

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“NIVEL DE RIESGO SÍSMICO DE LA EDIFICACIÓN DE TAPIAL DE
LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN MARCOS -
CAJAMARCA”**

TESIS PROFESIONAL

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL**

Presentado:

Bach. GIL SOLANO DANIEL

Asesor:

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

Cajamarca – Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** DANIEL GIL SOLANO
DNI: 44428518
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
2. **Asesor:** Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO
Facultad: DE INGENIERÍA
3. **Grado académico o título profesional**
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. **Tipo de Investigación:**
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. **Título de Trabajo de Investigación:**
NIVEL DE RIESGO SÍSMICO DE LA EDIFICACIÓN DE TAPIAL DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN MARCOS - CAJAMARCA
6. **Fecha de evaluación:** 04/11/2025
7. **Software antiplagio:** ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 25%
9. **Código Documento:** Oid: 3117:522744346
10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 04/11/2025

 FIRMA DEL ASESOR Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO DNI: 26733060	 FIRMA DIGITAL Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258001 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 04/11/2025 11:35:43-0500 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
---	---



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TÍTULO : **NIVEL DE RIESGO SÍSMICO DE LA EDIFICACIÓN DE TAPIAL DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN MARCOS - CAJAMARCA**

ASESOR : **Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.**

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0739-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 04 de noviembre de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **seis días del mes de noviembre de 2025**, siendo las quince horas (03:00 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Vocal : Ing. Marcos Mendoza Linares.
Secretario : Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **NIVEL DE RIESGO SÍSMICO DE LA EDIFICACIÓN DE TAPIAL DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN MARCOS - CAJAMARCA**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil **DANIEL GIL SOLANO**; asesorado por el Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 7 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 10 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 17 PTS Diecisiete (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de Diecisiete acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 16:00 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Presidente

Ing. Marcos Mendoza Linares.
Vocal

Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez.
Secretario

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Asesor

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios quién me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi asesor el Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, por su apoyo, conocimiento y tiempo brindado en el desarrollo de la presente investigación.

A los docentes de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, a sus enseñanzas a lo largo del pregrado, que fueron verdaderos formadores, cuyos conocimientos compartidos sirven para la buena práctica profesional y personal.

A mis amigos y a las personas que me brindaron su amistad y apoyo en mi vida universitaria y en la realización de la presente tesis.

Al personal administrativo y autoridades que laboran en las instalaciones de la “Municipalidad Provincial de San Marcos” por el apoyo y facilidades brindadas a mi persona al momento de la recolección de datos.

DEDICATORIA

A mi linda madrecita que supo formarme con buenos hábitos, valores y perseverancia; cosas que me han servido para seguir adelante en todo momento.

A mi abuelita, que desde el cielo me ilumina para seguir adelante; creo que está muy orgullosa de lo que he logrado.

A mi querida esposa, porque siempre ha confiado en mí y me han impulsado cada vez a ser mejor persona y profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación Del Problema	2
1.3. Justificación	2
1.4. Hipótesis	3
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo Principal	4
1.5.2. Objetivos Específicos	4
1.6. Alcances o delimitación de la investigación.	4
1.7. Limitaciones	4
1.8. Organización de la tesis	5
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales	8
2.1.3. Antecedentes Locales	10
2.2. Bases teóricas	12
2.2.1. Sismos	12
2.2.2. Sismicidad en el Perú.	13
2.2.4. Causas de los Sismos	21
2.2.5. Clasificación de los Sismos	22
2.2.6. Evaluación sísmica	22
2.2.7. Magnitud Sísmica	23
2.2.8. Intensidad Sísmica	24

2.2.9. Momento Sísmico	25
2.2.10. Tapial	25
2.2.10.1. Posibilidades de estabilización de suelos.	26
2.2.10.2. Comportamiento estructural del tapial.	26
2.2.10.3. Muros de tapial.....	26
2.2.10.4. Fuerza Axial.	27
2.2.10.5. Fuerza Cortante.	27
2.2.10.6. Esfuerzo de compresión.....	27
2.2.10.7. Desplazamiento Lateral.....	27
2.2.10.8. Rigidez lateral.	27
2.2.10.9. Determinación de la rigidez de un muro de albañilería.	28
2.2.10.11. Deformación de muretes de tapial comparado con el adobe	28
2.2.10.12. Edificación de tierra reforzada.....	29
2.2.11. Vulnerabilidad sísmica.....	31
2.2.11.1. Componentes de la vulnerabilidad sísmica.	32
2.2.12. Amenaza o peligro sísmico.	39
2.2.12.1. Clasificación del peligro sísmico.....	39
2.2.12.2. Peligros que afectan la zona.	40
2.2.12.2.1. Sismo.	40
2.2.12.2.2. Deslizamiento de tierra.....	40
2.2.12.2.3. Erosión Fluvial.....	41
2.2.12.2.4. Viento.	41
2.2.12.2.5. Lluvia.....	41
2.2.12.2.6. Estratificación.	42
2.2.13. Riesgo sísmico.....	43
2.2.13.1 Estimación del Riesgo.	44
2.2.14. Consideraciones en construcción con tierra reforzada: Norma E. 080..	45
2.2.14.1. Criterios básicos.....	45
2.2.14.2. Requisitos de los materiales en construcción con tierra reforzada. ...	46

2.2.14.3. Criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada. ...	47
2.3. Definición de términos básicos.	53
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	55
3.1. Ubicación geográfica	55
3.2. Tiempo en el cual se realizó la investigación	60
3.3. Recursos, materiales e instrumentos utilizados en la recolección de datos. .	60
3.4. Metodología.....	61
3.4.1. Método de Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica.....	61
3.4.2. Determinación del Peligro Sísmico.	66
3.4.3. Estimación del Riesgo.	69
3.5. Población de Estudio.	70
3.6. Muestra.....	70
3.7. Técnicas.	71
3.8. Diseño de la investigación	71
3.9. Procedimiento.....	81
3.9.1. Obtención y Recolección de Información de las Edificaciones.....	81
3.9.2. Evaluación de las estructuras de las edificaciones	81
3.9.2.1. Evaluación de las Edificaciones.....	81
3.9.3. Análisis de la información	82
3.9.3.1. Áreas tributarias	82
3.9.3.2. Análisis Sísmico	82
3.10. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados.....	82
3.10.1. Áreas tributarias	82
3.10.2. Análisis Sísmico	83
3.10.3. Densidad de muros.....	85
3.10.4. Verificación de muros a corte	86
3.10.5. Verificación de muros al volteo	87
3.10.6. Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones	88
3.10.7. Peligro sísmico en las edificaciones	88
3.10.8. Riesgo sísmico en las edificaciones	89

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	90
4.1. Densidad de muros.....	90
4.2. Verificación de muros a corte.....	92
4.3. Estado actual de las edificaciones	92
4.4 Verificación de muros al volteo	92
4.5. Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones	94
4.6. Peligro sísmico de las edificaciones.....	95
4.7. Riesgo sísmico de las edificaciones.....	96
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
5.1. Conclusiones	97
5.2. Recomendaciones	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXOS	101
ANEXO I. PANEL FOTOGRÁFICO.	101
ANEXO II. PLANOS.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	Estrato, descripción y valor de las zonas de peligro.....	42
TABLA 2.	Factor de suelo (S)	49
TABLA 3.	Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación	50
TABLA 4.	Coef. sísmico por zona sísmica para edif. de tierra reforzada.....	50
TABLA 5.	Coordenadas de la Municipalidad Provincial de San Marcos	60
TABLA 6.	Tipificación de la investigación.....	61
TABLA 7.	Parámetros para evaluar la vulnerabilidad sísmica	65
TABLA 8.	Rango numérico para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica	66
TABLA 9.	Valores de los parámetros del peligro sísmico	67
TABLA 10.	Rango de valores para el cálculo del peligro sísmico.....	67
TABLA 11.	Combinaciones parámetros para la evaluación del peligro sísmico ...	68
TABLA 12.	Calificación del Peligro Sísmico	69
TABLA 13.	Valores de evaluación de riesgo sísmico	70
TABLA 14.	Evaluación del riesgo sísmico	70
TABLA 15.	Factor de suelo (S)	75
TABLA 16.	Factor de Uso (U) y densidad según tipo de edificación	75
TABLA 17.	Coef. sísmico por zona sísmica para edif. de tierra reforzada.....	75
TABLA 18.	Verificación de la densidad de muros	76
TABLA 19.	Parámetros para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica.....	77
TABLA 20.	Combinación de parámetros para evaluación de vulnerab. Sísmica. .	78
TABLA 21.	Tabla de resumen de rangos	80
TABLA 22.	Áreas Tributarias del primer nivel	82
TABLA 23.	Áreas Tributarias del Segundo Nivel.....	83
TABLA 24.	Análisis por densidad de muros ($H=SUCP$)	85
TABLA 25.	Verificación de Muros portantes por corte.....	86
Primer Nivel.....		86
TABLA 26.	Verificación de Muros portantes por corte.....	87
Segundo Nivel		87
TABLA 27.	Verificación de Muros no portantes por corte.....	87
TABLA 28.	Calificación de Parámetros de Vulnerabilidad Sísmica	88
TABLA 29.	Calificación de la Vulnerabilidad Sísmica.....	88
TABLA 30.	Calificación de parámetros de peligro Sísmico	88
TABLA 31.	Calificación de peligro Sísmico	89

TABLA 32.	<i>Calificación de peligro Sísmico</i>	89
TABLA 33.	<i>Comparación general de densidad de muros.....</i>	91
TABLA 34.	<i>Porcentaje de muros adecuados a corte – MPSM</i>	92
TABLA 35.	<i>Porcentaje de muros no portantes adecuados a corte – MPSM</i>	93
TABLA 36.	<i>Relación de Vulnerabilidad Sísmica con parámetros analizados</i>	94
TABLA 37.	<i>Relación de peligro Sísmico con parámetros analizados</i>	95
TABLA 38.	<i>Nivel de riesgo sísmico</i>	96

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	<i>Mapa Sísmico del Perú</i>	14
FIGURA 2.	<i>Mapa de Sismicidad de Cajamarca</i>	15
FIGURA 3.	<i>Sismicidad en el norte del Perú</i>	18
FIGURA 4.	<i>Daños en la Vía San Marcos - Cajabamba</i>	19
FIGURA 5.	<i>Daños Ocasionados en la I.E.P.N° 82898 Muyoc.</i>	20
FIGURA 6.	<i>Determinación de la rigidez de un muro</i>	28
FIGURA 7.	<i>Deformación del adobe y el tapial</i>	28
FIGURA 8.	<i>Estructura de tierra reforzada</i>	29
FIGURA 9.	<i>Refuerzo de caña o similar</i>	29
FIGURA 10.	<i>Mapa de Zonificación Sísmica</i>	30
FIGURA 11.	<i>Daños y fallas recurrentes en viviendas de tierra ante sismos</i>	35
FIGURA 12.	<i>Flexión perpendicular al plano del muro</i>	35
FIGURA 13.	<i>Falla por flexión perpendicular con agrietamiento vertical</i>	36
FIGURA 14.	<i>Falla por flexión perpendicular en esquinas no confinadas</i>	36
FIGURA 15.	<i>Falla por cortante en el plano del muro</i>	37
FIGURA 16.	<i>Caída de la cubierta hacia el interior</i>	37
FIGURA 17.	<i>Falla de cubierta por falta de apoyo o mala estructuración</i>	38
FIGURA 18.	<i>Falla por mala conexión de los muros de entrepisos</i>	38
FIGURA 19.	<i>Peligros de origen natural a tratar.</i>	40
FIGURA 20.	<i>Límites Geométricos de muros y vanos</i>	48
FIGURA 21.	<i>Ejemplo esquemático de un tipo de Viga Collar</i>	49
FIGURA 22.	<i>Colocación de mallas</i>	52
FIGURA 23.	<i>Traslape de mallas</i>	52
FIGURA 24.	<i>Cortes de mallas en ventanas o puertas</i>	52
FIGURA 25.	<i>Mapa político del Perú</i>	55
FIGURA 26.	<i>Mapa político de la Región Cajamarca</i>	56
FIGURA 27.	<i>Mapa político de la provincia de San Marcos</i>	56
FIGURA 28.	<i>Ubicación geográfica de la MPSM</i>	57
FIGURA 29.	<i>Plano de la ubicación de la MPSM en la ciudad de San Marcos</i>	57
FIGURA 30.	<i>Fotografía de fachada principal de la MPSM</i>	59
FIGURA 31.	<i>Fachada principal de la MPSM</i>	59
FIGURA 32.	<i>Fachada de la MPSM</i>	101
FIGURA 33.	<i>Parte exterior de la MPSM</i>	101

FIGURA 34.	Parte interior de la MPSM	102
FIGURA 35.	Fotografía parcial de la fachada	102
FIGURA 36.	Interior de la edificación (2 piso)	103
FIGURA 37.	Interior de la Edificación (1 piso)	103
FIGURA 38.	Piso del segundo nivel	104
FIGURA 39.	Cielo raso y techo del segundo piso	104
FIGURA 40.	Cielo raso en el segundo piso	105
FIGURA 41.	Fachada lateral de la MPSM	105
FIGURA 42.	Muro adyacente a escalera en el primer piso	106
FIGURA 43.	Cobertura exterior de la edificación	106
FIGURA 44.	Oficina de Tesorería.....	107

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo determinar el nivel de riesgo sísmico de la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos región de Cajamarca mediante una investigación de tipo inductiva, descriptiva, no experimental y transversal, utilizando como técnica a la observación directa se realizaron visitas a las instalaciones, trabajos de levantamiento arquitectónico, para luego mediante fichas de reporte, propuesta por Mosqueira, M. y Tarque, N. (2005) se recopilen datos de ubicación, proceso constructivo, estructuración, así como calidad de la construcción, posteriormente se procesó la información a fin de encontrar la vulnerabilidad, el peligro y el riesgo sísmico de dicha edificación. Los resultados obtenidos muestran una densidad de muros inadecuada, estado actual regular de la edificación, algunos muros no portantes inestables, sismicidad media, suelo intermedio, topografía plana; lo que resulta en una vulnerabilidad sísmica alta, así como un nivel de peligro sísmico medio; por lo que finalmente se pudo determinar que la infraestructura de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos presenta un nivel de riesgo sísmico alto.

PALABRAS CLAVE

Tapial, peligro sísmico, vulnerabilidad sísmica, riesgo sísmico.

ABSTRACT

The present investigation had the objective of determining the level of seismic risk of the adobe building of the Provincial Municipality of San Marcos, Cajamarca region, through an inductive, descriptive, non-experimental and transversal investigation, using direct observation as a technique, visits to the facilities were made, architectural survey works, and then through report cards, proposed by Mosqueira, M. and Tarque, N. (2005) data were collected on location, construction process, structuring, as well as quality of construction, subsequently the information was processed in order to find the vulnerability, danger and seismic risk of said building. The results obtained show an inadequate wall density, regular current state of the building, some unstable non-bearing walls, medium seismicity, intermediate soil, flat topography; which results in a high seismic vulnerability, as well as a medium seismic hazard level; Therefore, it was finally determined that the mud wall infrastructure of the Provincial Municipality of San Marcos presents a high level of seismic risk.

KEY WORDS

Tapial, seismic hazard, seismic vulnerability, seismic risk.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los sismos son fenómenos naturales y ocurren cuando la tierra es sacudida debido al movimiento o rompimiento total de las placas tectónicas subterráneas al generar liberación de energías acumuladas, ello conlleva a daños de infraestructuras, así como causando la pérdida de vidas humanas (Cevallos, 2019).

El Instituto Geofísico del Perú, menciona que los más grandes y el mayor número de sismos se han producido en el denominado Cinturón de Fuego del Océano Pacífico, incluyendo a los países que circundan al océano Pacífico. De otro lado la vulnerabilidad del Perú ante este fenómeno natural es significativa, ya que está identificado como uno de los países más vulnerables a sufrir desastres esto debido a su ubicación dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico (Rodríguez, 2018).

Por lo que nuestro país siempre está obligado a elaborar y renovar su plan de mitigación de desastres a partir del estado actual de la infraestructura peruana, sobre todo de las edificaciones esenciales, teniendo un especial cuidado con las edificaciones elaboradas de adobe y tapia pisada ya que debido a su calidad de material y técnica de su construcción son las más vulnerables (*kuroiwa*, 2019).

La construcción tradicional de tapial, ante los movimientos telúricos tiene una respuesta muy mala, pues puede llegar a sufrir daños estructurales muy graves, o llegando inclusive al colapso, teniendo como efecto pérdidas humanas y materiales. La deficiencia sísmica de la construcción de tapial, se debe principalmente al elevado peso de la estructura, a la baja resistencia y sobre a todo a su frágil comportamiento (Guerrero, 2019).

Las causas que contribuyen para aumentar el nivel de vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de tapial son principalmente las: irregularidades en planta y altura, pérdida de la verticalidad, distribución inadecuada de las paredes en planta, filtraciones, problemas de la humedad, conexiones inadecuadas entre los muros, así como el uso de materiales no compatibles (Yamín Lacouture, L.E, Phillips Bernal C. Reyes Ortiz J.C., Ruiz Valencia D., 2007)

La región de Cajamarca, se encuentra ubicado al norte del territorio peruano la misma que se encuentra según la Norma E.030, una zona sísmica II y III, presentando al mismo tiempo grandes importantes edificaciones históricas que están construidas con tapial, que son muy antiguas y presentan características bien definidas de su material y proceso constructivo, por lo que se evidencia que presentarían un alto riesgo sísmico y una alta vulnerabilidad.

En la ciudad de San Marcos, la gran mayoría las personas viven o trabajan en infraestructuras construidas de tapial exponiendo su vida a un constante peligro, sumado a que se encuentran en una zona de ocurrencia sísmica alta, zona sísmica III según la Norma E.030, lo que ocasionaría que se vean afectadas las edificaciones como viviendas, entidades públicas de gran afluencia entre otras; acarreando pérdidas humanas y materiales. En efecto, se evidencia que las edificaciones de tapial no están diseñadas con criterio sísmico dada la escasa economía y nulo conocimiento técnico.

Una de las entidades públicas con estas características es la infraestructura de la Municipalidad Provincial de San Marcos, construida en su totalidad con tapial y ubicada adyacente al lado este de la Plaza de Armas de la ciudad de San Marcos.

La presente investigación tiene como finalidad determinar el nivel de riesgo sísmico en la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos, para que las autoridades de turno tengan un estudio base, que sirva como concientización respecto al nivel de riesgo sísmico de las instalaciones donde laboran a fin de tomar previsiones adecuadas ante la ocurrencia de un sismo, elaborando un plan de evacuación ante este suceso que puede ocurrir en el momento menos esperado.

1.2. Formulación Del Problema

¿Cuál es el Nivel de Riesgo Sísmico de la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos - Cajamarca?

1.3. Justificación

Nuestro país está ubicado en una zona de alta sismicidad, formando parte del cinturón de fuego del pacífico, donde aproximadamente se concentra el 85% de los sismos a nivel mundial. En este contexto la provincia de San Marcos no está exenta de esta

amenaza natural, presentando un nivel de peligro sísmico considerable según estudios del IGP y CENEPRED.

En la ciudad de San Marcos, muchas edificaciones, incluyendo aquellas de uso público como la infraestructura de la Municipalidad Provincial que tiene 84 años de antigüedad y atiende aproximadamente a 200 usuarios por día, han sido construidas con técnicas tradicionales como el tapial, debido a la disponibilidad de materiales locales y su bajo costo. Sin embargo, estas construcciones presentan deficiencias en cuanto al diseño estructural, ausencia de refuerzos verticales y horizontales, baja resistencia al corte, inexistencia de criterios normativos empleados en su construcción, así como falta de supervisión técnica profesional. Estas deficiencias aumentan significativamente la vulnerabilidad ante eventos sísmicos.

La presente investigación es necesaria porque determina de manera técnica el nivel de riesgo sísmico al que está expuesta dicha infraestructura pública, el deterioro o colapso de la misma durante un sismo podría tener consecuencias graves tanto en la seguridad de las personas como en la continuidad de los servicios públicos, afectando directamente a la población.

No existe estudios sobre el comportamiento sísmico de edificaciones de tapial en la provincia de San Marcos, lo que dificulta la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades de turno. Por ello, el presente estudio busca aportar con cierta información, proporcionando un análisis detallado que permita a la Municipalidad y a las instituciones de gestión de riesgo establecer prioridades de intervención.

Los resultados además buscan fomentar en la población una cultura de prevención de desastres naturales.

1.4. Hipótesis

La edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos – Cajamarca tiene un nivel de riesgo sísmico alto.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo Principal

Determinar el nivel de riesgo sísmico de la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos - Cajamarca.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar el nivel de peligro sísmico de la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos – Cajamarca.
- Determinar el nivel de la vulnerabilidad sísmica de la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos - Cajamarca.

1.6. Alcances o delimitación de la investigación.

- Determinación de grado de riesgo sísmico de la edificación de tapial de dos pisos de la Municipalidad provincial de San Marcos, mediante el desarrollo de un proceso de evaluación que busca identificar los diferentes aspectos que la hacen vulnerable.
- La presente investigación está enmarcada en la infraestructura de la Municipalidad provincial de San Marcos construida de tapial, madera y cobertura con estructura de madera, haciendo uso de fichas de reporte a fin de encontrar el nivel de riesgo sísmico.

1.7. Limitaciones.

- Para la determinación del grado de riesgo no es posible describir la realidad total de las condiciones inherentes a dicha edificación como puede ser la no toma de muestras de suelos ni de las propiedades físico mecánicas de los materiales.
- El nivel de detalle alcanzado durante la evaluación estuvo condicionado por la información disponible, cuya veracidad dependía principalmente del testimonio de los funcionarios con mayor antigüedad en la institución.
- Poca bibliografía e investigaciones de carácter sísmico en distritos de la sierra de nuestra región.

1.8. Organización de la tesis.

A continuación, se presenta una descripción del contenido de cada capítulo que conforma la investigación:

CAPÍTULO I: “INTRODUCCIÓN”; Este apartado tiene un alcance informativo, en él se abordan los elementos en el que se estructura la investigación, así como el planteamiento del problema, la hipótesis formulada, la justificación que sustenta su desarrollo, los objetivos propuestos y un resumen del contenido de cada capítulo.

CAPÍTULO II: “MARCO TEÓRICO”; Este capítulo desarrolla la base bibliográfica de la investigación, describe estudios previos de nivel internacional, nacional y local realizados sobre el tema, así como sus respectivas conclusiones y recomendaciones. Además, se exponen conceptos fundamentales y las bases teóricas que constituyen el marco necesario en el desarrollo del estudio. Finalmente, se incluyen definiciones clave sobre nivel de riesgo, peligro sísmico y vulnerabilidad sísmica, así como una descripción del tapial como sistema constructivo tradicional y otros términos relevantes empleados a lo largo del documento.

CAPÍTULO III: “MATERIALES Y MÉTODOS”; Este apartado copila los insumos utilizados en el desarrollo del estudio, incluye los materiales de medición utilizados, tipo de software empleado en el procesamiento de datos. también detalla la metodología empleada en la obtención de resultados y el análisis del nivel de riesgo sísmico de la infraestructura de la Municipalidad Provincial de San Marcos.

CAPÍTULO IV: “ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS”; describe los resultados obtenidos en la investigación, explicando y discutiendo detalladamente según los objetivos planteados en la investigación.

CAPÍTULO V: “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”; se describen las conclusiones obtenidas en concordancia con los resultados, se presentan además algunas recomendaciones que se considere necesarias con el fin de ampliar o mejorar investigaciones futuras sobre dicho tema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ANEXOS

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

A continuación, presentamos algunos estudios realizados, que se relacionan con la investigación, los que serán utilizados básicamente en el desarrollo de este trabajo.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Caballero (2017), desarrolló la investigación que lleva por título “Determinación de la Vulnerabilidad Sísmica por Medio del Método de índice de Vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el Centro Histórico de Sincelejo, Colombia”. Cuya investigación tuvo como objetivo general encontrar la vulnerabilidad sísmica del centro de la ciudad de Sincelejo, para lograr dicho objetivo se utilizó el método del índice de vulnerabilidad con el fin de determinar el daño esperado, en caso de que sucediera un sismo, se utilizó la Tecnología Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se utilizó una metodología del tipo cuantitativo descriptivo, se tomó una muestra de 28 edificaciones de tapial cuyos resultados fueron los siguientes: se muestra que un 13,32% se ubican en índice de vulnerabilidad bajo, un 18,68% pertenecen a un índice de vulnerabilidad medio y por último un 68,01% poseen un índice de vulnerabilidad alto. Finalmente se concluye que dicha Información Geográfica SIG cuenta con grandiosas mejorías para efectuar mapas, el análisis de peligro y riesgo sísmico.

