

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO
RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LAS VIVIENDAS
AUTOCONSTRUIDAS EN EL BARRIO SANTA ISABEL,
CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2016**

AUTOR:

Bach. Jamhmer Oc Llatance

ASESORES:

Arq. Guillermo Arturo Díaz Jáuregui

Ing. John Hilmer Saldaña Núñez

CHACHAPOYAS, 2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO
RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LAS VIVIENDAS
AUTOCONSTRUIDAS EN EL BARRIO SANTA ISABEL,
CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2016.**

AUTOR:

Bach. Jamhmer Oc Llatance

ASESORES:

Arq. Guillermo Arturo Díaz Jáuregui

Ing. John Hilmer Saldaña Núñez

CHACHAPOYAS, 2017

DEDICATORIA:

A mi madre Corina Llatance La Torre por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida y ser el motor de mi desarrollo personal y profesional, por guiarme en la vida y demás personas que contribuyeron en mi crecimiento profesional.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

PhD. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector

Dr. ÓSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector académico

Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOSA

Vicerrectora de investigación

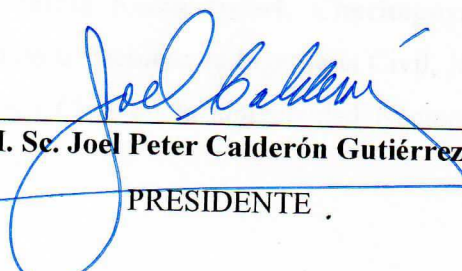
Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Decano

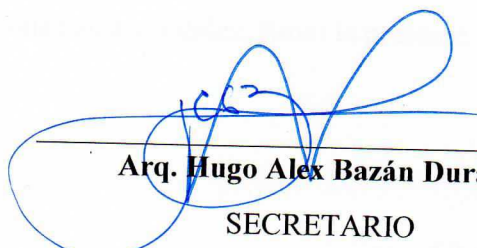
Arq. GUILLERMO ARTURO DÍAZ JÁUREGUI

Director de Escuela Profesional de Ingeniería Civil

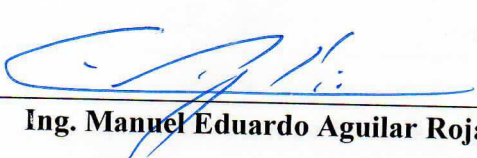
JURADO DE TESIS
(RESOLUCIÓN DE DECANATO N° 0185 – 2017 – UNTRM – FICIAM)



M. Sc. Joel Peter Calderón Gutiérrez
PRESIDENTE .



Arq. Hugo Alex Bazán Durand
SECRETARIO



Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas
VOCAL

VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo, Guillermo Arturo Díaz Jáuregui, adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Doy el Visto Bueno, a la tesis titulada: “**Estimación del riesgo sísmico de las viviendas autoconstruidas en el barrio Santa Isabel, Chachapoyas, Amazonas – 2016**” elaborada por el egresado de la Facultad de Ingeniería Civil, Jamhmer Oc Llatance para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

POR LO TANTO

Para mayor constancia y validez, firmo la presente.

Chachapoyas, 13 de julio del 2017

A handwritten signature in black ink, consisting of a horizontal line with a stylized, angular flourish above it. The initials 'G.A.D.J.' are visible on the left side of the signature.

Arq. Guillermo Arturo Díaz Jáuregui

ASESOR

VISTO BUENO DEL CO ASESOR


Yo, **John Hilmer Saldaña Núñez**, adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Doy el Visto Bueno, a la tesis titulada: “**Estimación del Riesgo Sísmico de las viviendas autoconstruidas en el barrio Santa Isabel, Chachapoyas, Amazonas – 2016**” elaborada por el egresado de la Facultad de Ingeniería Civil, Jamhmer Oc Llatance para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

POR LO TANTO

Para mayor constancia y validez, firmo la presente.

Chachapoyas, 13 de julio del 2017



Ing. John Hilmer Saldaña Núñez

CO ASESOR

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo **Jamhmer Oc Llatance**, identificado con DNI N° **47893625**, bachiller de la Escuela Profesional Ingeniería Civil he elaborado la Tesis: “**Estimación del riesgo sísmico de las viviendas autoconstruidas en el barrio Santa Isabel, Chachapoyas, Amazonas - 2016**”; para obtener el título de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

DECLARO QUE:

El presente trabajo de investigación fue elaborado íntegramente por mi persona y que no existe plagio de ninguna naturaleza, en especial copia de otro trabajo de tesis presentado por cualquier otra persona ante cualquier institución. Igualmente, dejo expresa constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas tanto en el cuerpo del texto como en la bibliografía, por lo que no he asumido como propia las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios físicos o electrónicos.

Asimismo, soy consciente de que el hecho de no respetar extremos es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden.

Chachapoyas, 13 de julio del 2017



Jamhmer Oc Llatance

DNI N° 47893625

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
1. Objetivo general.....	2
2. Objetivos específicos.....	2
III. MARCO TEÓRICO.....	3
1. Antecedentes de la investigación.....	4
2. Bases teóricas.....	11
2.1. Sismo.....	11
2.2. Definiciones de riesgo sísmico.....	12
2.3. Peligro sísmico	13
2.4. Sismicidad.....	22
2.5. Vulnerabilidad sísmica.....	37
2.6. Riesgo sísmico.....	43
2.7. Estimación del riesgo sísmico.....	46
2.8. La autoconstrucción.....	47
IV. MATERIAL Y MÉTODOS.....	51
1. Área de estudio.....	51
1.1. A nivel regional.....	51
1.2. A nivel provincial.....	51
1.3. A nivel distrital.....	52
1.4. A nivel sectorial.....	53
2. Diseño de la investigación.....	54
2.1. Población.....	55
2.2. Muestra.....	55
3. Evaluación del peligro sísmico.....	55
3.1. Materiales, herramientas y/o equipos.....	55
3.2. Metodología.....	56
3.2.1. Elaboración del catálogo sísmico.....	57
3.2.2. Leyes de atenuación para la zona de estudio.....	64
3.2.3. Ajustes de las leyes de atenuación.....	72
3.3. Procedimiento para la evaluación del peligro sísmico.....	79
3.4. Resultados del peligro sísmico.....	84
4. Evaluación de la vulnerabilidad.....	89

4.1	Materiales, herramientas y/o equipos.....	89
4.2.	Metodología.....	89
4.2.1.	Metodologías para la evaluación.....	90
4.2.2.	Desarrollo del método Índice de vulnerabilidad.....	92
4.2.3.	Descripción de los parámetros	93
4.3.	Toma de datos.....	100
4.4.	Resultados de campo.....	100
4.4.1.	Según el tipo de material.....	101
4.4.2.	Según nro. de pisos.....	102
4.4.3.	Según su antigüedad.....	104
4.4.4.	Según estado actual.....	106
4.5.	Procedimiento de cálculo.....	110
4.6.	Resultados.....	115
5.	Evaluación del riesgo sísmico.....	116
5.1.	Materiales, herramientas y/o equipos.....	116
5.2.	Metodología.....	128
5.3.	Resultados.....	119
V.	DISCUSIÓN	120
VI.	CONCLUSIONES.....	121
VII.	RECOMENDACIONES.....	123
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
	ANEXOS.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 01. Interacción de la placa Nazca y la continental.....	11
Figura N° 02. Foco de un sismo.....	12
Figura N° 03. Perfil esquemático de las principales fuentes sismogénicas.....	15
Figura N° 04. Ejemplos de distintas geometrías de fuentes sísmicas.....	17
Figura N° 05. Fuentes sismogénicas de subducción superficiales y continentales.....	19
Figura N° 06. Fuentes sismogénicas de subducción intermedia y profunda.....	20
Figura N° 07. Esquemización de los 4 pasos a seguir para el cálculo del peligro sísmico probabilístico.....	21
Figura N° 08. Origen de un terremoto, con su proyección en la superficie terrestre.....	22
Figura N° 09. Tipos principales de falla, provocados por un sismo.....	23
Figura N° 10. Mapa de sismicidad mundial, en la figura se observa los sismos de más de 6 grados en la escala de Richter desde 1996.....	24
Figura N° 11. Mapa de peligrosidad sísmica global.....	25
Figura N° 12. Distribución tectónica de las placas cercanas a Perú.....	26
Figura N° 13. Principales unidades geomorfológicas del Perú.....	28
Figura N° 14. Mapa histórico de la sismicidad en Perú.....	29
Figura N° 15. Sismo de Moyobamba que afectó a Chachapoyas.....	31
Figura N° 16. Máximas intensidades sísmicas en el Perú.....	31
Figura N° 17. Caricatura de la autoconstrucción.....	48
Figura N° 18. Mapa de la región Amazonas	51
Figura N° 19. Mapa de la provincia de Chachapoyas.....	52
Figura N° 20. Zona de estudio, barrio Santa Isabel – Chachapoyas.....	57
Figura N° 21. Área de influencia.....	58
Figura N° 22. Distribución geográfica de los sismos.....	60
Figura N° 23. Homologación entre Mw y Ms.....	61
Figura N° 24. Ubicación geográfica de los sismos tipo Outer – Rise.....	62
Figura N° 25. Ubicación geográfica de los sismos tipo Interplaca.....	62
Figura N° 26. Ubicación geográfica de los sismos tipo Intraplaca.....	63
Figura N° 27. Ubicación geográfica de los sismos tipo cortical.....	63
Figura N° 28. Validación de la Intensidad.....	71
Figura N° 29. Comparación de curvas de atenuación para sismo de Interplaca.....	72
Figura N° 30. Comparación de curvas de atenuación para sismo de Intraplaca.....	72

Figura N° 31.	Curva de atenuación normalizada por su magnitud.....	73
Figura N° 32.	Curva de atenuación normalizada por su magnitud.....	74
Figura N° 33.	Curva de atenuación tipo interplaca normalizada por su magnitud.....	76
Figura N° 34.	Curva de atenuación tipo interplaca normalizada por su magnitud.....	77
Figura N° 35.	Curva de atenuación tipo intraplaca normalizada por su magnitud.....	78
Figura N° 36.	Curva de atenuación tipo intraplaca normalizada por su magnitud.....	78
Figura N° 37.	Definición de la malla de cálculo.....	80
Figura N° 38.	Representación de las fuentes sismogénicas.....	80
Figura N° 39.	Curvas de atenuación.....	82
Figura N° 40.	Definiciones de los niveles sísmicos y periodos de retorno.....	83
Figura N° 41.	Mapa de peligro sísmico.....	84
Figura N° 42.	Tasa de excedencia y curva de espectro.....	85
Figura N° 43.	Tasa de excedencia para 0.00 segundos.....	86
Figura N° 44.	Espectros de peligro uniforme para diferentes periodos de retorno.....	87
Figura N° 45.	Espectro de peligro uniforme para un periodo de retorno de 50 años.....	88
Figura N° 46.	Nivel de peligrosidad en función de la aceleración (m/s^2) para un periodo de retorno de 50 años.....	88
Figura N° 47.	Encuesta modificada de Ochoa en el 2013.....	94
Figura N° 48.	Configuración en planta de la estructura.....	97
Figura N° 49.	Configuración en elevación de la estructura.....	98
Figura N° 50.	Distribución de las viviendas según material de construcción.....	101
Figura N° 51.	Vivienda de la familia Serván López, construida con adobe.....	101
Figura N° 52.	Vivienda de la familia Bernal Castillo construida con ladrillo.....	102
Figura N° 53.	Distribución porcentual de las viviendas según nro. de pisos.....	102
Figura N° 54.	Vivienda de la familia Huamán Guiop construida de un piso.....	103
Figura N° 55.	Vivienda de la familia Zuta Gómez construida de dos pisos.....	103
Figura N° 56.	Distribución de las viviendas según su antigüedad.....	104
Figura N° 57.	Vivienda de la familia Culqui Bazán, tiene 2 años de antigüedad.....	104
Figura N° 58.	Vivienda de la familia Tafur Vigo, tiene 10 años de antigüedad.....	105
Figura N° 59.	Vivienda de la familia Luna Guevara, tiene 25 años de antigüedad.....	105
Figura N° 60.	Distribución de las viviendas según estado actual.....	106
Figura N° 61.	Vivienda de la familia Arbildo Torres en buenas condiciones.....	106
Figura N° 62.	Vivienda de la familia Tejada Sánchez, en regular estado.....	107
Figura N° 63.	Vivienda de la familia Rodríguez Vera, en malas condiciones.....	107
Figura N° 64.	Columnas.....	110
Figura N° 65.	Distribución de las viviendas según su vulnerabilidad.....	116

Figura N° 66. Matriz de peligro y vulnerabilidad.....	117
Figura N° 67. Distribución de las viviendas según el riesgo sísmico.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 01. Principales características de los sismos más importante del Perú.....	4
Tabla N° 02. Promedio anual de sismos en el mundo.....	25
Tabla N° 03. Escalas de Intensidades Sísmicas y sus equivalencias.....	32
Tabla N° 04. Escala Modificada de Mercalli.....	33
Tabla N° 05. Escala Richter y su equivalencia.....	35
Tabla N° 06. Magnitudes máximas.....	64
Tabla N° 07. Sismos con registros de aceleración.....	68
Tabla N° 08. Relaciones de atenuación horizontal para sismos corticales con $M \leq 6.5$	75
Tabla N° 09. Relaciones de atenuación horizontal para sismos corticales con $M > 6.5$	75
Tabla N° 10. Desviación estándar.....	76
Tabla N° 11. Aceleraciones esperadas para diferentes periodos.....	86
Tabla N° 12. Sistema de puntuación de índice de vulnerabilidad sísmica.....	91
Tabla N° 13. Escala de vulnerabilidad.....	92
Tabla N° 14. Cálculo del Índice de vulnerabilidad.....	113
Tabla N° 15. Cálculo de la vulnerabilidad.....	114
Tabla N° 16. Riesgo sísmico en el barrio Santa Isabel.....	117

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo evaluar el riesgo sísmico del barrio de Santa Isabel; para el desarrollo de la misma se realizó por etapas, la primera fue evaluar el peligro sísmico, mientras que la segunda fue evaluar la vulnerabilidad de las viviendas y por último evaluar el riesgo sísmico. Para evaluar el peligro sísmico, se utilizó el método probabilístico que consiste en elaborar leyes de atenuación en base a registros sísmico históricos, para después ingresarlas al software Crisis 2007 y así determinar el peligro. Para evaluar la vulnerabilidad se utilizó el método del Índice de Vulnerabilidad propuesta por Benedetti y Petrini, que consiste en evaluar a la vivienda de manera descriptiva como, por ejemplo, daños, techo, edad, etc. esto se realiza mediante encuestas, para luego procesarlas en gabinete y obteniendo la vulnerabilidad de cada vivienda. Y finalmente para el cálculo del riesgo sísmico, se trabajó con el método descriptivo, que consiste en el uso de la Matriz de Peligro y Vulnerabilidad, dicha matriz es una tabla de doble entrada la cual interrelaciona el peligro y la vulnerabilidad, obteniéndose así que el 34.4% de las viviendas tiene riesgo sísmico intermedio, 62.3% riesgo sísmico alto y 3.3% riesgo sísmico muy alto.

Palabras claves: peligro sísmico, vulnerabilidad sísmica, riesgo sísmico.

ABSTRACT

The present research aims to evaluate the seismic risk of the Santa Isabel neighborhood; For the development of the same was done by parts, the first was to assess the seismic hazard, while the second was to assess the vulnerability of housing and finally to assess the seismic risk. To evaluate the seismic hazard, the probabilistic method was used to elaborate attenuation laws based on historical seismic records, then to enter them into the software Crisis 2007 and thus determine the danger. In order to evaluate the vulnerability, the Vulnerability Index method was used, which consists of evaluating the house in a descriptive way as, for example, damages, roof, age, etc. This is done through surveys, then processed in the cabinet and obtaining the vulnerability of each dwelling. Finally, for the calculation of the seismic risk, we worked with the descriptive method, which consists of the use of the Danger Matrix and Vulnerability, this matrix is a double entry table which interrelates danger and vulnerability, obtaining 34.4% of the dwellings have intermediate seismic risk, 62.3% high seismic risk and 3.3% very high seismic risk.

Keywords: seismic hazard, seismic vulnerability, seismic risk.

I. INTRODUCCIÓN:

El Perú se encuentra ubicado en el margen oriental del Cinturón de Fuego del Océano Pacífico, y debido a sus características geográficas, hidrometeorológicas, geológicas, entre otras (elementos condicionantes), lo exponen a la ocurrencia de fenómenos de origen natural, como sismos, tsunamis, erupciones volcánicas, movimientos en masas, descenso de temperatura (heladas y friajes) y erosión de suelos (factores desencadenantes); cada uno de estos con sus características específicas tales como magnitud, intensidad, distribución espacial, periodo de retorno, etc. (parámetros de estimación).

Según la historia sísmica del Perú ciudades como Chachapoyas ha sido afectada por sismos, causando perjuicios en las viviendas y no solo por el sismo sino también por la vulnerabilidad del suelo y por el tipo de estructuras. Esta situación obliga a la generación de culturas y/o metodologías que ayuden a estratificar los horizontes de peligrosidad, vulnerabilidad, riesgo y la zonificación de riesgos en los espacios geográficos expuestos al fenómeno natural.

Los grados de riesgos no solo dependen de los fenómenos de origen natural, sino también del tipo de infraestructura de material efímero o noble utilizado como vivienda (fragilidad). Siendo las viviendas autoconstruidas las que se encuentran más expuestas a estos fenómenos, debido a que no fueron edificadas de acuerdo con las normas actuales.

No tener asesoría técnica trae consigo algunos problemas debido a la falta de conocimiento, tales como una deficiente estructuración de las viviendas, baja calidad en la construcción y deficiencias en la arquitectura. Además, es muy frecuente que se haga una mala utilización de algunos materiales de construcción.

Debido al peligro que está expuesto la población de Chachapoyas es necesario conocer los posibles daños que podrían ocurrir durante un sismo de gran magnitud.

El presente estudio se ocupa principalmente de evaluar el riesgo sísmico de las viviendas autoconstruidas en el barrio Santa Isabel, zonificar de las partes con alto riesgo y bajo riesgo, considerando el tipo de suelo y la calidad de viviendas.

La zonificación de los riesgos servirá como un instrumento de gestión territorial por parte de los Gobiernos Regionales y locales para la elaboración e implementación del Plan de Acondicionamiento Territorial, Plan de Desarrollo Urbano, Ordenamiento territorial, etc. que ayudarán a un desarrollo sostenible.

II. OBJETIVOS:

1. OBJETIVO GENERAL:

- ✓ Estimar el riesgo sísmico de las viviendas autoconstruidas en el barrio Santa Isabel.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Crear un catálogo sísmico de todos los sismos ocurridos en los últimos 100 años.
- ✓ Crear un catálogo sísmico de intensidades de todos los sismos ocurridos cerca al área de estudio.
- ✓ Elaborar leyes de atenuación tanto para la intensidad como para la aceleración del suelo para barrio Santa Isabel.
- ✓ Generar mapas de isoaceleraciones para diferentes periodos.
- ✓ Generar un espectro de peligro uniforme para un periodo de retorno de 50 años para el barrio Santa Isabel.
- ✓ Determinar el peligro sísmico para un periodo de retorno de 50 años, según indica la norma peruana, para el área de estudio.
- ✓ Conocer las principales características de los materiales de las viviendas autoconstruidas en el barrio Santa Isabel.
- ✓ Determinar los Índices de Vulnerabilidad de cada vivienda del barrio Santa Isabel en Chachapoyas.
- ✓ Determinar porcentajes de las viviendas autoconstruidas expuestas a una vulnerabilidad sísmica baja, media, alta y muy alta.
- ✓ Elaborar un mapa de riesgo sísmico.

III. MARCO TEÓRICO:

Los sismos son los causantes de desastres naturales que ocasionaron más de catorce millones de muertes en todo el mundo desde 1755. Durante el siglo XX han acaecido en el mundo más de 1100 movimientos fuertes que tuvieron como resultado más de un millón y medio de víctimas.

Ejemplos de terremotos que produjeron grandes pérdidas sólo en el último cuarto de siglo son los de Rumanía (1977), Chile (1985), México (1985), Armenia (1988), Estados Unidos (1987, 1989, 1994), Colombia (1983,1994, 1999), Japón (1995), Turquía (1999), India (2001) o Irán (2004). A las pérdidas de vidas humanas deben añadirse las también cuantiosas pérdidas debidas a la interrupción de la actividad económica, de las líneas de comunicación y de los servicios públicos. La principal causa de pérdidas humanas y económicas que se producen en el mundo debido a los terremotos es el comportamiento sísmico inadecuado de las estructuras (Barbat, 2010).

El Perú ha sufrido una larga lista de eventos sísmicos, que han sido documentados por los historiadores, causando inmensa desgracia en la zona costera y andina del país en los últimos cinco siglos. La zonificación peruana se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información neotectónica (Bolaños y Monroy, 2004)

Sismos importantes en el Perú (Silgado, 1978):

- ✓ El 28 de octubre de 1746, se produjo un gran terremoto en la Costa Central del Perú. Según se ha estimado tuvo una magnitud de 8.1 Ms y produjo intensidades de hasta XI en la escala de Mercalli Modificada. En Lima la destrucción fue casi total, cayó la Catedral, monasterios, arcos, estatuas; de las 3000 casas existentes solo quedaron en pie 25. Según se conoce murieron aproximadamente 1100 personas.
- ✓ En el Callao se destruyó casi totalmente la muralla circundante y la totalidad de las edificaciones. Después de media hora de movimiento, un gran tsunami con altura de 15 a 20 m. arrasó en Callao. Algunos barcos anclados en la orilla fueron arrojados a tierra pasando sobre las murallas. De los 4000 habitantes solo se salvaron 200.
- ✓ El sismo más grande registrado desde la conquista española, se produjo el 13 de agosto de 1868, con epicentro frente al puerto de Arica, tuvo una magnitud de 8.2 Ms y se ha estimado una intensidad máxima de XI MM. En Arequipa cayó el Cabildo, casi todos los templos y muchos edificios públicos y privados. La catedral quedó en ruinas, así como Moquegua y Tacna.

- ✓ Durante el siglo XX, los terremotos más importantes en el Perú fueron los de 1940, 1966, 1970.

TABLA N° 01: Principales características de los sismos más importante del Perú

Parámetros	Lima 1946	Arica 1868	Lima 1940	Lima 1966	Ancash 1970	Lima 1974
Magnitud (Ms)	8.1	8.2	7.9	7.7	7.9	7.9
Intensidad Máxima (MM)	X-XI	XI	VII-VIII	VIII	VIII-IX	VIII-IX
Altura de la ola (m)	15-20	20	3	2.5	-	1.6

FUENTE: *Silgado, 1978*

- ✓ El terremoto de 1970, es recordado por los 50 mil muertos, los 20 mil desaparecidos y la gran avalancha que sepultó a Yungay (50 millones de metros cúbicos de lodo con una velocidad de 300 km/h).
- ✓ Sismo de Nazca 12 de noviembre de 1996.
- ✓ Sismo de Ocoña 23 de junio del 2001.
- ✓ Sismo de Moyobamba 03 de octubre del 2005.
- ✓ Terremoto de Lamas 25 de septiembre del 2005

Los terremotos del siglo XX fueron de menor tamaño que los más grandes ocurridos en los dos siglos precedentes, tanto en magnitud como en la severidad de la sacudida. Esto explicaría el porqué de los daños relativamente reducidas que experimentaron las edificaciones como consecuencias de los sismos en los últimos 100 años (Muñoz, Tinman y Quiun, 1999).

1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

A continuación, se muestra una breve descripción de los diferentes estudios que se realizaron, relacionados con el riesgo sísmico:

1.1. A nivel internacional:

Barbat y Pujades, (2010). Evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico en zonas urbanas. Aplicación a Barcelona.

En este artículo se plantean problemas conceptuales, teóricos y prácticos, relacionados con el riesgo sísmico. Se introducen las definiciones de la amenaza y la vulnerabilidad sísmica, necesarias en el estudio del riesgo.

