis de grado), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
13. DE LA TORRE, O. LOPEZ, R. SALAZAR, A. ROLDAN J., (2004), *Evaluación Estructural y Comportamiento de las reparaciones efectuadas a edificaciones históricas.* Revista de Ingeniería Sísmica.
14. FEIO, A. LOURENÇO, P. MACHADO, J. (2008). *Structural Analysis of Historic Constructions. Capacity of a traditional timber mortise and tenon joint.* Gran Bretaña, eds. Modena, Lourenço & Roca.
15. GUERRERO, L. (2007). *Arquitectura en tierra-Hacia la recuperación de una cultura constructiva.* Apuntes.
16. GODED, T. BUFORN E. MUÑOZ D. DAVILA. J. (2007), *Estudio preliminar de la vulnerabilidad de los monumentos de la ciudad de Málaga.* 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Girona.

17. GOYTIA I. VILLANUEVA, R. (2001), *Modernización de la Enseñanza Aprendizaje en la Asignatura de Ingeniería Antisísmica*, Texto Guía de Ingeniería Antisísmica.
18. HAYAKAWA C. 2012. *Restauo UNI Breve antología de textos de restauración del patrimonio monumental edificado*, Perú, Universitaria.
19. INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL, (2006). *Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres 2006 Sismos ocurridos en el Perú*, Lima.
20. INDECI – PNUD, (2005). *Programa de Prevención y Medidas de Mitigación Ante Desastres de la Ciudad de Cajamarca*, Cajamarca.
21. ILHARCO, T. GUEDES G., AREDE A. PAUPERIO E. COSTA A. (2008). *Structural Analysis of Historic Constructions. Analysis and diagnosis of timber structures in Porto historical centre*. Gran Bretaña, eds. Modena, Lourenço & Roca.
22. KUROIWA, J. (2010). *Alto a los Desastres. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, (PNUD)*, Lima.
23. LOURENCO, P. (2006). *Conservation of the heritage structures in seismic regions. Renovation Problems on Constructions and Historical Buildings*, Polonia.
24. MALLARDO, V. MALVEZZI, R. MILANI, E. MILANI, G. (2008). *Seismic vulnerability of historical masonry buildings: A case study in Ferrara*. Engineering Structures.
25. MARTINEZ, G. (2007). *Vulnerabilidad sísmica para edificios históricos de obra de fábrica de mediana y gran luz*, Tesis Dr. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.
26. MAZZOLANI F. (2008), *Advanced techniques for seismic protection of historical buildings: Experimental and numerical approach*. *Seismic Engineering*

Commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake, Reggio Calabria.

27. MOSQUEIRA, M, (S. F.) *Riesgo sísmico en las de ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, Revista Ciencia y tecnología, edificaciones de la facultad escuela de posgrado – UNT.*
28. NORMA A. 140 RNE- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. *Bienes Culturales Inmuebles (junio 10, 2006) Art. 32, 33.* Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, Perú.
29. NORMA E.030 RNE- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. *Sismoresistente, (junio 10, 2006),* Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, Perú.
30. NORMA E.070 RNE- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. *Albañilería, (junio 10, 2006),* Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, Perú.
31. NORMA E. 080 RNE- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. *adobe (junio 10, 2006),* Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, Perú.
32. OLIVEIRA, C. (2003). *Seismic vulnerability of Historical Constructions: A contribution. Bulletin of Earthquake Engineering OPS. 1993. Mitigación de desastres en las instalaciones de salud-Evaluación y reducción de la vulnerabilidad física y funcional. Organización Panamericana de la Salud. Washington D.C.Vol IV.*
33. PEÑA, F. CASOLO, S. LOURENÇO, P. (2007), *Seismic analysis of masonry monuments by an integreted approach that combines the finite elements models with a specific mechanistic model. IX International Conference on Computational Plasticity, Barcelona.*