Cando, Mauricio, Bucheli, & Jaramillo (2018), en su artículo científico, en el cual desarrollaron la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en las construcciones de tapial ubicadas en el Barrio Selva Alegre (Ecuador), a través de la metodología del ATC-FEMA, ante posibles eventos sísmicos, además consideraron los estudios que realizó la secretaría de Gestión de Riegos. Con el propósito de alcanzar los objetivos de la investigación, el área de estudio se dividió en seis zonas, tomando en cuenta la distribución de las manzanas que conforman el área estudiada. La investigación se llevó a cabo sobre una muestra de 103 viviendas, de las cuales 88 son de concreto armado, una con madera, una de estructura metálica y 13 hechas de tapial, sin reforzamiento alguno. La mayoría de las construcciones presentan una configuración regular tanto en planta como en elevación, y se estima que el 84 % aproximadamente son de dos niveles. Los autores identificaron como problema principal la ausencia de

separación adecuada entre edificaciones contiguas, lo que genera impactos y colisiones durante un evento sísmico. Esta situación se atribuye, en gran medida, a que dichas edificaciones se realizaron sin el cumplimiento de normas técnicas ni bajo la supervisión de un profesional.

Hinostroza (2018), en su tesis para obtener el grado en magister en Ingeniería desarrolló la investigación que lleva por título “Evaluación del riesgo sísmico de viviendas de Barrancabermeja”, Colombia; cuya investigación tuvo como objetivo brindar parámetros, a entidades gestoras del riesgo, que permitan tomar acciones de prevención, preparación y mitigación del riesgo sísmico, para lograr dicho objetivo se elaboró un modelo de exposición ayudado de datos cartográficos y encuestas presenciales, permitiendo generar un inventario detallado de las edificaciones. Este registro incluye información como el número de niveles por vivienda, el costo estimado de reposición por estructura y el área construida. Para ello, se aplicaron un total de 5,234 encuestas in situ; los escenarios de corteza superficial arrojaron pérdidas promedio del 3.83% del costo de reposición de viviendas para periodos de retorno de pérdidas (Trp) de 250, 500 y 1000 años, respectivamente, y colapsaron el 0.58%, 3.98% y 5.35% de las construcciones residenciales de la ciudad, respectivamente. Los escenarios de subducción interplaca (vinculados al Nido de Bucaramanga) experimentaron pérdidas promedio del 1.786%, 4.86% y 8.39% durante los tres periodos de retorno mencionados, mientras que los colapsos de las viviendas fueron del 0.32%, 1.19% y 2.84%, respectivamente.

Lloor, Palma, & García (2021), dicha investigación tuvo como objetivo principal determinar la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de la zona rural de Santa Marianita, en la ciudad de Manta – Ecuador, encontrándose en una zona costera de alta sismicidad. Para hallar el índice de vulnerabilidad sísmica, se aplicó el método FEMA, con enfoques analíticos, inductivos y cuantitativos. La metodología incluyó el uso de plantillas estandarizadas, técnicas de observación directa, entrevistas y el análisis estadístico descriptivo. La muestra fue de 84 viviendas, seleccionadas de un universo de 677 edificaciones, obteniendo como resultado lo siguiente:

- Las edificaciones estudiadas tienen un nivel de vulnerabilidad sísmica alta.

- El 69% de las viviendas estudiadas no se ajustan a las especificaciones técnicas normativas, por presentar un valor “S” por debajo de 2.

Cárdenas & Ricardo (2021), en su tesis doctoral en la cual estudió la caracterización estructural y la vulnerabilidad en construcciones de tapial ante diversos escenarios sísmicos, se trabajó para conseguir dicho objetivo con una muestra de 45 construcciones calificadas como patrimonio cultural esto es del Centro Histórico de la Ciudad e Cuenca (Ecuador). Se realizó distintos tipos de esfuerzo para el desarrollo de los cálculos, estimando al tapial y a bloques de tierra comprimida. Llegándose a realizar en total 270 ensayos de tracción, flexión y compresión. Una vez sacados los cálculos se empleó el panorama de estudio construyendo una base de 2670 datos de ensayo en países como (Colombia, España, Ecuador, México y Perú). Se recolectó información de catorce edificaciones de una planta y treinta y una construcciones de dos plantas. Mostrándose en los resultados una notoria diferencia de valores obtenidos según el material y la comprensión de los bloques de tierra comprimidos, se determinó que: Para un sismo con aceleración en roca aplicando el enfoque empírico se determinó $z = 0,05$ g, el 2% tienen vulnerabilidad baja, el 69% vulnerabilidad media y el 29% vulnerabilidad alta y para $Z = 0,25$ g, el 16% tiene vulnerabilidad media y el 84 % vulnerabilidad alta, por otro lado al aplicar el método de capacidad - demanda, se verificó el nivel de daño estructural, concluyéndose que todos los mecanismos evaluados presentan una alta susceptibilidad al colapso si estos son sometidos a sismos de gran intensidad.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Quesquén & Silva (2020.) en su tesis de pregrado “Estudio de riesgo sísmico, en la ciudad de Chiclayo, zona este (av. Sáenz Peña, av. Castañeda Iparraguirre, av. Nicolás de Piérola, av. Jorge Chávez, y av. Bolognesi)”, el peligro sísmico fue abordado mediante un enfoque probabilístico, la vulnerabilidad sísmica fue determinada utilizando la aplicación del método de índices propuesto por Benedetti y Petrini. Posteriormente, la estimación del riesgo sísmico se realizó evaluando el nivel de daño esperado en las edificaciones, mediante funciones de vulnerabilidad y aceleraciones máximas previstas para distintos periodos de retorno.

El estudio concluyó que, ante un sismo de diseño con un periodo de retorno de 475 años, el riesgo sísmico en la zona de análisis se traduce en pérdidas económicas significativas que pueden ascender a los S/. 236'466,602.02 equivalente al 59.63% del valor total de las edificaciones.

Castro (2019), en su estudio de su tesis de grado cuyo principal objetivo fue evaluar el comportamiento sísmico de las construcciones de la Universidad de Piura, trabajando con la metodología FEMA 154. En la presente investigación se explica, desarrolla este método de forma muy detallada y didáctica. Para el presente estudio El autor concluye que, en el Perú, no se cuenta con un método formal de evaluación que sea visualmente accesible, ágil, práctico y viable, como lo es el método FEMA 154, el cual permite valorar de manera eficiente la vulnerabilidad sísmica de edificaciones construidas con tapial, esto ante la ocurrencia de un sismo, esto considerando que una gran parte de las viviendas de nuestro país son autoconstruidas sin estudios previos y menos con la asesoría de un profesional; es por eso que su desempeño sísmico sería muy deficiente ante sismos de gran intensidad. Se concluye en este estudio que: Los edificios de Química, Ingeniería Civil, de Hidráulica, el de Ingeniería Mecánico-Eléctrica, Edificio 80; son muy vulnerables ante un acontecimiento sísmico, de acuerdo con el método usado.

Carhuachini & Miranda (2020), con su tesis que lleva por título “Vulnerabilidad física de las viviendas de tapial frente a un riesgo sísmico”, llevada a cabo en el caserío de Samme, Distrito de la Libertad, tuvo por finalidad corroborar, comprobar la vulnerabilidad sísmica de las casas de tapial, ante un evento sísmico. Para la tesis es estudio fue descriptivo con diseño preexperimental, se utilizó como técnica la encuesta y dos fichas de observación a 35 construcciones para recopilar la información. Se obtuvieron los resultados mostrando que: Las viviendas construidas sobre un terreno natural 94%, de las cuales el 91% tienen fisuramiento en muros, el 94% fueron construidas en tapial, y el 100% no posee junta sísmica. También se hallaron que es alta la vulnerabilidad física con respecto a las leyes o normativas existentes, con un 97.4% y 77.14% en lo concerniente a la dimensión material de construcción, el nivel de riesgo o vulnerabilidad sísmica fue alto con un 74.29%. Llegando a las conclusiones y mostrando que la principal falla es la tracción con un 58.57% y los perjuicios encontrados a las viviendas es de la erosión de bases del

suelo debido a las perforaciones en los muros exteriores con un 87.57% y lo sobrante se atribuye a las lluvias que hace un 12.04%.

Gutiérrez & Rodríguez (2021), en su tesis de pregrado titulada “Características sísmicas de las construcciones de tierra en el Perú: contribución a la enciclopedia mundial de vivienda” de la Pontífice Universidad Católica del Perú, en la cual desarrollaron un tipo de metodología para calcular la vulnerabilidad en las habitaciones de tierra como son de adobe y tapia, detallando y valorando las principales detalles estructurales de cinco viviendas de tierra, en la cual se corroboró y demostró que las viviendas hechas de tapial y adobe son altamente vulnerables ante riesgos sísmicos presentando unos niveles altos de peligro. Asimismo, el hecho de tomar estas viviendas como modelos representativos permitió evidenciar que una cantidad significativa de edificaciones hechas con este material tienen características estructurales similares, mostrando que, ante un sismo de alta intensidad, estas construcciones colapsarían.

2.1.3. Antecedentes Locales

Díaz (2025), en su tesis “Nivel de riesgo sísmico de la infraestructura educativa primaria N°82020 Porcón Bajo, provincia Cajamarca” se buscó determinar el nivel de riesgo sísmico de los bloques “A” y “B” utilizando la ecuación de Kuroiwa. Se llevó a cabo el levantamiento arquitectónico, se realizaron ensayos de esclerometría en elementos estructurales, estudios de mecánica de suelos; con la información recopilada se evaluó el comportamiento sísmico de dichos bloques utilizando el software Etabs V19.1, obteniendo resultados de vulnerabilidad baja para ambos módulos dado su adecuado comportamiento estructural, algunos tabiques inestables y una situación actual regular; el peligro sísmico fue valorado como medio dado la moderada sismicidad de la zona, topografía es plana y suelo de fundación flexible, con una capacidad portante de 0.66 kg/cm². Finalmente, se determinó que los bloques “A” y “B” de la institución educativa primaria N°82020 Porcón Bajo presentan un nivel de riesgo sísmico medio.

Silva (2023), en su tesis de grado cuyo título es “Vulnerabilidad sísmica de las viviendas de tapial del centro poblado Huayanmarca, distrito de Jesús provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca” buscó determinar y analizar la

vulnerabilidad sísmica de las viviendas construidas de tapial mediante dos métodos: Para el primer método se recopiló datos mediante levantamientos arquitectónico y fichas de reporte determinando así el estado actual de las viviendas, seguidamente se realizó el análisis de datos para finalmente con los datos obtenidos se determinó un 40% poseen un nivel de vulnerabilidad sísmica media y un 60% una alta vulnerabilidad.

Para el segundo método se utilizó la “Ficha de Verificación del Instituto Nacional de Defensa Civil, 2010” en la que se contempla calificaciones en base a las características de la vivienda; tomando únicamente el valor de densidad obtenido en gabinete. Los datos obtenidos indican un 73% de nivel de vulnerabilidad sísmica alta y 27% de vulnerabilidad sísmica muy alta.

Narro (2019), presentó la tesis titulada “Estudio del nivel de riesgo sísmico de la vulnerabilidad de viviendas en la Ciudad de Cajamarca”. Concluido el estudio de vulnerabilidad se obtuvieron los siguientes resultados: el 69% de las casas de la ciudad de Cajamarca presentan una vulnerabilidad sísmica alta, mientras que el 19% de las viviendas Cajamarquinas presentan una vulnerabilidad media, en tanto el 12% tienen una vulnerabilidad sísmica baja. Las viviendas de tapial, el 95.83% muestran una vulnerabilidad sísmica alta, también se tiene que el 4.17% tienen un nivel bajo de vulnerabilidad sísmica.

Chávez (2023), En su tesis de pregrado, empleó datos obtenidos a partir de levantamientos arquitectónicos y visitas a las infraestructuras objeto de estudio. Esta información fue procesada mediante fichas de reporte para construcciones de tapial. Como resultado, se identificó: densidad inadecuada de muros (60 % de incidencia), estado estructural regular de las edificaciones (30 %) y presencia de muros no portantes estables (10 %).

Vargas (2023), en su tesis “Riesgo sísmico de las viviendas de adobe del centro histórico de Cajabamba” tuvo como objetivo principal la determinación del nivel de riesgo sísmico en las viviendas de adobe, se realizó para ello la recolección de información requerida en las plantillas de la Metodología del ATC 21 – FEMA 154, determinándose que el 30 % de las viviendas evaluadas presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica alto, el 70 % restante se clasifica con vulnerabilidad sísmica media. el 30 % de las edificaciones se encuentran en zonas de peligro alto y el 70 %

presenta un nivel de peligro sísmico medio. Finalmente, se determinó que el 30 % de las viviendas construidas con adobe presentan un nivel de riesgo sísmico alto, en tanto que el 70 % restante presenta un nivel de riesgo sísmico medio.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sismos

Se define como la liberación brusca de la energía formada por el movimiento de la tierra en su interior a grandes volúmenes que se dan entre la corteza y el manto superior; y que se generalizan en forma de vibraciones a través de la superficie terrestre. También se le conoce como terremoto o movimiento telúrico que es pasajero, además se originan en gran parte por la presencia de fallas geológicas a nivel de corteza terrestre, a veces también se producen debido al roce de las placas tectónicas las cuales se mueven en direcciones opuestas (PREDES, 2016).

Los sismos por consiguiente son fenómenos naturales que se producen por la liberación de energía acumulada en el suelo cuyo grado de magnitud, ocurrencia y localización no puede ser controlada por el ser humano; ocurren debido a un conjunto de fuerzas entre las cuales se encuentran la presión, la gravedad, las altas temperaturas y la resistencia de los materiales compactados con el transcurso de los años. Dicho acontecimiento se puede dar en todo el mundo, sin embargo existen países en donde se intensifica esta actividad sísmica estando estos lugares situados en las fronteras con el océano pacífico al cual se le llama anillo de fuego del pacífico (PREDES, 2016).

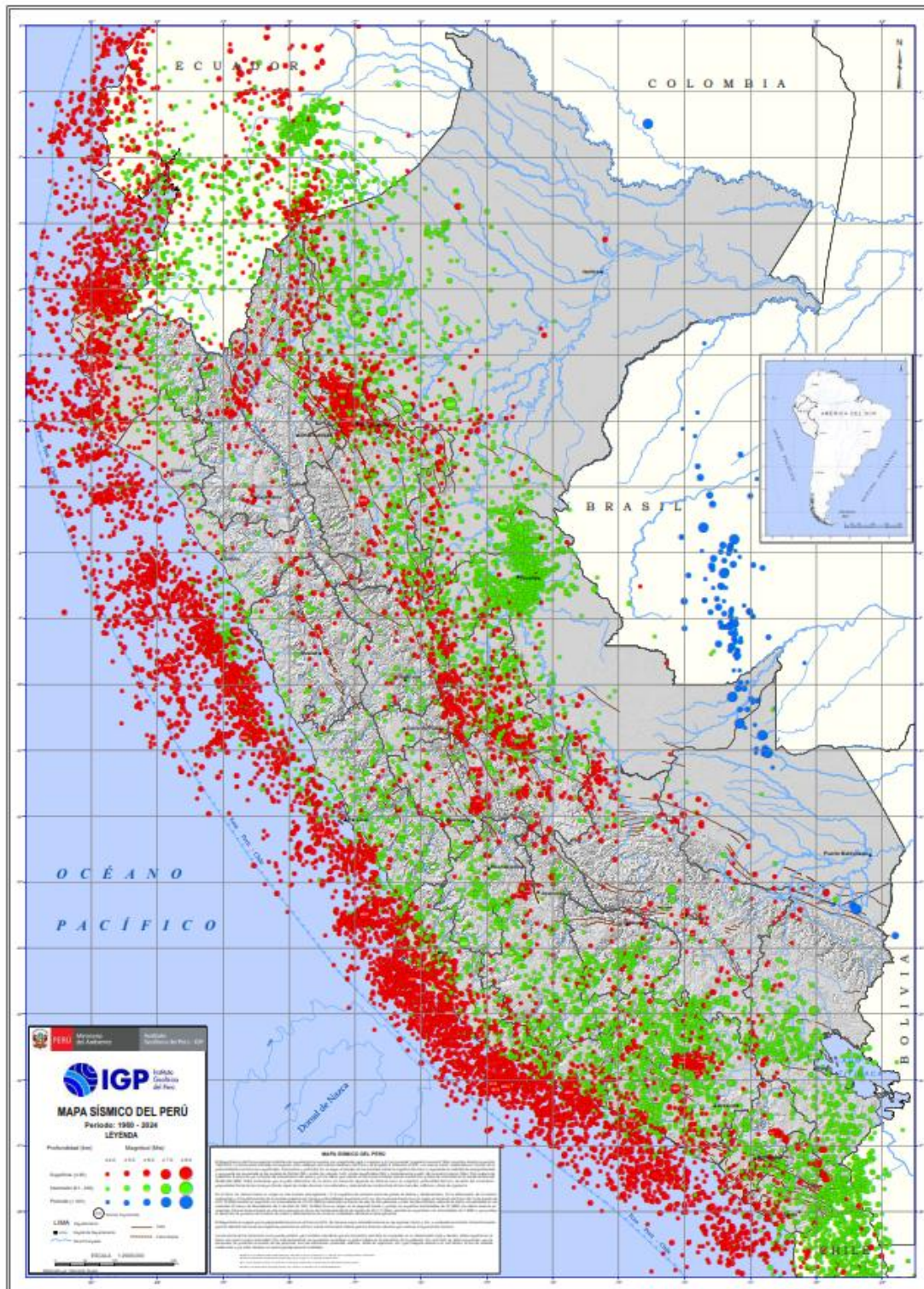
Todos los sismos o terremotos se caracterizan por presentar un hipocentro que es el punto de origen el cual se ubica en el interior de la tierra y un epicentro que es el punto de la superficie en el que se proyecta el movimiento tectónico y está ubicado en la parte superior del hipocentro, en consecuencia, el epicentro es el punto de la superficie en el que se percibe con más intensidad un terremoto. Los sismos son estudiados por una rama denominada sismología y son medidos a través de la escala sismológica de Richter.

2.2.2. Sismicidad en el Perú.

A. Nuestro país, está ubicado en la zona occidental de América del Sur y posee una característica particular: es una de las regiones con mayor actividad sísmica a nivel mundial. Esta situación se debe al proceso de subducción, en el cual la placa oceánica se desliza por debajo de la placa continental, generando una alta frecuencia e intensidad de sismos. Además, existe otro tipo de actividad sísmica originada por las deformaciones geológicas que se extienden a lo largo de toda la cordillera de los Andes, aunque esta produce movimientos de menor magnitud y frecuencia (Tavera & Bufo, 1998).

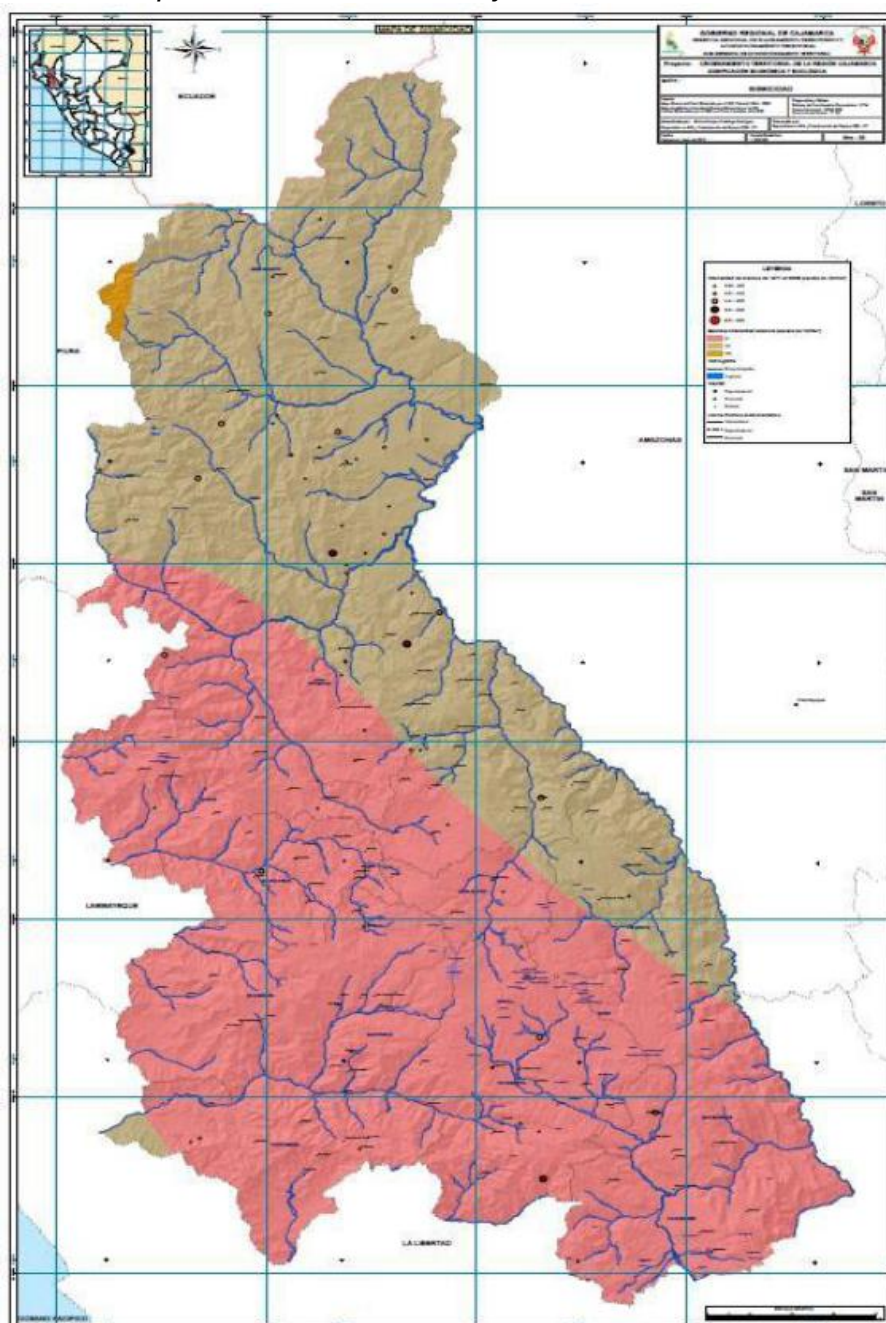
El Mapa Sísmico del Perú, detalla la distribución en el espacio de eventos con magnitudes iguales o mayores 4.0 en la escala “magnitud momento” (Mw) ocurridos durante entre los años 1960-2017 (Engdahl & Villaseñor, 2002).

FIGURA 1.
Mapa Sísmico del Perú



Nota. IGP (Instituto Geofísico del Perú), 2017.

FIGURA 2.
Mapa de Sismicidad de Cajamarca



Nota. Gobierno Regional de Cajamarca, 2013.

Por lo expuesto, entre otras variables, la NT E.030 ubica al distrito de Pedro Gálvez capital de la provincia de San Marcos en la Zona de Sismicidad III.

B. Sismicidad en la Provincia de San Marcos

San Marcos está ubicada en la parte norte de la cordillera occidental de los andes, dentro del cuadrante geológico 15-g y 16-g del INGEMMET. Por lo que lo convierte en una región intensamente fracturada por fallas y plegamientos que han determinado la disposición de las unidades geológicas convirtiéndose en una zona de intensa deformación tectónica

Forma parte del Arco de Cajamarca, la misma que se caracteriza por fallas normales e inversas, algunas activas, que controlan el relieve y el drenaje.

Encontramos como litología dominante a las areniscas cuarzosas, lutitas, calizas fosilíferas, margas, andesitas, tobas.

La ciudad de San Marcos está emplazada en un territorio conformado por unidades sedimentarias cuaternarias y cretácicas en depósitos aluviales y fluviales (Q-al, en tonalidad clara) y formación farrat (ki-f, tonalidad verde).

Los poblados que se ubican en los depósitos aluviales y coluviales (conformado por gravas y arenas bien gradadas con baja presencia de finos), tienen una ubicación resistente a movimientos sísmicos, una prueba de Ello es que la mayoría de viviendas sufrieron leves impactos por el sismo del 03 de agosto del 2020 aun cuando se encontraban a pocos kilómetros del epicentro. (Alcántara & Victor, 2020)

Sin embargo, aquellas en aquellos casos en que los poblados están rodeados por montañas, las mismas que están conformadas por formaciones del cretácico tanto de origen continental como de origen marino, estas montañas con poca vegetación generan caídas y avalanchas de detritos, que pueden generar grandes afectaciones a las personas, viviendas e infraestructura pública tal cual se evidenció en el sismo del 03 de agosto del 2020. (Alcántara & Victor, 2020)

Geología Estructural

Según las cartas geológicas del INGEMMET ya mencionadas anteriormente existe una gran cantidad de fallas y pliegues regionales las que atraviesa la zona con orientación NNW-SSE, siendo la principal la falla denominada Chalquibamba, que según el INGEMMET es una falla de tipo normal con escarpe de falla constituido por una cara libre y un talud de escombros.