En los procedimientos de evaluación que se desarrolló, tanto para edificios individuales como para zonas urbanas, se contempló las posibilidades de prevenir y mitigar el riesgo sísmico. Se describió la posibilidad de evaluar escenarios de riesgo sísmico físico mediante el Método del Índice de Vulnerabilidad, utilizando matrices de probabilidad de daño o funciones de vulnerabilidad. Asimismo, se planteó la evaluación mediante un análisis en el marco del concepto de desempeño sísmico de las estructuras (performance based design) y utilizando curvas de fragilidad sísmica que se obtienen mediante simulación por Monte Carlo para tener en cuenta las incertidumbres en las propiedades mecánicas de los materiales.

Finalmente se incluyó un ejemplo de aplicación del concepto de riesgo a una zona urbana, concretamente Barcelona, España, para diferentes escenarios de amenaza. Para este caso se consideraron los dos tipos de edificios más habituales que existen en la ciudad: los de mampostería no reforzada y los de hormigón armado con forjados reticulares.

El resultado obtenido fue, que un alto porcentaje de los edificios de Barcelona están en un riesgo sísmico significativo, pese a no encontrarse en una zona de alta peligrosidad. El riesgo se debe a que la mayoría de ellos son muy vulnerables y, por lo tanto, en caso de ocurrencia de un sismo de una severidad incluso moderada, podrían esperarse graves consecuencias no sólo en términos de daño físico, sino también de orden económico y social. Si bien es cierto que actualmente no hay razones para esperar la ocurrencia de sismos severos frecuentes en Barcelona, la ciencia es cada vez más consciente de que en una zona donde ya se han producido eventos moderados o fuertes en el pasado, tarde o temprano volverán a ocurrir.

Metodología para la evaluación del riesgo sísmico de pequeñas y medianas ciudades. Estudio de caso: zona centro de la ciudad de Armenia – Colombia

En este documento se resume el desarrollo de una metodología que permite evaluar fácil y rápidamente la vulnerabilidad indicativa de un predio y/o manzana determinada. Además, se puede calcular aproximadamente las pérdidas probables (estructurales y no estructurales) que puede presentar una edificación frente a un sismo específico. La metodología puede ser usada en la evaluación del escenario de pérdidas de pequeñas y medianas poblaciones.

La metodología usó como variables las características generales de la edificación tales como: año de construcción, altura, tipo de cubierta, sistema constructivo, etc. las cuales aportan un porcentaje de la vulnerabilidad indicativa. El otro porcentaje lo aporta el tipo y las características de los suelos sobre el cual está cimentada la edificación. La presente

metodología es una ampliación y adaptación de la metodología PERCAL 6 para la evaluación del riesgo sísmico, desarrollada en la Universidad EAFIT de Medellín (Jaramillo, 1997), con la enorme ventaja de tener un alto grado de detalle en la obtención de las pérdidas de cada edificación. La metodología desarrollada fue utilizada en el sector de la zona centro de la ciudad de Armenia (Quindío) en Colombia, con una cantidad de 2525 predios. Éstos fueron visitados y estudiados con el fin de obtener su vulnerabilidad indicativa, utilizando como herramienta informática principal un sistema de información geográfica con el objetivo de mostrar de forma esquemática la vulnerabilidad y los posibles escenarios de daño para diferentes intensidades de un sismo.

La metodología planteada para el cálculo de vulnerabilidad de edificaciones tiene aplicación directa en la evaluación de los posibles escenarios de pérdidas de pequeños y medianos escenarios urbanos, con una baja inversión de costos en el proyecto, convirtiéndose en una herramienta muy útil para las entidades de defensa civil en los proyectos de mitigación del riesgo sísmico urbano.

La vulnerabilidad de una edificación no depende únicamente de sus características físicas, sino que también, como se pudo observar en este estudio, está fuertemente influenciada por el tipo de suelo sobre el cual está cimentada.

Alfaro y Torres, (2000). Estudio de amenaza y microzonificación sísmica, vulnerabilidad estructural y evaluación de escenarios de daño en Neiva – Colombia.

El objetivo del estudio fue realizar la microzonificación sísmica preliminar de la ciudad de Neiva a partir de investigaciones realizadas anteriormente, análisis de información recopilada, eventos sísmicos previos y deslizamientos, a fin de obtener una primera aproximación sobre el comportamiento dinámico de los suelos para las diferentes zonas de la ciudad en un caso de sismo.

La investigación se llevó a cabo teniendo como guía la norma para estudios de microzonificación de la Association Francaise du Genie Parasismique – AFGP (2009).

El procedimiento se siguió basándose principalmente por el expuesto en dicho documento en lo que este denomina un estudio de nivel A, el cual se fundamenta en la recopilación e interpretación de la información disponible.

El primer paso consistió en realizar una revisión de eventos sísmicos previos ocurridos en el área, a fin de ubicar las posibles zonas susceptibles.

A continuación, se realizó un análisis de la geología, geomorfología y geotecnia de la ciudad a fin de establecer la posibilidad de generación de fenómenos locales inducidos por

sismos, para este fin y en general para todo el proceso de obtención de información se consultó diferentes entidades.

Finalmente, considerando los análisis anteriores y la evaluación de eventos previos, se establecieron zonas de la ciudad, con características similares, generando un mapa de microzonificación sísmica, este mapa se realizó con la integración de aspectos geológicos, geotécnicos, geomórficos y demás factores que influyen en el comportamiento de las diferentes zonas de amenaza de la ciudad, para luego procesar y graficar el mapa que contiene la microzonificación sísmica preliminar de Neiva.

Navia y Barrera, (2007). Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica en viviendas uno y dos pisos en la ciudad de Bogotá.

En esta investigación se buscó determinar el grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de uno y dos pisos, edificadas en Bogotá.

Para encontrar la vulnerabilidad se utilizó el método del índice de vulnerabilidad propuesto por Benedetti y Petrini (1984), el cual consistía en hacer un llenado de fichas en campo para luego procesarlo y conseguir la vulnerabilidad de cada vivienda.

El resultado fue que índice de vulnerabilidad sísmica promedio (de todas las muestras trabajadas) fue baja.

1.2. A nivel nacional:

Bolaños y Monroy, (2004). Espectros de peligro sísmico uniforme .

En esta investigación se presentó una metodología para la estimación de la aceleración y las ordenadas espectrales asociados a un nivel de excedencia uniforme a lo largo del espectro. Se analizó la sismicidad del Perú, se actualizaron las fuentes sísmicas propuestas en trabajo anteriores, se empleó la magnitud momento (Mw) y se usó por primera vez para todo el país una ley de atenuación que distinga sismos de subducción de interfase e intraplaca.

Como resultado, se obtuvieron mapas de distribución de aceleraciones y ordenadas espectrales para todo el país correspondientes a un periodo de retorno de 475 años.

COOPI, (2009). Estudio de identificación de zonas de peligro y vulnerabilidad en los distritos de Cercado de Lima.

Este estudio tuvo por finalidad conocer las condiciones de exposición a peligros por parte de la población en algunas áreas de los distritos de Lima a fin de contar con la información

adecuada para la preparación ante desastres. La idea es conocer el manejo de crisis (gestión de emergencias) y entregar a los municipios la documentación técnica necesaria para ser menos vulnerables.

Entre los objetivos específicos se tuvo la identificación de peligros y vulnerabilidad, así como ubicar áreas más seguras al interior y/o al exterior de las zonas indicadas, y el manejo de una emergencia y en particular, la evacuación de las familias.

Se consideraron los siguientes peligros:

- Los sismos (efecto del terremoto del 15 de agosto del 2007, condición de exposición futura por condiciones de suelo y estado de la vivienda)
- Los movimientos en masa (áreas de desplome, deslizamientos, derrumbes, etc.)
- Inundaciones.
- Incendios.

De la Cruz, (2011). Peligro sísmico probabilístico y espectro uniforme en la región de Ancash

En esta investigación se encontró un espectro de peligro uniforme para la región Áncash, sin tener en cuenta la aceleración propuesta en la norma sismoresistente de nuestro País.

La metodología fue la siguiente:

- Recopilar toda la información sismológica de la región Ancash disponibles hasta el 2011.
- Utilizó las leyes de atenuación de bolaños y Monroy (2004).
- Con la ayuda del software CRISIS 2007 se realizó la evaluación del peligro Sísmico Probabilístico (PSHA), y el cálculo los Espectro Uniforme de Peligro (UHS) de cada provincia de la región.
- Finalmente se elaboró mapas de iso-aceleraciones para diferentes periodos de retorno 50, 72, 475, 950 y para las ordenadas espectrales para periodos estructurales $T=0.00s$ (PGA), 0.20 y 1.00s.

Vizconde, (2004). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente: Clínica San Miguel de Piura.

El objetivo primordial de esa investigación fue descubrir, en el edificio de la Clínica San Miguel, aquellos puntos débiles que fallarían al ocurrir un evento sísmico para posteriormente proceder a una intervención estructural.

En la evaluación del edificio existente el objetivo fue determinar cómo éste responderá realmente a unas fuerzas ya dadas. Se trabajó con las propiedades reales del material, las cargas reales sin amplificarlas, el modelo lo más exacto posible y se analiza cómo serán realmente la interacción de elementos estructurales con los no estructurales y viceversa en el comportamiento sísmico del edificio. Para este estudio se aplicaron métodos como el FEMA 154 (ATC 21), el FEMA 310 (ATC 22), además de la evaluación no estructural de equipos y demás elementos no estructurales. Con el primer método identificó aquel edificio que es más vulnerable y con el segundo, lo evaluó de una manera más detallada. Se concluyó que se necesita dar mayor ductilidad a los muros de albañilería o tabiques por absorber, debido a su rigidez, gran parte de carga sísmica lateral. Además, se detectan otros elementos, ya sea columnas o vigas que fallarían ante un sismo.

Velarde, (2014). Análisis de vulnerabilidad sísmica de vivienda de dos pisos de adobe existente en Lima.

El objetivo de esta investigación fue estudiar de la estabilidad estructural de una vivienda existente de adobe de dos pisos, ubicada en una zona rural con peligro sísmico alto, con la finalidad de diagnosticar su estado actual y plantear lineamientos para su estabilización sísmica.

Concluyó que la vivienda tiene una tipología que trata de adecuarse a la zona sísmica a pesar de ser de 2 niveles por el grosor de sus muros y su arquitectura de luces pequeñas, es decir mientras más gruesos los muros tendrá mayor estabilidad.

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

Ochoa, (2012). Aplicación de los sistemas de información geográfica para la determinación de escenarios de riesgo en el balneario de Pucusana

El objetivo principal fue proponer una metodología que permita identificar zonas en riesgo en zonas urbanas, mediante la evaluación de variables y haciendo uso del sistema de información geográfica, además de determinar los escenarios de riesgo para el Balneario de Pucusana en función del peligro y la vulnerabilidad.

La metodología para el desarrollo de este estudio se basó en el análisis, diseño y simulación de un modelo de indicadores para la propuesta de un escenario sísmico en el Balneario de Pucusana.

El desarrollo del estudio fue clasificado de la siguiente manera:

- Construcción conceptual de un modelo de sistema urbano.
- Documentación sobre aspectos conceptuales de la vulnerabilidad en el sistema urbano frente a los fenómenos naturales.
- Revisión y análisis de los avances teóricos y conceptuales en la construcción de indicadores para la evaluación de la vulnerabilidad en sistemas urbanos.
- Establecimientos de variables indispensables, desde los conceptos de expertos, para el análisis de la vulnerabilidad por medio de la lógica difusa.
- Aplicación de la lógica difusa en la determinación de los sistemas difusos que permitan ponderar los indicadores que faciliten la interpretación integral del riesgo sísmico. Aplicación del software SIG especializado para el procesamiento.
- Aplicación del modelo de indicadores para la estimación del riesgo.

La investigación concluyó indicando que el problema principal para los estudios de gestión de riesgo, es la falta de una base de datos e información debidamente organizada y que considere variables físicas, sociales y económicas, necesarias para analizar y evaluar la vulnerabilidad de una determinada zona.

Se determinó que el 12% de las viviendas se encuentra en vulnerabilidad alta y muy alta por exposición a incendios, explosiones, desplomes de objetos pesados, etc. Estos peligros están asociados a la presencia de grifos, puestos de venta de gas, almacenes de basura, paneles comerciales, antenas de radio difusión de gran tamaño, etc.

Además, el 91% de la población del Balneario de Pucusana se encuentra en grado de vulnerabilidad por resiliencia media y alta, debido al poco conocimiento de los peligros. Un elemento a considerar el factor económico.

2. BASES TEÓRICAS:

2.1. Sismo:

Los sismos son revoluciones súbitas en el interior de la tierra que dan origen a vibraciones o movimientos del suelo. El principio de los sismos en nuestro territorio se debe especialmente a la interacción de la placa Nazca (placa oceánica) con la placa Sudamericana (placa continental) (Figura N° 01). Frente a la costa del Perú se produce la acción de subducción en el que la placa Nazca se introduce debajo de la placa Sudamericana. Cuando se presenta un movimiento relativo entre estas dos placas se generan ondas sísmicas, que producen el movimiento del suelo (Velásquez, 2006).

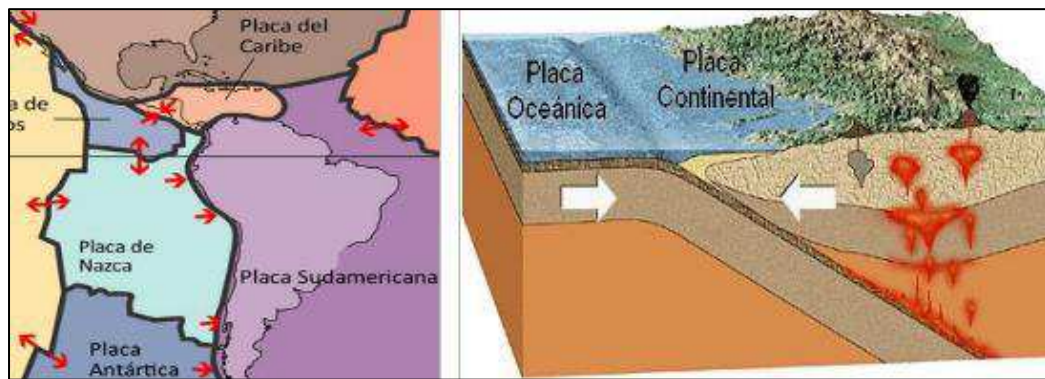


Figura N° 01: Interacción de la placa Nazca y la continental (Velásquez, 2006)

Los sismos pueden ser medidos en función de su magnitud y de su intensidad. La magnitud está relacionada a la cantidad total de energía que se libera por medio de las ondas sísmicas (Sarria, 1995). La intensidad es la medida o estimación empírica de la vibración o sacudimiento del suelo. La intensidad de un sismo se mide teniendo en cuenta los daños causados en las edificaciones y en la naturaleza a través de cómo el hombre percibe las vibraciones sísmicas (Kuroiwa, 2002).

2.1.1. Origen de los sismos:

Un sismo se origina por la interacción entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana, generando un proceso de subducción. La placa de Nazca se desplaza hacia el este con una velocidad de convergencia cercana a 6.6 cm/año y a su vez, la placa Sudamericana se desplaza unos 3 cm/año en dirección aproximada hacia el oeste, lo que origina una tasa neta de convergencia estimada entre 8 a 9 cm/año (Silva, 2008). Esta subducción define un plano, que corresponde al lugar geométrico donde ocurren los hipocentros de sismos en zonas de subducción. Este Plano presenta una inclinación hacia el oriente, con un ángulo que varía entre 10° a 30° a lo largo del país definiendo tres zonas de segmentación de la Placa de Nazca para Chile (Barazangi e Isacks, 1976):

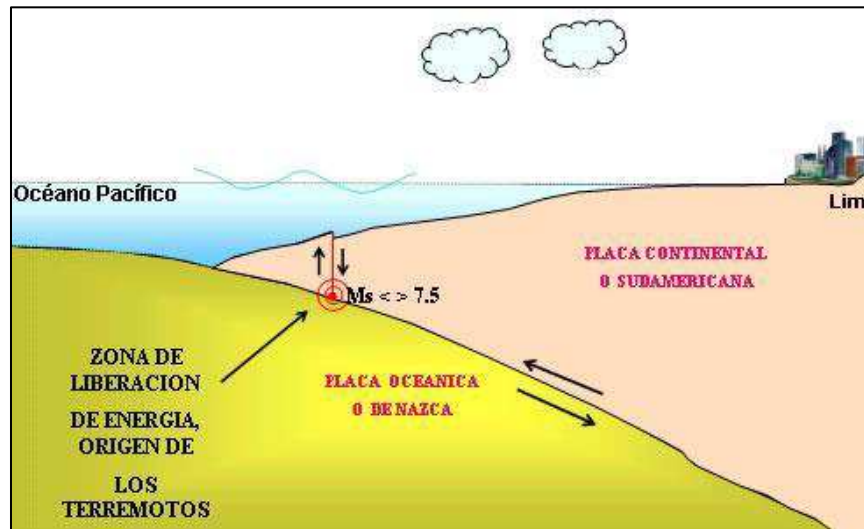


Figura N° 02: Foco de un sismo (Ochoa, 2012)

2.2. Definiciones de riesgo sísmico:

De acuerdo a la Real Academia Española la palabra **riesgo** significa, *contingencia o proximidad de algún daño*, mientras que en términos técnicos significa *la posibilidad de pérdida o daño o exposición al cambio de daño o pérdida* (Souter, 1996; Dowrick, 1997).

La palabra **peligrosidad**, la Real Academia Española la define como *calidad de peligro*, mientras que en términos técnicos se expresa como *amenaza impuesta por ciertos fenómenos naturales tales como huracanes, erupciones, sismos, etc. que pueden causar consecuencias adversas a la actividad humana, impacto social negativo y pérdidas de vidas humanas y económicas severas* (Souter, 1996).

La vulnerabilidad la Real Academia Española la define como *algo que puede ser herido o recibir una lesión física o moralmente* y técnicamente se dice que *se utiliza como escala para expresar las diferentes formas de responder las construcciones al ser sometidos a un sismo* (Souter, 1996).

Estas tres palabras están muy relacionadas, por lo que antes de utilizarlas se debe definir de manera estándar que permita diferenciarlas; algunos estudios han tratado de aclarar las diferencias existentes, en base a esto se tiene:

2.2.1. Riesgo sísmico:

Son las posibles consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un sismo, como el resultado de una falla de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por un sismo.

2.2.2. Peligro sísmico:

Es la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia de un sismo, provocando efectos adversos a la actividad humana. Estos fenómenos además del movimiento del terreno pueden ser, la falla del terreno, la deformación tectónica, la licuefacción, inundación, tsunamis, etc.

2.2.3. Vulnerabilidad sísmica:

Es un valor único que permite clasificar a las estructuras de acuerdo a la calidad estructural específica de las mismas, dentro de un rango de baja a una vulnerabilidad muy alta ante la acción de un sismo.

Después de estas definiciones se puede evidenciar que el riesgo sísmico depende directamente del peligro y de la vulnerabilidad, es decir, los elementos de una zona con cierto peligro sísmico pueden verse afectados en menor o mayor rango dependiendo del nivel de vulnerabilidad sísmica que tengan, causando un cierto nivel de riesgo sísmico de la zona.

2.3. Peligro sísmico:

Como se sabe el peligro es la probabilidad de que ocurra un evento natural o provocado por la actividad del hombre, potencialmente dañina, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida y que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o medio ambiente (Ochoa, 2012).

El tamaño y ubicación de estos efectos colaterales dependerán de diferentes factores, principalmente de las características geológicas y geotécnicas del lugar, pero indudablemente de las características del sismo (hipocentro, intensidad, magnitud, duración, etc.), es decir hay que caracterizar a los eventos por fuente sismogénica.

2.3.1. Fuentes sismogénicas:

La sismicidad de una región se describe a partir de la distribución de los eventos sísmicos en cuanto a su ubicación en el espacio, su tamaño y su tiempo de ocurrencia. Las fuentes sísmicas se utilizan para representar esta sismicidad, agrupando eventos con características espaciales similares que ocurren en distintas zonas de la corteza.

Las fuentes sismogénicas se define como aquella línea, área o volumen geográfico que tenga similitudes geológicas, geofísicas y sísmicas tales que se pueda considerar que posee un potencial sísmico homogéneo.

Las fuentes sismogénicas cumplen un papel fundamental en la evaluación del peligro sísmico de una región determinada, de modo que los resultados finales evidentemente dependen de una adecuada delimitación (Gamarra, 2009).

Cada fuente sísmica debe considerar las incertidumbres en la distribución espacial de sismos, la distribución en el tamaño de los sismos y la distribución de los sismos en el tiempo. La medida del tamaño corresponde a las diferentes magnitudes y el tamaño para cada magnitud se encuentra representado por círculos de diferentes diámetros (Bolaños y Monroy, 2004).

Para el presente estudio se distinguieron 4 fuentes sismogénicas definidas por Gamarra (2009), zonas en las que se puede identificar características comunes y por ello se le asocia a una única estructura geológica. Estas fuentes son: Outer – rise, Interplaca, Intraplaca de Profundidad Intermedia y Cortical.

a. Sismos tipo Outer – rise:

Este tipo de sismo ocurre producto de la flexión de la Placa de Nazca antes de subductar. Se caracterizan por presentar magnitudes pequeñas y situarse a distancias mayores a 85 km de la costa.

Ocurren afuera de la fosa oceánica de la costa, de acuerdo a la distorsión en la placa de Nazca por intentar meterse bajo el continente y que el contacto interplaca no se mueve por lo acoplado que se encuentra la fuerza de roce, que es mayor a la fuerza neta).

b. Sismos tipo Interplaca:

Corresponden a aquellos que ocurren a lo largo del plano de contacto entre las placas tectónicas Sudamericana y de Nazca. Son de tipo costero y de profundidad focal menor a 60 km.

La fuerza de roce entre las placas traba el movimiento entre las placas, las que se pueden mover relativamente sólo cuando la fuerza neta en la zona interplaca es mayor que la fuerza de roce entre ellas. El tamaño del terremoto es lo que se conoce como la magnitud del sismo y es proporcional al área de la zona que logró mover y a cuánto se agitó. Si durante el movimiento del terremoto, se desliza hacia el fondo oceánico de manera vertical, se genera

una gran ola sobre la zona que al propagarse sobre el océano es lo que se le llama “tsunami o maremoto”.

c. Sismos tipo Intraplaca:

Son aquellos que ocurren al interior de la placa de Nazca, con epicentros en el interior del continente y profundidades focales entre 30 y 200 Km.

Se originan en profundidades superiores a los 30 km, hasta la profundidad máxima donde la placa siga siendo muy frágil o puedan ocurrir cambios de fase que causen el sismo. Los 60 km de profundidad aproximadamente, corresponden a la depresión que alcanza el contacto de la interplaca.

d. Sismos Corticales o Superficiales:

Los sismos corticales son los sismos que se originan en el interior de la placa, a profundidades no mayores a los 30 km y por lo general presentan mecanismos de falla normal. Aunque pueden tener algunos mecanismos de tipo compresivo y también pueden estar asociados a volcanes.

En la figura N° 03 se presenta un perfil esquemático con la posición de las principales fuentes sismogénicas tratadas en el presente estudio.

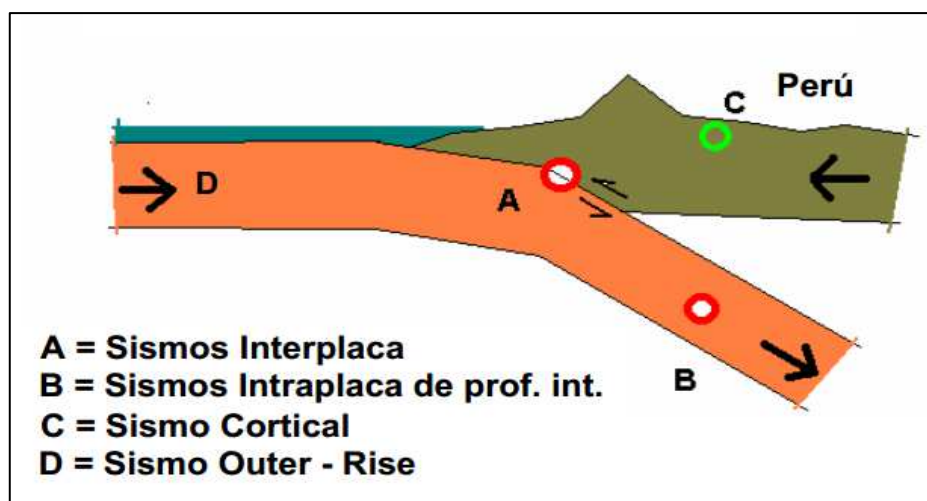


Figura N° 03: Perfil esquemático de las principales fuentes sismogénicas (Sadigh, Chang, Egan, Makdasi y Youngs, 1997)

Por tal motivo para la evaluación del peligro sísmico, el primer paso es caracterizar las zonas sismo – tectónicas, para posteriormente entender mejor las características de los sismos.