34. PEÑA, F. (2010). *Estrategias para el Modelado y el Análisis Sísmico de Estructuras Históricas*, Revista de Ingeniería Sísmica N° 8343-63, México.
35. PODESTA, S. (2005). *A damage model for the analysis of the seismic response of monumental buildings*. Journal of Earthquake Engineering.
36. PROAÑO, R. TORRES, M. OLARTE, J. ZAVALA, C. AGUILAR Z. SCALETTI H. RODRIGUEZ, M. (2003) *Vulnerabilidad sísmica de la Catedral del Cusco*. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Iquitos.
37. SAFINA, S. (2002). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales-Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. (Tesis Dr. Barcelona), Universidad Politécnica de Cataluña.
38. SÁNCHEZ, M. (2013). *Vulnerabilidad Sísmica de Construcciones Patrimoniales Históricas de Mampostería en Chile: Aplicación a los Torreones Españoles de Valdivia*. (Tesis de grado), Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.
39. SEPULVEDA, A.V. (2009), *Plan de Reconstrucción de Valparaíso 1906-1910: Sus Ideas Urbanas Hacia el Centenario de La República*. (Tesis de Licenciatura), Escuela de Historia, Universidad Academia de Humanismo Cristiano, Santiago.
40. STURM, T. (2008). *Valparaíso: su patrimonio histórico y los sismos*. Tesis de grado, Chile, Universidad de Chile.
41. TORREALVA, D. (2007). *Caracterización de Daños, Reparación Y Refuerzo en Construcciones de adobe*. Lima.
42. PUCP, (2004) . *Estudio de la Vulnerabilidad de Viviendas Informales –Region HUARAZ , Fiche de Reporte*.

43. VELARDE, G.K. (2014), *Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas de Dos Pisos de Adobe Existente en Lima*. (Tesis de grado), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
44. VIGO, L. (2010), *Adecuación de Nuevo Uso del Local Municipal a Centro Cultural. Estudio de pre-inversión a nivel de perfil*, Cajamarca Perú.
45. YAMIN, L.; A. RODRIGUEZ, L. FONSECA; J. REYES; C. PHILLIPS. (2003). *Comportamiento sísmico y alternativas de rehabilitación de edificaciones en adobe y tapia pisada con base en modelos a escala reducida ensayados en mesa vibratoria*. Revista de Ingeniería Universidad de Los Andes.
46. ZAVALA C., VASQUEZ L. SALINAS R.; PROAÑO R.; HUACO G. (2003). *Experiencias recientes de evaluación estructural de edificaciones históricas*. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Iquitos.
47. ZELAYA, V.A. (2007), *Estudio sobre Diseño Sísmico en Construcciones de Adobe y su Incidencia en la Reducción de Desastres*. (Tesis de maestría), Escuela Universitaria de Post Grado, Programa de Maestría en Gerencia de la Construcción moderna. Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú.

Páginas web

48. CARDENAS, A., RATTO, J., MATTÁ, S., ROSADO, M., VELARDE, T., (2010), *terremotos en la historia del Perú [En línea]*, Consultado el 08 de noviembre de 2014, disponible en: <http://sismosenelperu.wordpress.com/>
49. DOMINGO, J. (2010), *El terremoto de san francisco de 1906 [En línea]*. Consultado el 05 de noviembre de 2014, disponible en:
<http://mrdomingo.com/2010/12/27/el-terremoto-de-san-francisco-de-1906/>.
50. MONTES, R. (2014), *Un terremoto sacude Chile [En línea]*. Consultado el 05 de noviembre de 2014, disponible en:
http://internacional.elpais.com/internacional/2014/08/24/actualidad/1408836639_742262.html
51. SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJES - SENA. (S.f), *reparación de superficies y aplicación de acabados, módulo de formación: acondicionamiento de la edificación. [En línea]*. Consultado el 20 de noviembre de 2014, disponible en:
http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/8830/preparacion_superficies.html#

ANEXOS

ANEXO n.º1. Resultados esfuerzo sísmico a corte de muros portantes del primer nivel.

Tabla 21: Esfuerzo sísmico a corte de los muros de primer nivel.