Geomorfología.

Geomorfológicamente, por un lado, la provincial de San Marcos está rodeada por grandes montañas estructurales en rocas sedimentarias, en algunas zonas con baja vegetación superficial en la que se puede notar los estratos rocosos.

Por otro lado, algunos poblados se ubican en laderas de montañas fluvio-erosionales en rocas sedimentarias, en donde se distingue afloramientos rocosos debido a la baja resistencia geológica, haciéndolos fácilmente erosionables.

Sismicidad.

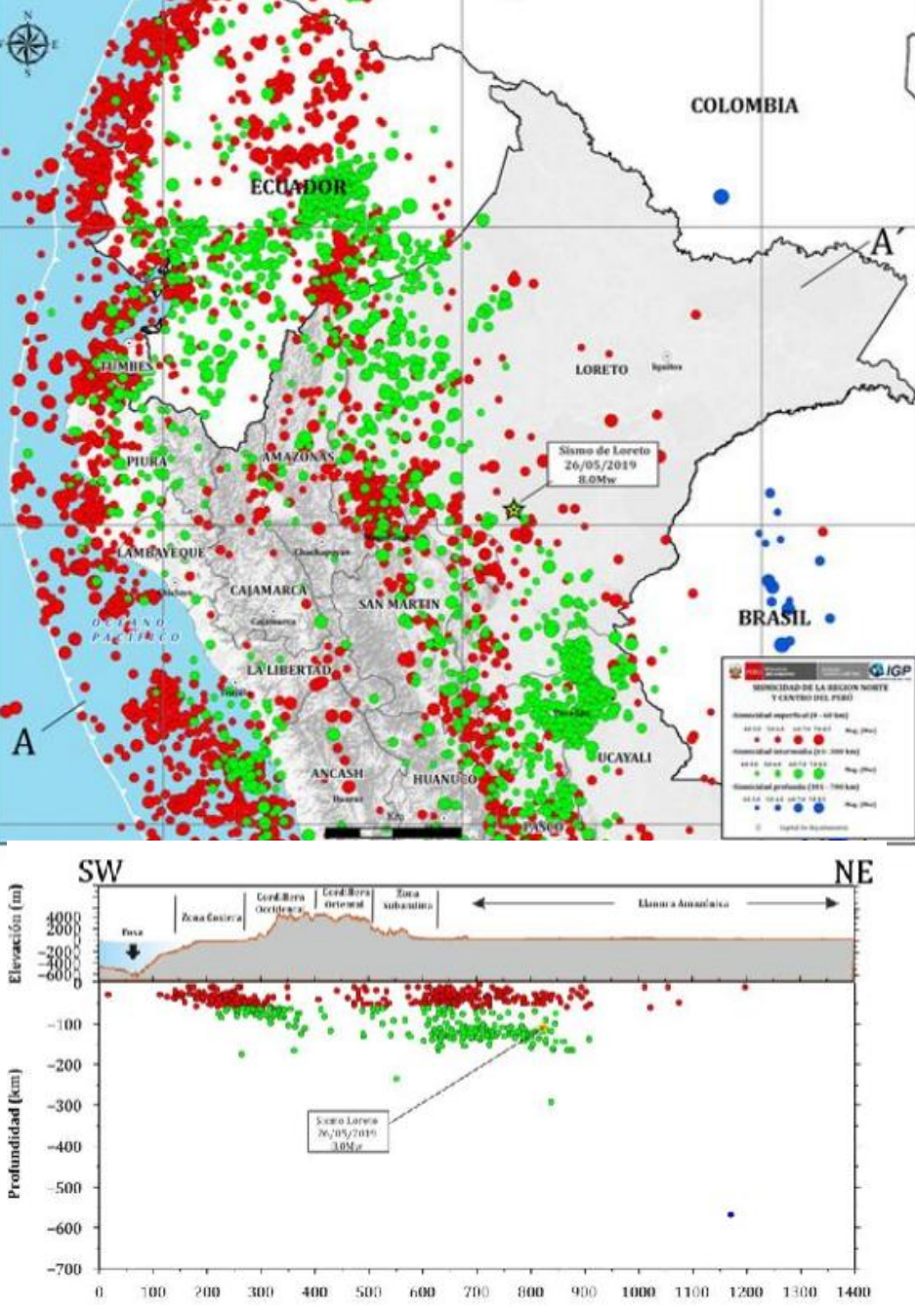
La existencia de fallas regionales que atraviesan por la provincia de San Marcos sobre todo en los distritos como Pedro Gálvez, Ichocán y José Sabogal, hacen constante la generación de movimientos sísmicos, por lo que se recomienda estudios más detallados para ubicar las zonas de alto riesgo; es en este tipo de fallas que encontramos a la falla Chalquibamba ubicada a 5.00 km al sur este del epicentro del sismo del 03 de agosto del 2020, la misma que tuvo su más reciente episodio de deformación en abril del 1937. (Alcántara & Victor, 2020)

Ocurrió al promediar las 10:08 am con coordenadas de: -7.3428, -77.9568, con una magnitud $M=4.8$ y una profundidad de 14km con epicentro en la provincia de San Marcos, el cual afectó varias localidades de la provincial, siendo los distritos más afectados Ichocán y José Sabogal. (Alcántara & Victor, 2020)

Por otro lado, debido al terremoto del 26 de mayo del año 2019 de magnitud $M=8.0$ en la ciudad de Loreto, varios lugares de la provincia de Cajabamba, al sur de la provincia de San Marcos sufrieron deslizamientos en laderas conformadas por la formación Cajabamba, lo que exponiendo la gran susceptibilidad de esta formación rocosa a fallamientos debido a la actividad sísmica.

En la figura siguiente se presenta la ubicación del epicentro del sismo de lagunas junto a otros ocurridos en el norte del Perú, estando el epicentro en este tramo de continua actividad sísmica, referente a la profundidad, este sismo sigue el patrón definido para esta región. Podemos ver además la distribución espacial de la sismicidad en el norte del Perú, la profundidad y magnitud es indicada por el tamaño y color del círculo, la estrella amarilla indica la ubicación del sismo de Loreto, se puede

FIGURA 3.
Sismicidad en el norte del Perú



Nota. IGP, 2019

Este sismo ocurrido a unos 60 km al sur de Lagunas – loreto y con una profundidad de 135 km, provocó afectaciones en la vía longitudinal de la sierra, sobre todo en el sector Huañimba – km. 1161 , con transitabilidad interrumpida.

FIGURA 4.

Daños en la Vía San Marcos - Cajabamba



Nota. El Comercio, 2019

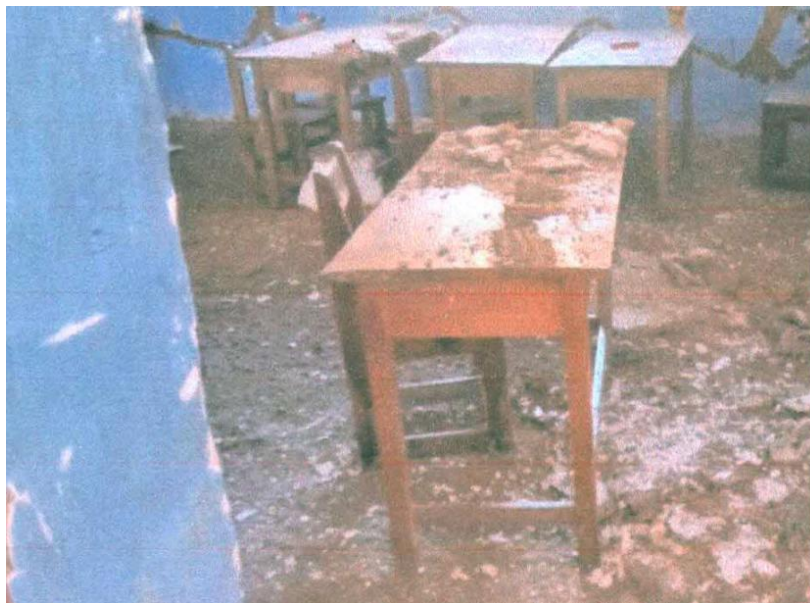
Presentó un gran radio de percepción básicamente por la profundidad a la cual ocurrió (135 km), lo que facilitó que la energía liberada produzca un sacudimiento mayor de la cordillera de los andes.

Por qué afectó solamente a esta zona de la vía se debe a dos razones; por un lado, Cajabamba está más cerca al epicentro del sismo sumado a ello la configuración topográfica contribuyó a la propagación de las ondas sísmicas. también, se identificó que en las proximidades a Cajabamba se encuentra la falla sub-andina, la cual origina una serie de microfallas adyacentes a esta provincia. (Mendoza)

Varios colegios fueron afectados por ejemplo uno fue la I.E.P.N° 82898 Muyoc, en el distrito de Gregorio Pita, en donde la dirección, aulas pedagógicas, biblioteca y servicios higiénicos fueron declarados inhabitables.

FIGURA 5.

Daños Ocasionados en la I.E.P.N° 82898 Muyoc.



Nota. COER Cajamarca, 2019

Finalmente, a modo de conclusiones y recomendaciones al estudio de sismicidad de la provincia de San Marcos podemos decir:

- Según la norma E-030, cuatro distritos de la provincia de San Marcos se ubican en la zona 2 y tres distritos en la zona 3, lo que implica magnitud de moderada a alta sismicidad, además la generación de sismos es muy incierta; es sabido

que se han producido sismos en sitios impensados logrando pérdidas humanas y materiales.

- San Marcos - Cajamarca se ubica en una zona de baja sismicidad; sin embargo, la generación de los terremotos es altamente impredecible; es decir, se pueden producir en cualquier punto de la tierra y con características destructivas.
- La topografía de San Marcos es muy variada sin embargo en su mayoría es ondulada, lo que conlleva a amplificar los efectos de los sismos, aumentando la intensidad del movimiento, sumado ellos a sus laderas inestable y suelos erosionados pueden generar desplazamientos de materiales.
- Se debe concientizar por parte de las diferentes entidades a la población con una política de gestión de riesgos
- Las edificaciones deben ser ejecutadas por personal técnico calificado, respetando las normas vigentes.

2.2.3. Características sismo tectónicas: Las principales características estructurales que intervienen en el proceso vinculado a la deformación local - regional son descritas en seguida:

- **Proceso de subducción.**

La cual se presenta en el borde occidental del Perú y nace por la coincidencia de las placas de Nazca (oceánica) y la sudamericana (continental), distinguiéndose dos modos de subducción en las regiones del norte y centro la subhorizontal, y normal en la región sur. Actualmente estudios de GPS, han permitido echar de ver que el proceso de subducción se lleva a cabo con velocidades de 7 a 9 cm/año. (Castro, 2021)

2.2.4. Causas de los Sismos.

A lo largo del tiempo, diversos investigadores han formulado teorías que, pese a los avances en múltiples disciplinas relacionadas con las ciencias de la Tierra, aún permanecen sin respuesta, claro ejemplo es la evolución que han sufrido las teorías sobre el estudio de los fenómenos sísmicos (kuroiwa, 2019).

En 1963 se propuso la teoría de expansión de los fondos oceánicos el cual indica que los fondos marinos se mueven arrastrando consigo los continentes la cual complementaba a la teórica de la Deriva de los continentes de Wegener, llegando recientemente así a la Nueva Tectónica Global (kuroiwa, 2019).

Gracias a los aportes de la teoría de la Deriva Continental y su complementación con la teoría de la Expansión de los Fondos Oceánicos, se empezó a estudiar los mecanismos sísmicos desde una nueva perspectiva, permitiendo abordar el fenómeno desde enfoques tectónicos más integrales y dinámicos, el avance más significativo que se ha obtenido es la comprensión, en términos físicos de las causas y de qué manera se acumula energía en zonas muy restringidas de la tierra y como ocurren los diferentes tipos de sismos (kuroiwa, 2019).

La comprobación de que las placas oceánicas se generan en las dorsales y se consumen en las zonas de subducción, y la determinación precisa de la ubicación de los sismos que ocurren en el mundo, ha llevado a la conclusión que la superficie terrestre está conformada por placas (kuroiwa, 2019).

Las teorías y el estudio sobre las zonas de subducción han delimitado los límites de placas tectónicas, las que conforman toda una rama especializada de la geofísica, las áreas que presentan un nivel de peligro alto se encuentran adyacentes a distintas placas tectónicas. (Marín, 2012).

2.2.5. Clasificación de los Sismos

Los sismos, según su origen se clasifican de la siguiente manera:

- Tectónicos
- Volcánicos, y
- De colapso

(Kuroiwa, 2019).

2.2.6. Evaluación sísmica

Estudios actuales apoyados de las nuevas tecnologías han permitido mejorar el vasto conocimiento sobre el tema de los sismos que han ocurrido a lo largo de los años, no obstante, aún existe, la inseguridad e incertidumbre y el descontento por parte de los

sismólogos que no pueden anticipar o predecir la ubicación y la cuantificación de la fuerza que será liberada ante un fenómeno sísmico (kuroiwa, 2019).

El tema de los sismos ha sido investigado y estudiado profundamente, pero sin grandes resultados debido al ser una cuestión muy compleja, pues en los tiempos actuales existen muy pocos casos de sismos superficiales, el caso más conocido a nivel internacional es la predicción del sismo de origen tectónico, teniendo como lugar a China el 04 de febrero de 1975 en la ciudad Haicheng provincia de Liaonung China (Suárez, 2020)

Sin embargo, existen grandes avances en el estudio y conocimiento del origen, evaluación y forma de propagación de los sismos, en las últimas décadas, el estudio de la sismología ha experimentado avances significativos, lo que ha venido contribuyendo a reducir la incertidumbre en la caracterización y evolución de los movimientos sísmico; el tamaño de un sismo puede expresarse a través de distintos parámetros como la intensidad, la magnitud o el momento sísmico, siendo este último el indicador más preciso para describir la energía liberada durante un evento sísmico. Esto se debe a que el momento sísmico se relaciona directamente con el área de ruptura de la falla y el desplazamiento promedio que ocurre en ella (Marín, 2012).

2.2.7. Magnitud Sísmica

Es la medida de forma indirecta del total de energía que es liberada a través de las ondas sísmicas, las que pueden calcularse a través de los sismógrafos, instrumentos muy sensibles y que son especialmente diseñados para esta finalidad; es un número que busca caracterizar el tamaño y la energía sísmica liberada; esta magnitud se utiliza principalmente por 2 razones principales. Primero, es reconocido por científico, ingeniero, técnicos y público en general como medida de tamaño relativo de un terremoto, las personas relacionan la magnitud con la severidad de un terremoto. Segundo, las magnitudes son usadas en un método aproximado para predecir la aceleración mas alta del movimiento del suelo que puede producir un terremoto en el emplazamiento de una estructura. (Bolt, 2022)

El tamaño de un sismo se determina en base al cálculo de la energía liberada, esto es de su intensidad y magnitud. Entendiéndose por magnitud a la medida absoluta y objetiva de la energía producida en el foco de un movimiento telúrico.

Magnitud Local o de Richter:

Se considera como la más conocida, enunciada por Charles F. Richter en 1932, quien lo describe como un parámetro cuantitativo que permite estimar la energía liberada por un sismo.. Propuso utilizar la amplitud de las ondas S a fin de dar un valor de magnitud a los sismos. Tres años más tarde en colaboración con Beno Gutenberg, propuso una escala de magnitud local, aleatoria y de tipo logarítmico de base 10. Esto por ejemplo hace que la energía de un sismo de magnitud 6 (por ejemplo) sea 32 veces mayor que la de un sismo de magnitud 5, la función se define de la siguiente manera:

$$ML = \log A + 3 \log(8\Delta t) - 2,92$$

A corresponde a la amplitud máxima de la onda S y Δt es el tiempo que transcurre entre la llegada de las ondas P y las ondas S. (Aulinas, Gisbert, & Ortuño, 2018)

2.2.8. Intensidad Sísmica

La intensidad sísmica se refiere a la sacudida que se da durante un sismo o terremoto, es como el ser humano percibe las vibraciones sísmicas durante un evento en el ambiente que vive, el daño que ocasionan a las edificaciones y los posibles efectos que dejan en la naturaleza. Según la distancia también varía la intensidad a la que se ubique el epicentro.

La intensidad sísmica es controlada por cuatro elementos principales que son:

- Magnitud.
- Distancia del epicentro.
- Profundidad al hipocentro.
- Condiciones locales de la roca y el suelo.

Dado que se trata de factores con cierto grado de arbitrariedad y subjetividad, se desarrollaron diversas escalas descriptivas con el afán de estandarizar la interpretación de dichos fenómenos a nivel global, la Mercalli Modificada, usada en América y la MSK, usada en Europa, son las dos escalas más conocidas (Kuroiwa, 2019).

Escala de Mercalli Modificada. Es una escala de 12 grados que fue desarrollada con la finalidad de evaluar la intensidad de los terremotos a través de los daños y efectos causados a distintas estructuras.

Los niveles más bajos se asocian a la forma de como las personas sienten el temblor, mientras que los grados más altos están relacionados con el daño estructural observado.

Esta es la escala más conocida a nivel mundial en cuanto a su divulgación y punto de referencia en cualquier caso de sismo.

Para llegar a determinar se realiza encuestas a los ciudadanos que incluye el área afectada para poder saber los daños que se han dado en las zonas más afectadas, ya teniendo dicha información Se procede a estimar la intensidad sísmica en cada una de las edificaciones evaluadas, posteriormente, se trazan líneas que conectan los puntos con igual nivel de intensidad, conocidas como isosistas, éstas permiten representar gráficamente la distribución espacial de la intensidad del sismo, ubicando teóricamente el epicentro o la zona de mayor intensidad en el centro, el área de las líneas Isosistas da una idea de la profundidad del Foco, ya que áreas pequeñas indican sismos superficiales y áreas grandes corresponderá a sismos profundos (Trujillo Mejía, 2017)

2.2.9. Momento Sísmico

El momento sísmico de un sismo (M_0), representa una medida de la magnitud de dicho evento, considerando el área afectada por la ruptura de la falla, el desplazamiento promedio a lo largo de dicha falla y la fuerza requerida para vencer la fricción entre las rocas desplazadas. Además, es posible estimar el momento sísmico mediante el análisis de los espectros de amplitud de las ondas sísmicas registradas (Ibrahim, 2013).

2.2.10. Tapial

El tapial, también conocido como tierra pisada, es un método de construcción utilizado en muchas regiones dado su bajo costo y alta disponibilidad. Consiste en compactar mezcla de tierra, agua y otros materiales como fibras vegetales rellena en múltiples capas en un encofrado, su uso es muy extendido en la construcción de las Viviendas

de San Marcos planteando grandes desafíos en términos de resistencia estructural y sísmica.

La mayoría de las veces, el encofrado se realiza con madera. Se colocan dos maderas paralelas, se vierte tierra en capas de 10 o 15 cm entre ellas y se compacta con un pisón o maso, el encofrado se traslada posteriormente a una posición adyacente para que sea compatible con el muro.

2.2.10.1. Posibilidades de estabilización de suelos.

Una práctica cada vez más extendida para mejorar las propiedades del suelo destinado a la construcción es la estabilización de suelos; este procedimiento, además de emplear materiales naturales como la paja, incorpora estabilizantes industriales ya sea asfalto, cemento o cal, aplicados en proporciones que oscilan entre el 5 % y el 10 % según las características del terreno y los requerimientos del proyecto, esta utilización de materiales como estabilizantes en proporciones correctas y bajas no significa riesgo alguno para el entorno según (Tejada, Mendoza, & Torrealva, 2016).

2.2.10.2. Comportamiento estructural del tapial.

Los muros de tapial, al igual que los de adobe, presentan una buena resistencia a esfuerzos de compresión, permitiéndoles soportar adecuadamente cargas verticales o de gravedad; sin embargo, hay dificultad al momento de resistir cargas horizontales inducidas por eventos sísmicos; cuando las cargas son perpendiculares a dicho muro su resistencia dependerá de su capacidad de tracción por flexión que, definitivamente sabemos es muy baja; por lo que hay consenso cuando se considera que, a fin de poder reducir la vulnerabilidad de las construcciones de tierra, estas deben llevar refuerzos para suplir sus limitaciones mecánicas (Tejada, Mendoza, & Torrealva, 2016).

2.2.10.3. Muros de tapial.

En el proceso de diseño de este tipo de muros, es indispensable considerar criterios fundamentales de resistencia (Ensayos de compresión, corte, etc.), desempeño y estabilidad; siendo estos factores de suma importancia al momento del sismo y en la

construcción de edificaciones de tierra con refuerzo; estos elementos van a soportar la carga en cualquier dirección según (Tejada, Mendoza, & Torrealva, 2016).

2.2.10.4. Fuerza Axial.

Se simboliza por la letra P. Dicha fuerza se maneja en 2 fases, cuando se tira, esto produce la tensión o tracción por lo que las partículas del elemento se estiran, y al momento de comprimirse las partículas se contraen entre sí (Delgado, 2010).

2.2.10.5. Fuerza Cortante.

Son componentes de la resistencia total al deslizamiento de la porción sólido a un lado de la sección respecto a la otra, la fuerza cortante total se suele representar por V y sus componentes, V_x y V_z identifican sus direcciones (Delgado, 2010).

2.2.10.6. Esfuerzo de compresión.

Las fuerzas que actúan en un elemento estudiado tratan de aplastar o comprimir dicho elemento, produce que las partículas del elemento se aproximen cada vez más cerca entre sí (Abanto, 2017).

2.2.10.7. Desplazamiento Lateral.

Es la distancia entre el plano medio de la cimentación y el plano vertical que pasa por los puntos más alejados, se requerirá por lo tanto conocer el movimiento de la losa al momento de que su cimentación es sometida a un movimiento sísmico, para Ello se determinará en el tiempo la diferencia del desplazamiento durante dicho movimiento (Abanto, 2017).

2.2.10.8. Rigidez lateral.

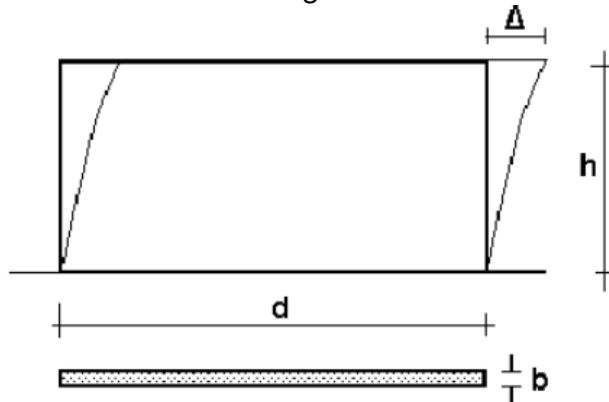
Es la propiedad de un elemento que ejerce resistencia a la deformación. Se utiliza el método de análisis de rigideces, el cual considera a los muros como placas rectangulares homogéneas (Abanto, 2017).

2.2.10.09. Determinación de la rigidez de un muro de albañilería.

Se expresa como la relación existente entre la fuerza aplicada y su deformación generada por esta fuerza (Abanto, 2017).

FIGURA 6.

Determinación de la rigidez de un muro



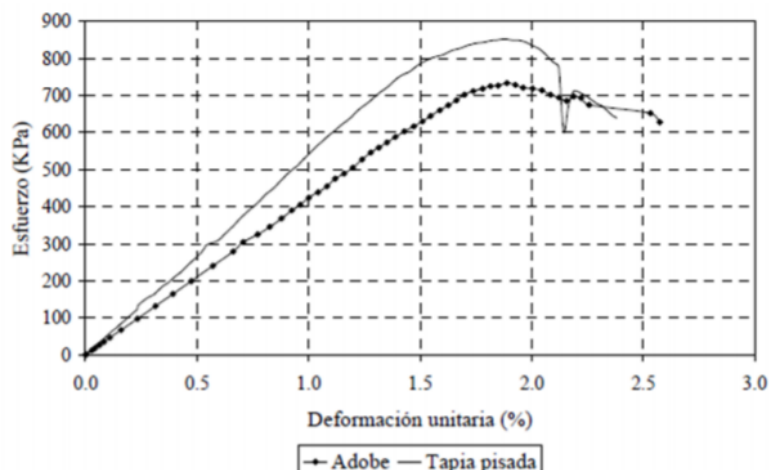
Nota: Miranda Rucoba y Richard Alexis (2018).