Generalmente, en su evaluación se utilizan métodos o modelos probabilísticos simplificados de cálculo basados en el establecimiento de leyes estadísticas para definir el comportamiento sísmico de una zona, las fuentes sísmicas y la atenuación del movimiento del suelo, expresando los resultados en forma de probabilidad de ocurrencia de los distintos tamaños de los sismos, la probabilidad de excedencia de distintos niveles de intensidad de movimiento o a los valores máximos de aceleración esperados en una zona y en un intervalo de tiempo. Sin embargo, estos modelos involucran a gran cantidad de incertidumbres lo que conlleva a ser calculados a partir de una extrapolación de datos, es decir extrapolar datos de regiones cercanas a la zona de estudio (Somerville, 2000).

Una posible estimación del peligro sísmico se puede obtener a partir del análisis de la historia sísmica del sitio, utilizando datos microsísmicos históricos de los que se disponga. No obstante, esta información puede dar lugar a problemas de interpretación debido a que los datos históricos son cualitativos y fueron obtenidas en épocas diferentes, sin utilizar una escala microsísmica común.

Debido a este problema, la caracterización de cada nivel de intensidad de un sitio tiene que ser calculado en términos probabilistas expresando el nivel de probabilidad asociado a cada grado de intensidad (Magri, 1992).

Existen dos métodos para estimar el Peligro Sísmico de un lugar, estos son:

- ✓ Cálculo Probabilístico del Peligro Sísmico.
- ✓ Cálculo Determinístico del Peligro Sísmico.

El método que se utilizara en la presente memoria es el probabilístico debido a que la información disponible es la adecuada para este método.

2.3.2. Peligro Sísmico Probabilístico:

Debido a la variabilidad y comportamiento aleatorio de los eventos sísmicos y la existencia de incertidumbres aleatoria, epistémicas, modelo y paramétrica, las cuales no pueden ser evaluadas en un análisis determinístico del peligro sísmico, surge el Análisis de Peligros Sísmico Probabilístico (PSHA).

Para poder darle una mejor respuesta a lo descrito anteriormente a mediados de los años 70 y 80, gracias a los conceptos de probabilidades han permitido estimar, las incertidumbres en la magnitud, ubicación, variación del movimiento del suelo y la predicción del parámetro de respuesta de interés que se consideran para la evaluación del peligro sísmico

en función a las probabilidades e incertidumbres de cualquier evento sísmico (De la Cruz, 2011).

Antes de entrar a los pasos básicos para el cálculo del peligro sísmico probabilístico hay que tener en cuenta que, para la modelación, en el software CRISIS 2007, de las fuentes sismogénicas en la evaluación de Peligro Sísmico, Cornell (1968) definió 3 tipos de modelos que permiten representar su geometría de acuerdo a las 37 tipologías particulares de cada una de ellas. Se distingue así entre fuente tipo puntual, fuente lineal y fuente área, representadas en figura N° 04 con letra (a), (b) y (c), respectivamente y descritas en lo que sigue:

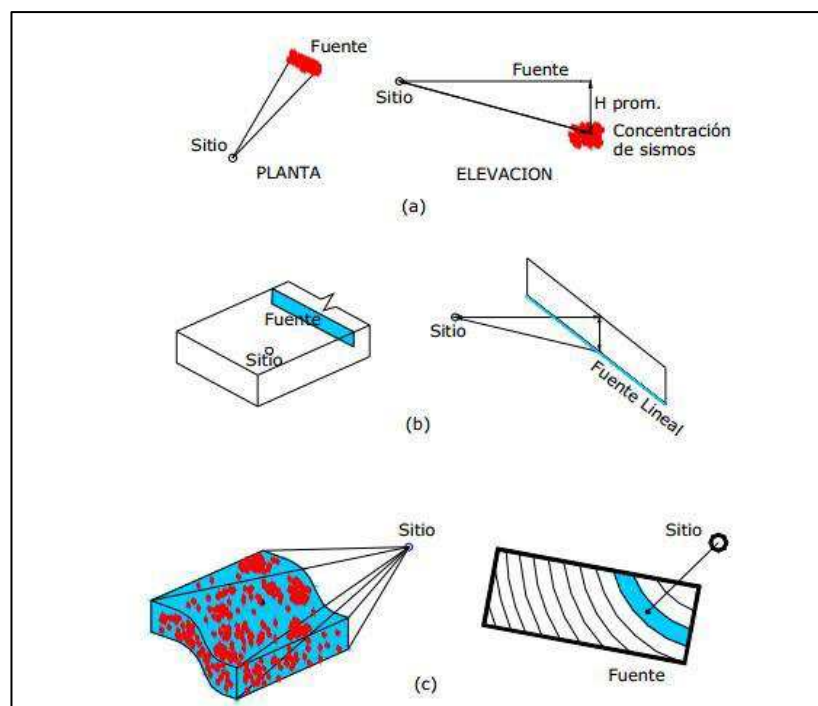


Figura N° 04: Ejemplos de distintas geometrías de fuentes sísmicas (Bolaños y Monroy, 2004)

Los sismos concentrados espacialmente con respecto a la distancia al sitio de análisis pueden representarse adecuadamente por una fuente puntual. Un ejemplo de esto sería los sismos asociados con la actividad volcánica, que generalmente se originan en zonas cercanas a los volcanes.

Fallas planas bien definidas y poco profundas, en las que los eventos sísmicos pueden ocurrir en distintas ubicaciones pueden considerarse como fuentes en dos dimensiones y representarse como fuentes lineales.

Las zonas donde los mecanismos del sismo son pobremente definidos, pueden ser tratadas como fuentes en tres dimensiones.

Por ejemplo, fallas que se desarrollan en zonas de subducción que se encuentran debajo del sitio o donde las fallas son tan extensas que es necesario evitar distinciones entre fallas individuales.

Santibáñez (2013) definió las fuentes según su geometría:

a) Fuente Puntual:

Este tipo de fuentes se utiliza sólo en casos muy específicos. Usualmente si los hipocentros de eventos sísmicos asociados con una fuente potencial, están localizados dentro de un volumen pequeño con respecto a la distancia focal que separa a la fuente del sitio de interés, puede resultar conveniente usar un modelo de fuente puntual. Es decir, cuando la relación de la distancia fuente-sitio comparada con las dimensiones de la falla es muy grande o cuando se tiene una gran concentración de terremotos en un área muy pequeña.

b) Fuente tipo lineal:

Esta modelación se utiliza usualmente cuando se observan alineamientos importantes que permitan definir una falla geológica de dimensiones apreciables a la cual se le puede asociar la sismicidad de la zona.

c) Fuente tipo Área:

En algunos casos, no resulta sencillo asociar la actividad sísmica conocida con fallas geológicas. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando se estudian zonas donde existen varias fallas cercanas o cuando las estructuras geológicas, responsables de alguna actividad sísmica, se encuentran ocultas por grandes capas de sedimento.

En otras ocasiones, existe una gran dispersión de los epicentros de sismos o se tienen magnitudes muy elevadas ($M > 6$) asociadas generalmente a grandes zonas de ruptura. En todos estos casos resulta conveniente considerar como fuente sísmica un área determinada, suponiendo que la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico es la misma para todos los puntos sobre ella.

Para el presente estudio se han presentado las fuentes como áreas, ya que no existen suficientes datos para modelar fallas como fuentes lineales en este tipo de análisis. Las fuentes se han determinado en base a los catálogos sísmicos, a las profundidades focales y a la sismotectónica.

Las figuras N° 05 y N° 06 presentan las fuentes sismogénicas aplicables al área en estudio.

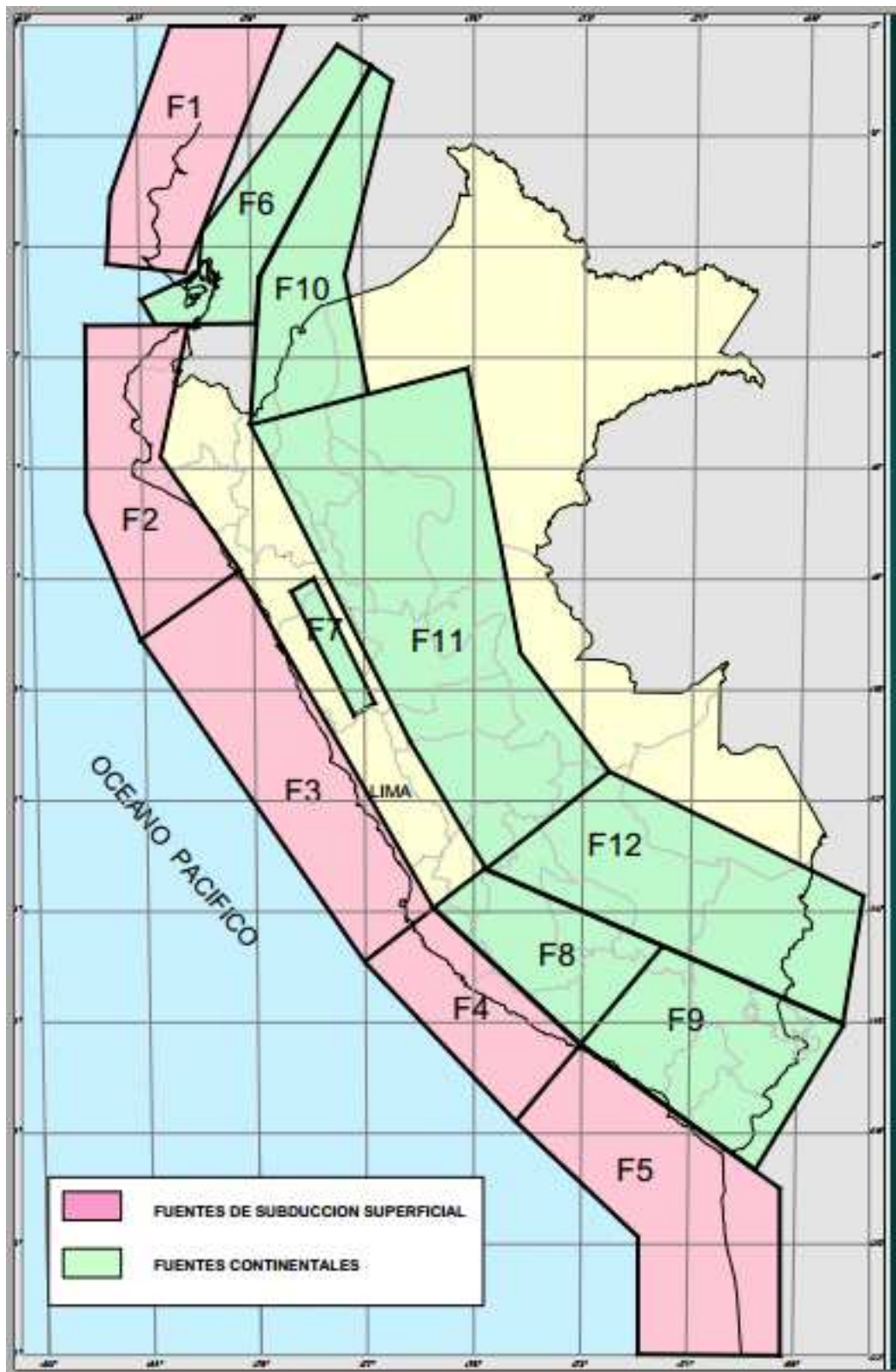


Figura N° 05: Fuentes sismogénicas de subducción superficiales y continentales (Castillo, 1993)



Figura N° 06: Fuentes sismogénicas de subducción intermedia y profunda (Castillo, 1993)

Reiter en 1990 describió cuatro pasos básicos para el cálculo del peligro sísmico Probabilístico (PSHA) que se esquematiza en la figura N° 07 y se expone a continuación:

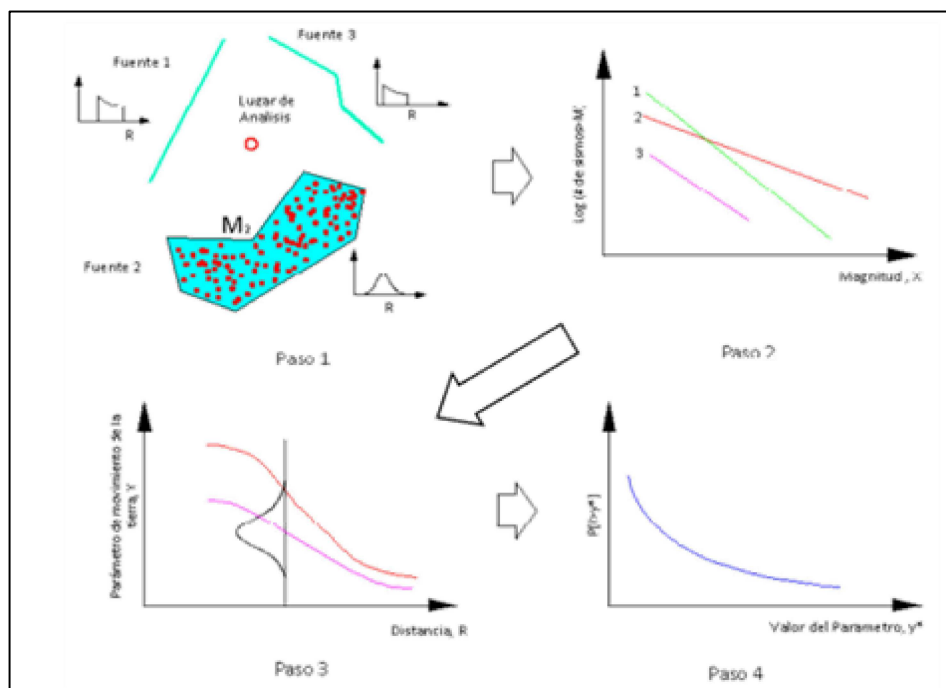


Figura N° 07: Esquematización de los 4 pasos a seguir para el cálculo del peligro sísmico probabilístico (adaptado de KRAMER, 1996)

Los pasos se describen a continuación (De la Cruz, 2011):

Paso 1: Descripción de la sismicidad. Ello conlleva, en primer lugar, la aceptación del modelo de la sismicidad a utilizar, que puede ser zonificado o bien no zonificado. En segundo lugar, se debe elegir el modelo de la recurrencia temporal por el que se establece la relación entre la frecuencia de ocurrencia de sismos y su magnitud u otros parámetros de sismicidad (magnitudes umbrales y máximas esperadas, intensidad, etc.).

Paso 2: Determinación del modelo de predicción del movimiento fuerte del suelo o ley de atenuación, para la zona en cuestión. Dependiendo de la extensión de ésta y de las fuentes consideradas, puede adoptarse más de un modelo.

Paso 3: Resolución de la integral de la peligrosidad, en donde se están considerando las incertidumbres en ubicación del terremoto, el tamaño, y la predicción de movimiento de la tierra están combinadas para obtener la probabilidad que el parámetro movimiento del terreno como aceleración máxima o aceleración espectral, será excedido en un período de tiempo particular.

Paso 4: Presentación de los resultados: curva y mapas de peligrosidad.

2.4. Sismicidad:

La sismicidad es la representación completa del fenómeno sísmico en su origen, la cual demanda el conocimiento de la distribución de los distintos parámetros que caracterizan la ocurrencia de los sismos (Gentil, 1999).

Al presente, el avance científico ha permitido mejorar en el conocimiento del origen, del tamaño y la forma de expansión de los sismos dentro de la corteza terrestre. Los sismos ocurren cuando la energía en la tierra alcanza un nivel mayor a la resistencia de la roca, causando que los lados opuestos de la misma fallen bruscamente o se deslicen violentamente pasando de un lado a otro. Estas energías pueden conducirse perpendicularmente a la falla empujando las rocas entre ellas, o paralelamente a la falla moviendo las rocas unas contra otras.

La resistencia de la falla está relacionada con el tamaño de estos esfuerzos y el coeficiente de fricción del material que la forma, cuando se acumula un esfuerzo suficientemente grande para sobrepasar la resistencia de la falla, puede ocurrir un sismo produciéndose un crujido entre las rocas perdiendo el equilibrio y liberando la energía acumulada en forma de ondas sísmicas, las cuales sacuden las rocas de su alrededor (Mena, 2002).

Un sismo empieza en un punto llamado *foco* o *hipocentro* situado en la superficie de ruptura de la falla que se localiza por una latitud, longitud y profundidad (figura N° 08), y una proyección en la superficie de la tierra llamada *epicentro* con coordenadas de latitud y longitud únicamente.

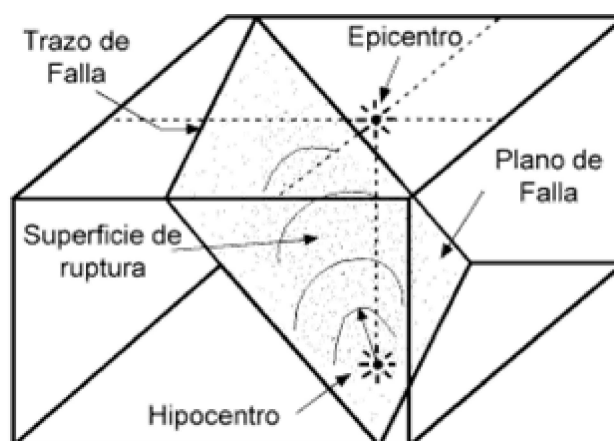


Figura N° 08: Origen de un terremoto, con su proyección en la superficie terrestre (Nyffenegger, 1997)

La ruptura progresa desde el hipocentro a lo largo de la superficie de la ruptura a una velocidad finita, hasta que se detiene. El esfuerzo acumulado se libera completamente al alcanzar una sección más fuerte que la falla o porque se ha llegado al final de la misma.

El tiempo total del movimiento causado por el sismo está relacionado con la longitud del tiempo necesario para que la ruptura progresa a lo largo de la superficie de la ruptura completa (Nyffenegger, 1997).

Existen tres tipos principales de fallas que pueden ocurrir ya sea en la superficie de la Tierra o dentro de los Océanos (figura N° 09), estas pueden ser: falla por deslizamiento que corresponde al deslizamiento horizontal relativo por los dos lados de la falla que normalmente suele tener un plano de falla vertical; una falla reversible o por compresión, en la cual las fuerzas de compresión causan una falla por cortante forzando que la parte superior continúe elevándose y la falla normal o por extensión, esta falla es inversa a la anterior, las deformaciones por extensión jalan los bloques superiores hacia debajo del plano de la falla inclinada (Nyffenegger, 1997).

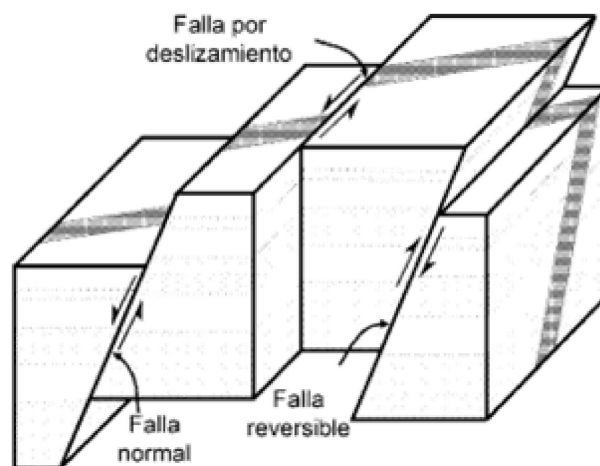


Figura N° 09: Tipos principales de falla, provocados por un sismo (Nyffenegger, 1997)

2.4.1. Sismicidad en el mundo:

En los últimos 80 años se ha logrado registrar los sismos más importantes ocurridos a nivel mundial, lo que permitió tener un esquema global de la sismicidad mundial. Los estudios demuestran que la mayor parte de la energía sísmica es liberada en las costas del Océano Pacífico, región conocida como Cinturón de Fuego del Pacífico.

Existen también regiones donde la actividad sísmica en las placas es casi nulas o desconocidas, siendo conocidas como escudos.

La localización del origen de un sismo se puede calcular por medio de ondas sísmicas leídas en diferentes observatorios sismográficos. Basándose en esta información se ha podido

elaborar mapas con la distribución uniforme de sismos en el mundo, tal como se muestran (figura N° 10), se puede observar claramente el cinturón de actividad sísmica separando grandes regiones oceánicas y continentales (Bolt, 1999).

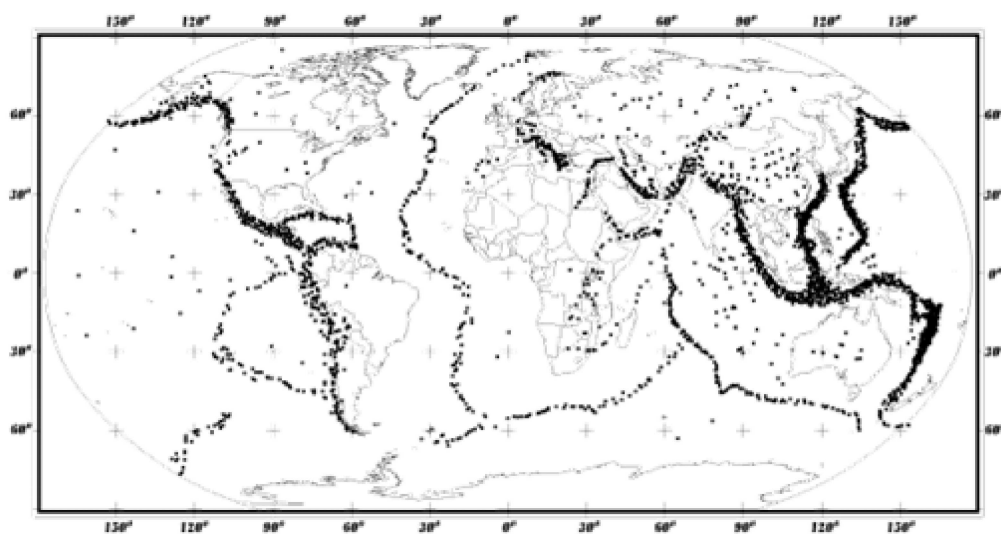


Figura N° 10: Mapa de sismicidad mundial, en la figura se observa los sismos de más de 6 grados en la escala de Richter desde 1996 (Bolt, 1997)

La localización geográfica de los sismos en el planeta muestra zonas de la tierra con mayor acción sísmica, siendo una de ellas el Cinturón de Fuego del Pacífico, este comprende toda parte del oeste americano, desde Alaska hasta el sur de Chile y desde la parte norte de las islas Aleutianas, siguiendo por todas las islas de Japón hasta Indonesia y Nueva Zelanda.

En segundo lugar, la zona denominada Mediterráneo – Himalaya se extiende desde las islas Azores al suroeste de la Península Ibérica, pasando por Italia, Grecia, Turquía, Persia llegando hasta el Himalaya y el norte de la India y de China. Finalmente, la tercera zona está conformada por las cordilleras submarinas que fraccionan al Atlántico en dos partes, la del Índico y del Pacífico frente a las costas de América del Sur. Los estudios de sismicidad de estas regiones han servido para confirmar la teoría tectónica de las placas y la formación de los continentes (Bolt, 1997)

Uno de los estudios hecho sobre mapas de peligro sísmico, fue el proyecto piloto desarrollado por el Programa de Evaluación de Peligrosidad Sísmica Global (GSHAP, 1999). Este trabajo se realizó uniendo mapas parciales elaboradas por las diferentes regiones y áreas de prueba (figura N° 11). El mapa describe la aceleración máxima del terreno con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, correspondiendo a un tiempo de retorno de 475 años. El mapa dibuja los niveles probables del movimiento del terreno en una escala de colores de menor probabilidad (blanco) a mayor probabilidad (oscuro).