MUROS DEL PRIMER NIVEL			
ADECUADOS	MUROS EN X	1	5
	MUROS EN Y	4	
INADECUADOS	MUROS EN X	34	84
	MUROS EN Y	50	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 68: Esfuerzo sísmico a corte de los muros de primer nivel.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

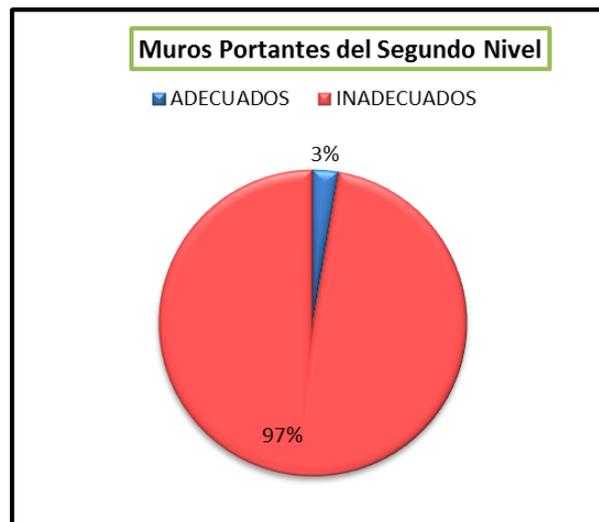
ANEXO n.º2. Resultados esfuerzo sísmico a corte de muros portantes del segundo nivel.

Tabla 22: Resultados del esfuerzo sísmico a corte de muros del segundo nivel.

MUROS DEL SEGUNDO NIVEL			
ADECUADOS	MUROS EN X	0	2
	MUROS EN Y	2	
INADECUADOS	MUROS EN X	25	73
	MUROS EN Y	48	

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 69: Esfuerzo sísmico a corte de los muros de segundo nivel.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

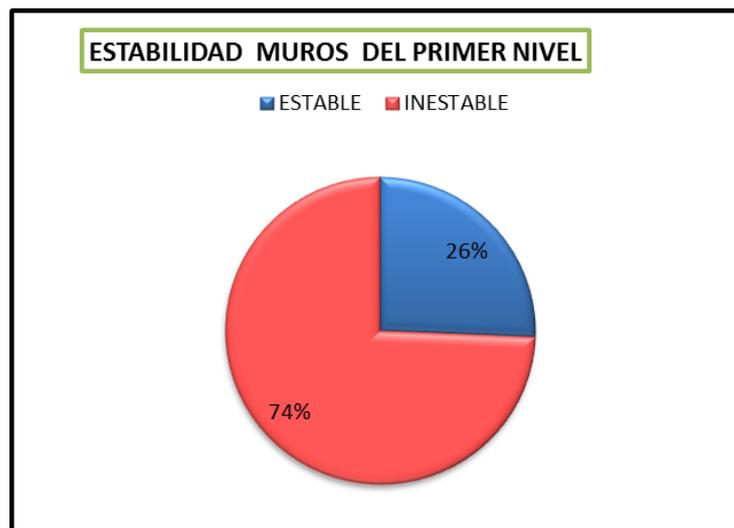
ANEXO n.º3. Resultados de la estabilidad de muros no estructurales del primer nivel.

Tabla 23: Estabilidad de muros del primer nivel.

ESTABILIDAD MUROS DEL PRIMER NIVEL	
ESTABLE	10
INESTABLE	29

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 70: Estabilidad de muros del primer nivel.



Fuente: Elaboración propia, 2015

ANEXO n.º4. Resultados de la estabilidad de muros no estructurales del primer nivel.

Tabla 24: Estabilidad de muros del segundo nivel.

ESTABILIDAD MUROS DEL SEGUNDO NIVEL	
ESTABLE	11
INESTABLE	27

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Fig. 71: Estabilidad de muros del segundo nivel.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

ANEXO n.º5. Solicitud de permiso para realizar estudio en la casona Espinach.

ANEXO n.º6. Ficha de reporte con datos de la casona.

ANEXO n.º7. Datos de ensayos de compresión.

ANEXO n.º8. Datos de peso específico.

ANEXO n.º9. Plano primera planta.

ANEXO n.º10. Plano segunda planta.

ANEXO n.º11. Plano cortes.

ANEXO n.º12. Plano elevaciones.

ANEXO n.º13. Plano de áreas.

ANEXO n.º14. Plano de ubicación.

ANEXO n.º15. Plano de áreas tributarias.

ANEXO n.º16. Plano de detalles.