2.2.10.11. Deformación de muretes de tapial comparado con el adobe

La comparación entre el tapial y el adobe que se muestra en la figura 7, refiere que el tapial resiste más a la compresión que el adobe, debido a que tiene mayor ángulo que el adobe en la curva esfuerzo por deformación, estos datos nos son útiles a fin de poder resaltar la utilización eficaz que tiene el tapial sobre el adobe frente el esfuerzo de corte (Tejada, Mendoza, & Torrealva, 2016).

FIGURA 7.

Deformación del adobe y el tapial



Nota: Miranda Rucoba y Richard Alexis (2018).

2.2.10.12. Edificación de tierra reforzada

Las edificaciones de tierras reforzada se refiere a la construcción de estructuras (tapial o adobe) que incorporan elementos de refuerzos tales como mallas, cuerdas u otros con la finalidad de aumentar su resistencia, ello con la finalidad de mejorar la seguridad y durabilidad de la edificación especialmente frente a sismos, normativamente está regulado por la Norma E.080, la que establece requisitos para el diseño de sus componentes como cimentación, muros, entrepisos y techos (Tejada, Mendoza, & Torrealva, 2016).

FIGURA 8.

Estructura de tierra reforzada



Nota: Miranda Rucoba y Richard Alexis (2018).

Los refuerzos a usar deben ser compatibles con la tierra, manteniendo propiedades de baja dureza y suficiente flexibilidad, esto permitirá no dañar la estructura de tierra, contribuyendo a la absorción de esfuerzos laterales, los materiales a usar poseerán una alta capacidad de tensión (Tejada, Mendoza, & Torrealva, 2016).

FIGURA 9.

Refuerzo de caña o similar



Nota: Miranda Rucoba y Richard Alexis (2018).

- ✓ No se deben hacer edificaciones de tierra reforzada en zonas donde hay riesgo de algunos eventos naturales, desastres o con peligros de: avalanchas, aluviones, inundaciones, huaycos. Por lo que definitivamente no se deben construir en suelos con inestabilidad o fallas geológicas.
- ✓ Las edificaciones de tierra reforzada deben ser de un piso en las zonas sísmicas 4 y 3, y hasta de dos pisos en las zonas sísmicas 2 y 1, según los distritos y provincias establecidos en el Anexo N° 1 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente sobre Zonificaciones Sísmicas, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.

FIGURA 10.

Mapa de Zonificación Sísmica



Nota: MVCS, 2016.

- ✓ Las construcciones de tipo de tierra reforzada deberían cimentarse sobre suelos que sean firmes o medianamente firmes, esto en concordancia con la Norma E.050 de suelos y cimentaciones. No se debería asentar cimientos sobre suelos granulares sueltos, blandos, cohesivos ni en arcillas que se expanden, está rotundamente prohibido las cimentaciones en suelos que tengan arenas sueltas

que con el tiempo se saturan de agua y se produzca el riesgo de licuefacción de suelo (MVCS, 2017).

- ✓ En lo que respecta al proyecto arquitectónico, sanitario y eléctrico de las construcciones de tierra reforzada deberían tener afinidad con el proyecto estructural (MVCS, 2017).
- ✓ El diseño estructural de las edificaciones de tierra reforzada debe estar basados en los siguientes criterios: resistencia, estabilidad y comportamiento sismorresistente (refuerzos compatibles) y es respaldado por el profesional responsable (MVCS, 2017).
- ✓ Los métodos de análisis deben estar basados en comportamientos elásticos del material, sin perjuicio que se puedan utilizar criterios de comportamiento inelástico (MVCS, 2017).
- ✓ Los métodos para obtener la aprobación de nuevas técnicas mixtas relacionadas con el material tierra, deben estar basados en estudios que demuestren su adecuado comportamiento sísmico en el estado de servicio y en el estado último, sin producir fallas frágiles o colapsos súbitos y en concordancia con la filosofía de diseño. Para su aprobación se pueden utilizar las siguientes alternativas: Verificación experimental de comportamiento sísmico mediante ensayos cíclicos, pseudo - dinámicos o dinámicos que incluyan claramente el rango de comportamiento último, diseño racional basado en principios de ingeniería aceptados, bajo responsabilidad del profesional e historia de servicio y comportamiento adecuado en sismos severos (MVCS, 2017).

2.2.11. Vulnerabilidad sísmica

Se entiende como el grado de daño que pueden experimentar las edificaciones ante la ocurrencia de un sismo, este nivel de afectación está directamente relacionado con factores como el diseño estructural, calidad de los materiales empleados, así como las técnicas constructivas utilizadas; para su evaluación, existen diversas metodologías que consideran aspectos estructurales, funcionales, operativos y

urbanos, a fin de generar información útil para la planificación preventiva y la gestión del riesgo de desastres, a pesar de esto no existe una metodología estándar para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica por lo que el método utilizado dependerá de las características de la estructura y del alcance de la investigación (kuroiwa, 2019).

2.2.11.1. Componentes de la vulnerabilidad sísmica.

En cuanto a la vulnerabilidad esta puede ser de dos clases: física o funcional, la primera se relaciona con la capacidad de la construcción para soportar adecuadamente al fenómeno físico durante su vida útil y que puedan afectar los elementos no estructurales, tales como los componentes arquitectónicos, divisiones, instalaciones, equipos, entre otros (Cardona, 1990, como se cita en Chávez, 2022).

El mal desempeño de los elementos no estructurales puede ocasionar la pérdida de funcionalidad de la vivienda, o para ser ocupado temporalmente es decir (Vulnerabilidad no estructural), mientras que la segunda está relacionada con la capacidad para la que fue diseñada (Cardona, 1990, como se cita en Chávez, 2022).

2.2.11.3. Vulnerabilidad física.

Se traduce como el grado de predisposición o susceptibilidad de los componentes estructurales y tanto como de los no estructurales que están predispuestos a pérdidas o a sufrir daños de tipo no estructural y estructural (Peralta, 2002, como se cita en Chávez, 2022).

A. Vulnerabilidad estructural.

La vulnerabilidad estructural es aquella que trata de grado de susceptibilidad de los elementos que integran el sistema de soporte de una construcción como son: los pórticos, concreto, acero, los muros de carga, etc., estos en efecto deben ser de calidad en su estado de conservación, edificación, también en el tipo de estructura así como en las características del suelo (Peralta, 2002, como se cita en Chávez, 2022).

En lo referente a la calidad de construcción, se trata de la calidad de los materiales utilizados en el momento de la construcción, que respondan y garanticen una

resistencia y capacidad de las construcciones; absorbiendo y disipando la energía sísmica adecuadamente (Peralta, 2002, como se cita en Chávez, 2022).

El estado de conservación de una edificación hace referencia al grado de deterioro que presenta producto de: la humedad, daños físicos visibles, procesos de erosión.

Cuando nos referimos al estado de conservación en la edificación hablamos de las condiciones de deterioro implican las lesiones físicas como la humedad, la erosión, y mecánicas como: las deformaciones, las fisuras, los desprendimientos, etc. (Peralta, 2002, como se cita en Chávez, 2022).

Los tipos de estructuras generalmente se consideran 3: los conformados por los estructurales, entramados o pórticos de concreto reforzado, los de acero estructural o madera, además por muros o paredes portantes, que son normalmente de bloques, paneles, ladrillos, o también pueden ser por la combinación de estos; llamándose estructuras compuestas (Peralta, 2002, como se cita en Chávez, 2022).

En referencia a los detalles del suelo y la cimentación, éstas a pesar que las estructuras muestren una apariencia de rigidez y resistencia significativa, también puede ocurrir que la misma no pueda soportar adecuadamente un movimiento sísmico esto se debe a la inestabilidad del suelo sobre el cual fue cimentada (Peralta, 2002, como se cita en Chávez, 2022).

B. Vulnerabilidad no estructural

Es el grado de susceptibilidad de los factores que se utilizan en la arquitectura como: los paneles, los áticos, las cornisas, los cielorrasos, las ventanas, etc., incluyendo los equipos de instalaciones eléctricas, sanitarias, mecánicas entre otras, que van a sufrir pérdidas, logrando la inhabilitación temporal o permanente de una edificación para la adecuada prestación de su servicio (Peralta, 2002, como se cita en Chávez, 2022).

Los elementos no estructurales pueden llegar a convertirse en elementos potencialmente peligrosos cuando no están ligados o amarrados adecuadamente al resto de la edificación, introduciendo cambios en la estructuración y en los mecanismos de transmisión de las cargas, que pueden propiciar su falla (Peralta, 2002, como se cita en Chávez, 2022).

2.2.11.4. Vulnerabilidad funcional

Hace referencia a la capacidad intrínseca de una edificación para continuar cumpliendo la función para la cual fue concebida, incluso ante condiciones adversas, su evaluación resulta relevante en construcciones cuya operatividad es crítica como: los hospitales, los centros de salud, las clínicas, etc., pues las construcciones desarrollan un muy buen desempeño estructural en el caso de los fenómenos sísmicos, aunque se pueden dar o presentar un colapso funcional que se puede dar de mayor gravedad inclusive que las fallas en los elementos de la estructura. (Cardona, 1990, como se cita en Chávez, 2022).

2.2.11.5. Deficiencias estructurales en edificaciones de tierra de dos pisos

Este tipo de edificaciones suelen tener características estructurales que aumentan su vulnerabilidad sísmica. A menudo, la antigüedad de estas construcciones y el deterioro de las propiedades mecánicas de sus materiales provocan una mayor reducción de su resistencia sísmica (Yamín Lacouture, L.E, Phillips Bernal C. Reyes Ortiz J.C., Ruiz Valencia D., 2007).

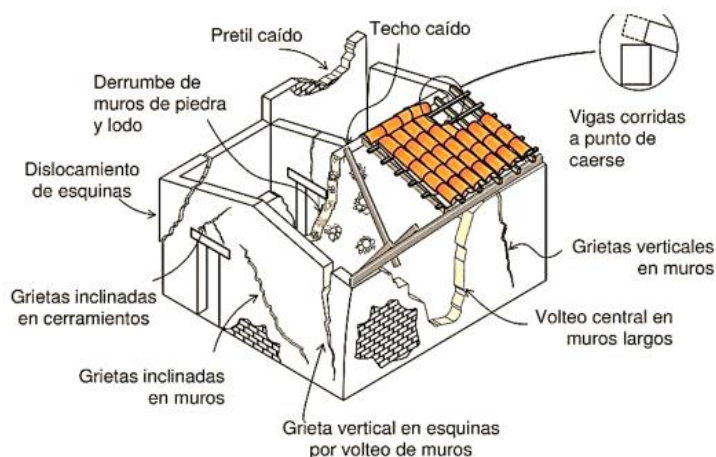
Los principales factores que incrementan la vulnerabilidad sísmica en edificaciones de tierra son: irregularidad en planta y altura, distribución inadecuada de los muros en un plano, pérdida de verticalidad en los muros, problemas de humedad, filtraciones, conexión inadecuada de los muros, pérdida de revestimientos en los muros, uso de materiales incompatibles, entrepisos pesados y ausencia de diafragmas, apoyo y anclaje insuficiente de elementos de entrepisos, entrepisos muy flexibles, luces muy largas y construcción inadecuada de cubiertas. (Yamín Lacouture, L.E, Phillips Bernal C. Reyes Ortiz J.C., Ruiz Valencia D., 2007).

2.2.11.6. Tipología de fallas encontradas en viviendas de tierra asociadas a fuerzas sísmicas

Dado que las construcciones de tierra poseen baja resistencia a la tracción y muy baja adherencia entre bloques de tapial; ante la ocurrencia de un sismo de considerable intensidad, suelen generarse fallas, muchas veces en una misma edificación se observan tipos diferentes de estas (Zelaya, 2007). En la siguiente figura detallamos los tipos de fallas existentes en este tipo de edificaciones:

FIGURA 11.

Daños y fallas recurrentes en viviendas de tierra ante sismos

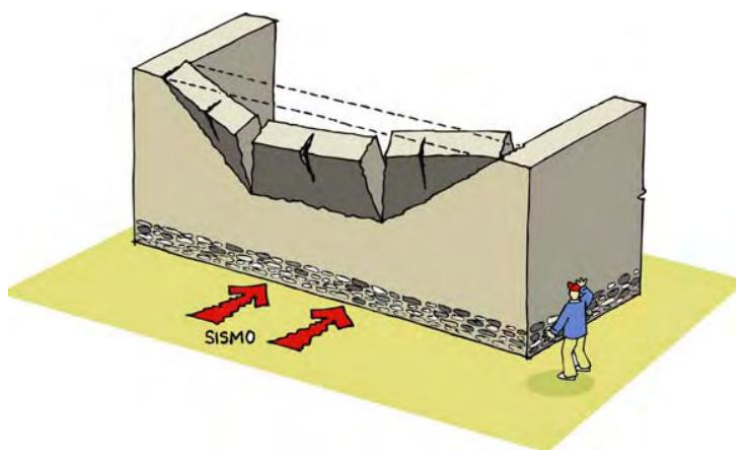


Nota. Maarten Gooddens, 2014.

- A.** Flexión fuera del plano del muro; genera agrietamiento horizontal ya sea en la base o zonas intermedias, además de agrietamientos verticales adicionales; esto se presenta de manera muy frecuente en muros largos.

FIGURA 12.

Flexión perpendicular al plano del muro

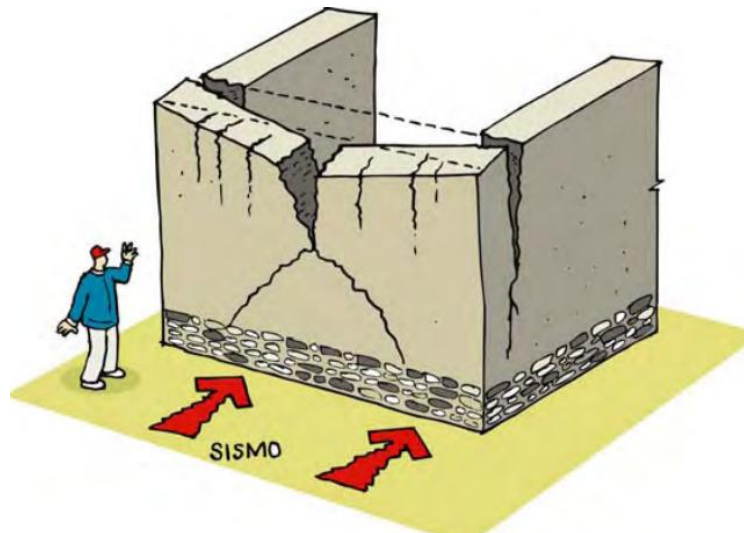


Nota. AIS, 2001.

- B.** Falla por flexión perpendicular al plano del muro con agrietamiento vertical en la zona central; agrietamiento diagonal que constituye el mecanismo de falla y fisuración en la parte superior.

FIGURA 13.

Falla por flexión perpendicular con agrietamiento vertical

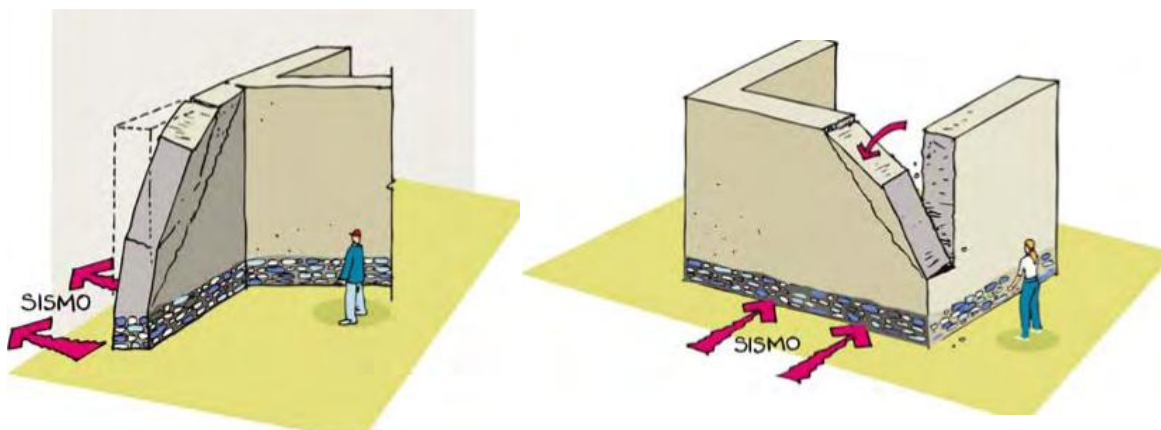


Nota. AIS, 2001.

- C. Falla por flexión perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos, o en esquinas no conectadas efectivamente con los muros transversales.

FIGURA 14.

Falla por flexión perpendicular en esquinas no confinadas



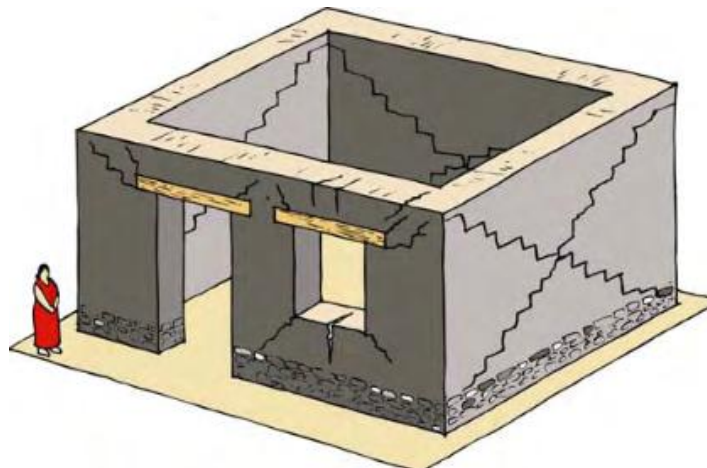
Nota. AIS, 2001.

- D. Falla por cortante en el plano del muro asociada a altos empujes horizontales. En muchos casos estos agrietamientos están asociados a entrepisos o cubiertas muy

pesadas y se ven magnificados con las aberturas correspondientes a las puertas y ventanas en los muros.

FIGURA 15.

Falla por cortante en el plano del muro

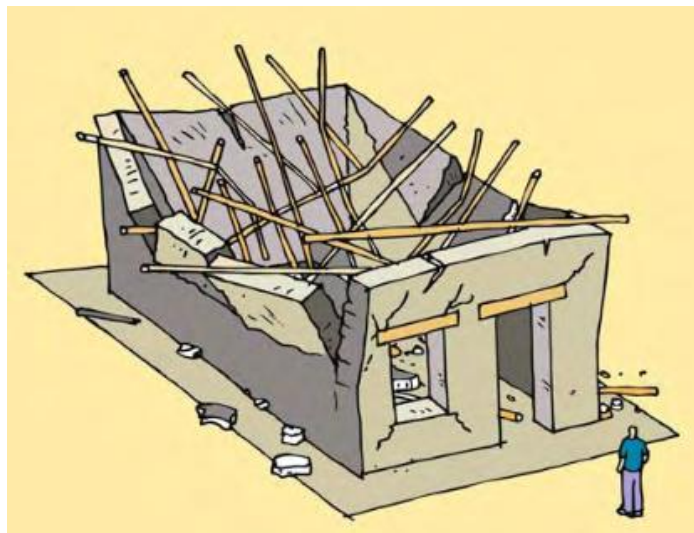


Nota. AIS, 2001.

- E. Caída de la cubierta hacia el interior de la vivienda, por encontrarse mal apoyada sobre los muros. Se genera una falla en la zona superior de los muros.

FIGURA 16.

Caída de la cubierta hacia el interior



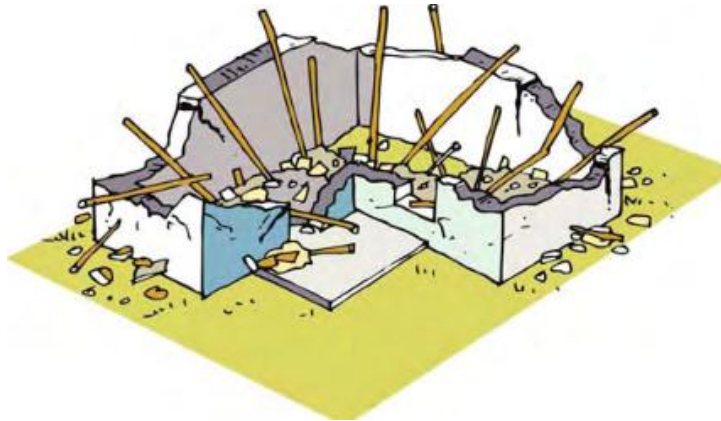
Nota. AIS, 2001.

- F. Falla generalizada de cubierta por ausencia de un apoyo adecuado o por mala estructuración de ella. Este tipo de mecanismo de falla es frecuente en

edificaciones con cubiertas muy pesadas, mal concebidas estructuralmente o con alto grado de deterioro.

FIGURA 17.

Falla de cubierta por falta de apoyo o mala estructuración



Nota. AIS, 2001.

- G.** Falla que se presenta por mala conexión de los muros del primer piso con los del segundo. En este mecanismo de falla el entrepiso rompe los muros principales en forma horizontal, generando la inestabilidad del segundo piso.

FIGURA 18.

Falla por mala conexión de los muros de entrepisos



Nota. AIS, 2001.

2.2.12. Amenaza o peligro sísmico.

Se conoce como la magnitud geofísica que da la probabilidad para que ocurra un sismo en una determinada área durante un período de tiempo. Es decir, es la posibilidad de que pueda darse un fenómeno físico como efecto de un terremoto que pueden ser: los deslizamientos de tierra, el movimiento mismo del terreno, como la licuefacción, inundaciones, etc., a lo que denominaremos efectos colaterales de un terremoto o sismo. (kuroiwa, 2019).

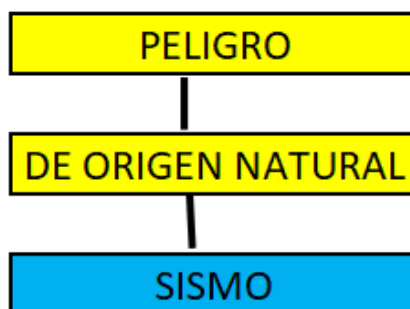
La localización y tamaño de estos daños colaterales tendrán en consideración muchos elementos como: las características geológicas y geotécnicas del lugar. Por lo que, el primer paso a tener en cuenta en la evaluación de peligrosidad sísmica es definir las zonas tectónicas, con el afán de comprender minuciosamente las características del sismo. Es muy común utilizar en su evaluación técnicas probabilísticas simplificadas de cálculo (kuroiwa, 2019).

La evaluación de riesgos considera, por un lado, los impactos potenciales que pueden causar fenómenos endógenos tales como los sismos y sus consecuencias, es decir tsunamis, derrumbes, hundimientos, licuefacción de suelos y los procesos exógenos como acción eólica, erosión, precipitaciones y sus consecuencias, determinando en cada uno de estos casos los sectores urbanos que podrían afectarse por estos peligros identificados (INDECI. 2006).

2.2.12.1. Clasificación del peligro sísmico.

En el presente estudio se abordará la evaluación de los peligros naturales originados por procesos endógenos, específicamente aquellos relacionados con la actividad sísmica.

FIGURA 19.
Peligros de origen natural a tratar.



Nota. COEN – INDECI, 2006.

2.2.12.2. Peligros que afectan la zona.

2.2.12.2.1. Sismo.

Sismo según su origen griego que dentro de otros vocablos abarca otros términos como son: del latín terraemotus, terremoto o temblor, estos términos son más usados en américa del sur.

Se por fenómenos geológicos naturales o por causas artificiales, que pueden ocurrir en cualquier zona de la corteza terrestre, su energía se propaga en forma de ondas desde un punto de origen denominado hipocentro, generando vibraciones en la superficie terrestre en múltiples direcciones, cuando alcanzan niveles de intensidad capaces de provocar daños, se les denomina terremotos; en cambio, si solo son perceptibles sin causar daños, se conocen como temblores.

Según la NORMA E.030, modificada mediante DS N° 003-2016-vivienda 2016, el distrito capital Pedro Gálvez, provincia de San Marcos se encuentra ubicado en la zona 3, zona que corresponde a una zona sísmica alta.

2.2.12.2.2. Deslizamiento de tierra.

Se conoce de esta manera al desplazamiento progresivo y lento de una porción de terreno, dado en el mismo sentido de la pendiente pudiendo ser producido por diferentes factores entre los más comunes la erosión del terreno o filtraciones de agua (INDECI, 2006).