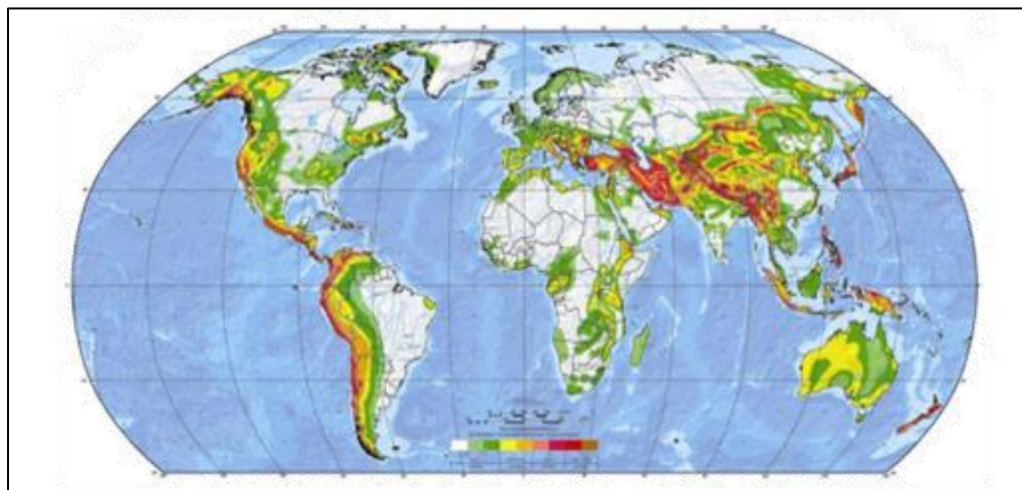


Figura N° 11: Mapa de peligrosidad sísmica global (GSHAP, 1999)

Los colores del mapa se optaron para delinear aproximadamente la peligrosidad correspondiente al nivel actual de la misma. El color más claro simboliza una peligrosidad baja, mientras que el más intenso representa una alta peligrosidad. El blanco y el verde representan a valores entre 0 – 8% g (en donde g representa la aceleración de la gravedad); el amarillo y el naranja corresponden a una peligrosidad media entre 8 – 24% g; el color rosa y rojo corresponde a una peligrosidad alta entre 24 – 40% g y el rojo oscuro y café corresponde a una peligrosidad muy alta con valores superiores a 40% de g (GSHAP, 1999).

Observando la actividad sísmica mundial se puede estimar el número de sismos de cierta magnitud que ocurren en un año. Se ha visto que por lo menos ocurren dos grandes terremotos anualmente. Los mayores índices de sismicidad se presentan en los países como Perú, Japón, Chile y Nueva Zelanda (Ochoa, 2012).

Tabla N° 02: Promedio anual de sismos en el mundo

MAGNITUD	NUMERO PROMEDIO
8	2
7	20
6	100
5	3000
4	15000
3	150000

FUENTE: Ochoa, 2012

2.4.2. Sismicidad en el Perú:

Es evidente que Perú forma parte del cinturón, pues en el borde occidental chocan las placas Nazca y Sur Americana.

Los principales rasgos tectónicos de la región occidental de Sudamérica, como son la Cordillera de los Andes y la fosa oceánica Perú-Chile, están relacionados con la alta acción sísmica y otros fenómenos telúricos de la región, como un resultado de la interacción de dos placas convergentes cuya resultante más notoria precisamente es el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes. La teoría que postula esta relación es la Tectónica de Placas o Tectónica Global (Isacks, 1968).

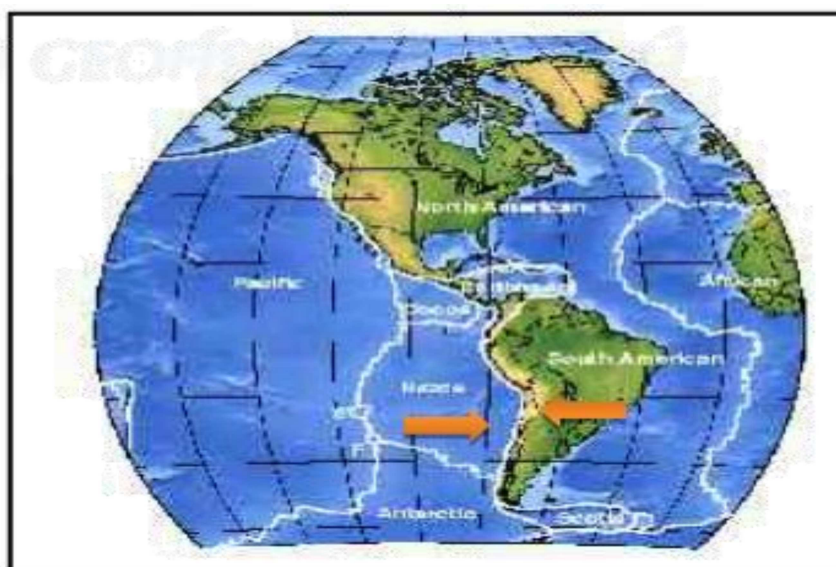


Figura N° 12: Distribución tectónica de las placas cercanas a Perú (Ochoa, 2012)

La idea básica de la Tectónica de Placas es que la envoltura más superficial de la tierra sólida, llamada Litósfera (100 km), está dividida en varias placas rígidas que crecen a lo largo de estrechas cadenas meso-oceánicas casi lineales; dichas placas son transportadas en otra envoltura menos rígida, la Astenósfera, y son comprimidas o destruidas en los límites compresionales de interacción, donde la corteza terrestre es comprimida en cadenas montañosas o donde existen fosas marinas (Berrocal, 1975).

La Placa Sudamericana crece de la cadena meso-oceánica del Atlántico, avanzando hacia el noroeste con una velocidad de 2 a 3 cm por año y se encuentra con la Placa de Nazca en su extremo occidental, constituida por la costa Sudamericana del Pacífico.

Por otro lado, la Placa de Nazca crece de la cadena meso-oceánica del Pacífico Oriental y avanza hacia el este con una velocidad de aproximadamente 5 a 10 cm por año, subyaciendo debajo de la Placa Sudamericana con una velocidad de convergencia de 7 a 12 cm por año (Berrocal, 1975).

Como resultado de la interacción de la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca, han dado origen a la Cadena Andina y la Fosa Perú – Chile en diferentes etapas progresivas. La continua interacción de estas dos placas da origen a la mayor cadencia de actividad sísmica en la región occidental de nuestro continente.

La Placa de Nazca se sumerge por debajo de la frontera Perú – Brasil y noroeste de Argentina. La distribución espacial de los hipocentros confirma la subducción de la Placa de Nazca, aun cuando existe controversia debido a la ausencia de actividad sísmica entre los 300 y 500 km de profundidad (Berrocal, 1975).

Algunos trabajos de sismo tectónica en Sudamérica han señalado ciertas discontinuidades de carácter regional, que dividen el panorama tectónico de esta región en varias provincias tectónicas. Dichas provincias están separadas por discontinuidades laterales (Berrocal, 1974) o por "zonas de transición" sismo tectónico, todas ellas normales a la zona de subducción o formando un ángulo grande con ésta. Estas provincias tectónicas tienen características específicas que influyen en la actividad sísmica que ocurre en cada una de ellas.

Los rasgos tectónicos superficiales más importantes en el área de estudio son (Berrocal, 1975):

- ✓ La fosa oceánica Perú – Chile.
- ✓ La dorsal de Nazca.
- ✓ La porción hundida de la costa al norte de la península de Paracas, asociada con el zócalo continental más ancho.
- ✓ La cadena de los andes.
- ✓ Las unidades de deformación y sus intrusiones magmáticas asociadas.
- ✓ Sistemas regionales de fallas normales e inversas y de sobre escurrimientos.

La dorsal de Nazca tiene unas influencias decisivas en la constitución tectónica de la parte occidental, donde se nota un marcado cambio en la continuidad de otros rasgos tectónicos. En la parte oceánica, la dorsal de Nazca divide a la Fosa Oceánica en la Fosa de Lima y la Fosa de Arica.

La Cadena Andina es el rasgo tectónico más evidente. Su orogénesis es un producto de la interacción de las placas litosféricas, cuyo desarrollo aún está vigente. La convergencia de

la Placa de Nazca y la Sudamericana da como resultado una deformación dentro de la litósfera continental (De la Cruz, 2011).

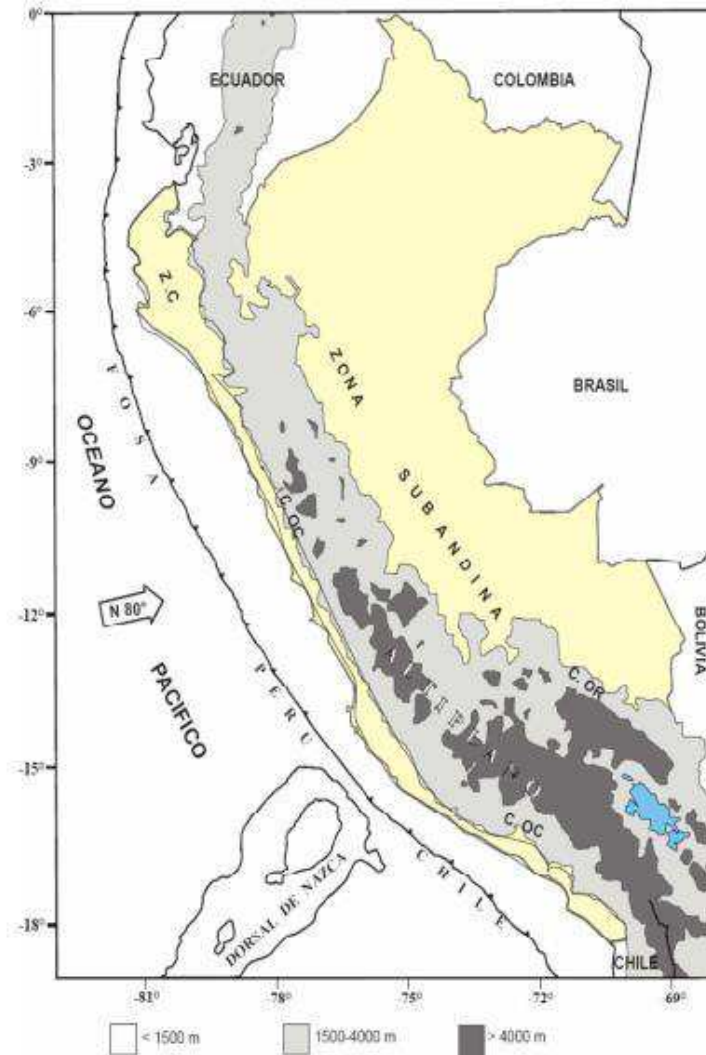


Figura N° 13: Principales unidades geomorfológicas del Perú (Tavera y Buforn, 1998)

En la figura anterior se define las diferentes zonas, ZC= zona costera ubicada desde el norte hasta el sur a lo largo de todo el litoral, C.O.C = cordillera occidental limita por el oeste con la zona costera y por el este con la cordillera oriental, C.O.R = al norte limita con la zona costera y en el centro rodea a la C.O.C y hacia el sur va limitada con la zona subandina Z.S= que limita por el oeste con la C.O.C (Tavera y Buforn, 1998).

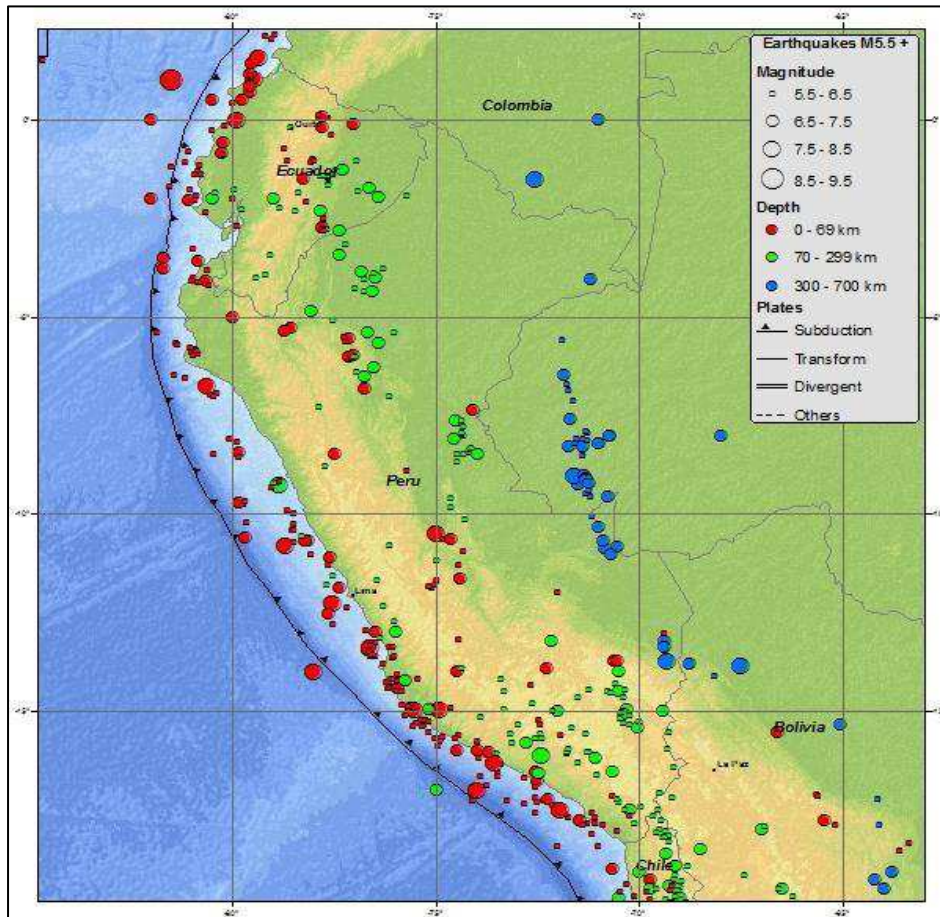


Figura N° 14: Mapa histórico de la sismicidad en Perú (USGS, 2015)

2.4.3. Sismicidad en Amazonas:

Según Silgado (1978), consideraba que Amazonas no es una región con alta peligrosidad sísmica, sin embargo, su historia no es ajena al fenómeno sísmico.

Amazonas pertenece a la Zona Subandina del norte del Perú, Las rocas que afloran en los alrededores del Alto Mayo son rocas marinas y continentales sedimentarias del Jurásico al Cretáceo y rocas continentales del Terciario. Estas rocas están afectadas por una tectónica de pliegues y sobrescurrimientos.

La historia sísmica en Amazonas es escasa, principalmente por el aislamiento de los centros poblados y la falta de vías de comunicación. Silgado (1978) publicó la historia sísmica del territorio peruano desde el siglo XVI al presente. Se describe a continuación los terremotos más importantes que afectaron la región en estudio.

A continuación, se muestra algunos de los sismos considerados importante para la región Amazonas, estos fueron extraídos del libro de Silgado “Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú”, eventos que afectaron a la región Amazonas:

- ✓ 26 de noviembre de 1877. La ciudad de Moyobamba sufrió los efectos de una recia sacudida de tierra. Intensidad de VI MMI.
- ✓ 28 de Setiembre de 1906. Se registró en Chachapoyas un sismo de intensidad VII MMI. La magnitud fue de $M_s=7.5$.
- ✓ 14 de mayo de 1928. Una notable conmoción sísmica ocurrió en el nororiente peruano. Chachapoyas sufrió una destrucción casi total. Un deslizamiento en Pinpincos (Valle de Chamaya) causó 25 muertos. La magnitud del sismo fue de $M_s=7.3$ y la intensidad máxima de X MMI en el área epicentral.
- ✓ 6 de agosto de 1945. Un fuerte movimiento sísmico afectó los departamentos de San Martín y Amazonas. Se reportó una intensidad de VI MMI en Moyobamba. El epicentro se localizó al este de Moyobamba. Ocurrió licuación de suelos en las quebradas de Shango, Tahuishco y Azungue.
- ✓ 19 de junio de 1968. Ocurrió un terremoto en la parte norte del departamento de San Martín, causando la muerte de 15 personas. La magnitud del sismo fue de $M_s=6.9$ y $M_b=6.4$. Se reportaron daños severos en las ciudades de Moyobamba y Yantaló. El epicentro se localizó al noroeste de Moyobamba. Ocurrió licuación de suelos a lo largo de las márgenes del río Mayo y en los alrededores de Moyobamba como es el caso de la parte sur de Amazonas. La máxima intensidad fue de IX MMI.
- ✓ 29 de mayo de 1990. Terremoto de Rioja. Magnitud $M_b=6.0$ con epicentro al sur de Rioja, sintiendo en todo Amazonas. Ocasiónó 70 muertos. Intensidad máxima de VII MMI.
- ✓ 4 de abril de 1991. Terremoto en Moyobamba. Magnitud $M_b=6.2$ e intensidad máxima VII MMI. Causó 50 muertos y daños severos a 8000 viviendas. Epicentro al este de Moyobamba.

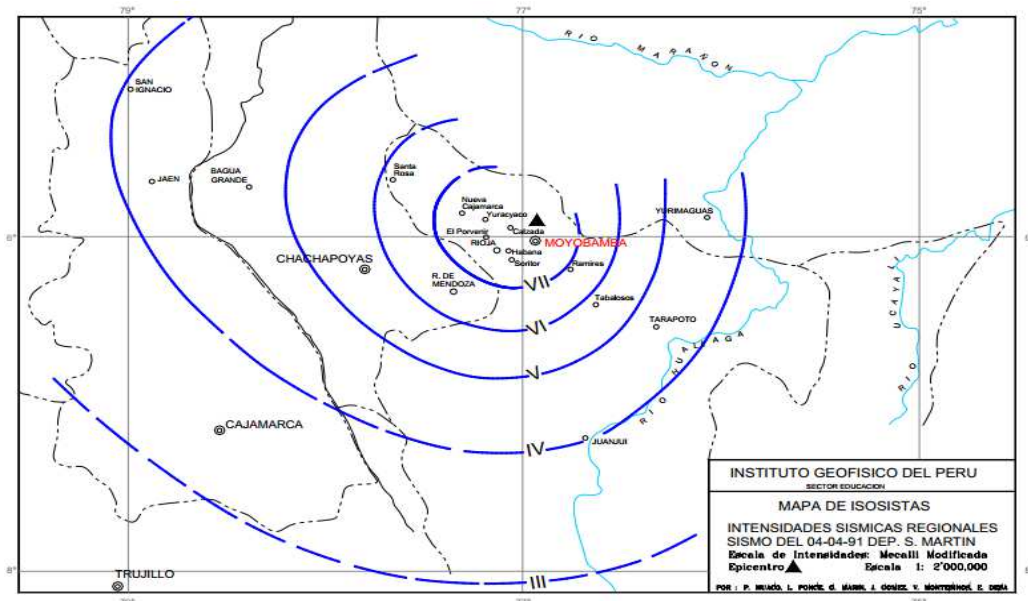


Figura N° 15: Sismo de Moyobamba que afectó a Chachapoyas (Lara y Alva, 1992)

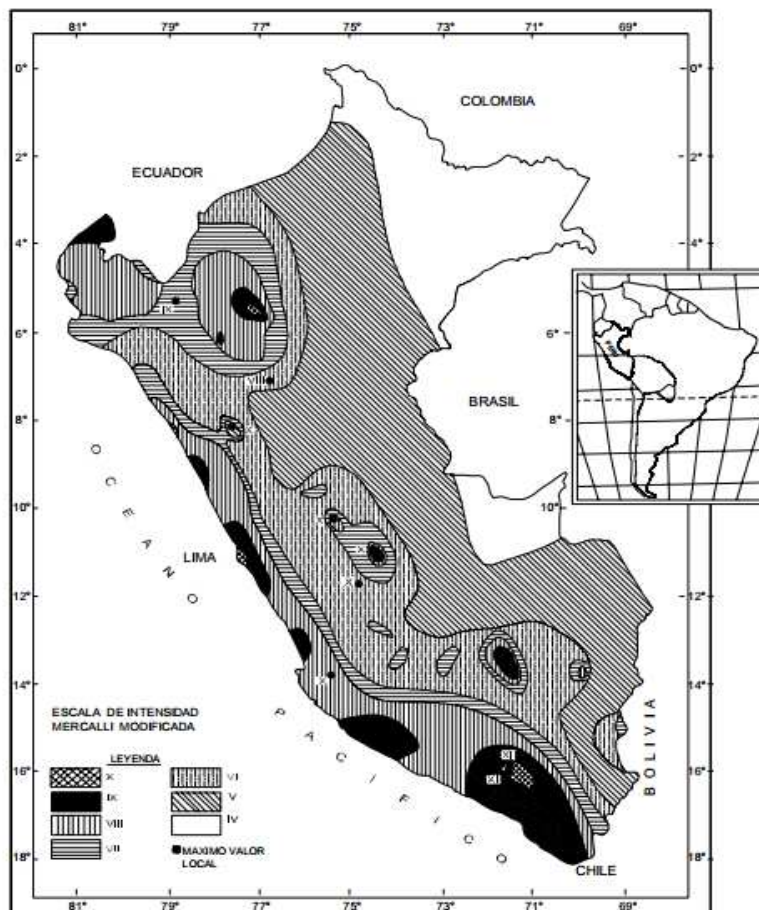


Figura N° 16: Máximas intensidades sísmicas en el Perú (Lara y Alva, 1992)

Se observa en el mapa que Amazonas tiene asignado valores entre VIII y IX en la escala de intensidades Mercalli Modificada. También se observa que existe una zona de sismos superficiales en la selva alta, denominada zona sub andina.

2.4.4. Evaluación de la sismicidad:

Como se sabe existe una gran incertidumbre al momento de evaluar el movimiento del terreno a causa de un sismo y esta incertidumbre repercute en la estimación del riesgo sísmico de un lugar específico.

El tamaño de un sismo se puede caracterizar por la intensidad, la magnitud, siendo esta última la caracterización más adecuada debido a que está relacionada directamente con el producto del área de la ruptura de la falla y el desplazamiento promedio de la misma (Somerville, 2000)

a. Intensidad:

La intensidad sísmica mide cualitativamente los efectos de un terremoto y delimita las áreas con efectos similares. La intensidad se mide por el grado de daños a las construcciones realizadas por el hombre, la cantidad de perturbaciones en la superficie del suelo y el alcance de la reacción animal en la sacudida.

Actualmente, las escalas más utilizadas para medir la intensidad sísmica son la Mercalli Modificada (MM) y la MSK. La primera fue propuesta por Mercalli en 1902, modificada por Wood y Newman en 1931 y por Richter en 1956.

La segunda se debe a los trabajos de Medvedev, Sponheuer y Karnik en 1967. Ambas escalas tienen XII grados y son muy similares, siendo la primera más utilizada en América y la segunda en Europa. Además, existen otras escalas de uso más local (como la de la Agencia Meteorológica de Japón, JMA), o que ya sólo tienen interés histórico, en la tabla N° 3 se muestra en resumen las equivalencias entre ellas (Reiter, 1990).

Daño %	Rossi - Forel	Mercalli Modificada	Geofian	PRC	JMA	MSK	EMS - 98	
0	I	I	I	I	I	I	I	
	II	II	II	II		II	II	
	III	III	III	III		III	III	
	IV	IV	IV	IV	II	IV	IV	
	V	V	V	V	III	V	V	
	VI	VI	VI	VI	IV	VI	VI	
	VII	VII	VII	VII	V	VII	VII	
	VIII	VIII	VIII	VIII		VIII	VIII	
	10	IX	IX	IX	IX	VI	IX	IX
	20		X	X	X		X	X
	30	X	XI	XI	XI	VII	XI	XI
	40		XII	XII	XII		XII	XII
50								
70								
90								

Tabla N° 03: Escalas de Intensidades Sísmicas y sus equivalencias (Reiter, 1990)

Cabe precisar que al ser la intensidad subjetiva crea inconvenientes al momento de comparar los efectos del sismo evaluados durante diferentes épocas de estudio. Además, la separación entre dos grados consecutivos no es uniforme a lo largo de la escala, tampoco tiene en cuenta las variaciones en las condiciones de los emplazamientos por lo que la evaluación de los daños puede ser equivocada.