La infraestructura de la Municipalidad Provincial de San Marcos, está ubicada en una zona con pendiente baja.

2.2.12.2.3. Erosión Fluvial.

La erosión es generada por agentes naturales, implica la desintegración y el desgaste progresivo del material expuesto a dicho fenómeno.

Los ríos de grandes caudales generan desgaste en el fondo del cauce y en las márgenes ocasionando erosión fluvial. Por otro lado, otros agentes erosionantes como lluvias, vientos, escurrimiento de aguas superficiales erosionan la superficie de los suelos, degradando así las laderas y llevando todo este material suelto de un lugar a otro, alterando la composición de la superficie (INDECI, 2006).

La Municipalidad de San Marcos se encuentra a 250.00 m. del río Cascasén, con Ello la zona en estudio tiene esta afectación.

2.2.12.2.4. Viento.

Para un determinado lugar existe un promedio de velocidad de viento, cuando la velocidad supera dicho promedio generando daños, se considera como un viento de alta intensidad (INDECI, 2006).

La Municipalidad Provincial de San Marcos tiene como colindantes edificaciones con techo de teja, los mismos que ante la presencia de fuertes vientos puede caer, significando un peligro para los ocupantes y peatones de la zona.

2.2.12.2.5. Lluvia.

La provincia de San Marcos está en la sierra norte peruana por lo que es una zona lluviosa.

Como en toda la sierra norte del Perú, la temporada de lluvia en San Marcos es de 7 meses aproximadamente, desde octubre hasta abril con lluvias intensas en febrero y marzo; por otro lado, el mes con menos lluvias es el mes de julio.

El problema que presenta La ciudad de San Marcos es que por estar ubicada topográficamente en un terreno con pendiente baja ante la presencia de intensas lluvias las calles de la plaza de armas se transforman en pequeños ríos que trasladan la escorrentía desde las partes altas de la ciudad, lo que provoca que el agua ingrese a las edificaciones y que debido a la humedad las paredes de tapial acumulen mayor humedad, convirtiéndose así en un peligro latente.

2.2.12.2.6. Estratificación.

A fin de evaluar el peligro sísmico, las zonas de peligro se pueden estratificar en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto.

TABLA 1.

Estrato, descripción y valor de las zonas de peligro

ESTRATO/NIVEL	DESCRIPCION O CARACTERISTICAS	VALOR
PB (Peligro Bajo)	Terrenos planos o con poca pendiente, roca y suelo compacto y seco, con alta capacidad portante.	1 < de 25%
	Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznales. No amenazados por peligros, como actividad volcánica, maremotos, etc.	
	Distancia mayor a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.	
PM (Peligro Medio)	Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas	2 De 26% a 50%
	Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad.	
	De 300 a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.	
PA (Peligro alto)	Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas.	3 De 51% a 75% ^o
	Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días	
	Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos	
	De 150 a 300 m. desde el lugar del peligro tecnológico	
PMA (Peligro Muy Alto)	Sectores amenazados por alud- avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo ("lloclla")	4 De 76% a 100%
	Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava.	
	Fondos de quebrada que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo	
	Sectores amenazados por deslizamientos o inundaciones a gran velocidad, con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo.	
	Sectores amenazados por otros peligros: maremoto, heladas, etc.	

Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de
licuación generalizada o suelos
colapsables en grandes proporciones

Menor de 150 m. desde el lugar del peligro
tecnológico

Nota. INDECI, 2006.

Ahora bien, cuando el peligro es muy alto, estamos frente a un peligro que lo podemos catalogar como “peligro inminente”, vale decir a la situación creada por un fenómeno natural o por la acción del hombre cuyo potencial de ocurrencia es altamente probable en el corto plazo, desencadenando un impacto de negativas consecuencias significativas en la población y su entorno socio-económico. INDECI (2006).

2.2.13. Riesgo sísmico.

Según la Real Academia Española el término Riesgo se traduce a “Contingencia o proximidad de algún daño”, pero mientras que en el vocabulario técnico significa “posibilidad de daños, pérdidas o exposición al cambio”. Se refiere a las secuelas tanto económicas como sociales que provoca un sismo, íntimamente relacionado a la respuesta de la falla de las estructuras.

El concepto de riesgo sísmico es la probabilidad en la que una comunidad, pueblo y sus medios de vida como habitad, economía sufran daños o se vean afectados por eventos sísmicos. Es decir, son las pérdidas humanas y los daños materiales, económicos y ambientales que son causados por los sismos que son manifestaciones propias de la naturaleza. El riesgo sísmico no se puede eliminar, pero si se puede reducir realizando medidas de mitigación y prevención. Por lo tanto, se concluye que el riesgo sísmico depende directamente de la Peligrosidad y de la Vulnerabilidad. En efecto son las consecuencias.

Entendemos por Riesgo Sísmico además como el grado de pérdida, daño o destrucción esperado debido a la ocurrencia de un sismo determinado; está relacionado con la probabilidad que se presenten o consecuencias que manifiesten, vinculados íntimamente al grado de exposición, su predisposición a ser afectado por el evento sísmico y el valor intrínseco del elemento (Safina. 2002).

2.2.13.1 Estimación del Riesgo.

La estimación del Riesgo en defensa civil, se cataloga como el conjunto de procedimientos y acciones que se realizan en una determinada área geográfica, con la finalidad de poder levantar información relevante sobre la identificación de peligros naturales y el análisis de las condiciones de vulnerabilidad, para poder determinar o calcular el riesgo esperado: pérdidas de vida e infraestructura. Complementario a Ello como resultado de dicho proceso, recomendar medidas de prevención (de carácter estructural y no estructural) adecuados, todo Ello con el fin de reducir o mitigar los efectos de los desastres ante la ocurrencia de peligros identificados previamente. Se estima el riesgo antes de la ocurrencia de un desastre. En este caso se plantea hipotéticamente un peligro basado principalmente en su periodo de recurrencia. En ese sentido, solamente se puede hablar de riesgo (R) siempre y cuando el correspondiente escenario ha sido evaluado en función del peligro (P) y la Vulnerabilidad M. (INDECI, 2006).

En la elaboración de un proyecto de desarrollo se considera la estimación del riesgo y de esa manera poder proporcionar un factor de seguridad a fin de salvaguardar la inversión de dicho proyecto; también se evalúa el riesgo luego de ocurrido un desastre; en este caso la evaluación de daños, pérdidas y víctimas, se realiza de manera directa sin emplear la ecuación indicada.

El riesgo aumenta con el componente vulnerabilidad, tomando en cuenta que el peligro es un fenómeno natural que no puede ser eliminado por los humanos. Es por lo que los gobiernos buscan cada vez más invertir en diversos estudios e investigaciones sobre el riesgo sísmico con el objetivo de reducir los daños o mitigar los males provocados por los sismos (Sauter, 1996, como se cita en Chávez, 2022).

Por tal motivo es que se han diseñado y creado planes con el fin de mitigar el riesgo sísmico, es decir se implementan y ejecutan planes o acciones para prevenir ante un fenómeno natural eminentemente destructivo, pretendiendo reducir sus efectos. Esto quiere decir que se toman todas las medidas para aumentar la resistencia y corregir

el comportamiento de las construcciones y líneas vitales para salvaguardar la vida de las personas así como disminuir la reducción de pérdidas humanas, económicas y sociales (Sauter, 1996, como se cita en Chávez, 2022).

2.2.14. Consideraciones en construcción con tierra reforzada: Norma E. 080.

2.2.14.1. Criterios básicos.

- ✓ No deberían hacerse edificaciones de tierra reforzada en las zonas donde exista riesgo de eventos naturales, desastres o con peligros de: aluviones, avalanchas, inundaciones, huaycos. Sí como no se deberían construir en suelos que presenten inestabilidad o fallas geológicas.
- ✓ Las edificaciones de tierra reforzada deben ser de un piso en las zonas sísmicas 4 y 3, y hasta de dos pisos en las zonas sísmicas 2 y 1, según los distritos y provincias establecidos en el Anexo N° 1 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente sobre Zonificaciones Sísmicas, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA.
- ✓ Las edificaciones de tipo de tierra reforzada deben estar cimentadas en suelos firmes o medianamente firmes, esto en concordancia con la Norma E.050 de suelos y cimentaciones. No se deben asentar cimientos sobre suelos granulares sueltos, blandos, cohesivos ni en arcillas que puedan expandirse, está prohibido definitivamente las cimentaciones en suelos que contengan arenas sueltas que con el tiempo puedan saturarse de agua y puedan producir el riesgo de licuefacción de suelo.
- ✓ Referente al diseño arquitectónico, sanitario y eléctrico de las edificaciones de tierra reforzada deberían tener concordancia con el proyecto estructural.
- ✓ El diseño estructural de las construcciones de tierra reforzada debería estar basados en criterios de: estabilidad, resistencia y comportamiento sismorresistente (refuerzos compatibles) siendo estos respaldados por el profesional responsable.

- ✓ Por último, los métodos que sirvan para obtener la aprobación de nuevas técnicas mixtas relacionadas con la construcción de tierra reforzada, deberían basarse en estudios que demuestren su adecuado comportamiento sísmico en el estado de servicio y en el estado último, sin producirse fallas frágiles o colapsos súbditos. (MVCS, 2017).

2.2.14.2. Requisitos de los materiales en construcción con tierra reforzada.

Tierra: Deberá verificarse que la tierra a utilizar contenga presencia adecuada de arcilla mediante las pruebas correspondientes. Asimismo, que se encuentre libre de cantidades perjudiciales de materia orgánica. Así su resistencia debe cumplir lo indicado en:

A) Los ensayos en el laboratorio para esfuerzos de rotura mínimos afín de medir la Resistencia del material de tierra a la compresión (ensayo de compresión en cubos) se realizará acorde al procedimiento siguiente:

- a) La resistencia se mide usando el ensayo de compresión del utilizando cubos de 0.1 m de arista.
- b) La resistencia última es calculada según la expresión siguiente: $f_c = 1.0 \text{ MPa} = 10.2 \text{ kgf / cm}^2$
- c) Los cubos o muestras de tapial deberán cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) será igual o mayor a la resistencia última indicada.
- d) En el caso de las muestras de tapial, de no haber muestras secas, es recomendable elaborar muestras comprimidas en moldes de 0.1 x 0.1 x 0.15 m. con 10 golpes utilizando un mazo de 5 kg de peso.

B) Los ensayos en el laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para calcular la Resistencia a la tracción del material tierra, será realizado de acuerdo al siguiente procedimiento:

- a) La resistencia se medirá usando el ensayo brasileño de tracción, en cilindros de 6" x 12" o 15.24 cm x 30.48 cm de diámetro y largo.
- b) La resistencia última será de $0.08 \text{ MPa} = 0.81 \text{ kgf/cm}^2$.

c) Las muestras contendrán humedad inicial de 20 % a 25 % para control de adobes y 10 % a 15 % para control de tapial, con un secado cubierto de sol y viento de 28 días, debiendo cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada (MVCS, 2017).

Agua: Debe cumplir las características siguientes:

- a) Agua potabilizada o agua que esté libre de materia orgánica, sales y sólidos en suspensión.
- b) Agua limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas.
- c) En el caso del agua de mar solamente se podrá emplear si se cuenta con la autorización del ingeniero proyectista y del responsable de la supervisión. (MVCS, 2017)

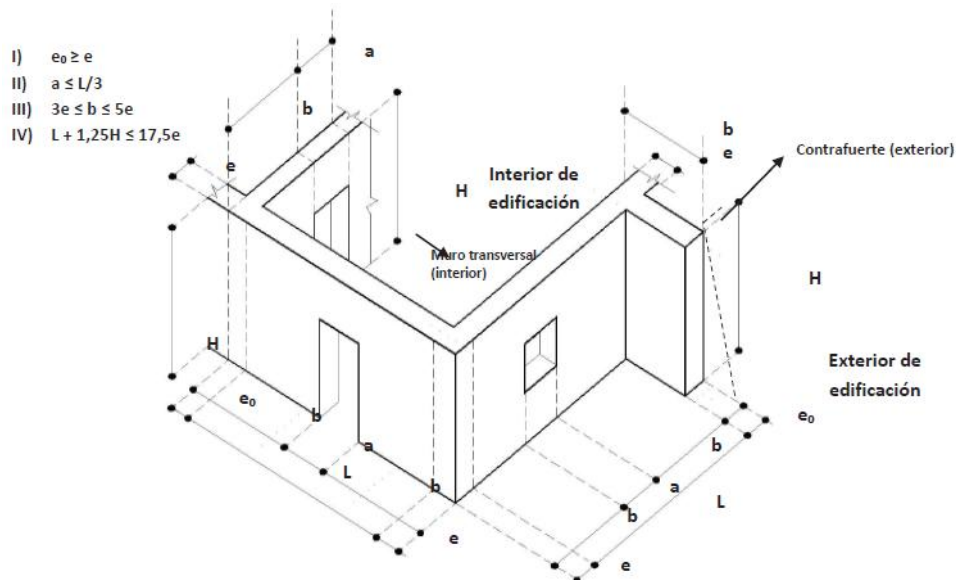
2.2.14.3. Criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada.

Las edificaciones de tierra reforzada, deberán cumplir con los siguientes criterios de configuración:

- ✓ Muros anchos para su mayor resistencia logrando mayor estabilidad frente al volteo. El espesor mínimo del muro será de 0.40 m.
- ✓ Los muros deberán estar arriostrados horizontalmente (entrepisos y techos) así como verticalmente (contrafuerte o muros transversales).
- ✓ Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación. En la mayor posibilidad, todos los muros deben ser portantes y arriostrados.
- ✓ Contar con una planta simétrica respecto a los ejes principales.
- ✓ El espesor (e), densidad y altura libre de muros (H), la distancia entre arriostres verticales (L), el ancho de los vanos (a), así como los materiales y la técnica constructiva para la construcción de una edificación de tierra reforzada, deben ser aplicados de manera continua y homogénea.
- ✓ Los vanos deben ser adecuadamente proporcionales; así mismo, se recomienda que sean centrados y pequeños (MVCS, 2017).

FIGURA 20.

Límites Geométricos de muros y vanos



Nota. MVCS diseño y construcción con tierra reforzada, 2017.

Nota 1: Cada arrioste vertical (muro transversal o contrafuerte) podrá construirse hacia el interior o hacia el exterior de la edificación, según el criterio del proyectista.

Nota 2: La expresión IV relaciona la esbeltez vertical ($y_v = H/e$) con la esbeltez horizontal ($h = L/e$), de modo que se debe cumplir la expresión: $h + 1.25 v \leq 17.5$.

Nota 3: Los muros generalmente deberían tener una esbeltez vertical (V) igual o menor a 6 veces el espesor del muro y una esbeltez horizontal (H) igual o menor a 10 veces el espesor del muro.

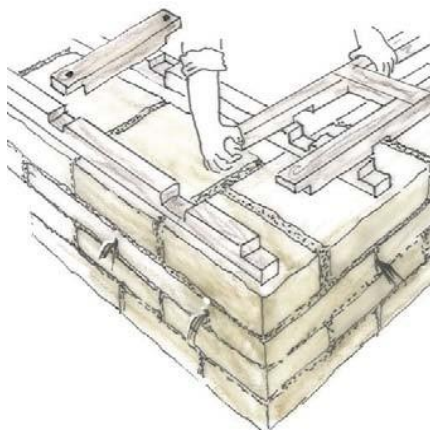
La esbeltez vertical puede llegar a un máximo 8, si se cumple la Nota 2.

Nota 4: El contrafuerte podría ser recto o trapezoidal. En caso de ser trapezoidal, ver línea segmentada en contrafuerte (exterior) su base o parte inferior debe medir "b" y la parte superior (que sobresale del muro) debe medir como mínimo "b/3". (MVCS, 2017)

- ✓ Contar mínimamente con una viga collar en la parte superior de cada muro, fijada entre sí, así como a los refuerzos, y contruidos con un material compatible con la tierra reforzada (madera, caña u otros).

FIGURA 21.

Ejemplo esquemático de un tipo de Viga Collar



Nota. MVCS diseño y construcción con tierra reforzada, 2017.

✓ Cálculo de las fuerzas sísmicas horizontales.

La fuerza sísmica horizontal en la base de las edificaciones de tierra reforzada se determina mediante la siguiente expresión:

$$H=S.U.C.P$$

Donde:

S = Factor de suelo según lo indicado en la Tabla N° 2.

U =Factor de uso según lo indicado en la Tabla N° 3.

C = Coeficiente sísmico según lo indicado en la Tabla N° 4.

P = Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50 % de la carga viva (MVCS, 2017).

TABLA 2.

Factor de suelo (S)

Tipo	Descripción	Factor de suelo (S)
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible > 0.3 MPa ó 3.06 kg.f/cm ²	1,0

II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible > 0.1 Mpa ó 1.02kg.f/cm ²	1,4
----	--	-----

Nota. Adaptado de MVCS, 2017.

TABLA 3.

Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación

Tipo de Edificaciones	Factor de Uso (U)	Densidad
NT A.030 Hospedaje	1,4	15%
NT A.040 Educación		
NT A.050 Salud		
NT A.090 Servicios comunales		
NT A.100 Recreación y deportes		
NT A.110 Transporte y Comunicaciones	1,2	12%
NT A.060 Industria		
NT A.070 Comercio		
NT A.080 Oficinas		
Vivienda: Unifamiliar y Multifamiliar Tipo Quinta	1,0	8%

Nota. Adaptado de MVCS, 2017.

TABLA 4.

Coef. sísmico por zona sísmica para edif. de tierra reforzada

Zona Sísmica	Coeficiente Sísmico (C)
4	0,25
3	0,20
2	0,15
1	0,10

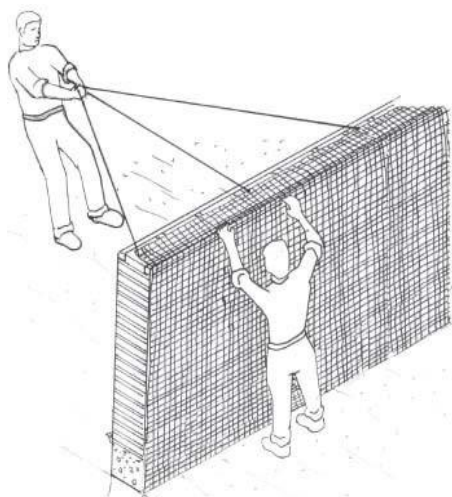
Nota. Adaptado de MVCS, 2017.

- ✓ Se debe evitar obligatoriamente el deterioro de las edificaciones de tierra reforzada, a causa del viento, lluvia y la humedad, protegiéndolas a través de:
- Cimientos y sobrecimientos que eviten el humedecimiento del muro.
 - Recubrimientos, revestimientos o enlucidos que los protejan de la lluvia, humedad y viento, y que permitan la evaporación de la humedad del muro.
 - Aleros en el techo que protejan el muro de cualquier contacto con la lluvia. En las zonas bioclimáticas: N°3 Interandino, N°4 Meso andino, N°5 Altoandino, N°6 Nevado, N° 7 Ceja de montaña, N°8 Subtropical húmedo, N°9 Tropical húmedo, indicadas en la Norma EM.110 Confort Térmico Lumínico con Eficiencia

Energética, se usan aleros no menores de 1 metro de voladizo, adecuadamente anclados y con peso suficiente para no ser levantados por el viento.

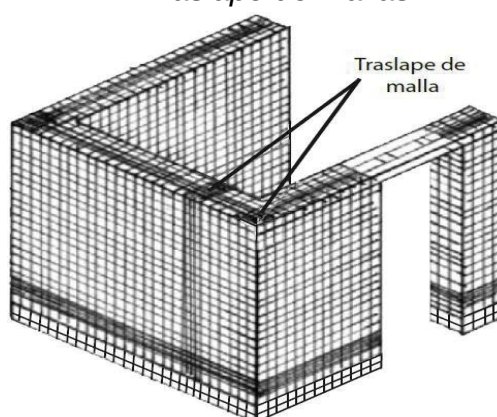
- d) Veredas perimetrales con pendiente hacia el exterior de la edificación y que permitan la evacuación y evaporación del agua.
 - e) Sistemas de drenaje adecuado (material granular suelto tipo piedras y gravas, con pendiente y colector inferior, evacuador de agua).
 - f) En patios interiores, terrazas y otros espacios abiertos se asegura la evacuación y evaporación del agua o humedad depositada en el suelo o piso. (MVCS, 2017).
- ✓ Para los refuerzos se debe tener en cuenta las consideraciones siguientes:
- a) Los muros y contrafuertes de las edificaciones de tierra reforzada deben tener refuerzos.
 - b) En caso que los refuerzos sean externos a los muros o contrafuertes deben estar embutidos en el enlucido.
 - c) No deben usarse refuerzos en una sola dirección, pues no logran controlar los desplazamientos y pueden sufrir colapsos parciales. Deben usarse refuerzos en dos direcciones (horizontales y verticales).
 - d) En todos los casos, el refuerzo horizontal coincide con los niveles inferior y superior de los vanos.
 - e) Los elementos que conforman los entrepisos o techos de las edificaciones de tierra reforzada, deben estar adecuadamente fijados al muro mediante una viga collar. El refuerzo debe fijarse desde la base del sobrecimiento a la viga collar.
 - f) En caso se utilice refuerzos de tipo vegetal, geomallas, dinteles y/o mallas de sogas sintéticas, debe considerarse, según sea el caso.
 - g) En caso se utilice refuerzo de mallas sintéticas de nudos integrados (geomallas), el refuerzo debe ser externo y embutido en el enlucido. La geomalla, constituida por material sintético, debe reunir las características necesarias para ser usada como refuerzo de edificaciones de tierra.

FIGURA 22.
Colocación de mallas



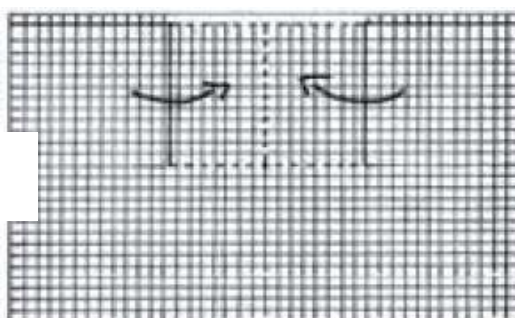
Nota. MVCS, 2017.

FIGURA 23.
Traslape de mallas



Nota. MVCS, 2017.

FIGURA 24.
Cortes de mallas en ventanas o puertas



Nota. MVCS, 2017.

- h) En caso se utilice refuerzos de dinteles, se deben utilizar dinteles flexibles (por ejemplo, paquetes de caña o madera delgada en rollizos, amarradas por cordones o sogas) y amarrarlos a la viga collar.
- i) En caso se utilice refuerzos con mallas de sogas sintéticas (driza blanca o similar) se debe tener las consideraciones siguientes:
 - i. Utilizar diámetros de sogas sintéticas igual o mayores a 5/32" (3.97 mm), salvo las sogas para unir las mallas de ambas caras del muro, cuyo diámetro debe ser mínimo de 1/8" (3.17 mm).
 - ii. Las mallas de refuerzo deben ser externas al muro y embutidas en el enlucido del mismo, lo que también sirve para la consolidación de construcciones existentes.
 - iii. Las mallas deben conformarse mediante lazos verticales y horizontales que confinen (envuelvan) el muro. Los lazos de confinamiento vertical deben estar convenientemente anclados a la cimentación y a la viga collar superior.
 - iv. Las mallas de cada cara del muro deben unirse en cada intersección de los lazos según lo indicado en el Anexo N°6, inciso 6.1: Nudos para refuerzos, o mediante un método similar comprobado.
 - v. La separación entre las sogas horizontales debe ser menor a 0.40m en promedio para el tercio inferior a la altura del muro (sea la edificación de uno o dos pisos). Debe ser de 0.30m en promedio para el tercio central y de 0.20m en promedio para el tercio superior (sin coincidir con la junta horizontal). La separación entre las sogas verticales debe ser menor a 0.40m.
 - vi. El refuerzo horizontal debe coincidir con los niveles inferior y superior de los vanos (MVCS, 2017).

2.3. Definición de términos básicos.

Peligro. - Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o tecnológico potencialmente dañino, para un período específico y una localidad o zona conocidas. Se identifica, en la mayoría de los casos, con el apoyo de la ciencia y tecnología (Civil, 2006).

Peligro sísmico. Es la probabilidad que se presente un sismo potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado. Representa el peligro

latente natural asociado al fenómeno sísmico capaz de producir daños sobre las personas, bienes y medio ambiente (Civil, 2006)

Riesgo. - Estimación o evaluación matemática de pérdidas de vidas, de daños a los bienes materiales, a la propiedad y economía, para un período específico y área conocidos, de un evento específico de emergencia. Se evalúa en función del peligro y la vulnerabilidad (Civil, 2006)

Tapial. - Molde empleado para fabricar tapias que está compuesto de dos tablas paralelas sujetas a cierta distancia mediante unas barras agujereadas y unos listones que las atraviesan, también conocido como tapia pisada.