Sin embargo, la intensidad es el único parámetro de tamaño aplicable directamente a la época no instrumental (De la Cruz, 2011).

Históricamente las escalas de intensidad tienen una gran importancia especial debido a que no utilizan ningún instrumento para su medición, su uso permite identificar zonas con un mismo nivel de daño y efectos similares con lo que se puede formar mapas isosistas. Al analizar estos mapas se puede observar que la intensidad decrece con la distancia, este fenómeno recibe el nombre de atenuación de la intensidad sísmica. Esta atenuación no solo depende de la distancia o distribución geométrica, también depende de los fenómenos de absorción y dispersión de las ondas, de la magnitud, de las condiciones del suelo, etc. En este contexto es posible generar mapas de peligrosidad sísmica calculando una intensidad epicentral y aplicando leyes de atenuación para el sitio en estudio (Gonzales, 2000).

$$I_0 - I = k \cdot \log\left(\frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{h}\right)^b + k \cdot \gamma \cdot \log(\sqrt{x^2 + h^2} - h)$$

Donde:

- I_0 : Intensidad epicentral.
- I : Intensidad atenuada con la distancia.
- k : Factor que relaciona la intensidad y el logaritmo de la aceleración pico del sismo, que en este caso es 3.
- γ : Atenuación inelástica (0.001 km^{-1}).
- b : Coeficiente de extensión geométrica (1).
- h : Profundidad local (km).

Actualmente existen varias escalas de intensidad, siendo la más utilizada en América, la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (MM), que fue abreviada por Charles Richter en 1956.

Tabla N° 04: Escala Modificada de Mercalli (Ochoa, 2012)

ESCALA MODIFICADA DE MERCALLI	
Grado	Efectos de terreno

I	Microsismo detectado por instrumentos
II	Sentido por algunas personas (generalmente en reposo)
III	Sentido por algunas dentro de los edificios
IV	Sentido por algunas personas fuera de los edificios
V	Sentido por casi todos
VI	Sentido por todos
VII	Las viviendas sufren daño moderado
VIII	Daños considerables en la estructura
IX	Daños graves y pánico general
X	Destrucción en edificios bien contruidos
XI	Casi nada queda en pie
XII	Destrucción total

FUENTE: Ochoa, 2012

b. Magnitud:

Es la medición cuantitativa de la energía liberada en un sismo al producirse la rotura de una falla, y se determinada por observaciones de sismógrafos y acelerógrafos. Es una función de la cantidad de energía liberada en el foco y es independiente del sitio de observación.

La magnitud fue definida por Richter como “el logaritmo decimal de la máxima amplitud registrada por un sismógrafo Wood – Andersen a una distancia de 100 km del centro de perturbación, expresada en milésimas de milímetros”. En la práctica los registros deben realizarse a grandes distancias comparadas con las dimensiones de la falla y extrapolados a una distancia de 100 km. Se obtienen mejores resultados promediando los valores hallados por diversos observatorios (Housner, 1970).

Richter relaciono la magnitud directamente con la liberación de la energía la cual es independiente del lugar de observación. Actualmente es la forma más usada para medir el tamaño de los sismos en todo el mundo. La escala más utilizada es la correspondiente a la magnitud local de Richter, denotada por M o M_L y se define como (Dowrick, 1997):

$$M_L = \log A - \log A_0$$

En donde:

M_L : Magnitud local, calculada como la diferencia entre el logaritmo decimal de la amplitud y el logaritmo decimal de la amplitud estándar.

A : Es la amplitud máxima registrada en un sismo a una cierta distancia.

A_0 : Es un sismo particular seleccionado como estándar.

Para evaluar el valor de A_0 se utiliza la curva estándar propuesta por Richter que tiene la siguiente expresión:

$$\log A_0 = 6.37 - 3 \log \Delta$$

En donde:

Δ : Es la distancia epicentral en km.

La escala de magnitud no tiene límites; hasta 1979 se creía que el sismo más grande posible tendría una magnitud 8.5; sin embargo, desde ese entonces, los progresos en las técnicas de medidas sísmicas han permitido redefinir la escala. Hoy se considera que el sismo más grande ocurrió en 1960 en Chile y tuvo una magnitud de 9.5 (Ochoa, 2012).

Tabla N° 05: Escala Richter y su equivalencia

ESCALA DE RICHTER	
Magnitud	Efectos del sismo
Menos de 3.5	Es registrado, pero no se siente
3.5 – 5.4	Se siente, pero solo causa daños menores
5.5 – 6.0	Ocasiona daños ligeros a los edificios
6.1 – 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas
7.0 – 7.9	Sismo mayor, causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto, destrucción total a comunidades cercanas

FUENTE: Ochoa, 2012

A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de las escalas de magnitud empleadas en el presente proyecto (Santibáñez, 2013):

✓ **Magnitud de ondas de cuerpo (Mb):**

La magnitud Mb se basa en la amplitud de ondas de cuerpo con períodos cercanos a 1.0 segundos. Para su determinación se utiliza la siguiente expresión:

$$Mb = \log\left(\frac{A}{T}\right) + Q(D, h)$$

Donde:

A : Amplitud del terreno en micrómetros.

T : Período en segundos.

Q : factor de atenuación que está en función de la distancia (D) en grados y la profundidad focal (h) en kilómetros.

✓ **Magnitud de ondas de superficie (Ms):**

Esta escala se basa en la amplitud máxima producida por las ondas superficiales Rayleigh con período en el rango de 18 a 22 segundos. Para su determinación se utiliza la siguiente expresión:

$$Ms = \log\left(\frac{A}{T}\right) + 1.66 \log(De) + 3.3$$

Donde:

A : Máxima amplitud horizontal del terreno en micrómetros.

T : Período de la onda en segundos.

De : Distancia epicentral.

✓ **Magnitud de Momento Sísmico (Mw):**

Permite medir el tamaño de un sismo en función de las propiedades físicas de la roca y de las dimensiones del área que sufre la ruptura. Para su determinación se utiliza la siguiente expresión:

$$Mw = \frac{2}{3} \log(M_0) - 10.7$$

Donde:

M_0 : Momento sísmico expresado en dinas – cm, que representa la cantidad de energía liberada, se define como:

$$M_0 = \mu DA$$

Donde:

μ : Rigidez de la roca en dinas/cm².

D : Desplazamiento promedio de la falla en cm.

A : Área del segmento que sufrió la ruptura expresada en cm².

✓ **Magnitud local (Ml):**

Esta escala fue definida para sismos locales en California con un radio de aproximadamente 600 km. Se determina a partir de la máxima amplitud registrada por un sismógrafo Wood Anderson con constantes específicas (período=0.8 segundos, amplificación estática igual a 2.800 y factor de amortiguamiento cercano a 0.8) ubicado a 100 kilómetros de la fuente sísmica. El cálculo se realiza a través de la siguiente expresión:

$$Ml = \log(A) - \log(A_0)$$

Donde:

A : Máxima amplitud de la traza registrada.

A_0 : Amplitud máxima que sería producida por un sismo patrón, siendo éste aquel que produciría una deflexión de 0.001 mm en un sismógrafo ubicado a 100 km del epicentro.

c. Momento sísmico:

El momento de un terremoto o momento sísmico M_0 es quizás el mejor parámetro que puede utilizarse para medir el tamaño del sismo. Mientras que la magnitud es una medida conveniente del tamaño del sismo determinado directamente de un sismógrafo, el momento sísmico es una medida físicamente significativa del tamaño del sismo sin estar sujeta a los problemas que se encuentran en la magnitud. De hecho, M_0 está directamente relacionada con los parámetros fundamentales de la falla. Esta medida es cada vez la más utilizada por los sismólogos debido a su mayor fiabilidad.

La relación entre el momento sísmico y cualquiera de las magnitudes no es inmediata, pero algunos autores utilizan un ajuste logarítmico lineal del tipo:

$$\log M_0 = a + bM$$

2.5. Vulnerabilidad sísmica:

Otra parte importante para evaluar el riesgo sísmico de un lugar determinado es la evaluación de la vulnerabilidad de las estructuras construidas por el ser humano.

Se denomina vulnerabilidad al grado de daño que sufre una estructura debido a un evento sísmico de determinadas características. Estas estructuras se pueden calificar en “más vulnerables” o “menos vulnerables” ante un evento sísmico (Bozzo, 1995).

Se dice que vulnerabilidad sísmica de una estructura es una propiedad intrínseca a sí misma, y, además, no depende del peligro del lugar ya que se ha observado que en sismos pasados las edificaciones de un tipo estructural similar sufren daños diferentes, teniendo en cuenta que se hallan en la misma zona sísmica. En otras palabras, una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo si no se encuentra en un lugar con un determinado peligro sísmico o amenaza sísmica.

Es preciso resaltar que no existen metodologías estándares para estimar la vulnerabilidad de las estructuras.

El resultado de los estudios de vulnerabilidad es un índice de daño que caracteriza la degradación que sufriría una estructura de una tipología estructural dada, sometida a la acción de un sismo de determinadas características (Kuroiwa, 1990).

Hoy los procedimientos y equipos para el estudio de la vulnerabilidad y peligro sísmico se encuentran muy desarrollados. Las hipótesis para el análisis de la vulnerabilidad van desde métodos directos de campo, basada en observaciones, hasta métodos probabilísticos con análisis computacionales.

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

La calidad de mano de obra y de materiales fue evaluada directamente por la persona que realizó el levantamiento de información en campo (Velarde, 2014).

Una de las primeras labores que hay que plantearse en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, es la trascendencia que tendrán los estudios del Riesgo Sísmico. Este paso es significativo, ya que la vulnerabilidad sísmica se puede evaluar de una manera muy específica efectuando un estudio exhaustivo de las estructuras o muy general como puede ser un estudio a nivel urbano. El conocimiento del comportamiento de una estructura es generalmente complejo y dependiente de un sin número de parámetros que en su mayoría son difíciles de obtener. Algunos de estos parámetros incluyen la obtención de las características del movimiento sísmico del lugar, la interacción con los elementos no estructurales, el contenido existente en la estructura en el momento del sismo, entre otros.

Aunque no existe una metodología estándar o procedimiento para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, algunas instituciones como la Comisión de Seguridad Sísmica de California, CSSC, en 1990 propuso clasificarlas en tres grupos, de acuerdo a:

- a. **Experiencia obtenida en sismos pasados** basada en el hecho de que ciertas clases de construcciones tienden a compartir características comunes y a experimentar tipos similares de daño debido a un sismo. En base a esto se han desarrollado una serie de funciones de vulnerabilidad sísmica de edificios, para los cuales se requiere identificar la clase de edificación para hacer referencia a la función.
- b. **La experiencia obtenida en los desarrollos de la ingeniería.** En este caso, los cálculos estructurales se utilizan para cuantificar la cantidad de fuerza y deformación inducida en la construcción por el movimiento del sismo y compararlas con la capacidad de la

estructura. En la ingeniería las estimaciones de la vulnerabilidad también tienden a ser incertidumbres asociadas con ella, debido a que en ocasiones es muy difícil de cuantificar la capacidad y resistencia exacta de la estructura y también la predicción de la respuesta.

- c. **Una combinación de ambos**, en estos casos se utilizan tanto cálculos estructurales como la experiencia de los datos para estimar la vulnerabilidad, obteniendo menos incertidumbres y permitiendo la calibración de los cálculos estructurales con el comportamiento observado de las viviendas.

La probabilidad de daños estructurales se puede estimar mediante la aplicación de dos metodologías (Ochoa, 2012):

- ✓ **Método empírico (Sauter, 1978 – 1980)**, se basa en la relación de daños en estructuras producidos por sismos con la intensidad sísmica. Los diferentes diseños, viviendas y factores locales del suelo dan como resultado que la información existente tenga un valor limitado.
- ✓ **Método teórico (Whitman, 1973 – 1975)**, se basa principalmente en modelos matemáticos basados en las características dinámicas de la estructura. Estos métodos relacionan los parámetros usados en diseño sísmico con los parámetros estructurales y daños, además es adecuado para implementar las bases de diseño de las estructuras.

2.5.1. Clases de vulnerabilidad sísmica (Vizconde, 2004):

a. Vulnerabilidad estructural:

Se refiere a que tan susceptibles a ser afectados o dañados son los elementos estructurales de una edificación o estructura frente a las fuerzas sísmicas inducidas en ella y actuando en conjunto con las demás cargas habidas en dicha estructura. Los elementos estructurales son aquellas partes que sostienen la estructura de una edificación, encargados de resistir y transmitir a la cimentación y luego al suelo; las fuerzas causadas por el peso del edificio y su contenido, así como las cargas provocadas por los sismos. Entre estos elementos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, muros de albañilería de corte, etc.

Debido a ello como se dirá que un buen diseño estructural es la clave para que la integridad del edificio sobreviva aún ante desastres naturales severos como lo son los terremotos.

Por esto los mayores daños en edificios hospitalarios tras un sismo se deben a esquemas de configuración estructural lejanos a formas y esquemas estructurales simples. El sismo castiga fuertemente dichas irregularidades.

b. Vulnerabilidad no estructural:

Un estudio de vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que estos elementos puedan presentar. Sabemos que al ocurrir un sismo la estructura puede quedar inhabilitada debido a daños no estructurales, sean por colapso de equipos, elementos arquitectónicos, etc., mientras que la estructura permanece en pie. Esto generalmente se aplica a los hospitales y clínicas donde entre el 80% y 90% del valor de la instalación no está en las columnas, vigas, losas, etc.; sino en el diseño arquitectónico, en los sistemas electromecánicos y en el equipo médico contenido dentro del hospital.

Dentro del sistema electromecánico podríamos mencionar las líneas de tuberías, apoyos de equipos, la conexión de los equipos, etc. De igual forma, dentro de los elementos arquitectónicos tenemos las fachadas, vidrios, tabiques, mamparas, puertas, ventanas, escaleras, etc.; y que una vez afectados todos estos elementos obligan a la paralización del servicio dentro del hospital, lo que afectaría directamente a las personas que necesiten ayuda en un momento dado.

c. Vulnerabilidad funcional:

Un estudio de la vulnerabilidad funcional busca determinar la susceptibilidad de un hospital o clínica a sufrir un “colapso funcional” como consecuencia de un sismo. Esto es sólo visible en el momento en que ocurre una emergencia. A fin de determinar en esta tercera etapa la vulnerabilidad funcional, se evalúa lo referente a la infraestructura.

En primer lugar, el sistema de suministro de agua y de energía eléctrica, que son las partes más vulnerables. También son afectadas por los sismos las tuberías de alcantarillado, gas y combustibles, para lo cual se realizan investigaciones sobre su resistencia y flexibilidad.

2.5.2. Métodos para evaluar la vulnerabilidad:

Cuando nosotros identificamos a un edificio como potencialmente vulnerable, tanto a sus estructuras como a sus elementos no estructurales, es necesario seguir con el proceso de investigación para confirmar o descartar dicha vulnerabilidad. En caso de confirmarla debemos determinar la naturaleza y extensión de los daños probables, la magnitud del riesgo y la pérdida, en definitiva, se trata de seguir un procedimiento de la evaluación de la competencia sismorresistente (Vizconde, 2004).

La literatura hace una revisión general de las metodologías existentes para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. Sin embargo, es difícil, desde un punto de vista teórico, hacer una clasificación completa de dichos métodos, así, por ejemplo, los métodos que se pueden clasificar dentro de la rama de la **vulnerabilidad calculada** utilizan la técnica de la *modelización analítica de estructuras* para simular el comportamiento de las mismas bajo fuerzas dinámicas.

Sin embargo, estos métodos no son del todo analítico, ya que durante la fase de calibración del modelo requieren de la utilización extensiva de ensayos de laboratorio, los cuales permiten comprobar la eficacia del método para predecir el daño observado en la estructura. Más aun debido a que generalmente las pruebas de laboratorio se efectúan a nivel de elementos estructurales aislados tales como las uniones viga – columna, para facilitar la identificación de los parámetros sensibles del modelo, estos métodos requieren de una combinación ponderada del daño calculado para dichos elementos con el fin de obtener un *índice global de daño*. Este índice por sí solo no es suficiente para evaluar el comportamiento sísmico de una edificación. Para darle una validez práctica, su valor numérico debe ser calibrado con el daño real observado en las estructuras, después de ocurrido un sismo.

Por otra parte, los métodos que se pueden clasificar dentro de la rama de la **vulnerabilidad observada** están basados en la observación del daño ocurrido en la estructural al momento del sismo. Ahora bien, durante la fase del desarrollo de estos métodos que se llamaran en adelante *métodos subjetivos* muchas veces se utilizan características totalmente objetivas desde el punto de vista estructural como, por ejemplo, la utilización del coeficiente sísmico como una medida de la capacidad de la estructura para resistir fuerzas horizontales o la utilización de un parámetro de respuesta tal como el desplazamiento del último piso para determinar el daño de la estructura.

Otra diferenciación de los métodos existentes se tiene, observando la aplicación práctica de cada uno de ellos. Así, por ejemplo, los métodos subjetivos son más apropiados para la evaluación de la vulnerabilidad de edificios a gran escala, desde una zona urbana hasta toda una región, debido a la relativa facilidad de estos para analizar un gran número de estructuras a un bajo costo. Por otro lado, los métodos analíticos pueden apropiados para un análisis más detallado de estructuras particulares o de aquella que requieren de un tratamiento especial. Asimismo, una combinación de los dos métodos anteriores puede resultar en un análisis muy interesante desde el punto de vista práctico; todas las estructuras se analizan por un método simplificado y relativamente rápido, aquellas que no pasan este

primer test debido a su baja capacidad para resistir fuerzas horizontales, se recomienda para un nuevo análisis por uno de los métodos más sofisticados y costosos.

Una vez descritas las múltiples posibilidades para clasificar los métodos para la evaluación de la vulnerabilidad queda claro la inconveniencia que pueda resultar el escoger un tipo muy particular de clasificación (Barbat, Caicedo, Canas y Aguiar, 1994).

2.5.3. Mecanismos para evaluación de vulnerabilidad sísmica:

Organismos como la FEMA (Federal Emergency Management Agency), el ACI (American Concrete Institute) y la ASCE (American Society of Civil Engineers) se han dedicado a crear y mejorar continuamente una serie de documentos y recomendaciones con los cuales es posible evaluar de manera práctica la posible respuesta de una edificación frente a un sismo. Según estos documentos, existen diferentes niveles de evaluación:

- ✓ **Inspección visual rápida:** consiste en asignar una calificación a cada parámetro de vulnerabilidad localizado por simple inspección visual del edificio. A la calificación básica se adiciona o se resta la calificación recibida por los parámetros modificadores de vulnerabilidad, obteniendo con ello una calificación final de la estructura.
- ✓ **Análisis detallado:** consiste en hacer un levantamiento de las dimensiones en planta y elevación de la estructura, determinar las propiedades de los materiales existentes (resistencia, estado actual y posibles daños), e identificar el tipo de suelo sobre el cual se cimentó la estructura, para luego crear un modelo estructural a través del cual –por medio de un análisis estructural detallado y aplicando una caracterización específica de los efectos sísmicos– se determine el nivel de daños que sufriría la edificación ante este movimiento telúrico.
- ✓ **Instrumentación:** se colocan sobre la edificación instrumentos electrónicos de medición de vibraciones (acelerómetros). A partir de las mediciones de vibraciones ambientales se utilizan algoritmos computacionales especializados para descodificar las propiedades básicas que rigen la respuesta sísmica de las estructuras, es decir, sus formas modales, frecuencias de vibración, amortiguamiento, e interacción con el suelo circundante. Con estas propiedades ya determinadas es posible realizar un análisis estructural más detallado sobre el comportamiento sísmico de la edificación, ya que se hace un análisis basado en propiedades reales medidas. Es casi como colocarle un “estetoscopio” a la edificación.

2.5.4. Instrumentos para la evaluación de la vulnerabilidad:

Se utilizan programas de computadora especializados para la simulación sísmica y sensores de última generación para determinar las propiedades de masa y rigidez interna de la estructura que gobierna su respuesta sísmica. Estos sensores permiten ir más allá de los análisis convencionales y de la apariencia superficial de las estructuras, y determinar con exactitud las propiedades dinámicas reales que determinan su vulnerabilidad sísmica. También permiten identificar la interacción real entre la edificación en su estado actual y el suelo que la rodea.

Esta información, registrada en equipos y computadoras dispuestos para esos fines, es luego procesada y analizada por expertos para determinar la capacidad de respuesta sísmica de la estructura, mediante el uso de programas (software) especiales (Hernández, 2010).

2.6. Riesgo sísmico:

Una vez estudiados la vulnerabilidad y el peligro sísmico nos podemos dar cuenta que están relacionados de manera directa, es decir, para que haya verdaderamente riesgo sísmico en un lugar, ambos conceptos deben producirse y existir respectivamente, es decir el riesgo sísmico evalúa y cuantifica las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un sismo como resultado de la falla de las estructuras cuya capacidad resistente fue excedida.

Matemáticamente se desarrolló un marco conceptual para relacionar estos parámetros, definiendo primero un riesgo sísmico específico S representado como la convolución entre probabilidades de ocurrencia de todas las intensidades posibles de los terremotos o peligro sísmico H y la vulnerabilidad sísmica V como se muestra en la ecuación. Y el riesgo sísmico expresado como la convolución entre el valor del riesgo sísmico específico (S) y el valor económico de los elementos en riesgo E , (Sandi, 1999).

$$S = H \times V$$

$$R = S \times E$$

De todos estos conceptos, el peligro, así como los elementos en riesgo se han estimado a partir de diversas fuentes, de las cuales se han procesado y seleccionado los datos referentes al peligro, microzonación sísmica (efecto de sitio) y elementos en riesgo (número de edificios, población en riesgo, etc.). La vulnerabilidad y el riesgo sísmico, principales objetivos de este trabajo, se han evaluado mediante el uso de un SIG a partir de los datos recopilados previamente.

La mayoría de los estudios de riesgo sísmico a nivel urbano utilizan como parámetro del terremoto, la intensidad macrosísmica, la aceleración máxima o la aceleración máxima de manera indirecta, obtenida a partir de parámetros focales, como magnitud, distancia epicentral, etc., y para evaluar el riesgo sísmico, se utilizan las matrices de probabilidad o las funciones de vulnerabilidad, obtenidas a partir de las experiencias con terremotos pasados, o en el caso de que la actividad sísmica sea baja, mediante técnicas de simulación (Yépez, 1996).

a. Matrices de probabilidad de daño (S):

$$S = \sum_j \sum_i P = [D = j/i] \cdot P[i]$$

Donde S se expresa como la probabilidad condicional de que se produzca un nivel de daño j dado un sismo de intensidad i, multiplicado por la probabilidad de obtener dicho sismo para un periodo dado y todo esto para cada nivel de daño asociado a cada intensidad. De esta manera el riesgo específico S queda asociado al mismo periodo de retorno que el proporcionando por la peligrosidad sísmica.

b. Funciones de vulnerabilidad:

$$F(\bar{d}) = \int_0^{\bar{d}} \int_0^{I_{max}} f(d/i) \cdot f(I) \cdot dI \cdot dd$$

$$S = F(d_{max})$$

Donde F(d) es la función de distribución de probabilidades de daño acumulado para $d = \bar{d}$, siempre que las variables señaladas se pueden considerar como variables aleatorias, independientes y continuas en su rango de definición. La expresión f(d|I) es la función de densidad de probabilidad de daño condicionada a la intensidad I del sismo y f(I) es la función de densidad de probabilidad de la intensidad del terremoto. Por consiguiente, el riesgo específico S vendrá dado por el valor máximo de la función de distribución de daño acumulado.

La realización de las operaciones de convolución requeridas para la evaluación del riesgo sísmico puede ser simplificadas y optimizadas mediante la utilización de ordenadores, llegándose a poder abarcar estudios de grandes extensiones de territorios, incluyendo un manejo adecuado de las bases de datos y una sofisticada presentación de resultados, en este caso los Sistemas de Información Geográfica (SIG) juegan un papel fundamental.