Vulnerabilidad. - Grado de resistencia y/o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro. Puede ser: física, social, económica, cultural, institucional u otro (Civil, 2006).

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

La ciudad de San Marcos, está ubicada en el distrito de Pedro Gálvez, Provincia de San Marcos, región Cajamarca, en la parte centro oeste de la Provincia de San Marcos, siendo sus coordenadas UTM: Norte: 9188129 N Este: 812470 E y a una altitud de 2261 m.s.n.m.

FIGURA 25.

Mapa político del Perú



Nota. INEI, 2013.

FIGURA 26.

Mapa político de la Región Cajamarca



Nota: INEI, 2018

FIGURA 27.

Mapa político de la provincia de San Marcos



Nota: INEI, 2018

Esta investigación se aplicó a la edificación pública construida de tapial donde funciona la Municipalidad Provincial de San Marcos, ubicadas geográficamente como se indica a continuación.

- **Municipalidad Provincial de San Marcos**, ubicada en la ciudad de San Marcos – Pedro Gálvez – San Marcos - Cajamarca, localizada en el Jr. Leoncio Prado N° 360, colindante en la parte este de la plaza de armas de la ciudad de San Marcos.

FIGURA 28.

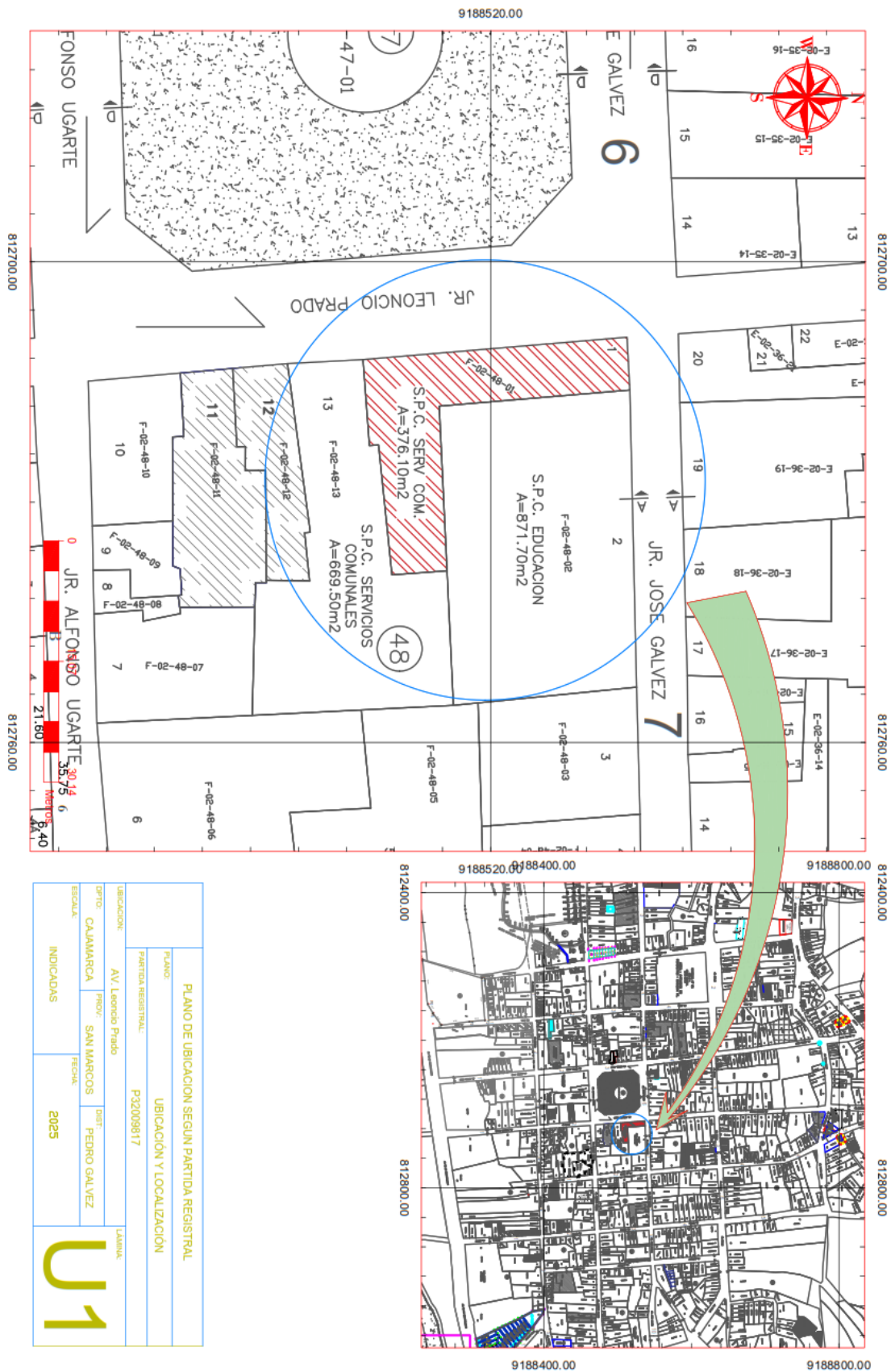
Ubicación geográfica de la MPSM



Nota. Google earth.

FIGURA 29.

Plano de la ubicación de la MPSM en la ciudad de San Marcos



Nota. La MPSM se ubica en la parte este de la plaza de armas de la ciudad de San Marcos.

FIGURA 30. *Fotografía de fachada principal de la MPSM*



Nota. Fotografía del ingreso a las instalaciones del MPSM.

FIGURA 31. *Fachada principal de la MPSM*



Nota. Modelamiento de la fachada principal de la MPSM.

En el siguiente cuadro, se detallan las coordenadas y altitud de la zona de estudio

TABLA 5.

Coordenadas de la Municipalidad Provincial de San Marcos

Coordenadas UTM			Rango Altitudinal	
DISTRITO	ESTE (m)	NORTE (m)	m.s.n.m.	Región
SAN MARCOS	812470	9188129	2261	Sierra

3.2. Tiempo en el que se realizó la investigación

La elaboración de la investigación tuvo lugar entre octubre 2023 - junio del 2025.

3.3. Recursos, materiales e instrumentos utilizados.

3.3.1. Recursos Humanos

- Tesista: Bach. Daniel Gil Solano: Realizó la evaluación de características y la descripción del estado actual de las instalaciones de tapial de la Municipalidad provincial de San Marcos; realizó además los levantamientos arquitectónicos y análisis de la investigación mediante entrevistas al personal que labora en dicha institución con la finalidad de recopilar información importante en términos de de mantenimiento, reconstrucción y remodelación, así como el estado actual de conservación que han tenido las edificaciones de tapial.
- Asesor Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno: Aportó sus conocimientos de durante el proceso de la investigación, siendo su contribución esencial para la culminación satisfactoria de esta tesis.
- Colaboradores: Brindaron las facilidades necesarias para llevar a cabo la recolección de información y el levantamiento topográfico de la infraestructura de la Municipalidad Provincial de San Marcos.

3.3.2. materiales

Los materiales que se utilizaron tanto para el desarrollo de la investigación fueron:

- Wincha
- GPS
- Internet
- Cámara Fotográfica

- Hoja de apuntes
- Computadora (programas como AutoCAD, Excel, Word, etc.)
- Fichas de reportes de tapial

3.4. Metodología

La presente investigación es de tipo inductiva dado que se ha realizado un análisis selectivo y concreto de la edificación de tapial partiendo de lo particular a lo general mediante el análisis y observación de las estructuras existentes que lo conforman, a su vez se aplicó la metodología basada en el cálculo de riesgo sísmico de edificaciones autosustentables en la costa peruana (Mosqueira y Tarque, 2005) mediante fichas de reporte adaptadas y aplicadas a edificaciones de tapial. (Fichas De Reporte de Adobe - PUCP, 2004).

TABLA 6.

Tipificación de la investigación

CRITERIO	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Objetivos Generales	Descriptiva
Control en el Diseño de la Prueba	No experimental
Temporalidad	Transversal

3.4.1. Método de Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica.

El método de evaluación de vulnerabilidad sísmica de la edificación de tapial de la que es parte la presente investigación, fue llevado a cabo haciendo uso de fichas de conteo y recolección de información de campo (PUCP, 2004) proporcionada de la tesis para optar el grado académico en ingeniería civil presentada por el Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno y el Ing. Sabino Nicola Tarque Ruiz, adaptando algunos datos acordes a la zona de estudio.

La ficha presenta las siguientes partes:

Antecedentes:

Presenta una breve descripción de la ubicación de la edificación, así como características básicas de su proceso constructivo.



**NIVEL DE RIESGO SÍSMICO DE LA EDIFICACIÓN DE TAPIAL DE LA MUNICIPALIDAD
PROVINCIAL DE SAN MARCOS - CAJAMARCA
FICHA DE REPORTE**

Código de edificación encuestada:
Tipo de sistema estructural:

ANTECEDENTES

Departamento : Provincia :
Distrito : Dirección:
Dirección técnica en el diseño:
Dirección técnica en la construcción:
Pisos construidos: Pisos proyectados: Antigüedad de la vivienda: años
Peligros naturales potenciales que afectan la vivienda:
.....
Topografía y geotécnica:
Estado de la edificación:
.....
.....

Aspectos Técnicos:

Nos muestra datos estructurales como los elementos que lo conforman y las características de cada uno de Ellos; permite identificar posibles deficiencias en la estructura, tales como problemas relacionados con su ubicación, fallas estructurales, deficiencias constructivas, así como información sobre el nivel de la mano de obra involucrada en su ejecución.

ASPECTOS TÉCNICOS

Elementos de la vivienda:

Elementos	Características
Deficiencias de la estructura:	
PROBLEMAS DE UBICACIÓN	PROBLEMAS ESTRUCTURALES
☐ Edificación sobre suelo de relleno	☐ Densidad de muros inadecuada
☐ Edificación sobre suelo no consolidado	☐ Muros sin viga solera de madera o concreto
☐ Edificación con asentamiento	☐ Muros sin confinar resistentes a sismo
☐ Edificación en pendiente	☐ Cimientos y/o sobrecimientos inadecuados
☐ Otros:	☐ Dinteles con reducida longitud de apoyo
	☐ Tabiquería no arriostrada
PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS	☐ Torsión en planta
☐ Muros expuestos a lluvia	☐ Edificación sin junta sísmica
☐ Juntas de construcción mal ubicadas	☐ Otros:
☐ Combinación de ladrillo con adobe o tapial en muros	
☐ Unión muro techo no monolítica	MANO DE OBRA
☐ Muros inadecuados para soportar empuje lateral	☐ Buena ☐ Regular ☐ Mala
☐ Unidades de adobe o tapial de baja calidad	OTROS
☐ Otros:	

Peligros Naturales Potenciales:

Muestra datos en referencia a los peligros naturales más relevantes de posible ocurrencia pudiendo afectar la edificación; aparte de Ello la ficha contempla un espacio para colocar algunas observaciones y comentarios que se consideren importantes.

PELIGROS NATURALES POTENCIALES

☐ Sismos	☐ Lluvia	☐ Otros
☐ Huayco	☐ Viento	
☐ Deslizamiento	☐ Inundación	

OBSERVACIONES Y COMENTARIOS

Análisis por sismo:

“Para determinar si una edificación posee una adecuada densidad de muros, se establecerá la comparación entre el área existente de muros y el área requerida. A diferencia de los muros de albañilería, en muros de tierra 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).

Se analiza los muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje “X”) y en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje “Y”) para cada piso de la edificación.

Permite ingresar datos referentes a N° de pisos, factor de suelos, coeficiente sísmico, peso promedio por m² de muro; de esos datos se encuentra la relación Ae/Ar estableciéndose:

Ae/Ar < 0,6 : vivienda con densidad de muros inadecuada
Ae/Ar > 1,0 : vivienda con densidad de muros adecuada
0,6 ≤ Ae/Ar ≤ 1 : entonces será necesario realizar una verificación de algunos

Análisis por sismo (H=SUCP; U=1)

Nº de Pisos=

S=

C=

Peso prom.x m² (muros de e=0.5m) =

kN/m²

v'm=

kPa

Área en	Peso prom.	Cort. Basal	Área de muros		Relación	Resultado
planta Ap	por área	H=SUCP	Existente Ae	Requerida Ar	Ae / Ar	
m ²	kN/m ²	kN	m ²	m ²	Adim.	
Primer Nivel						
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")						
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")						
Segundo Nivel						
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")						
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")						

Verificación de muros a corte

Para evaluar si los muros de una edificación pueden resistir adecuadamente los efectos de un sismo, se debe comparar los esfuerzos sísmicos a corte con la capacidad resistente de cada muro en las direcciones principales (longitudinal y transversal), mediante el siguiente criterio:

Esfuerzo sísmico a corte $\leq$ v'm: Resistencia adecuada,

Esfuerzo sísmico a corte $>$ v'm: Resistencia inadecuada.

Se analiza los muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X") y en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y") codificando a cada muro dependiendo a cada eje para cada piso de la edificación.

Tabla de verificación de muro a corte

	Parámetros de Verificación				Esfuerzo	Esfuerzo
Identificación de muro	e	L	A trib.	Peso	Sísmico a Corte	Admisible
	m	m	m ²	kN	kPa	vadm=25kPa
Primer Nivel						
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")						
M1X						
M2X						
M3X						
M4X						
M5X						
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")						
M1Y						
M2Y						
M3Y						
M4Y						
Segundo Nivel						
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")						
M12X						
M13X						
M14X						
M15X						
M16X						
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")						
M9Y						
M10Y						
M11Y						
M12Y						

Es por eso, que a fin de poder determinar la vulnerabilidad sísmica es muy necesario analizar la vulnerabilidad estructural y la vulnerabilidad no estructural (Kuroiwa, 2019). Considerando que la vulnerabilidad estructural tiene en cuenta aquellos parámetros correspondientes a la densidad de los muros, la calidad de mano de obra y la calidad de los materiales, por otro lado, la vulnerabilidad no estructural solamente está en función de la estabilidad el muro al volteo en el que se considera a los aleros (Mosqueira & Tarque, 2005).

TABLA 7.

Parámetros para evaluar la vulnerabilidad sísmica

Vulnerabilidad	
Estructural	No estructural

Densidad (60%)		Mano de obra y materiales (30%)		Tabiquería y parapetos (10%)	
Adecuada	1	Buena calidad	1	Todos estables	1
Aceptable	2	Regular calidad	2	Algunos estables	2
Inadecuada	3	Mala calidad	3	Todos inestables	3

Nota. Mosqueira y Tarque, 2005.

Los valores asignados se reemplazan en la ecuación:

$$\text{Vulnerabilidad sísmica} = 0.6 \times D + 0.3 \times MO + 0.1 \times E \quad (a)$$

Donde:

D: Densidad de los muros

MO: Mano de obra

E: Estabilidad de los muros.

Además, una vez calculado el valor de la vulnerabilidad sísmica, se considerará los siguientes rangos:

TABLA 8.

Rango numérico para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica

Vulnerabilidad Sísmica	Rango
Baja	1 a 1,4
Media	1,5 a 2,1
Alta	2,2 a 3

Fuente: Mosqueira y Tarque, 2005.

3.4.2. Determinación del Peligro Sísmico.

La estimación se realizará en función de cuatro parámetros principales: la sismicidad, el tipo de suelo, la topografía y la pendiente del terreno donde se ubica la edificación. Cada uno de estos factores posee un peso específico según la Tabla 9, asignando un 40 % a la sismicidad y al tipo de suelo, debido a su directa relación con el cálculo de

la fuerza sísmica conforme a la normativa de diseño sismorresistente. Por su parte, la topografía y la pendiente representan el 20 % restante en la ponderación total

TABLA 9.

Valores de los parámetros del peligro sísmico

Peligro					
Sismicidad (40%)		Suelo (40%)		Topografía y pendiente (20%)	
Baja	1	Rígido	1	Plana	1
Media	2	Intermedio	2	Media	2
Alta	3	Flexible	3	Pronunciada	3

Nota. Mosqueira y Tarque, 2005.

A fin de poder calcular el peligro sísmico usamos la siguiente fórmula.

$$\text{Peligro} = 0.4 \times \text{Sismicidad} + 0.4 \times \text{Suelo} + 0.2 \times \text{Topografía y pendiente.} \quad (b)$$

En la siguiente tabla se muestra los rangos de todas las posibles combinaciones de los parámetros que califican el peligro sísmico, combinaciones de las que se toma como eje principal la sismicidad de la zona donde está construida.

TABLA 10.

Rango de valores para el cálculo del peligro sísmico

Sismicidad	Peligro sísmico	Rango
Alta	Bajo	1.8
	Medio	2 a 2.4
	Alto	2.6 a 3
Media	Bajo	1.4 a 1.6
	Medio	1.8 a 2.4
	Alto	2.6
Baja	Bajo	1 a 1.6
	Medio	1.8 a 2
	Alto	2.2

Nota. Mosqueira y Tarque, 2005.

TABLA 11.

Combinaciones parámetros para la evaluación del peligro sísmico

Sismicidad (40%)	Estructural						Pesos (%)			Peligro Sísmico	Valor Numérico
	Suelos (40%)			Topografía (20%)			40	40	20		
	Rígido	Intermedios	Flexible	Plana	Media	Pronunciada					
Baja	X			X			3	1	1	Bajo	1.8
	X				X		3	1	2	Medio	2
	X					X	3	1	3		2.2
		X		X			3	2	1		2.2
		X			X		3	2	2		2.4
		X					3	2	3	Alto	2.6
			X	X			3	3	1		2.6
			X		X		3	3	2		2.8
			X			X	3	3	3		3
Media	X			X			3	1	1	Bajo	1.4
	X				X		3	1	2	Medio	1.6
	X					X	3	1	3		1.8
		X		X			3	2	1		1.8
		X			X		3	2	2		2
		X				X	3	2	3	Alto	2.2
			X	X			3	3	1		2.2
			X		X		3	3	2		2.4
			X			X	3	3	3		2.6
Alta	X			X			3	1	1	Bajo	1
	X				X		3	1	2		1.2
	X					X	3	1	3		1.4
		X		X			3	2	1		1.4
		X			X		3	2	2	Medio	1.6
		X				X	3	2	3		1.8
			X	X			3	3	1		1.8
			X		X		3	3	2		2
			X			X	3	3	3	Alto	2.2

Nota. Adaptado de Mosqueira & Tarque, 2005.

A fin de poder calificar numéricamente al peligro sísmico, se reemplazan los valores numéricos de Sismicidad, Tipo de Suelo y Topografía en la ecuación anterior. Dicho valor obtenido se compara con la clasificación del Peligro Sísmico mostrado en la Tabla 2.12 lo que permite asignar el Nivel de Peligro Sísmico de la edificación evaluada.

TABLA 12.

Calificación del Peligro Sísmico

Sismicidad	Peligro Sísmico	Rango
Alta	Bajo	1.80
	Medio	De 2.00 a 2.40
	Alto	De 2.60 a 3.00
Media	Bajo	De 1.40 a 1.60
	Medio	De 2.00 a 2.40
	Alto	2.60
Baja	Bajo	De 1.00 a 1.60
	Medio	De 1.80 a 2.00
	Alto	2.20

Nota. Mosqueira y Tarque, 2005.

3.4.3. Estimación del Riesgo.

Una vez identificado los peligros (P) a la que está expuesta la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos y luego de haber realizado el análisis de vulnerabilidad (V); se procede a la evaluación conjunta, a fin de poder calcular el riesgo (R), vale decir estimar la probabilidad de daños y pérdidas esperados (recursos económicos, bienes materiales, personas, entre otros) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural y tecnológico (INDECI 2006).

Esta estimación de riesgo corresponde a un análisis y una combinación de datos empíricos y teóricos respecto a la probabilidad del peligro identificado, vale decir la intensidad y la fuerza de ocurrencia; así como el análisis de vulnerabilidad o la capacidad de resistencia de los elementos expuestos al peligro (vivienda, población, infraestructura, etc.), dentro de una determinada geográfica.

Actualmente existen diversos criterios para poder calcular el riesgo, por un lado, el matemático o analítico; y por el otro el descriptivo. El criterio analítico, está basado fundamentalmente en la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\text{Riesgo Sísmico (R)} = f(\text{Vulnerabilidad (V)}, \text{Peligro Sísmico (P)}) \quad (c)$$

La ecuación anterior es la referencia básica para poder estimar el riesgo, donde cada una de las variables: Peligro (P), vulnerabilidad (V) y, consecuentemente el riesgo (R), se expresan en términos de probabilidad.

TABLA 13.

Valores de evaluación de riesgo sísmico

RIESGO SÍSMICO			
Peligro \ Vulnerabilidad	Baja = 1	Media = 2	Alta = 3
Bajo = 1	1	1.5	2
Medio = 2	1.5	2	2.5
Alto = 3	2	2.5	3

Nota. Adaptado de William Vera Alcántara, 2014.

TABLA 14.

Evaluación del riesgo sísmico

RIESGO SÍSMICO			
Peligro \ Vulnerabilidad	Baja = 1	Media = 2	Alta = 3
Bajo	BAJO	MEDIO	MEDIO
Medio	MEDIO	MEDIO	ALTO
Alto	MEDIO	ALTO	ALTO

Nota. Adaptado de William Vera Alcántara, 2014.

3.5. Población de Estudio.

La población para esta investigación es la edificación de tapial donde funciona la Municipalidad Provincial de San Marcos.

3.6. Muestra.

El método para elegir el muestreo es no probabilístico por conveniencia es decir que están este tipo de muestra están disponibles para el investigador por lo que, consiste en que se elegirá al usuario basados en un criterio subjetivo toda vez de seleccionar

al azar, dada las condiciones de la investigación se tomó como muestra la edificación de tapial donde funcionan las oficinas de la Municipalidad Provincial de San Marcos.

3.7. Técnicas.

3.7.1. Observación participante

Esta técnica permitió que podamos responder interrogantes como ¿Quién?, ¿Qué?, ¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Cómo? Y ¿Por qué? A fin de poder conocer como se hizo la construcción de la infraestructura evaluada de tapial, el nombre de la edificación, entre otras características.

3.7.2. Análisis de documentos.

Esta técnica nos ha permitido investigar el año de construcción de la infraestructura de tapial, que según refieren alguno de los funcionarios más antiguos la construcción data del año 1941, revisión de planos o croquis de la planta de las edificaciones entre otros datos históricos que se necesiten conocer, de la misma manera se revisará el Reglamento Nacional de Edificaciones, la Norma E.080 “Diseño y Construcción con Tierra Reforzadas”.

3.8. Diseño de la investigación

Esta investigación tiene un diseño no experimental descriptivo, dado que analiza y evalúa características y variables que presenta la edificación de tapial en estudio, se fundamenta en la ecuación propuesta por (Kuroiwa , 2019) la cual relaciona el riesgo sísmico, peligro sísmico y la vulnerabilidad sísmica de una edificación, a partir de esto es que sugiere el cálculo numérico del riesgo sísmico con su respectiva calificación de alto, medio bajo, a través de dos factores; vulnerabilidad sísmica y peligro sísmico, las cuales han sido aplicadas y fundamentadas en investigaciones de la Pontificia Universidad Católica del Perú mediante fichas de reporte elaboradas en Excel para edificaciones de albañilería confinada (Mosqueira y Tarque, 2005) y edificaciones de adobe (Díaz, 2015).

En este apartado describimos las fichas de encuesta y de reporte, las mismas que nos sirvieron para recoger información detallada en campo y así poder obtener el riesgo sísmico de la edificación de tapial de la que es cuestión el presente estudio.

3.8.1. Ficha de Encuesta.

El proceso de la ficha de encuesta estuvo a cargo del tesista de pregrado, quien estableció comunicación con los funcionarios del gobierno local a fin de tener las facilidades y el acceso a las instalaciones de la Municipalidad Provincial de San Marcos. Se contactó a los trabajadores más antiguos que laboran en dicha Entidad a fin de obtener los datos más fidedignos.

En la primera parte de la ficha tenemos los antecedentes, en donde especificamos y describimos la ubicación, peligros naturales potenciales que afecten la vivienda; también la topografía, así como la geotecnia, además de Ello las características y rasgos generales el estado actual de la edificación de tapial; esta parte nos ayuda a mostrar de forma concisa la edificación que vamos a analizar.

Seguido a esto se presenta los aspectos técnicos, tales como los elementos de la edificación, describiendo los tipos de materiales empleados en su construcción, así como las medidas de los elementos estructurales de la edificación. Detallando en lo mayor posible las características de los materiales y describiendo las probables deficiencias observados en los elementos estructurales.

Luego, se presenta la deficiencia de la estructura donde se han agrupado los problemas que puede tener dicha edificación. Estos están referidos a su ubicación, problemas constructivos y estructurales, y a la calidad de mano de obra utilizada al momento de su construcción. Seguido de esto se detallan los peligros naturales potenciales a los que la edificación, dependiendo de su ubicación, puede estar sometida.

Se tiene también el ítem de comentarios y observaciones en donde se puede explicar con mayor detalle como la edificación puede estar expuesta a peligros naturales, así como poder describir alguna característica importante que se no considere en los apartados anteriores.

Se presenta además un esquema en planta y en elevación de la edificación, donde se describe el número de plantas, así como áreas y medidas; también medidas de las columnas entre otros; colocamos datos de juntas sísmicas tanto con las edificaciones vecinas y con cercos colindantes.

Finalmente se colocan fotografías de la edificación describiendo las condiciones actuales y descripción de fallas, fisuras o deficiencias de la infraestructura.

3.8.2. Ficha de Reporte.

Por otro lado, las fichas de reporte son hojas de cálculo en las que se describe ordenada y detalladamente para luego procesar numéricamente y de forma más rápida la cuantificación de las características constructivas y estructurales de la edificación, con la finalidad de poder determinar la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico de la edificación en estudio, de manera similar a la ficha de encuesta, la ficha de reporte se elabora en hojas cálculo MS Excel, la misma que consta de 2 páginas.

Estas fichas se diferencian de las fichas de encuesta ya que estas últimas poseen el análisis sísmico de la edificación, el análisis de la estabilidad de muros, así como, la calificación de la vulnerabilidad, peligro y riesgos sísmico de la edificación.

La ficha de reporte consta de las siguientes partes:

a. Antecedentes

Se colocará el resumen de los datos anotados en las fichas de encuesta, así como la ubicación de la edificación, el tipo de asesoramiento técnico que se recibió al momento de su diseño y construcción.

Como ya se hizo mención en párrafos anteriores, la vulnerabilidad sísmica está en función de la vulnerabilidad estructural y a la vulnerabilidad no estructural, además partiendo del concepto que los muros son los elementos más importantes en la resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico de la estructura de una edificación de tierra. (MVCS, 2017), es que la vulnerabilidad estructural de las edificaciones de tapial estará en función de dos parámetros: Verificación de la densidad de muros de las edificaciones (realizando una verificación adicional de esfuerzos a corte de cada muro por planta) y en función del estado actual de las edificaciones, finalmente tenemos que la vulnerabilidad no estructural estará en función a un solo parámetro el cual será el análisis de la estabilidad de muros al volteo, los cuales serán presentados en las fichas de reporte.

Para la verificación de la densidad de los muros de tapial y así determinar si la edificación tiene una adecuada densidad de muros, se establecerá la comparación

entre el área existente y el área requerida de muros, cabe resaltar que, a diferencia de los muros de albañilería, en muros de tapial no existe limitación de longitud de muros ya que estos trabajan independientemente, puesto que estas construcciones no cuentan con diafragmas horizontales rígidos a nivel de los techos y no habrá una transferencia de fuerza sísmica del diafragma hacia el muro (MVCS, 2017)

Para el cálculo del Área requerida en los muros de tapial se utilizará la siguiente ecuación (Fichas De Reporte de Adobe - PUCP, 2004).

$$Ar = \frac{S \cdot C \cdot W \cdot N \cdot At}{v' \cdot m} \quad (1)$$

Donde:

Ar: Área Requerida

S: Factor de suelo

C: Coeficiente sísmico

w: Peso promedio por Área

N: Número de pisos

At: Área total Techada (m²)

V'm: Esfuerzo a corte

Dicha ecuación está basada en las Fuerzas sísmicas horizontales (cortante sísmico) según lo estipulado en la Norma E.080 (2017).

$$H = S \cdot U \cdot C \cdot P \quad (2)$$

Donde:

H: Fuerza Sísmica horizontal

S: Factor de suelo

U: Factor de Uso

C: Coeficiente Sísmico

P: Peso de la edificación Número de pisos

De acuerdo a la Norma E.080 (2017) los tipos de suelo y su respectivo factor se obtendrán según la siguiente tabla.

TABLA 15.

Factor de suelo (S)

Tipo	Descripción	Factor S
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible $> 3.06 \text{ kg.f/ cm}^2$ o 0.3 Mpa	1.0
II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible $> 1.02 \text{ kg.f/ cm}^2$ o 0.1 Mpa	1.4

Nota. Adaptado de MVCS, 2017.

Los valores de Factor de Uso y densidad de muros según el tipo de edificación lo encontramos en la siguiente tabla (tabla 8) de la Norma E.080 (2017).

TABLA 16.

Factor de Uso (U) y densidad según tipo de edificación

Tipo de Edificaciones	Factor de Uso (U)	Densidad
NT A.030 Hospedaje	1,4	15%
NT A.040 Educación		
NT A.050 Salud		
NT A.090 Servicios comunales		
NT A.100 Recreación y deportes		
NT A.110 Transporte y Comunicaciones	1.2	12%
NT A.060 Industria		
NT A.070 Comercio		
NT A.080 Oficinas	1,0	8%
Vivienda: Unifamiliar y Multifamiliar Tipo Quinta		

Nota. Adaptado de MVCS, 2017.

El coeficiente sísmico C según la ubicación donde se desarrolla la investigación, se selecciona los valores para cada caso según Norma E.080 (2017).

TABLA 17.

Coef. sísmico por zona sísmica para edif. de tierra reforzada

Zona Sísmica	Coeficiente Sísmico (C)
4	0,25

3		0,20
2		0,15
1		0,10

Nota. Adaptado de MVCS, 2017.

En construcciones de adobe o tapial, es común que los muros del primer nivel se prolonguen en el segundo nivel, de no presentarse, se generarán variaciones en el área de cada piso. Por ello, el análisis estructural se efectuará de manera independiente para cada nivel.

Luego, realizando la comparación entre ambos parámetros “Ae” y “Ar” tendremos:

TABLA 18.

Verificación de la densidad de muros

Relación	Resultado
$\frac{A_e}{A_r} < 0.6$	Edificación con la densidad de muros inadecuada.
$\frac{A_e}{A_r} > 1$	Edificación con la densidad de muros adecuada.
$0.6 \leq \frac{A_e}{A_r} \leq 1$	Es indispensable realizar una verificación de algunos muros a corte.

Nota. Adaptado de Fichas de Reporte De Adobe - PUCP, 2004.

Donde:

Ae: Área existente

Ar: Área Requerida

Para realizar la verificación adicional de los muros a corte se realizará una comparación entre estos y los esfuerzos admisibles, que según indica la norma tiene un valor promedio de 25kPa (Norma E.080,2017), esta comparación nos indicará si el muro es adecuado o inadecuado según sea el caso, para ello utilizaremos la siguiente expresión. (Fichas De Reporte de Adobe - PUCP, 2004).

$$Esc = \frac{S \cdot C \cdot w \cdot At}{e \cdot L} \quad (3)$$

Donde:

Esc: Esfuerzos admisibles a corte

S: Factor de suelo

C: Coeficiente sísmico

w: Peso promedio por Área

N: Número de pisos

At: Área total Techada (m²)

e : Espesor del muro

L : longitud de Muro

La condición actual de la edificación será clasificada como de buena, regular o mala calidad, en función del análisis realizado sobre elementos como vigas, entrepisos, cobertura, presencia de fisuras o grietas en los muros, estos resultados se consignarán en la sección inicial de las fichas de reporte.

TABLA 19.

Parámetros para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica

Vulnerabilidad Sísmica					
Vulnerabilidad Estructural				Vulnerabilidad No estructural	
Densidad de muros de tapial (60%)		Estado actual de la institución de tapial analizada (30%)		Verificación de muros al volteo (10%)	
Adecuada	1	Buena Calidad	1	Todos Estables	1
Aceptable	2	Regular Calidad	2	Algunos Estables	2
Inadecuada	3	Mala Calidad	3	Todos Inestables	3

Nota. Adaptado de la Tabla N° 4.03 “Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana”. Lima. 2005.

Es decir, la ecuación general para el cálculo y calificación de la vulnerabilidad sísmica es:

$$\text{Vulnerabilidad Sísmica} = (0,6 \times \text{Densidad de muros}) + (0,3 \times \text{Estado actual de la edificación}) + (0,1 \times \text{Verificación de muros al volteo}) \quad (6)$$

A continuación, se presenta las diferentes combinaciones posibles de los parámetros que califican la vulnerabilidad sísmica de la edificación de tapial.

TABLA 20.

Combinación de parámetros para evaluación de vulnerab. Sísmica.

VULNERABILIDAD SÍSMICA	Estructural			No estructural						Valor numérico
	Comportamiento sísmico de los muros de tapial (60%)			Estado actual de la edificación de tapial (30%)			Verificación de muros al volteo (10%)			
	Adecuada	Aceptable	Inadecuada	Buena	Regular	Mala	Estable	Algunos Estables	Inestables	
BAJA	X			X			X			1.0
	X			X				X		1.1
	X			X					X	1.2
	X				X		X			1.3
	X				X			X		1.4
MEDIA	X				X				X	1.5
	X					X	X			1.6
	X					X		X		1.7
	X					X			X	1.8
		X		X			X			1.6
		X		X				X		1.7
		X		X					X	1.8
		X			X		X			1.9
		X			X			X		2.0

		X		X		X	2.1
		X			X	X	2.2
		X			X	X	2.3
		X			X		2.4
			X	X		X	2.2
			X	X		X	2.3
			X	X		X	2.4
			X		X		2.5
			X	X		X	2.6
			X	X		X	2.7
			X		X	X	2.8
			X		X	X	2.9
			X		X	X	3.0

ALTA

Nota. “Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana”. Lima. 2005.

TABLA 21.

Tabla de resumen de rangos

Calificación de la Vulnerabilidad Sísmica	Rango de valores		
Baja	1.0	a	1.4
Media	1.5	a	2.1
Alta	2.2	a	3.0

Nota. “Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana”. Lima. 2005.

Por lo tanto, los valores asignados a cada parámetro de la tabla 13. Se remplazan en la ecuación 6, dicho valor se ubica dentro de la tabla de resumen de rangos (tabla 15) Para así dar la calificación de Vulnerabilidad Baja, Media o Alta según corresponda.

3.9. Procedimiento

3.9.1. Obtención y Recolección de Información de las Edificaciones

Se realizó diferentes visitas a las Instalaciones de la Municipalidad Provincial de San Marcos, realizándose estas con el permiso de las autoridades locales a cargo, los que se mostraron en todo momento comprometidos con el trabajo de esta investigación ofreciendo todas las facilidades necesarias para el desarrollo de esta tesis.

Una vez con los permisos correspondiente se procedió a realizar un recorrido y reconocimiento general con la finalidad de familiarizarse con la distribución arquitectónica y plantear la mejor estrategia para el desarrollo del levantamiento de información de la edificación en estudio.

Luego se realizaron los trabajos de levantamiento arquitectónico con wincha de edificación edil de tapial determinando de esta manera la distribución de los elementos de la edificación elaborándose los planos en el programa AutoCad.

3.9.2. Evaluación de las estructuras de las edificaciones

3.9.2.1. Evaluación de las Edificaciones

La evaluación del estado actual se llevó a cabo mediante una revisión visual, permitiendo diagnosticar integralmente la edificación de tapial y verificar las condiciones de sus estructuras; durante este proceso, se identificaron las fallas más comunes, evaluando si los elementos estructurales presentan deterioro asociado a la humedad, el paso del tiempo o el uso prolongado de la construcción.

También se evalúa si las intervenciones de mantenimiento ejecutadas en la infraestructura han incrementado su nivel de vulnerabilidad o alterado su comportamiento estructural, especialmente en casos donde se han empleado materiales no compatibles.

3.9.3. Análisis de la información

3.9.3.1. Áreas tributarias

Las áreas tributarias se calculan con la ayuda de los planos elaborados en AutoCad de cada edificación de tapial, los valores de las áreas tributarias de la Edificación de la Municipalidad Provincial de San Marcos se muestran en la tabla 22 y 23.

3.9.3.2. Análisis Sísmico

A partir de esto procedemos a realizar el análisis sísmico según la metodología explicada en el acápite 3.5. Los datos de estos análisis se muestran en el acápite 3.7.2

Todas las áreas tributarias de las edificaciones se muestran en el acápite 3.7.1.

3.10. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados.

3.10.1. Áreas tributarias

A continuación, se presenta en las tablas las áreas tributarias correspondientes a cada Nivel según la institución educativa que corresponda.

TABLA 22.

Áreas Tributarias del primer nivel

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN MARCOS			
PRIMER NIVEL			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
Código de Muro	Áreas Tributarias	Código de Muro	Áreas Tributarias
M1X	4.82	M1Y	6.38
M2X	4.82	M2Y	12.72
M3X	4.64	M3Y	12.68
M4X	4.64	M4Y	13.73
M5X	4.56	M5Y	13.89
M6X	4.56	M6Y	15.86
M7X	2.34	M7Y	15.08
M8X	5.90	M8Y	5.88
M9X	5.90		
M10X	4.92		
M11X	4.92		

Nota. Adaptado de Fichas de Reporte de Adobe - PUCP, 2004.

TABLA 23.*Áreas Tributarias del Segundo Nivel*

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN MARCOS			
SEGUNDO NIVEL			
SENTIDO X		SENTIDO Y	
M12X	29.12	M9Y	6.50
M13X	29.12	M10Y	13.00
M14X	14.97	M11Y	6.73
M15X	18.81	M12Y	5.57
M16X	14.01		

Nota. Adaptado de Fichas de Reporte de Adobe - PUCP, 2004.

3.10.2. Análisis Sísmico

Dicho análisis se llevó a cabo haciendo uso de las ecuaciones consignadas en el diseño de la investigación (acápite 4), las mismas que han sido adaptadas y aplicadas mediante fichas de reporte.

A continuación, se presenta resultados obtenidos de la primera etapa mostrando algunas de las características esenciales de la edificación, la presentación de esta primera etapa está adaptado a la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos según el formato de (Fichas De Reporte De Adobe - PUCP, 2004).

Estos datos característicos se han obtenido luego de realizar un análisis a la edificación en estudio, las imágenes correspondientes al diagnóstico de las edificaciones de estudio lo podemos encontrar en el anexo II.

Ficha de reporte edificación Municipalidad Provincial de San Marcos



NIVEL DE RIESGO SÍSMICO DE LA EDIFICACIÓN DE TAPIAL DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN MARCOS - CAJAMARCA FICHA DE ENCUESTA

Código de edificación encuestada:

1	1
---	---

Tipo de sistema estructural:

Tapial

ANTECEDENTES

Departamento : Cajamarca Provincia : San Marcos
Distrito : Pedro Gálvez Dirección : Jr. Leoncio Prado 360
Dirección técnica en el diseño: Ninguna
Dirección técnica en la construcción: Recibió algunas indicaciones de un albañil
Pisos construidos: 2 Pisos proyectados: 2 Antigüedad de la edificación: 84 años
Peligros naturales potenciales que afectan la vivienda: Los peligros más significativos son las lluvias fuertes y los sismos.

Topografía y geotécnica: Pendiente baja. El suelo es de tipo gravoso y arcilloso.

Estado de la edificación: La edificación no se encuentra en un regular estado de conservación. La cimentación conformada por pirca (mezcla de piedra y de barro), podría conllevar a problemas posteriores debido a la humedad. Se puede notar fisuras en algunos muros.

ASPECTOS TÉCNICOS

Elementos de la vivienda:

Elementos	Características
Cimientos	Pirca (mezcla de piedra y de barro) de 0.50 m de ancho y 0.80 de profundidad.
Sobrecimiento	Pirca (mezcla de piedra 6" y torta de barro) de 0.40 m de ancho y 0.60 de profundidad.
Muros	Tapial con cajones de 50cmx60cmx150cm, recubierto en capas con barro y luego yeso, a fin de poder ser nivelado y pintado.
Contrafuertes	No cuenta con contrafuertes, ni con ningún otro tipo de reforzamiento.
Techo	Conformado por tijerales de eucalipto rollizo de 6" @ 8", con enchacado de yeso interior.
Columnas	Ninguna
Vigas	Vigas de madera eucalipto rollizo de 6" sobre muro y en dinteles.
Otros	El entrepiso está construido de madera de eucalipto de 0.0254mx0.20mx3.00m.

Deficiencias de la estructura:

PROBLEMAS DE UBICACIÓN	PROBLEMAS ESTRUCTURALES
☐ Edificación sobre suelo de relleno	☒ Densidad de muros inadecuada
☐ Edificación sobre suelo no consolidado	☐ Muros sin viga solera de madera o concreto
☐ Edificación con asentamiento	☒ Muros sin confinar resistentes a sismo
☐ Edificación en pendiente	☐ Cimientos y/o sobrecimientos inadecuados
☒ Otros:	☐ Dinteles con reducida longitud de apoyo
<u>Algunos muros se encuentran en contacto con el suelo</u>	☐ Tabiquería no arriostrada
PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS	☐ Torsión en planta
☒ Muros expuestos a lluvia	☒ Edificación sin junta sísmica
☐ Juntas de construcción mal ubicadas	☒ Otros:
☐ Combinación de ladrillo con adobe o tapial en muros	<u>Vivienda muy alargada con respecto a su ancho</u>
☐ Unión muro techo no monolítica	<u>MANO DE OBRA</u>
☐ Muros inadecuados para soportar empuje lateral	☐ Buena ☒ Regular ☐ Mala
☐ Unidades de adobe o tapial de baja calidad	<u>OTROS</u>
☒ Otros:	<u>Debido a que tiene techos de dos aguas y de una, tiene problemas de drenaje.</u>
<u>Cuartamiento de cielo raso (enchacado de yeso), en sala.</u>	

PELIGROS NATURALES POTENCIALES

☒ Sismos	☒ Lluvia	☐ Otros
☐ Huayco	☒ Viento	
☐ Deslizamiento	☐ Inundación	

OBSERVACIONES Y COMENTARIOS

La edificación está expuesta a lluvias de moderada intensidad a lo largo del año pudiendo debilitar los muros de adobe.
La edificación está expuesta a fuertes vientos de manera esporádica, lo que puede debilitar su cobertura de madera.
La edificación tiene longitudes cortas de muro en la dirección "y" (perpendicular a la fachada). Así mismo, no cuenta con ningún tipo de reforzamiento.

Nota. Adaptado de Fichas de Reporte de Adobe - PUCP, 2004.

3.10.3. Densidad de muros

A continuación, se presenta un cuadro con los resultados de la aplicación a la edificación de la Municipalidad Provincial de San Marcos correspondiente a la densidad de muros.

El valor de la densidad mínima para la edificación corresponde a edificaciones de uso en servicios comunales, dispuesta en la Tabla 2 de La norma E.080 2017 Diseño y Construcción con tierra reforzada.

TABLA 24.
Análisis por densidad de muros (H=SUCP)

Análisis por densidad de muros (N= 0.01)												
Nº de Pisos=		2		S=		1.4		C=		0.20		
Peso prom.x m² (muros de e=0.5m) =				16		kN/m²		v'm=		25		
Área en planta Ap m²	Peso prom. por área kN/m²	Cort. Basal		Área de muros		Relación		Resultado	Según NORMA E.080 2017			
		H=SUCP		Existente Ae		Requerida Ar					Ae / Ar	
		kN		m²		m²					Adim.	
Primer Nivel												
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")												
197.14	16	1766.4		24.10		70.65		0.34	Verif. muros	12.22	No cumple	
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")												
197.14	16	1766.4		20.17		70.65		0.29	Inadecuada	10.23	No cumple	
Segundo Nivel												
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")												
194.89	16	1746.2		22.92		69.85		0.33	Verif. muros	11.76	No cumple	
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")												
194.89	16	1746.2		9.4		69.85		0.13	Inadecuada	4.81	No cumple	

Nota. Adaptado de Fichas de Reporte de Adobe - PUCP, 2004

3.10.4. Verificación de muros a corte

Siguiendo con la metodología propuesta, se presenta el siguiente cuadro con los resultados de la verificación a esfuerzos cortantes de cada edificación.

TABLA 25.

Verificación de Muros portantes por corte

Identificación	Parámetros de Verificación				Esfuerzo	Esfuerzo
	e	L	A trib.	Peso	Sísmico a Corte	Admisible
de muro	m	m	m ²	kN	kPa	vadm=25kPa
Primer Nivel						
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")						
M1X	0.50	2.91	4.82	154.24	29.7	Inadecuado
M2X	0.50	4.39	4.82	154.24	19.7	OK
M3X	0.50	2.83	4.64	148.48	29.4	Inadecuado
M4X	0.50	4.31	4.64	148.48	19.3	OK
M5X	0.50	2.83	4.56	145.92	28.9	Inadecuado
M6X	0.50	4.27	4.56	145.92	19.1	OK
M7X	0.50	3.06	2.34	74.88	13.7	OK
M8X	0.50	3.32	5.90	188.80	31.8	Inadecuado
M9X	0.50	4.86	5.90	188.80	21.8	OK
M10X	0.50	3.00	4.92	157.44	29.4	Inadecuado
M11X	0.50	5.44	4.92	157.44	16.2	OK
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")						
M1Y	0.50	5.10	6.38	204.16	22.4	OK
M2Y	0.50	5.10	12.72	407.04	44.7	Inadecuado
M3Y	0.50	5.10	12.68	405.76	44.6	Inadecuado
M4Y	0.50	5.35	13.73	439.36	46.0	Inadecuado
M5Y	0.50	5.35	13.89	444.48	46.5	Inadecuado
M6Y	0.50	5.73	15.86	507.52	49.6	Inadecuado
M7Y	0.50	5.37	15.08	482.56	50.3	Inadecuado
M8Y	0.50	4.87	5.88	188.16	21.6	OK

Nota. Adaptado de Fichas de Reporte de Adobe - PUCP, 2004

TABLA 26.*Verificación de Muros portantes por corte***Segundo Nivel**

Identificación de muro	Parámetros de Verificación				Esfuerzo	
	e	L	A trib.	Peso	Sísmico a Corte	Admisible
	m	m	m ²	kN	kPa	vadm=25kPa
Segundo Nivel						
Análisis de muros en el sentido paralelo a la fachada principal (Eje "X")						
M12X	0.50	9.59	29.12	931.84	54.4	Inadecuado
M13X	0.50	13.97	29.12	931.84	37.4	Inadecuado
M14X	0.50	5.40	14.97	479.04	49.7	Inadecuado
M15X	0.50	8.92	18.81	601.92	37.8	Inadecuado
M16X	0.50	5.03	14.01	448.32	49.9	Inadecuado
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")						
M9Y	0.50	5.10	6.50	208.00	22.8	OK
M10Y	0.50	5.10	13.00	416.00	45.7	Inadecuado
M11Y	0.50	3.58	6.73	215.36	33.7	Inadecuado
M12Y	0.50	4.72	5.57	178.24	21.1	OK

Nota. Adaptado de Fichas de Reporte de Adobe - PUCP, 2004.

3.10.5. Verificación de muros al volteo

Se verificaron por volteo los muros no portantes, por lo que en la sección daremos la calificación de “Algunos Estables” a efectos de poder evaluar la vulnerabilidad sísmica.

TABLA 27.*Verificación de Muros no portantes por corte*

Primer Nivel						
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")						
M1Y	0.50	5.10	6.38	204.16	22.4	OK
M2Y	0.50	5.10	12.72	407.04	44.7	Inadecuado
M3Y	0.50	5.10	12.68	405.76	44.6	Inadecuado
M4Y	0.50	5.35	13.73	439.36	46.0	Inadecuado
M5Y	0.50	5.35	13.89	444.48	46.5	Inadecuado
M6Y	0.50	5.73	15.86	507.52	49.6	Inadecuado
M7Y	0.50	5.37	15.08	482.56	50.3	Inadecuado
M8Y	0.50	4.87	5.88	188.16	21.6	OK
Segundo Nivel						
Análisis de muros en el sentido perpendicular a la fachada principal (Eje "Y")						
M9Y	0.50	5.10	6.50	208.00	22.8	OK
M10Y	0.50	5.10	13.00	416.00	45.7	Inadecuado
M11Y	0.50	3.58	6.73	215.36	33.7	Inadecuado
M12Y	0.50	4.72	5.57	178.24	21.1	OK

Nota. Adaptado de Fichas de Reporte de Adobe - PUCP, 2004.