2.6.1. Estudios sobre riesgo sísmico:

Las catástrofes recientes han obligado a los gobiernos y el sector privado de todo el mundo a desarrollar estudios de riesgo sísmico para reducir los daños provocados por los terremotos. Estos estudios deben elaborarse basándose en el desarrollo del país o en la peligrosidad existente en él. En la actualidad, existe una gran cantidad de trabajos que tratan de evaluar el riesgo sísmico en zonas urbanas, auspiciados por organismos internacionales y gobiernos, con el fin de implementarlos dentro de sus programas de protección civil, algunos de ellos se han desarrollado como normas o recomendaciones como son (Berz y Smolka, 1995):

- ✓ Los de la Comisión de Seguridad Sísmica de California (CSSC, 1999). Este trabajo hace un repaso de los conceptos básicos de los terremotos, sus efectos típicos, las causas del daño y pérdidas debidos a ellos, la evaluación del potencial del daño en las estructuras y sistemas de equipos de la comunidad, así como aproximaciones apropiadas para la reducción del riesgo a niveles aceptables y su implementación en los planes de mitigación.
- ✓ Los informes del “Consejo de Tecnología Aplicada (ATC–13 y ATC–25). Ambos trabajos fueron financiados por la Federal Emergency Management Agency (FEMA), y tienen una amplia difusión y aceptación internacional, coherencia metodológica y facilidad de uso y, por lo tanto, constituyen una excelente referencia para orientar este tipo de estudios. El informe ATC–13 titulado “Earthquake Damage evaluation data for California”, forma parte de un proyecto para la evaluación de daño sísmico causado por los terremotos en California. En ellos se presenta información relacionada con el tema: descripciones detalladas de la metodología empleada para clasificar la información y evaluar los daños y pérdidas por causa de los terremotos en 78 tipos de estructuras, así como evaluaciones de los tiempos estimados para restablecer los servicios, interrumpidos por los terremotos, al nivel de la capacidad anterior del sismo. En cuanto al informe ATC–25 titulado “Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Conterminous United States” forma parte de un proyecto con el objetivo de obtener un mejor conocimiento del impacto de la interrupción de las líneas vitales durante y por causa de los terremotos y ayudar a la identificación y priorización de las medidas y estrategias para disminuir el riesgo sísmico.
- ✓ El Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado (OEA, 1993). Este manual hace una introducción a la planificación para el desarrollo integrado y el manejo de los peligros naturales,

mostrando cómo el impacto de los peligros naturales se puede reducir, además se describen las técnicas que se usan para la evaluación del peligro, incluyendo los sistemas de información geográfica, percepción remota y técnicas especiales de cartografía. Finalmente, muestra nuevos enfoques para la evaluación y mitigación en el contexto de la planificación para el desarrollo integrado.

- ✓ Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud (OPS/OMS, 1999). Este documento trata específicamente la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los hospitales y de metodologías para la mitigación del riesgo. Además, hace referencia a las medidas que se deben tomar para la mitigación, poniendo especial énfasis en los requisitos necesarios para que los establecimientos puedan mantener su función durante y después de un evento.

Cabe mencionar que la región amazónica, específicamente Chachapoyas no cuenta con un estudio de riesgo sísmico, en conversación con representantes de la Municipalidad de Chachapoyas, nos comentaron que en Chachapoyas solamente se hacen consultorías de riesgo, mas no estudios completos.

En general la importancia del estudio de riesgo sísmico, es poder reducir los daños causados por los terremotos debido a la falla de las estructuras. Los estudios tratan de la peligrosidad sísmica como un problema difícil de predecir y aún más de reducir, sin embargo, tratan de aclarar los conceptos básicos de los terremotos y de las medidas que se tienen que tomar para hacer frente a ellos. En cuanto a la evaluación de la vulnerabilidad, en general, todos los trabajos proponen metodologías simplificadas, basadas en índices de vulnerabilidad o en la clasificación de las estructuras en grupos predeterminados.

2.7. Estimación del riesgo sísmico:

La Estimación del Riesgo de acuerdo a la ley N° 29664 del SINAGERD, indica que es el conjunto de acciones y procedimientos que se realizan en un determinado centro poblado o área geográfica, a fin de levantar información sobre la identificación de los peligros naturales y/o tecnológicos y el análisis de las condiciones de vulnerabilidad, para determinar o calcular el riesgo esperado (probabilidades de daños: pérdidas de vida e infraestructura).

Complementariamente, como producto de dicho proceso, recomendar las medidas de prevención (de carácter estructural y no estructural) adecuadas, con la finalidad de mitigar o reducir los efectos de los desastres, ante la ocurrencia de un peligro o peligros previamente identificados.

Se estima el riesgo antes de que ocurra el desastre. En este caso se plantea un peligro hipotético basado principalmente, en su periodo de recurrencia.

En tal sentido, sólo se puede hablar de riesgo (R) cuando el correspondiente escenario se ha evaluado en función del peligro o amenaza (P) y la vulnerabilidad (V), que puede expresarse en forma probabilística, a través de la ecuación (INDECI, 2001):

$$R = P \times V$$

Como se estudió anteriormente, el cálculo del riesgo sísmico depende tanto de la peligrosidad sísmica del sitio como de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras. Evidentemente se puede observar que la peligrosidad sísmica no se puede modificar ya que es un factor que depende de la naturaleza. Sin embargo, sí se puede decidir edificar las estructuras en zonas lo suficientemente alejadas de las fallas, de rellenos, de zonas sismogénicas en general y de lugares de posibles asentamientos, deslizamientos, avalanchas o de un alto potencial de licuefacción y, de ser necesario, se estudiaría la posibilidad de utilizar técnicas de mejoramiento de las condiciones del suelo, siempre buscando disminuir la posible amplificación de la acción del terremoto.

2.8. La autoconstrucción:

Se entiende por autoconstrucción, en sentido estricto, las formas de edificación que se realizan mediante la inversión directa de trabajo por los propios usuarios de la vivienda. La autoconstrucción puede implicar el apoyo de parientes o amigos; en general se caracteriza por el empleo de fuerza de trabajo no calificada. Bajo estas condiciones sólo es posible aplicar un nivel técnico elemental, por lo regular de índole artesanal. En el medio rural donde no se paga renta de suelo, y se dispone de materiales locales que sólo es necesario habilitar, es donde esta forma de construcción se define con mayor nitidez. Sin embargo, se da también en el medio urbano, sobre todo en la edificación de viviendas provisionales, aunque ya dentro de condicionantes económicas más estrictas que reducen el control del usuario sobre los insumos.

La autoconstrucción, principalmente la urbana, suele apoyarse con algún tipo de trabajo especializado que contrata el usuario; sin embargo, es necesario señalar que esta forma de construcción genera poco empleo directo y significa una sobrecarga de trabajo no remunerado para los participantes y, en consecuencia, un mayor costo social. La falta de recursos obliga al usuario a adoptar esta forma de construcción como alternativa para acceder a un techo". Las políticas relacionadas con la vivienda deben tener en cuenta este

hecho y la necesidad de dar pasos que permitan superar las causas estructurales que lo originan (Sahop, 2005).

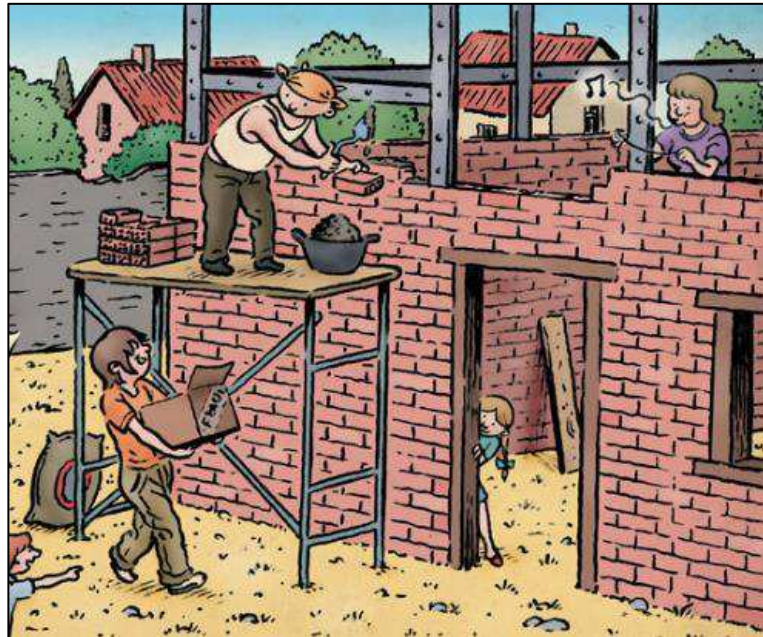


Figura N° 17: Caricatura de la autoconstrucción (Sahop, 2005)

En la década del cincuenta el Perú incursionó en la experiencia de desarrollar y ejecutar proyectos orientados a reducir el déficit de viviendas. Esta medida fue tomada en similitud a todos los países del continente. El sector vivienda, a través de instituciones, como la Corporación y el Instituto de la Vivienda planificaron proyectos de vivienda mediante dos sistemas: “Las licitaciones públicas para la habilitación urbana y construcciones masivas” y “la autoconstrucción asistida para programas de vivienda en lotes con servicios”.

En la década del setenta al ochenta, cuando la población urbana se multiplica y los problemas de vivienda se agudizan, la falta de asistencia técnica, promoción y financiamiento, hace que el proceso de construcción de vivienda sea “informal”, es decir, el sistema de autoconstrucción, al no tener asesoría técnica, adquiere una dinámica propia que supera todas las barreras formales (Vega, 1992).

El Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción advirtió que el 50% de estas construcciones han sido realizadas sin planos y con maestros de obras que no están capacitados para esta labor.

La autoconstrucción informal representa el 60% de las viviendas que hay en el país y que equivale a 3.6% del PBI, o US\$ 2,000 millones, reveló el gerente general del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO).

Según el viceministro de Vivienda y Urbanismo, la autoconstrucción es la respuesta de la población de menores recursos ante la ausencia de una política de vivienda del Estado. El punto negativo, añade, es que trae el incumplimiento de las normas de seguridad y la utilización de áreas de alto riesgo (EL COMERCIO, 2010). Durante el boom de la construcción (década de 1990) se generó también el auge de la autoconstrucción y recomendó dirigirla a fin de que no sea un frente de vulnerabilidad y llevarla hacia el lado formal. La autoconstrucción no se acabará de un día para otro, pero sí se puede dar los criterios técnicos mínimos a fin de que la vivienda autoconstruida no sea vulnerable, afirmó.

La autoconstrucción de la gran mayoría de viviendas siguen las siguientes etapas (Flores, 2002):

- ✓ **Ocupación, lotización y habitación en viviendas provisionales.** La nivelación es generalmente realizada por la familia ocupante del terreno y sólo en lo referente al “tizado” del lote (trazado del terreno) se demanda la asistencia de alguna persona conocedora de esta técnica. Luego los dueños habitan el lote ya nivelado en “chozas”.
- ✓ **Construcción de la cimentación y armado de columnas.** Esta etapa se inicia con la excavación de zanjas para la cimentación, actividad que no es técnicamente muy compleja, pero requiere de un mayor grado de precisión con respecto al nivelado. La principal labor es cavar, según “el tizado” previo, hasta una profundidad que parezca adecuada a los dueños. En esta etapa se requiere especialistas, sobre todo para lo referente al armado de columnas. El llenado de las zanjas se hace generalmente con concreto ciclópeo, aunque algunos dueños utilizan concreto armado. A veces los pobladores construyen algunas paredes.
- ✓ **Construcción de muros y llenado de columnas.** Se inicia con la construcción del cerco perimétrico del terreno. Esta etapa requiere un mayor conocimiento técnico que las anteriores. Se tiene que nivelar el asentado de los ladrillos en los muros, preparar mortero, preparar concreto simple para las columnas y armar encofrados. Por lo general, se contrata a un albañil o maestro de obra para realizar este trabajo. Algunas veces, se llenan vigas soleras en sentido paralelo a la calle. Luego la vivienda tendrá como techo una cobertura flexible del tipo provisional, que puede ser de esteras, calaminas o caña chancada con torta de barro.
- ✓ **Construcción del techo.** Esta etapa se caracteriza por requerir de la mayor inversión económica en todo el proceso de construcción de la vivienda. Se requiere gran cantidad de dinero para adquirir los materiales para el concreto, el acero de refuerzo y

para la contratación de personal para levantar el encofrado y vaciar la mezcla. Es por esta razón que para llegar a esta etapa pasa mucho tiempo desde que se termina la anterior etapa, llegando incluso a superar los 10 años. En algunos casos se vacía el techo por etapas, que inician en la fachada y van hacia la parte posterior de la vivienda.

- ✓ **Construcción de muros en el segundo piso.** Esta etapa se vuelve repetitivo los trabajos, iniciando con la construcción de los muros del segundo piso para luego hacer el llenado de las columnas y posteriormente el llenado de la losa de entrepiso o hacer el armado del armazón.

IV. MATERIAL Y MÉTODOS:

1. ÁREA DE ESTUDIO:

1.1. A nivel regional:

La región de Amazonas, está ubicada en la parte nor-oriental del Perú, entre la cordillera andina y la llanura amazónica. Limita al norte con la república del Ecuador, al sur con las regiones de La Libertad y San Martín, al este con las regiones de Loreto y San Martín, al oeste con la república de Ecuador, y la región de Cajamarca y al sur, con la región San Martín.



Figura N° 18: Mapa de la región Amazonas (CNIC, 1999)

La región abarca una superficie de 39,249.13 km², que representa el 3.5% del territorio nacional, sus coordenadas están entre el rango de 2°59'04.6"- 7°03'42.3" latitud sur, y de 77°00'56.5" - 78°42' 46.1" longitud oeste, con una población estimada en 375,993 habitantes. Su capital es la ciudad de Chachapoyas.

1.2. A nivel provincial:

La provincia de Chachapoyas, es una de las siete que conforman la Región Amazonas, fue creada mediante Ley del 21 de noviembre de 1832, durante el gobierno del Presidente Agustín Gamarra, la capital de esta provincia es la ciudad de Chachapoyas.

La ciudad de Chachapoyas, limita al norte con las provincias de Luya y Bongará, al este con la región San Martín y la provincia de Rodríguez de Mendoza, al sur con la región San Martín, y al oeste con la región de Cajamarca. (Ver figura N° 19)

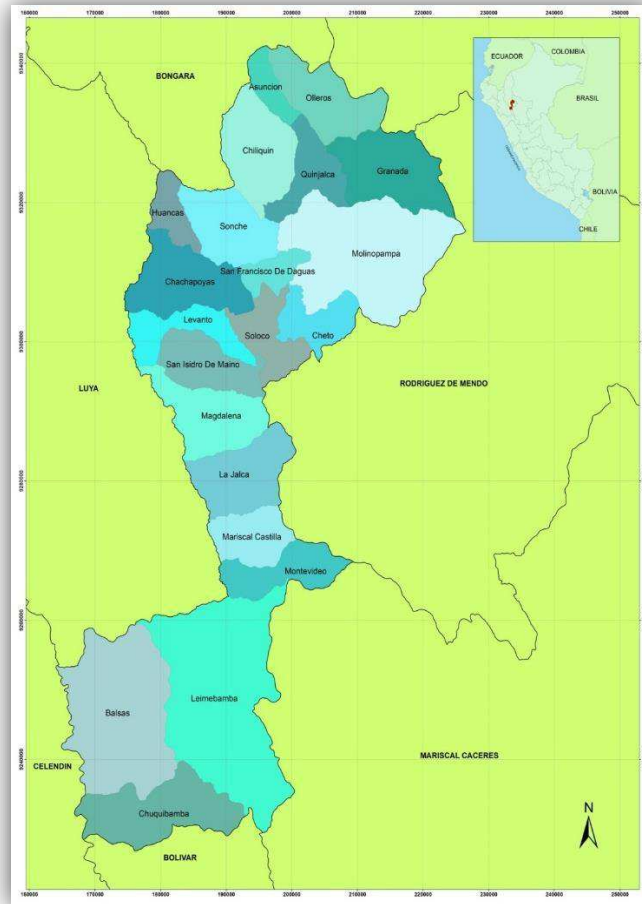


Figura N° 19: Mapa de la provincia de Chachapoyas (CNIC, 1999)

1.3. A nivel distrital:

El distrito de Chachapoyas está ubicado en la parte Nor Oriental de la selva peruana, cuya ubicación geográfica es la siguiente:

Coordenadas geográficas:

Longitud Sur: 77°60'23" y Latitud Oeste: 6° 21'

UTM:

Norte: 9311416- E: 0182222 Y N: 9311661-E: 0182067+

Altitud:

La altitud de la ciudad de Chachapoyas en un punto geo referenciado en la plaza de armas es 2,334.00 m.s.n.m., presentando a partir de cuya altura otros puntos extremos que van desde 2100 a 2600 m.s.n.m. en las partes bajas y altas respectivamente.

Extensión:

El distrito de Chachapoyas cuenta con una extensión de 12.35 km² y la del sector en estudio es de 10.37 Has.

Límites:

Por el Norte: Con los distritos de Huancas y Sonche.

Por el Sur: Con los distritos de Soloco y Levanto.

Por el Este: Con los distritos de Chiquin y San Francisco de Daguas.

Por el Oeste: Con el distrito de Luya y el río Utcubamba.

Población:

Según las estadísticas del INEI; el año 2007, la zona urbana de Chachapoyas contaba con 23,202 habitantes, correspondiendo el 53.44% a mujeres y 46.56% a hombres.

Según el censo del 2004, la población total de la provincia de Chachapoyas, alcanzo 53,869 habitantes.

Según el Plan Vial Departamental de la Región Amazonas, indica que la tasa intercensal de crecimiento de la ciudad de Chachapoyas entre los años 1981 a 1993, publicado el año 2005, fue de 0 - 2.00% nivel bajo. La localidad corresponde a la categoría zona Urbana; conocida como Zona de Reglamentación Especial (ZRE) y de zonificación Residencial de densidad Media (R-3, R-4) urbanizaciones.

1.4. A nivel sectorial:

El sector elegido para los estudios de riesgo y en esta etapa para los estudios Riesgo Sísmico corresponde al barrio Santa Isabel de la ciudad de Chachapoyas, Región Amazonas.

Accesibilidad:

Para llegar al barrio Santa Isabel, existe dos entradas, la primera se realiza partiendo desde la plaza de armas de la ciudad de Chachapoyas por el jr. Libertad, luego entramos al jr. Hermosura y luego entrar al jr. Sosiego a la altura de la cuadra 5 inicia el sector crítico estudiado; todo el tramo se encuentra en regular estado de conservación.

Para la segunda entrada, desde la plaza de armas seguimos la carretera principal rumbo a la ciudad de Chiclayo, ya en el AA. HH Virgen Asunta seguimos por la prolongación del jr. Tres Esquinas y llegamos al sector estudiado, el tramo se encuentra en buen estado.

Altitud.

El barrio Santa Isabel se encuentra a una altitud promedio de 2,365 m.s.n.m la medición se realizó con GPS (grado de precisión ± 3 m), se tomó la medida en la intersección de la calle Vía de Evitamiento y la calle de la segunda entrada.

Ubicación política:

El Barrio de Santa Isabel pertenece a la provincia y distrito de Chachapoyas, Región Amazonas.

Ubicación Geográfica:

Localidad: Barrio Santa Isabel se encuentran entre las coordenadas:

UTM:

18M 182964 m E y 9309475 m S

Coordenadas geográficas:

Longitud Sur: -77.8656° y Latitud Oeste: -6.2423° .

Extensión:

El sector en estudio tiene una extensión de 10.37 Has.

Vías de comunicación:

Las calles del barrio Santa Isabel, se encuentran a nivel de afirmado, en regular estado de conservación siendo transitable durante el verano, mientras que en invierno alguno de ellas se vuelve intransitable.

Servicios básicos:

Los servicios con los que cuenta el sector crítico, son los mismos que se han indicado al de la ciudad de Chachapoyas; por encontrarse cerca de la ciudad, y ser atendidos por la municipalidad provincial de Chachapoyas.

2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:

La elaboración de los estudios de estimación de riesgos, se realizarán en el barrio Sta. Isabel – Chachapoyas, donde evaluarán el peligro sísmico y la vulnerabilidad sísmica al que está expuesta.

El análisis probabilista del riesgo permite determinar las distribuciones de probabilidad de las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los activos expuestos, como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales, integrando de manera racional las incertidumbres que existen en las diferentes partes del proceso.

La pregunta básica que el análisis probabilista de riesgos debe contestar es: dado que se tiene un conjunto de activos expuestos a los efectos de una o varias amenazas naturales, ¿con qué frecuencia se presentarán pérdidas que superen un valor dado?

Puesto que la frecuencia de los eventos catastróficos es particularmente baja, queda descartada la posibilidad de contestar la pregunta anterior formulando modelos puramente empíricos del proceso de ocurrencia de estos eventos. Esto obliga a la construcción de modelos probabilistas como el que aquí se describe.

El procedimiento de cálculo probabilista consiste entonces, en forma resumida, en evaluar las pérdidas en el grupo de activos expuestos durante cada uno de los escenarios que colectivamente describen el peligro, y luego integrar probabilísticamente los resultados obtenidos utilizando como factores de peso las frecuencias de ocurrencia de cada escenario.

El análisis probabilista de riesgo involucra incertidumbres que no pueden despreciarse y deben propagarse a lo largo del proceso de cálculo. (Capra, 2010)

2.1. Población:

La población está formada por todas las edificaciones del barrio Santa Isabel en Chachapoyas.

2.2. Muestra:

La muestra serán las edificaciones autoconstruidas del barrio Santa Isabel en la ciudad de Chachapoyas.

3. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO:

3.1. Materiales, herramientas y/o equipos:

- ✓ Laptop.
- ✓ Software ArcMap versión 10.2.1
- ✓ Software Google Earth Pro versión 7.1.
- ✓ QGIS Browser versión 2.18.6.
- ✓ Software Excel versión 16.
- ✓ Software Surfer Pro versión 13.
- ✓ Software CAD - Earth versión 17.
- ✓ Software AutoCAD versión 18.
- ✓ Software Global Mapper versión 18.
- ✓ Crisis 2007 versión 4.1.

- ✓ Software SASPlanet 16.7.

3.2. Metodología:

En el caso de la metodología probabilista, el proceso se puede resumir en 4 pasos:

a. Elaboración del catálogo sísmico:

Una vez que se ha definido el área de influencia, se procede a recopilar la información de todos los eventos sísmicos que han ocurrido en dicha área (corresponde aproximadamente a un radio de 400 km). La recopilación de la información sísmica de esta zona se realizará utilizando las bibliografías de estudios anteriores sobre los sismos más importantes ocurridos en el Perú. Debido a que los eventos registrados se encuentran en diversas escalas, se procederá a homologar las escalas de magnitud. Llevando todos los eventos a escala Ms (magnitud de ondas superficiales), se seleccionarán sólo aquellos que posean un valor mayor o igual a 4.5. Con los datos recopilados, se procede a la elaboración del Catálogo Sísmico en función de la longitud, latitud, magnitud, profundidad focal, etc. De esta forma se tendrá para el estudio una recopilación de los sismos históricos (a partir de 1900 a 2017).

b. Definición de fuentes sismogénicas:

La información obtenida y plasmada en el Catálogo Sísmico se clasificará en función de las fuentes sismogénicas existentes. Para ello, los eventos sísmicos se asociarán a las fuentes en función de la ubicación geográfica del epicentro y las profundidades focales, según los rangos establecidos y considerados como límites usuales, privilegiando la ubicación geográfica del epicentro por sobre la profundidad. De las 4 fuentes sismogénicas principales: Outer-rise, Interplaca, Intraplaca de Profundidad Intermedia y Cortical.

c. Leyes de atenuación:

Se crearán bases de datos con intensidades y aceleraciones. Con estos datos, se formularán leyes de atenuación para la ciudad de Chachapoyas en función de las fuentes sismogénicas. En aquellas sismogénesis que no contengan datos que nos permitan elaborar leyes de atenuación, se trabajará con las leyes desarrolladas por otros autores que resulten más apropiadas para la evaluación.

d. Cálculo de la peligrosidad sísmica:

Para concluir, la evaluación del peligro sísmico se realizará utilizando la hipótesis de que los eventos sísmicos son independientes entre sí, es decir, se adopta una distribución de Poisson. Para la aplicación de la metodología probabilista se utilizará el programa computacional CRISIS 2007.