3.10.6. Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones

Con los datos obtenidos, usando la metodología explicada y de acuerdo a las tablas 26, 27 y 28 se determinó la vulnerabilidad sísmica de la edificación.

TABLA 28.

Calificación de Parámetros de Vulnerabilidad Sísmica

Factores influyentes para la vulnerabilidad sísmica			
Vulnerabilidad			
Estructural		No estructural	
Densidad	Estado Actual de las edificaciones	Tabiquería	
Adecuada	Buena calidad	Todos estables	
Aceptable	Regular calidad	x	Algunos estables x
Inadecuada	X Mala calidad	Todos inestables	

De la tabla anterior (Tabla 28), aplicando la ecuación (6) y verificando los rangos en la tabla 20 tenemos que la vulnerabilidad sísmica en la edificación de tapial es **ALTA**.

TABLA 29.

Calificación de la Vulnerabilidad Sísmica

Calificación Edificación
Edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos.
Vulnerabilidad sísmica
Alta

3.10.7. Peligro sísmico en las edificaciones

Usando la metodología explicada y usando los datos obtenidos de acuerdo a la tabla 9 se obtuvo:

TABLA 30.

Calificación de parámetros de peligro Sísmico

Peligro			
Sismicidad	Suelo	Topografía y pendiente	
Baja	Rígido	Plana (1)	x
Media (2)	X Intermedio (2)	x Media	
Alta	Flexible	Pronunciada	

Haciendo uso de la fórmula (b) y reemplazando los valores de la tabla anterior obtenemos un resultado de **1.8**; obteniendo un peligro sísmico MEDIO luego de verificar dicha información en la TABLA 10 obteniendo un peligro sísmico **MEDIO**.

TABLA 31.

Calificación de peligro Sísmico

Calificación Edificación
de La edificación de tapial de la
Municipalidad Provincial de San
Marcos.
Peligro sísmico
Medio

3.10.8. Riesgo sísmico en las edificaciones

Usando la metodología explicada y usando los datos obtenidos de acuerdo a la tabla 29 y tabla 31; para luego ingresar estos datos a la TABLA 14; obtenemos un RIESGO SISMICO **ALTO**.

TABLA 32.

Calificación de peligro Sísmico

Calificación Edificación
de La edificación de tapial de la
Municipalidad Provincial de San
Marcos.
Riesgo sísmico
ALTO

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Densidad de muros

4.1.1. Edificación de Tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos.

Dicha edificación según la tabla N° 24 presenta una densidad de muros mayor en el eje X (paralelo a la fachada), siendo la relación área existente sobre área requerida de 0.34 en el primer nivel y 0.33 en el segundo nivel, además se tiene según la tabla N° 25 que el 54.55% de los muros en el primer nivel y un 0.00% de los muros en el segundo nivel en el eje “X” son adecuados a corte podemos decir que la Edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos presenta una **densidad de muro inadecuada en el eje “X”**, que además **no cumple** con los requisitos de la **norma E.080** dado que no supera el 15% en densidad de muros necesario para este tipo de edificación (servicios comunales), teniendo como resultados el 12.22% en el primer nivel y un 11.76% en el segundo nivel.

En relación al eje “Y” esta edificación presenta una densidad de muros menor que en el eje “X”, siendo la relación entre el área existente sobre el área requerida de 0.29 en el primer nivel y de 0.13 en el segundo nivel cuyos valores son inferiores a 0.60; además **no cumple** con los requisitos de la **norma E.080** dado que no supera el 15% en densidad de muros necesario para este tipo de edificación (servicios comunales), obteniendo un resultado de 10.23% en el primer nivel y 4.81% en el segundo nivel; por todo esto la edificación de la Municipalidad Provincial de San Marcos presenta una **densidad inadecuada en el eje “Y”**.

En conclusión, como tanto en el eje “X” como en el eje “Y” se tiene una densidad de muros inadecuada, afirmamos que la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos tiene una **DENSIDAD DE MUROS INADECUADA**.

La siguiente tabla muestra un resumen general de la edificación analizada, nos muestra la densidad de sus muros en ambos niveles y realiza una comparación con el mínimo valor dispuesto en la (Norma E.080, 2017) “densidad mínima de 15% para edificaciones de servicios comunales de tierra”.

TABLA 33.*Comparación general de densidad de muros*

Edificación de Tapial			Área en planta(m2)	Densidad de muros requerida	Densidad de Muros Existente	Relación Ae/Ar	Comparación	%	Densidad de muros Norma E.080	Comparación
Infraestructura MPSM	Primer Nivel	Eje X	197.14	70.65	24.10	0.34	Inadecuada	12.22%	15%	No cumple
		Eje Y	197.14	70.65	20.17	0.29	Inadecuada	10.23%	15%	No cumple
	Segundo Nivel	Eje X	194.89	69.85	22.92	0.33	Inadecuada	11.76%	15%	No cumple
		Eje Y	194.89	69.85	9.37	0.13	Inadecuada	<u>4.81%</u>	15%	No cumple

4.2. Verificación de muros a corte

Al evaluar los muros portantes de la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos obtenemos los siguientes valores:

TABLA 34.

Porcentaje de muros adecuados a corte – MPSM

Eje	N° de muros a evaluar	N° de muros adecuados a corte	N° de muros no adecuados a corte	% muros adecuados a corte
Primer nivel				
Eje X	11	6	5	54.55%
Eje Y	8	2	6	25.00%
Segundo nivel				
Eje X	5	0	5	0.00%
Eje Y	4	2	2	50.00%

4.3. Estado actual de las edificaciones

4.3.1. Edificación de Tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos

La edificación presenta fisuras notorias a los largo de la fachada las cuales se prolongan a partir de las esquinas de los vanos (puertas) del primer y segundo nivel, además se puede notar en algunos ambientes separaciones por incompatibilidad de materiales entre piso-pared, humedecimiento, fisuras y desprendimiento en el cielo raso y recubrimiento de muros producto de las constantes lluvias en la región, sin embargo apreciamos que se realizan trabajos de mantenimiento y protección de forma constante (Tarrajeos, pintura entre otros), a razón de lo cual podemos decir que el estado actual de conservación de la infraestructura de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos es de **regular calidad**.

4.4 Verificación de muros al volteo

- En este caso de la edificación en estudio se evaluaron los muros no portantes

TABLA 35.

Porcentaje de muros no portantes adecuados a corte – MPSM

Eje	N° de muros a evaluar	N° de muros adecuados a corte	N° de muros no adecuados a corte	% muros adecuados a corte
Primer nivel				
Eje Y	8	2	6	25.00%
Segundo nivel				
Eje Y	4	2	2	50.00%

4.5. Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones

TABLA 36.

Relación de Vulnerabilidad Sísmica con parámetros analizados

Edificación de Tapial	Densidad de Muros	Valor Núm. (Tabla 07)	Estado Actual de la Edificación	Valor Núm. (Tabla 07)	Inestabilidad de Muros no portantes	Valor Núm. (Tabla 07)	Vulnerabilidad Sísmica
MPSM	INADECUADA	3	REGULAR	2	ALGUNOS ESTABLES	2	2.6 ALTA

De la tabla anterior se colige que, la edificación de la Municipalidad Provincial de San Marcos **presenta una Vulnerabilidad sísmica ALTA**. Esto debido a la combinación de ciertos parámetros como: Inadecuada densidad de muros, los cuales han sido verificados a esfuerzos de corte (con un grado de incidencia del 60 %), calidad y conservación regular (con un grado de incidencia del 30%) y finalmente presenta muros estables al volteo, único parámetro referente a la vulnerabilidad no estructural (con un grado de incidencia de 10%).

4.6. Peligro sísmico de las edificaciones

TABLA 37.

Relación de peligro Sísmico con parámetros analizados

Edificación de Tapial	SISMICIDAD	Valor núm. (tabla 9)	SUELO	Valor núm. (tabla 09)	TOPOGRAFIA Y PENDIENTE	Valor núm. (tabla 9)	PELIGRO SISMICO
MPSM	MEDIA	2	INTERMEDIO	2	PLANA	1	MEDIO

De la tabla anterior se deduce que, la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos **presenta un Peligro sísmico MEDIO**. Ello debido a la combinación de ciertos parámetros como SISMICIDAD media (con grado de incidencia del 40 %), SUELO intermedio (con grado de incidencia del 40%) y finalmente TOPOGRAFIA Y PENDIENTE plana (con un grado de incidencia de 20%).

4.7. Riesgo sísmico de las edificaciones.

TABLA 38.

Nivel de riesgo sísmico

Edificación de Tapial	VULNERABILIDAD SISMICA	Valor núm. (tabla 13 Y 14)	PELIGRO SISMICO	Valor núm. (tabla 13 Y 14)	RIESGO SISMICO
MPSM	ALTA	3	MEDIO	2	ALTO

A partir del análisis realizado, podemos afirmar que la edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos está expuesta a un nivel de riesgo sísmico alto, reafirmando así lo indicado en la hipótesis. Siendo de suma importancia para la atención de la provincia de San Marcos la edificación analizada, en un evento sísmico podría representar grandes pérdidas materiales y principalmente en vidas humanas.

En la ciudad de San Marcos no existen investigaciones, relacionadas a edificaciones de tapial en Instituciones públicas, por lo mismo que dichas infraestructuras solamente suelen recibir mantenimiento superficial, más no a nivel estructural, sumado a ello la gran cantidad de edificaciones de tapial antiguas en la ciudad y a la poca o ninguna información que se tendría para la elaboración de un plan de mitigación de desastres es que esta ciudad sufriría importantes daños ante un evento sísmico considerable.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se concluye que:

- La **edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos**, ubicada en la ciudad de ciudad de San Marcos presenta un **nivel de riesgo sísmico alto** lo que concuerda con la hipótesis planteada al inicio de la investigación, dado su peligro sísmico medio y su alto nivel de vulnerabilidad sísmica.
- La **edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos**, presenta un **nivel de peligro sísmico medio** dadas sus condiciones de sismicidad media, suelo intermedio, topografía y pendiente plana.
- La **edificación de tapial de la Municipalidad Provincial de San Marcos**, presenta **un nivel de vulnerabilidad sísmica alta**, a causa de su inadecuada densidad de muros, estabilidad de muros no portantes y al regular estado de la edificación.

5.2. Recomendaciones

- Dado el comportamiento estructural de las edificaciones de tapial y su antigüedad de 84 años, es primordial ampliar este tipo de investigaciones hacia otro tipo de instituciones públicas, Instituciones privadas y viviendas de tapial, con la finalidad de contar con un mayor registro situacional de las Edificaciones de tapial en la ciudad de San Marcos.
- La Municipalidad Provincial de San Marcos mediante el área de defensa civil debe capacitar a los funcionarios sobre el peligro potencial de los ambientes en el cual laboran y las acciones a aplicarse antes, durante y después de un terremoto en dicha ciudad.
- El presente método está basado en evaluación visual de la infraestructura, se recomienda realizar nuevas investigaciones con un mayor grado de detalle que involucren tal vez ensayos de laboratorio y modelamiento de la edificación, para así evaluar de manera más precisa los parámetros que conllevan a que se presente un nivel de riesgo sísmico alto con la finalidad de plantear posibles soluciones de reforzamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, C. F. (2017). *Análisis y Diseño de edificaciones de Albañilería*. Lima: San Marcos EIRL.
- Alcántara, E., & Victor, T. (2020). *Evaluación Geológica: Sismo 03 de agosto del 2020*. Cajamarca.
- Aulinas, M., Gisbert, G., & Ortuño, M. (2018). *La Tierra, un planeta inquieto*. España: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona.
- Bolt, B. A. (2022). *Terremotos*. España: REVERTÉ S.A.
- Caballero, G. Á. (2017). *Vulnerabilidad sísmica por Medio del Método de Índice de Vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el Centro Histórico de Sincelejo, Colombia*.
- Cando, W., Mauricio, C., Bucheli, J., & Jaramillo, O. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en las construcciones de tapial ubicadas en el Barrio Selva Alegre (Ecuador)*. Quito.
- Cárdenas, H., & Ricardo, x. (2021). *Caracterización estructural y vulnerabilidad sísmica de edificaciones de adobe*. Cuenca.
- Castro, H. M. (2019). *Inspección sísmica visula rápida de los edificios de la Universidad de Piura por el método FEMA 154*. Tesis de grado. Piura - Perú, Universidad Nacional de Piura.
- Cevallos, L. (2019). *Estudio Estadístico de los efectos causados por sismos*. Bruselas.
- Chávez, C. F. (2023). *Análisis de vulnerabilidad sísmica de las instituciones educativas públicas de tapial en la ciudad de Celendín*. Tesis de grado. Cajamara - Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Civil, I. N. (2006). *Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres 2006*. Lima - Perú.
- Delgado, C. G. (2010). *Resistencia de Materiales*. Lima.
- Díaz, N. (2025). *Nivel de riesgo sísmico de la infraestructura educativa primaria N°82020 Porcón Bajo, provincia Cajamarca*. Tesis de grado. Cajamarca - Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.
- EDIFICACIÓN, C. I. (2006). *Diseño Estructural*. Lima.
- Engdahl, & Villaseñor. (2002). *Mapa Sísmico del Perú*. Lima.
- Estrada, L. A. (2012). *Apuntes de Sismología - Cátedra de Geofísica*. Tucuman, Argentina, Universidad Nacional de Tucumán.
- Guerrero, L. (2019). *"VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS VIVIENDAS DE TAPIAL DEL SECTOR "D" DEL DISTRITO DE HUALGAYOC*. Cajamarca - Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.

- Hinostroza, F. J. (2018). *Evaluación del riesgo sísmico de viviendas de Barrancabermeja*. Medellín.
- Ibrahim, S. M. (2013). *Seismic Moment*. Riad, Arabia Saudita.
- kuroiwa, j. (2019). *Gestión del riesgo de desastres en el siglo XXI protegiendo y viviendo en armonía con la naturaleza*. Lima: NSG S.A.C.
- Loor, E., Palma, W., & García, L. (2021). *Vulnerabilidad sísmica en viviendas de zona rural: el caso de Santa Marianita - Manta Ecuador*. Manta - Ecuador.
- Mendoza, M. (s.f.). *Informe: Sismicidad en el distrito de La Encañada*. Cajamarca.
- Mosqueira, M., & Tarque, N. (2005). *Recomendaciones técnicas para mejorar la seguridad sísmica de viviendas de albañilería confinada de la costa peruana*. Tesis Mag. Ing. Civil. Lima, PE; Pontificia Universidad Católica del Perú.
- MVCS. (2017). *Diseño y construcción con tierra reforzada*. Norma E.080. Lima, Perú.
- PREDES. (2016). *Centro de estudios y prevención de desastres*.
- Quesquén, C., & Silva, M. (2020.). *Estudio de riesgo sísmico, en la ciudad de Chiclayo, zona este (av. Sáenz Peña, av. Castañeda Iparraguirre, av. Nicolás de Piérola, av. Jorge Chávez, y av. Bolognesi)*. Chiclayo - Perú, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Rodríguez, R. (2018). *Vulnerabilidad estructural ante riesgo sísmico de las viviendas de la subcuenca Chucchun - Carhuaz*. Ancash: Tesis.
- Silva, J. A. (2023). *Vulnerabilidad sísmica de las viviendas de tapial del centro poblado Huayanmarca, distrito de Jesús provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca*. Tesis de grado. Cajamarca - Perú, Universidad Privada del Norte.
- Suárez, L. (2020). *La predicción de sismos: una larga historia de fracasos*. Puerto Rico: UPR-M.
- Tavera, H., & Buforn, E. (1998). *Sismicidad y Sismotectónica de Perú*.
- Tejada, S. U., Mendoza, G. A., & Torrealva, D. D. (2016). *Uso del tapial en la Construcción*. Lima.
- Trujillo Mejía, R. F. (2017). *Planes de Contingencia*. Colombia: Ecoe Ediciones.
- Vargas, N. I. (2023). *Riesgo sísmico de las viviendas de adobe del centro histórico de Cajabamba*. Tesis de grado. Cajamarca - Perú, Universidad Nacional de cajamarca.
- Yamín Lacouture, L.E, Phillips Bernal C. Reyes Ortiz J.C., Ruiz Valencia D. (2007). *Estudios de Vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada*.

ANEXOS

ANEXO I. PANEL FOTOGRÁFICO.

FIGURA 32.

Fachada de la MPSM



Nota. Reconocimiento de la infraestructura de la MPSM

FIGURA 33.

Parte exterior de la MPSM



Nota. Levantamiento arquitectónico con wincha de la parte exterior de la MPSM.

FIGURA 34.

Parte interior de la MPSM



Nota. Levantamiento arquitectónico con wincha de la parte interior de la MPSM.

FIGURA 35.

Fotografía parcial de la fachada



Fuente: Fisuras y desprendimiento de moldura a lo largo de la fachada de la edificación.

FIGURA 36.

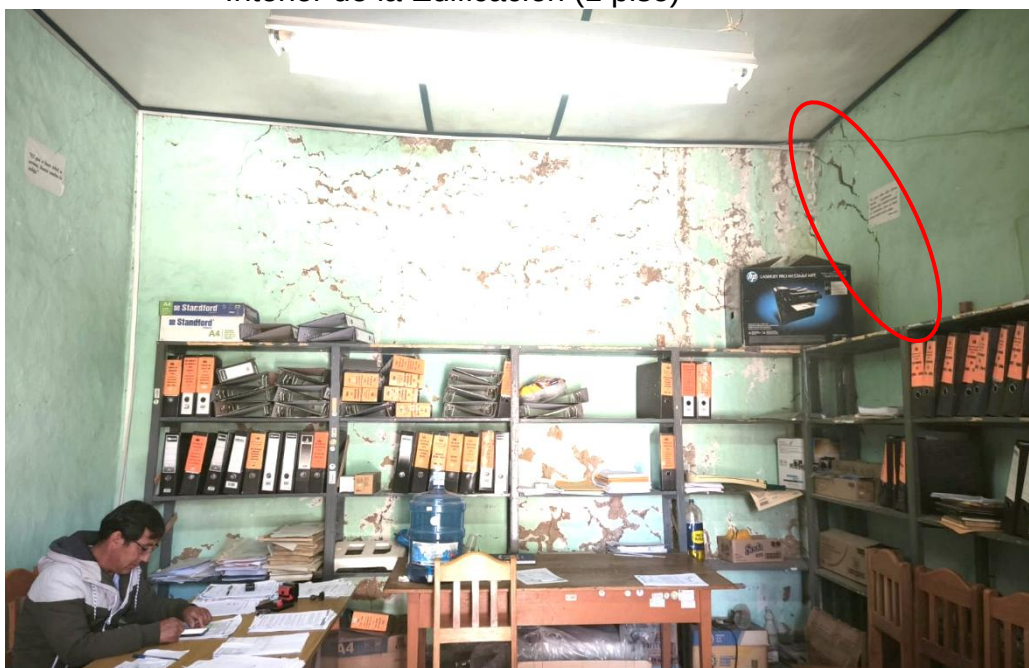
Interior de la edificación (2 piso)



Nota. Fisuras en el interior del segundo piso de la edificación.

FIGURA 37.

Interior de la Edificación (1 piso)



Nota. Fisuras en el interior de la oficina de la UGM

FIGURA 38.
Piso del segundo nivel



Nota. Incompatibilidad de materiales en entrepiso.

FIGURA 39.
Cielo raso y techo del segundo piso



Nota. Presencia de humedad en techo y desprendimiento de cielo raso.

FIGURA 40.
Cielo raso en el segundo piso



Nota. Detalle en presencia de humedad en cielo raso.

FIGURA 41.
Fachada lateral de la MPSM



Nota. Presencia de humedad en la fachada lateral de la edificación.

FIGURA 42.
Muro adyacente a escalera en el primer piso



Nota. Fisuras en muro con desprendimiento de revestimiento.

FIGURA 43.
Cobertura exterior de la edificación



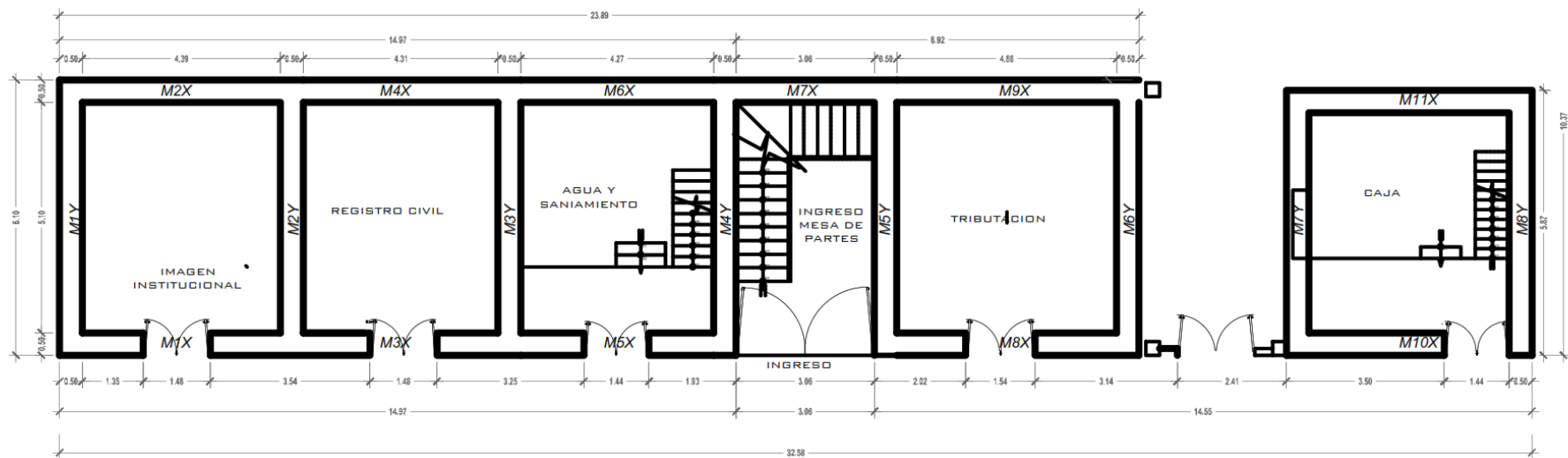
Nota. Cobertura de calamina y madera en regular estado

FIGURA 44.
Oficina de Tesorería

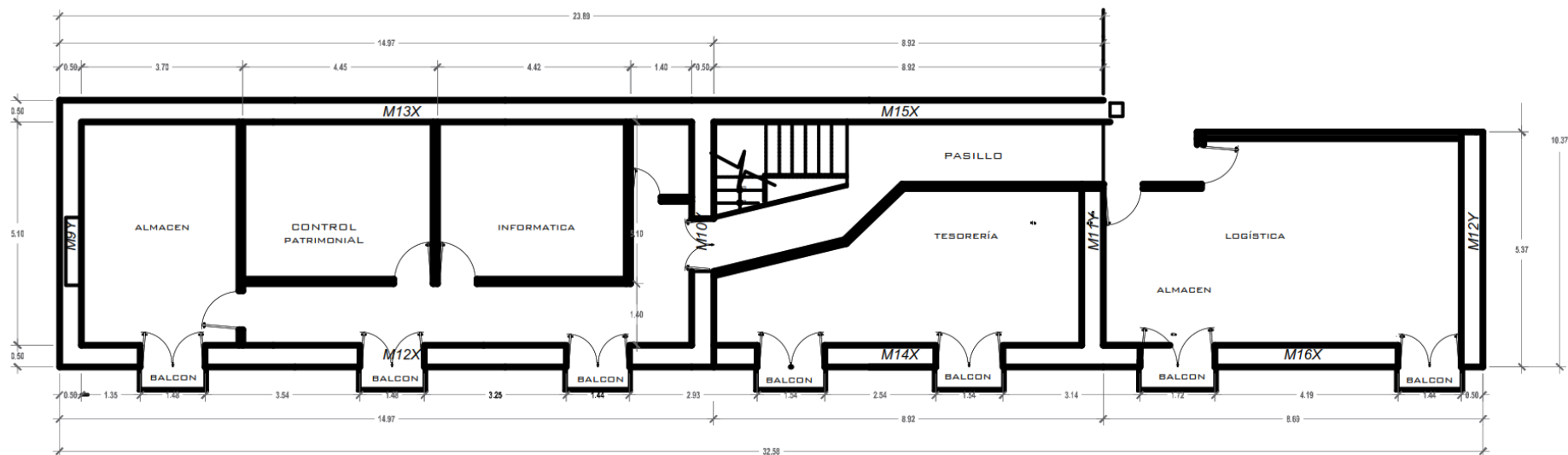


Nota. Instalaciones eléctricas y desprendimiento de cielo raso por la humedad.

PLANOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA MPSM



PRIMER NIVEL



SEGUNDO NIVEL