Al final se obtendrán mapas probabilísticos de peligro sísmico (en función de aceleraciones), para diferentes períodos de retorno, y que se traducen en una zonificación del peligro sísmico. Además, con el post-procesamiento de los resultados obtenidos se desarrollan curvas de periodo de retorno y curvas de probabilidad de excedencia.

3.2.1. Elaboración del catálogo sísmico:

La delimitación del Área de Influencia corresponde a la zona cuya actividad sísmica pudiera afectar a un emplazamiento dado. Para la definición de esta área, se ubicó puntos formando un rectángulo y luego (ver figura N° 20), a partir de cada uno de sus vértices, se extendió sus coordenadas en 400 km en dirección Norte, Sur, Este y Oeste, esto con el objetivo de tener mayor cantidad de sismos para dicha área, considerando las correcciones de distancia por esfericidad de la Tierra de acuerdo a la teoría propuesta por Chinaea (2002). Se genera así el Área de Influencia limitada por los vértices P1, P2, P3 y P4 presentan en figura N° 21.



Figura N° 20: Zona de estudio, barrio Santa Isabel - Chachapoyas (elaboración propia)

a. Recopilación de datos sísmicos:

Para la evaluación estudio de peligro sísmico, se requiere preparar un Catálogo de Sismos que contenga datos de sismos históricos (intensidades) y datos sísmicos instrumentales (aceleraciones).

Para el presente estudio se trabajó con ambos sismos, además con sismos con hipocentros en la parte norte del Perú incluyendo parte de Ecuador y parte del Océano Pacífico.



Figura N° 21: Área de influencia (elaboración propia)

Para la elaboración del Catálogo Sísmico de la Región Norte del país, consistió en la recopilación de diferentes fuentes bibliográficas sobre todo de Silgado (2003), la selección no es un proceso automatizado que sólo requiera exportar los registros de las bases de datos, por el contrario, se hace necesario establecer criterios para la selección de eventos entre una base y otra, eliminar eventos repetitivos y analizar si los datos proporcionados son confiables, por ejemplo, en las profundidades reportadas en función de la localización geográfica y la correspondiente sismogénesis. Por ello, para la confección del Catálogo Sísmico se adoptaron los siguientes criterios:

- ✓ Se recogen de las bases de datos sólo aquellos eventos que posean Magnitud mayor o igual a 4.5, criterio considerado como relevante para el estudio de la Ingeniería, medido en las escalas Ms, Mb, Mw o Ml.

- ✓ Se da mayor importancia a los eventos registrados por el Instituto Geofísico del Perú por sobre las demás bases, pues, el IGP contiene la información reportada de carácter nacional y que proviene de numerosos trabajos a nivel nacional que han precisado los datos reportados, lo cual hace más confiable la información adquirida.
- ✓ Se trabajará con sismos con epicentros menores a 400 km, medidos con la ecuación de China (2002), desde la zona de estudio, Chachapoyas – Barrio Santa Isabel, mientras que los demás serán eliminados de la base de datos.

Además, para cumplir con los requerimientos de una distribución uniforme de Poisson, se realizó la eliminación de algunos eventos sísmicos que se repetían, para esta depuración se utilizó algoritmos desarrollados en el Proyecto Piloto “SEISMIC HAZARD ASSESSMENT IN THE NORTH ANDES” (GSHAP), basado en la relación de Maeda (1996).

Los algoritmos utilizados para la depuración del Catálogo Sísmico fueron:

- Distancia: $L \leq 10^{(0.5Mm-1.8)}$
- Tiempo: $t \leq 10^{\frac{0.17+0.85(Mm-4.00)}{1.3}} - 0.3$
- Magnitud: $Ma = Mm - 1.0$

Donde L, t, Mm y Ma representan la distancia epicentral respecto al evento principal, el tiempo en días respecto a la ocurrencia del sismo principal.

De la información recopilada de las diferentes bibliografías y considerando los criterios mencionados, se obtuvieron 856 sismos para el Área de Influencia que corresponden a diferentes años.

Geográficamente, los eventos sísmicos recopilados se distribuyen tal como se indica en figura N° 22. En dicha imagen se aprecian algunos sismos que sobrepasan el límite del Área de Influencia definida.

Se consideraron estos eventos en el Catálogo Sísmico pues corresponden a terremotos importantes ($M_s > 7$) y tuvieron intensidades percibidas en Chachapoyas. Por ejemplo, el sismo de Ica el 2007 fue el más importante en los últimos años.

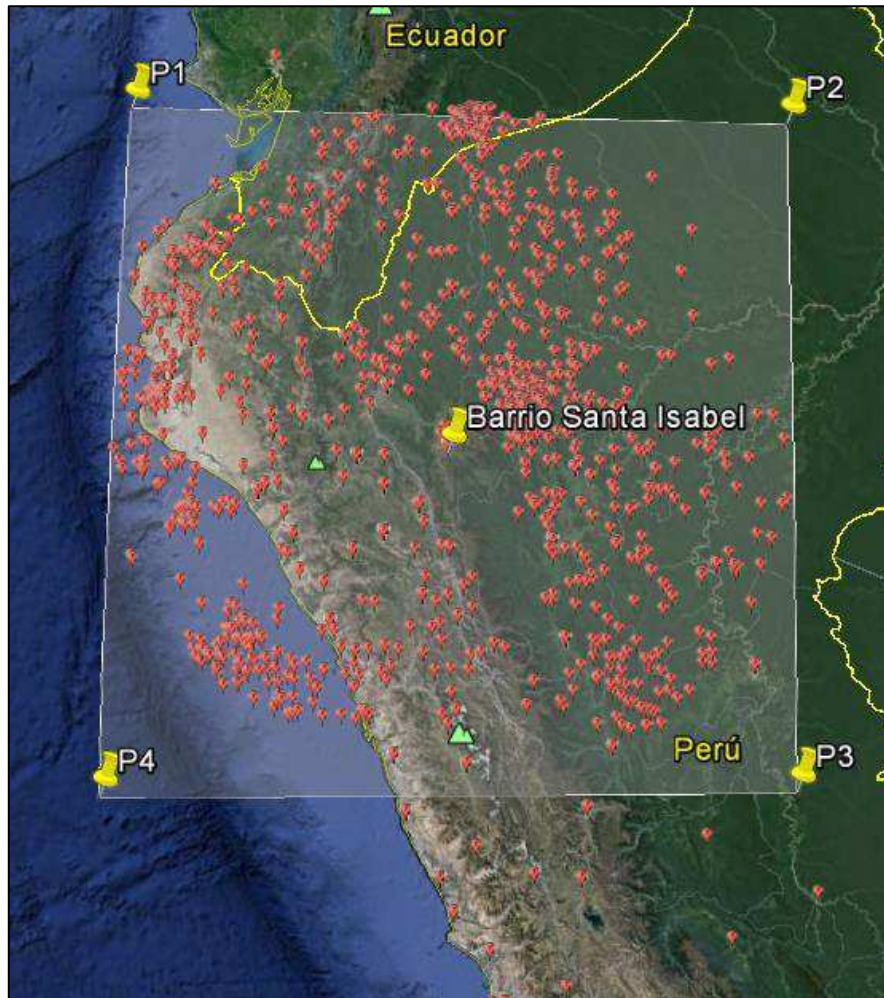


Figura N° 22: Distribución geográfica de los sismos (elaboración propia)

b. Correlación entre magnitudes:

Para la evaluación del peligro sísmico se suele hacer en función de una única medida de magnitud del evento sísmico, sin embargo, las escalas encontradas en los catálogos sísmicos para medir el tamaño de los sismos son diferentes.

Se eligió la magnitud momento M_s (magnitud de ondas de superficie) lo cual implica realizar un proceso de homologación de escalas para convertir las demás a M_s propuesta por Castillo y Alva (1993). Este procedimiento se realiza recopilando todos los eventos que posean más de un registro de magnitud, de tal forma de agruparlos en pares de escalas y, a través de un proceso de regresión lineal, se determinará la relación existente entre cada una de las combinaciones de pares de escalas posibles de manera de realizar el proceso de conversión con aquellas relaciones que presenten mejor factor de correlación R^2 , es decir, aquellas que presenten menos dispersión en los datos con respecto a la línea de tendencia que los representa.

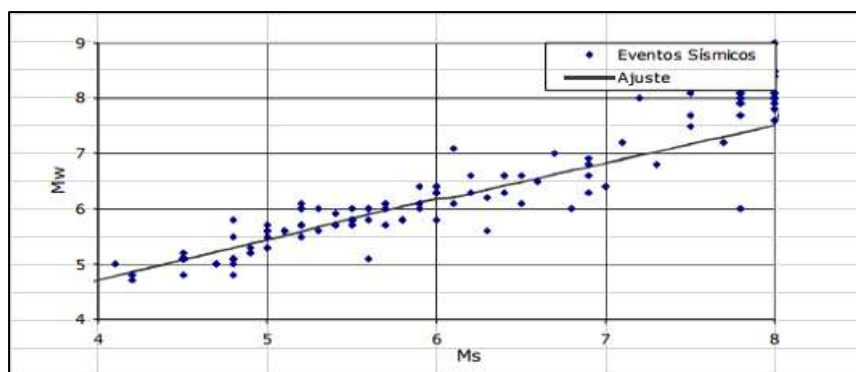


Figura N° 23: Homologación entre M_w y M_s (elaboración propia)

De lo anterior se puede encontrar una relación y se complementará con las propuestas por Bolaños y Monroy (2004) y Castillo y Alva (1993), las relaciones son:

$$M_s = 2.5M_b - 8.25$$

$$M_s = 1.35M_w - 2.35 \text{ siempre que } M_s \leq 6$$

$$M_s = 1.46M_w - 2.99 \text{ siempre que } 6 < M_s < 8$$

$$M_s = 0.914M_w + 0.543 \text{ siempre que } M_s \geq 8$$

c. Clasificación de los sismos:

Luego de la recolección de eventos sísmicos y de homogenizar las escalas, se procederá a clasificar los sismos por fuentes sismogénicas. Cada una de ellas posee características particulares, afectando de manera diferente a las estructuras, por lo que para una evaluación de peligro sísmico es imprescindible considerar cada una de ellas en forma independiente (Leyton, 2010); para luego establecer relaciones de productividad de Gutenberg-Richter y leyes de atenuación para cada una de las fuentes sismogénicas, de manera de caracterizarlas adecuadamente y así, evaluar finalmente, su influencia en el Peligro Sísmico.

Se clasificará en función a su epicentro y de las profundidades focales, de acuerdo a lo expuesto anteriormente y validado por Gamarra (2009).

- ✓ **Sismos tipo Outer-rise:** Eventos sísmicos a distancias mayores a 85 km de la costa.
- ✓ **Sismos tipo Interplaca:** Sismos costeros, con profundidades focales menores a 60 Km.
- ✓ **Sismos tipo Intraplaca:** Eventos sísmicos con epicentros en el interior del continente y profundidades focales entre 30 y 200 Km.
- ✓ **Sismos tipo Cortical:** Eventos ocurridos en sectores cordilleranos o precordilleranos con profundidades focales menores o iguales a 30 Km

Outer – Rise:

De acuerdo a la clasificación cuenta con un total de 72 eventos sísmicos que cumplen con los criterios antes mencionados para esta sismogénesis.

La ubicación geográfica de estos eventos sísmicos se muestra en la figura N° 24.



Figura N° 24: Ubicación geográfica de los sismos tipo Outer - Rise (elaboración propia)

Interplaca:

Se cuenta con un total de 169 eventos que cumplen con lo mencionado de esta sismogénesis. La ubicación geográfica de estos eventos sísmico se muestra en la Figura N°

25.



Figura N° 25: Ubicación geográfica de los sismos tipo Interplaca (elaboración propia)

Intraplaca:

Se cuenta con 527 eventos sísmicos que cumplen con lo mencionado esta sismogénesis. La ubicación geográfica de estos eventos se muestra en la figura N° 26.



Figura N° 26: Ubicación geográfica de los sismos tipo Intraplaca (elaboración propia)

Cortical o superficial

Se cuenta con 88 eventos que cumplen con lo mencionado de esta sismogénesis. La ubicación geográfica de estos eventos se muestra en la figura N° 27.



Figura N° 27: Ubicación geográfica de los sismos tipo cortical (elaboración propia)

d. Magnitudes máximas:

Además de la elaboración del catálogo sísmico, se hace necesario establecer límites para las magnitudes máximas esperadas en función de los terremotos máximos históricos.

Teniendo clasificado cada evento por fuente sismogénica se hace más fácil determinar las magnitudes máximas (tabla N° 06), dichas magnitudes definirán los límites para análisis posteriores como completitud del Catálogo usando metodología Stepp y leyes de productividad de Gutenberg-Richter (Leyes de atenuación).

Figura N° 06: Magnitudes máximas

FUENTE SISMOGÉNICA	FECHA	MAGNITUD (Ms)
OUTER-RISE	15 de noviembre de 1962	5.89
INTERPLACA	20 de noviembre de 1960	8.11
INTRAPLACA	26 de setiembre de 2005 y 11 de abril de 2005	7.96
CORTICAL	05 de abril de 1991	7.38

FUENTE: Elaboración propia

3.2.2. Leyes de atenuación para la zona de estudio:

Las leyes de atenuación son expresiones matemáticas que relacionan la magnitud, posición relativa fuente-sitio y la intensidad (aceleración, velocidad, desplazamiento, etc.).

Con las leyes de atenuación se disminuye la amplitud de las ondas sísmicas debido a su transmisión a través del interior y por la superficie de la tierra, estas leyes corresponden a una relación empírica que determina como varía un parámetro, principalmente en función de la magnitud y la distancia, ajustando curvas a los datos de movimientos sísmicos ocurridos en distintos lugares dentro de la zona de estudio (Santibáñez, 2013).

La elección de la ley de atenuación constituye un paso muy importante en la determinación del peligro sísmico del lugar (Bolaños y Monroy, 2004).

a. Parámetros de estudio:

Para la estimación de leyes de atenuación se suele utilizar ciertos parámetros como:

- **Instrumentales:** son las que realizan con la utilización de instrumentos. Algunos de los parámetros empleados son la aceleración máxima horizontal y vertical, velocidad máxima, ordenadas espectrales.

- **Macrosísmicos:** Se relacionan con el daño que se produce en estructuras, el terreno y la manera en que las personas se han visto afectadas. Los reportes en este caso se basan en observaciones. La intensidad macrosísmica es la más utilizada

Debido a la limitada cantidad de registros de aceleraciones (para el caso del norte), es difícil desarrollar una relación de atenuación para estimar parámetros como la aceleración del suelo y ordenadas espectrales para los diferentes tipos de sismos en el Perú, por lo que en el presente estudio se trabaja con sismos ocurridos en Lima y centro del país.

Además, debido a que los datos estarían muy esparcidos, se presentarían valores de incertidumbre muy grandes en la extrapolación utilizada para desarrollar el modelo de atenuación.

Sin embargo, en estudios anteriores se elaboraron leyes de atenuación para el movimiento del suelo propuestas por Casaverde (1980), Huaco (1980) y Ruiz (1999). Estas relaciones lamentablemente no pudieron utilizarse en este trabajo debido a los escasos datos utilizados en su estimación y en la medida del tamaño del sismo en que están basadas.

b. Ley de atenuación para aceleración:

Youngs, Chiou, Silva y Humphrey (1997) desarrollaron relaciones de atenuación para zonas de subducción de sismos de interplaca e intraplaca usando datos de sismos registrados en Alaska, Chile, Cascadia, Japón, México, Perú y las Islas Salomón para distancias entre 10 y 500 km, teniendo en cuenta las características del sitio, clasificándolas en tres grupos: roca, suelo duro poco profundo y suelo profundo. Los terremotos de intraplaca son aquellos que ocurren precisamente en la superficie de contacto entre la placa oceánica de subducción y la placa continental. Los terremotos Intraplaca son aquellos que ocurren dentro de la placa oceánica que está subductándose por debajo de la placa continental (Ortiz, 2011).

✓ **Para roca:**

$$\ln(A) = 0.2418 + 1.414M - 2.552 \ln(R + 1.7818e^{0.554M}) + 0.00607H + 0.3846Z_T$$

✓ **Para suelo:**

$$\ln(A) = -0.6687 + 1.438M - 2.329 \ln(R - 1.097e^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643Z_t$$

Donde:

- A : Aceleración del suelo (g).
- M : Magnitud de momento (M_w).
- R : Distancia más cercana a la ruptura (km):
- H : Profundidad focal (km).

Zt : 0 para interplaca, 1 para intraplaca.

Saragoni (2004) realizó un estudio comparativo que consideró a los eventos separados por fuentes sismogénicas, quienes compararon los terremotos de subducción con los terremotos de subducción del Norte, Centro y Sur de América considerando las tipologías Interplaca e Intraplaca de Profundidad Intermedia. Para los sismos de tipo Interplaca, considerando un suelo clasificado como roca y suelo duro, se realiza una comparación entre las leyes de atenuación propuestas por Saragoni y Ruiz (2005), Atkinson y Boore (2003) y Youngs (1997). Concluyó que la fórmula propuesta por Youngs (1997), entrega valores hasta un 50 % menores que los valores esperados.

Lo mismo ocurrió al comparar sismos de tipo Intraplaca de Profundidad Intermedia, bajo las mismas condiciones indicadas para el caso Interplaca y empleando las formulaciones de los mismos autores. Se puede apreciar que tanto las fórmulas de Youngs (1997) como Atkinson y Boore (2003), subestiman los valores de aceleración máxima propuesto para una magnitud de diseño $M=7,9$ entregando incluso valores del orden de 2.5 veces menores.

c. Consideraciones:

Para el desarrollo de las leyes de atenuación, de acuerdo a las comparaciones realizadas. Se tendrá en consideración:

- ✓ No se debe mezclar información de diferentes zonas sísmicas, es decir, el estudio debe realizarse diferenciando las distintas regiones sismogénicas.
- ✓ Se deben clasificar los eventos sísmicos de acuerdo a las fuentes sismogénicas características de la zona en estudio.

Se deben considerar las características geológicas y topográficas de los emplazamientos que son objeto del estudio.

d. Elaboración de la ley de atenuación:

La expresión general para toda ley de atenuación es la siguiente:

$$\ln(y) = C_1 + C_2M + C_3 \log(r + C_4) + C_5r$$

Donde:

Y : Parámetro de estudio (aceleración o intensidad).

C_1 : Coeficiente independiente de la frecuencia, que sirve de ajuste de la ecuación.

- C_2 : Término que cuantifica la dependencia de la magnitud del sismo respecto a la amplitud del movimiento esperado.
- C_3 : Es el término que representa el fenómeno de la expansión geométrica.
- C_4 : Valor relacionado con las profundidades.
- C_5 : Coeficiente que representa la atenuación inelástica (Intrínseca y Extrínseca conjuntamente)

Cabe mencionar que el último término que representa la atenuación inelástica, suele eliminarse debido a la falta de suficientes datos. Adicionalmente, se puede considerar un coeficiente más (C_6) que hace referencia a los efectos de sitio, es decir, se debe a las características del tipo de suelo.

En este estudio, no se empleará el coeficiente C_5 y, además, por tratarse esta memoria de una evaluación de peligro sísmico uniforme, no se contempla el uso del coeficiente adicional C_6 . Sin embargo, para las leyes de atenuación en función de la intensidad, se añadirá un término que representa la profundidad focal del evento (C_7H). De esta forma, nuestra ecuación (1) será considerada:

✓ **Para la aceleración:**

$$\ln(a) = C_1 + C_2M + C_3 \log(r + C_4)$$

✓ **Para la intensidad:**

$$\ln(I) = C_1 + C_2M + C_3 \log(r + C_4) + C_7H$$

Donde:

- M : Magnitud (Ms).
- r : Distancia hipocentral desde el origen hasta la zona en estudio.
- C_4 : Coeficiente que se determinará promediando las profundidades focales por cada fuente sismogénica.

Para la determinación de los coeficientes C_1 , C_2 , C_3 , C_4 y C_7 de las ecuaciones anteriores, se formará sistemas de ecuaciones con 4 y 5 variables con los datos disponibles. Para este procedimiento, es importante mencionar que, aunque muchas leyes se expresan en forma exponencial, entonces para solucionar estas ecuaciones es necesario que las funciones sean del tipo lineal, es decir se debe trabajar la ecuación en su forma genérica tal como se

presentó. Para el desarrollo de estas ecuaciones se hará uso del programa Microsoft Mathematics ®, para agilizar los cálculos.

e. Formulación de la ley de atenuación para la aceleración:

Como se mencionaba anteriormente no existe registros de aceleraciones sísmicas para nuestra zona de estudio (barrio de Santa Isabel – Chachapoyas), en general en todo el país existe muy pocos registros, por lo que se dificulta elaborar una ley de atenuación.

Los terremotos ocurridos en Perú en los años 2001 y 2007, permitieron al Servicio Sismológico Nacional (SSN) del Instituto Geofísico del Perú (IGP) experimentar el colapso y saturación de las líneas telefónicas e internet, lo cual no permitió disponer de la información necesaria para el procesamiento de la data sísmica y emisión de los reportes en el menor tiempo posible.

Ante este problema, el IGP decide modernizar la Red Sísmica Nacional (RSN) y con el apoyo del Gobierno Peruano ejecuta el proyecto Red Sísmica Satelital para la Alerta Temprana de Tsunamis (REDSSAT), el cual permitió poner en operatividad en Julio del 2011, un sistema integrado compuesto por 7 estaciones sísmica de banda ancha con transmisión por satélite y algoritmos adecuados para la recepción de la señal, su análisis y procesamiento automático, previos a la emisión del reporte. A Julio del 2012 se cuenta con 15 estaciones sísmica de banda ancha con transmisión por satélite. La infraestructura que alberga a las estaciones de la REDSSAT fue construida en los departamentos de Moquegua (Toquepala), Arequipa (Yauca, Camana), Cusco (Cusco), Madre de Dios (Puerto Maldonado), Ica (Guadalupe), Junín (Huancayo), Ucayali (Pucallpa), Ancash (Huaylas), Loreto (Yurimaguas, Iquitos), Lambayeque (Portachuelo) y Piura (Chocan).

La mayoría de los acelerómetros se encuentran en la capital y Arequipa, por lo que para evaluar la aceleración del suelo en Santa Isabel se trabajara con datos registrados en Lima, para sismos como el de Pisco 2007.

La red acelerométrica del IGP está integrada por un total de 21 estaciones distribuidas en mayor número en la ciudad de Lima (7 estaciones). Estas estaciones registran la aceleración del movimiento del suelo producido por el sismo, el mismo que se caracteriza por su alto contenido de frecuencias, de ahí la importancia que esta información tiene para su aplicación en la ingeniería sísmica.

Tabla N° 07: Sismos con registros de aceleración

PISCO - ICA						
FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF. (km)	MAGNITU D	INTENSIDA D

15/08/2007	18:40:57	-13.441	-76.58	32.20	7.9 Ms	IX
PGA						
ESTACIÓN	LATITUD D	LONGITU D	DIST. HIP. (km)	COMP. Z	COMP. N-S	COMP. E-O
				cm/seg ²	cm/seg ²	cm/seg ²
CISMID	-12.014	-77.051	170.10	10.80	14.20	18.3
ANCÓN	-11.774	-77.172	199.08	27.80	54.70	58.40
LA MOLINA	-11.829	-77.016	188.50	14.20	21.20	25.30
ÑAÑA	-11.989	-76.819	166.85	21.6	18.7	22.10
SECHURA - PIURA						
FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF. (km)	MAGNITU D	INTENSIDA D
25/03/2014	23:51:00	-5.650	-81.120	28.00	6.2 Ms	VI
PGA						
ESTACIÓN	LATITUD D	LONGITU D	DIST. HIP. (km)	COMP. Z	COMP. N-S	COMP. E-O
				cm/seg ²	cm/seg ²	cm/seg ²
UNIVERSIDA D DE PIURA	-5.176	-80.638	95.60	21.90	19.40	24.50
CHIMBOTE	-9.085	-78.578	492.43	2.70	2.20	2.20
HUAYLAS	-8.867	-77.900	515.27	0.40	0.60	0.80
ANCÓN	-11.774	-77.172	819.06	0.20	0.20	0.20
CAÑETE - LIMA						
FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF. (km)	MAGNITU D	INTENSIDA D
25/11/2013	20:06:00	-12.770	-76.480	30.00	5.3 Ms	V
PGA						
ESTACIÓN	LATITUD D	LONGITU D	DIST. HIP. (km)	COMP. Z	COMP. N-S	COMP. E-O
				cm/seg ²	cm/seg ²	cm/seg ²
HUAYCÁN	-12.083	-76.767	109.29	64.00	93.00	133.00
CHA CLACAY O	-11.983	-76.768	110.14	65.00	154.00	127.00
ANCÓN	-11.774	-77.172	143.67	13.00	23.00	23.00
UNIVERSIDA D DE ICA	-13.415	-76.129	177.12	2.00	2.00	3.00
CALLAO - LIMA						
FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF. (km)	MAGNITU D	INTENSIDA D
18/06/2013	18:39:00	-11.980	-77.640	24.00	4.1 Ms	IV
PGA						
ESTACIÓN	LATITUD D	LONGITU D	DIST. HIP. (km)	COMP. Z	COMP. N-S	COMP. E-O
				cm/seg ²	cm/seg ²	cm/seg ²
ANCÓN	-11.774	-77.172	72.80	10.00	16.00	22.00
CHA CLACAY O	-11.983	-76.768	104.69	13.00	29.00	27.00
HUAYCÁN	-12.083	-76.767	98.39	13.00	20.00	22.00
ÑAÑA	-11.989	-76.819	96.60	4.00	8.00	7.00
CORACORA - AYACUCHO						

FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF. (km)	MAGNITUD	INTENSIDAD
24/08/2014	23:21:00	-14.700	-73.740	28.00	6.9 Ms	VI
PGA						
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	DIST. HIP. (km)	COMP. Z cm/seg ²	COMP. N-S cm/seg ²	COMP. E-O cm/seg ²
HUAYCÁN	-12.083	-76.767	458.89	5.80	9.90	11.30
CHACLACAYO	-11.983	-76.768	460.83	5.00	7.30	8.60
MAYORAZGO	-12.057	-76.940	466.67	1.40	4.00	4.10
UNIVERSIDAD DE ICA	-13.415	-76.129	249.58	7.90	11.40	11.50

FUENTE: Elaboración propia

Hay que tener en cuenta que los 8 eventos corresponden a la fuente sismogénica cortical y a modo de realizar una actualización preliminar, hasta que se disponga de más datos, se determinará una sola ley de atenuación

✓ **Aceleración máxima (A_{max}):**

$$A_{max} = \sqrt{(COMP.N - S)^2 + (COMP.E - O)^2}$$

✓ **Distancia hipocentral:** Es la distancia desde el hipocentro hasta cualquier punto de la superficie donde se registra el evento, es decir, los registros nos dan la profundidad focal y además el epicentro, entonces aplicando el teorema de Pitágoras se tiene:

$$Dist. Hip. = \sqrt{(Prof.)^2 + (Epic.)^2}$$

✓ **Escala de magnitud:** Todos los datos de magnitud se deben convertir a Ms (Magnitud de superficie).

✓ **Formulación de las ecuaciones:** Los datos registrados se reemplazan en la ecuación genérica, formado así un sistema de ecuaciones:

La ecuación quedaría como:

$$\ln(a) = 9.9574 + 0.1696M_s - 3.4514\log(R + 61.60)$$

Despejando la aceleración se obtendrá la ley de atenuación para nuestra zona en estudio.

$$a = \frac{e^{9.9574+0.1696M_s}}{(R + 28.44)^{1.4989}}$$

f. Formulación de la ley de atenuación para intensidad:

Para la elaboración de la base de datos de intensidades se utilizó el libro de Catálogo General de Isosistas para Sismos Peruanos (Tavera, Agüero y Fernández, 2016), además de eso se trabajó con registros del Catálogo de Intensidades (CERESIS, 1985) y adicionalmente con Historia de los Sismos más Notables en Perú (Silgado, 1978). Según la base de datos se recopiló 3 sismos de tipo Cortical, 8 eventos tipo Interplaca, 16 de Intraplaca de Profundidad Intermedia, de los cuales 5 se encuentran fuera del área de influencia y 2 intensidades para Outer-Rise.

La información para la fuente Cortical no permite generar ecuaciones, de igual manera para Outer Rise, ya que como mínimo se requiere 5 eventos, por lo que sólo se trabajará con los reportes de Intensidades para la fuente Interplaca e Intraplaca.

g. Validación de intensidades:

Al analizar nuestra base de datos recopilado para el área de influencia de y en particular, al graficar la variación de la intensidad con la distancia hipocentral se aprecia una buena representación de la atenuación de la intensidad (figura N° 28)

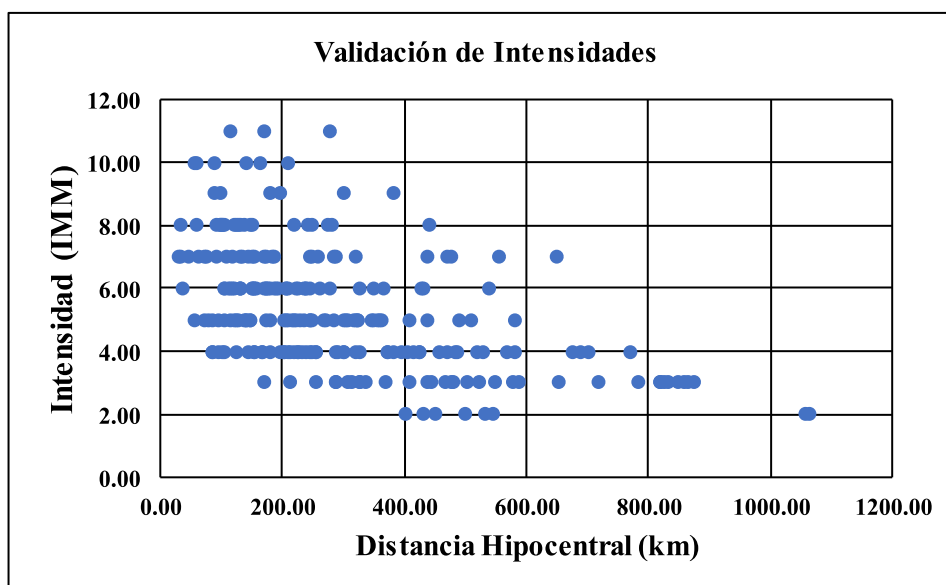


Figura N° 28: Validación de la Intensidad (elaboración propia)

De acuerdo a la definición de atenuación, ésta corresponde a la disminución de la amplitud de las ondas sísmicas, mientras la distancia hipocentral aumenta, debido a su transmisión a través del interior y por la superficie de la tierra. Es decir, en la figura anterior se presenta una tendencia de disminución de la intensidad a medida que aumenta la distancia hipocentral, por lo que nuestra base de datos está bien elaborada.

Ahora se reemplazará los datos en la ecuación genérica para la intensidad, del cual se formará las ecuaciones:

✓ **Para interplaca:**

$$\ln(I) = 0.6988 + 0.3446M_s - 0.7682 \log(R + 40.13) + 0.0034H$$

✓ **Para intraplaca:**

$$\ln(I) = 3.3696 + 0.2977M_s - 1.4712 \log(R + 40.13) + 0.0005H$$

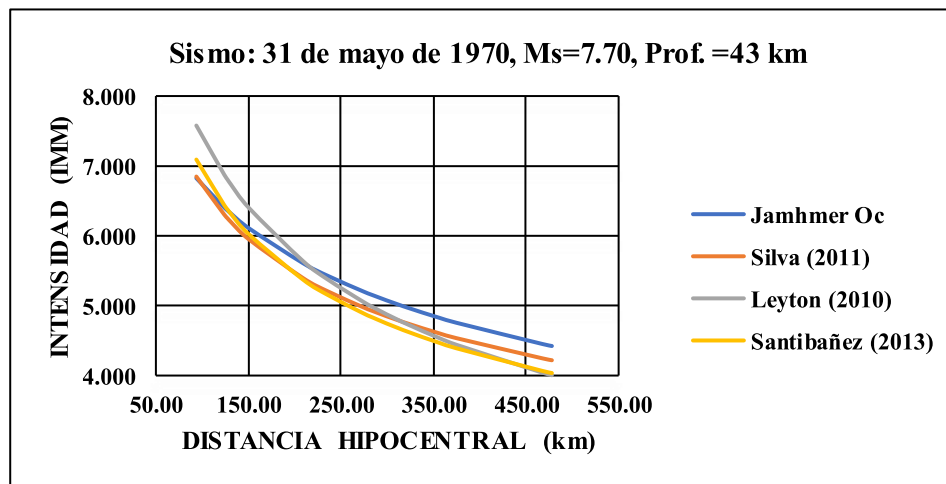


Figura N° 29: Comparación de curvas de atenuación para sismo de Interplaca (elaboración propia)

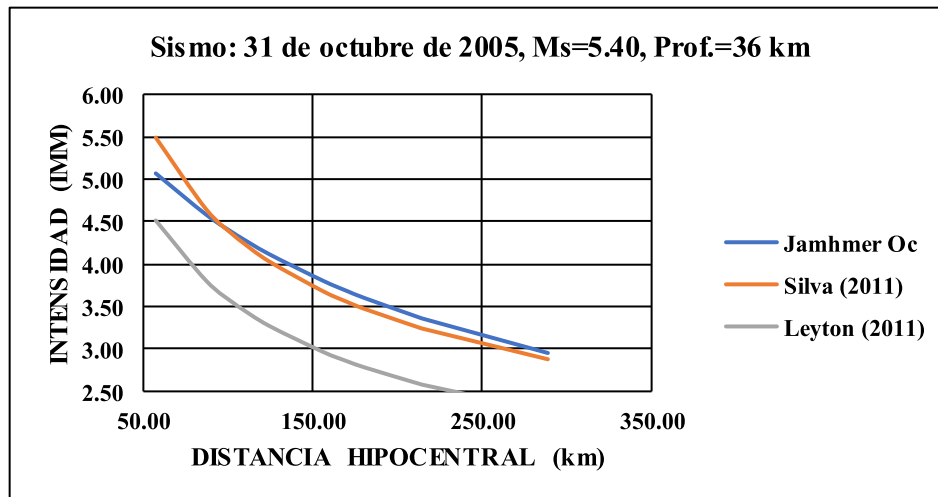


Figura N° 30: Comparación de curvas de atenuación para sismo de Intraplaca (elaboración propia)

3.2.3. Ajustes de las leyes de atenuación:

Si bien es cierto que ya encontramos las ecuaciones de atenuación para nuestra zona de estudio, estas requieren ciertos ajustes, por ejemplo, la desviación estándar, restricciones para ciertas magnitudes, etc.

Además, se realizará un análisis comparativo con otras leyes estudiadas para nuestro país y para luego ser extrapoladas, de ser el caso, a Chachapoyas, barrio Santa Isabel. Con ello, se definirán finalmente las curvas de atenuación más apropiadas para la Evaluación de Peligro Sísmico Uniforme.

a. Aceleración:

Para ajustar las formulas propuestas, Gamarra (2009) propone graficar las ecuaciones normalizados por su magnitud, es decir de cada una de las ecuaciones eliminar la magnitud. Esta eliminación se logra dividiendo la ecuación de la aceleración calculada entre ($e^{0.1696M^s}$), con este procedimiento se obtiene aceleraciones para diferentes magnitudes.

Graficando la curva de atenuación (figura N° 31) se puede notar que dicha curva no se ajusta del todo a los puntos (sismos con los que se generó dicha ecuación). Esto se debe a dos casos, puede ser que la base de datos creada no tiene una distribución uniforme, es decir, a mayor distancia se debe reducir la aceleración, por otro lado, puede ser por la poca cantidad de datos con la que se generó esta ley.

Sin embargo, esta es una primera aproximación a la ecuación final que representará al barrio Santa Isabel – Chachapoyas.

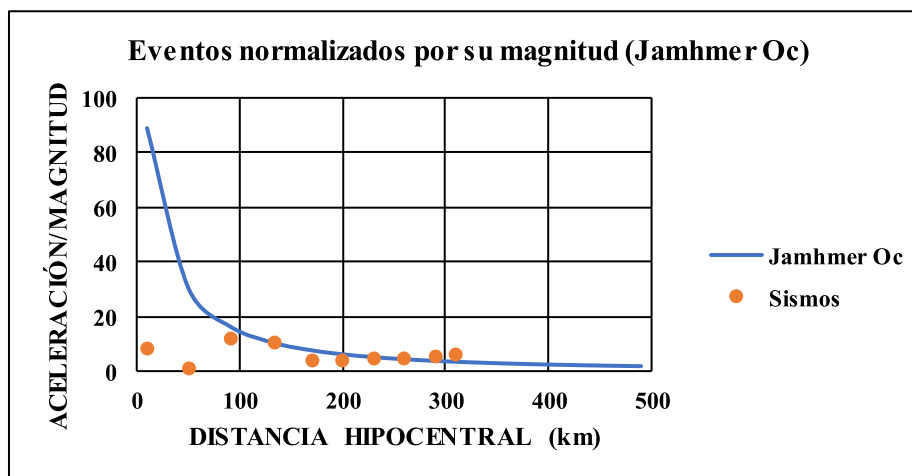


Figura N° 31: Curva de atenuación normalizada por su magnitud (elaboración propia)

De acuerdo a las leyes de atenuación presentado en el simposio internacional por el 25 aniversario de CISMID el 17 y 18 de agosto de 2012, una de las leyes de mayor aceptación en el país para sismos tipos corticales es la de Sadigh (1997). A continuación, se presenta la normalización por magnitud de dicha ley (figura N° 32).

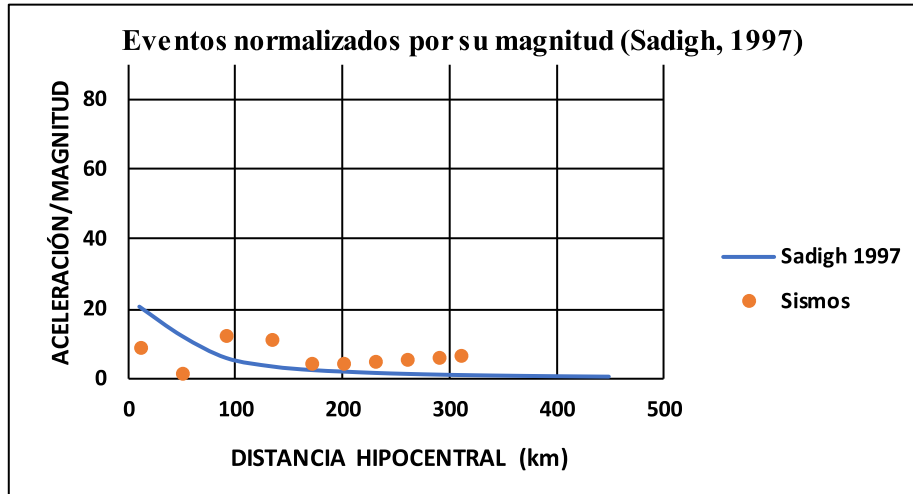


Figura N° 32: Curva de atenuación normalizada por su magnitud (elaboración propia)

De esta figura se puede observar que se ajusta de buena manera a los sismos de nuestra zona en estudio, esto se debe que, al dividir entre su magnitud, se obtiene un valor menor para la aceleración/magnitud. Entonces al comparar ambas leyes de atenuación, se observa que la ley calculada en este estudio no se ajusta del todo a los sismos para nuestra zona en estudio, esto debido a que nuestra base de datos se encuentra incompleta o simplemente porque no se consideró el tipo suelo (roca para mayores a 15 km), es decir otro coeficiente que dependa del tipo de suelo, además cabe mencionar que al momento de la formulación de las ecuación siempre nos queda un residuo, que en esta memoria no se consideró.

Al tener estas observaciones y verificando que no se ajusta a los sismos, se concluye que, para la aceleración de tipo cortical, en esta memoria se optará por trabajar con la ley de atenuación de Sadigh (1997).

$$\ln(y) = C_1 + C_2 M_s + C_3 (8 - M_s)^{2.5} + C_4 \ln(R + e^{(C_5 + C_6 M_s)}) + C_7 \ln(R + 2)$$

Donde:

y : Aceleración.

Ms : Magnitud de superficie.

R : Distancia hipocentral.

De la ecuación podemos determinar los coeficientes para distintos periodos:

Tabla N° 08: Relaciones de atenuación horizontal para sismos corticales con $M \leq 6.5$

Periodo (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0.07	0.1320	1.200	0.0072	-2.5536	1.5558	0.300	-0.0989
0.10	0.3300	1.200	0.0072	-2.5776	1.5558	0.300	-0.0492
0.20	0.1836	1.200	-0.0048	-2.4960	1.5558	0.300	0.0000
0.30	-0.0684	1.200	-0.0204	-2.4336	1.5558	0.300	0.0000
0.40	-0.3576	1.200	-0.0336	-2.3880	1.5558	0.300	0.0000
0.50	-0.7056	1.200	-0.0480	-2.3340	1.5558	0.300	0.0000
0.75	-1.4496	1.200	-0.0600	-2.2380	1.5558	0.300	0.0000
1.00	-2.0460	1.200	-0.0660	-2.1600	1.5558	0.300	0.0000
1.50	-2.8880	1.200	-0.0780	-2.0700	1.5558	0.300	0.0000
2.00	-3.5340	1.200	-0.0840	-2.0040	1.5558	0.300	0.0000
3.00	-4.4400	1.200	-0.0960	-1.9320	1.5558	0.300	0.0000

FUENTE: Sadigh, 1997

Tabla N° 09: Relaciones de atenuación horizontal para sismos corticales con $M > 6$.

Periodo (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0.07	-0.6480	1.320	0.0072	-2.5536	-0.5814	0.6288	-0.0984
0.10	-0.4500	1.320	0.0072	-2.5776	-0.5814	0.6288	-0.0492
0.20	-0.5964	1.320	-0.0048	-2.4960	-0.5814	0.6288	0.0000
0.30	-0.8484	1.320	-0.0204	-2.4336	-0.5814	0.6288	0.0000
0.40	-1.1376	1.320	-0.0336	-2.3880	-0.5814	0.6288	0.0000
0.50	-1.4856	1.320	-0.0480	-2.3340	-0.5814	0.6288	0.0000
0.75	-2.2296	1.320	-0.0600	-2.2380	-0.5814	0.6288	0.0000
1.00	-2.8260	1.320	-0.0660	-2.1600	-0.5814	0.6288	0.0000
1.50	-3.6684	1.320	-0.0780	-2.0700	-0.5814	0.6288	0.0000
2.00	-4.3140	1.320	-0.0840	-2.0040	-0.5814	0.6288	0.0000
3.00	-5.2200	1.320	-0.0960	-1.9320	-0.5814	0.6288	0.0000

FUENTE: Sadigh, 1997

Las desviaciones estándar del logaritmo natural de las ordenadas espectrales estimadas para cada periodo son:

Tabla N° 10: Desviación estándar

Periodo (s)	σ
0.07	1.40-0.14M; 0.39 para $M \geq 7.21$
0.10	1.41-0.14M; 0.40 para $M \geq 7.21$
0.20	1.43-0.14M; 0.42 para $M \geq 7.21$
0.30	1.45-0.14M; 0.44 para $M \geq 7.21$
0.40	1.48-0.14M; 0.47 para $M \geq 7.21$
0.50	1.50-0.14M; 0.49 para $M \geq 7.21$
0.75	1.52-0.14M; 0.51 para $M \geq 7.21$
≥ 1.00	1.53-0.14M; 0.52 para $M \geq 7.21$

FUENTE: Sadigh, 1997

b. Intensidad:

De igual manera que se trabajó con la aceleración, se grafica la ecuación de la intensidad normalizada por la magnitud.

✓ **Interplaca:**

En la gráfica de la curva de atenuación de Sismos tipo Interplaca normalizada por magnitud (figura N° 33), se puede apreciar que la curva se ajusta de muy buena manera a todos los datos de intensidad reportados para los eventos considerados en el análisis.

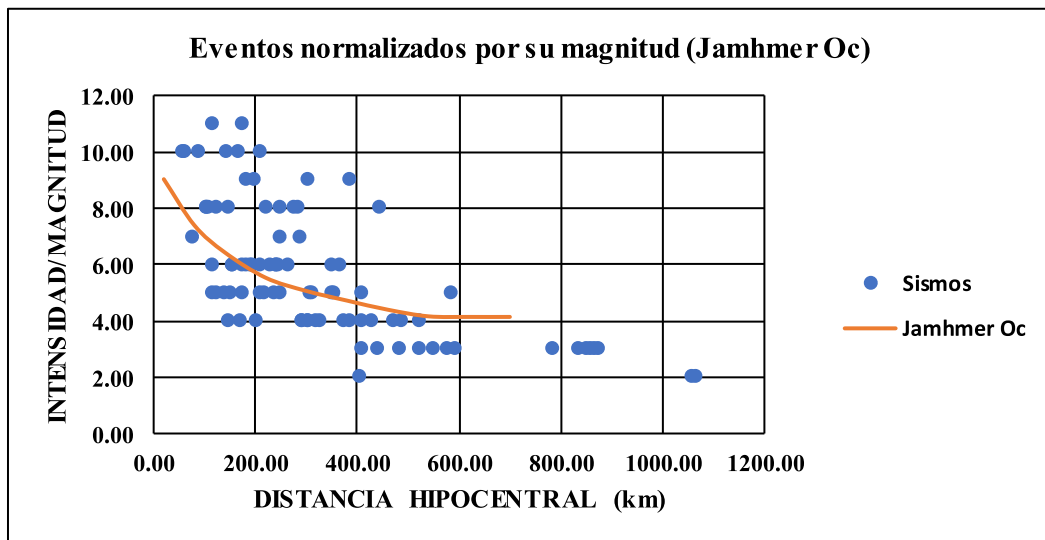


Figura N° 33: Curva de atenuación tipo interplaca normalizada por su magnitud (elaboración propia)

Ahora se graficará la ecuación de Youngs (1997), con la que se hará la comparación. Como se puede apreciar la curva de atenuación se ajusta muy bien a los eventos sísmicos para la zona de estudio.

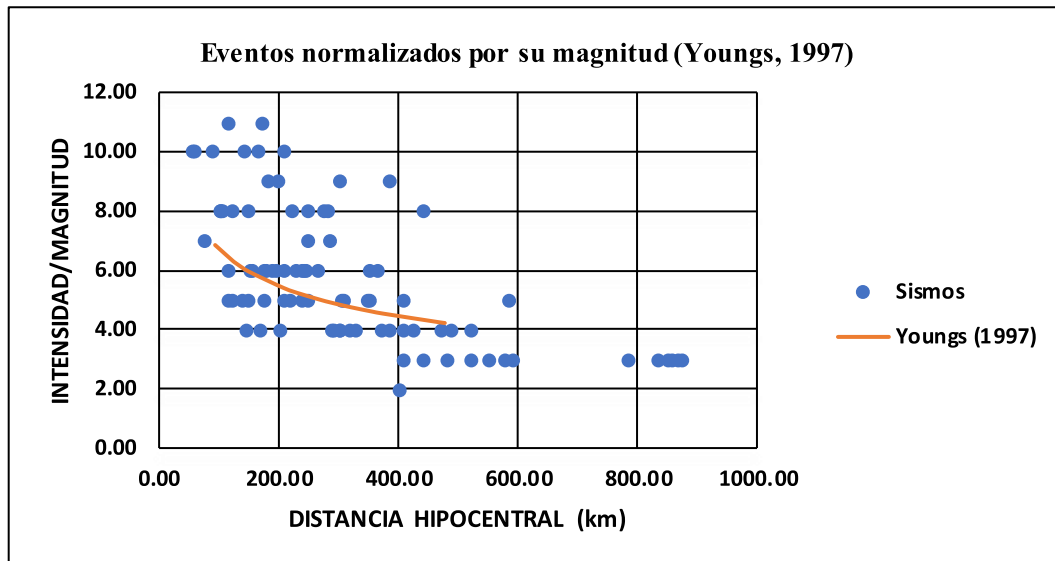


Figura N° 34: Curva de atenuación tipo interplaca normalizada por su magnitud (elaboración propia)

Al tener graficado ambas curvas de atenuación, se observa que ambas cumplen con las expectativas para esta investigación, ambas se ajustan a los sismos utilizada en nuestra base de datos.

En conclusión, para la intensidad para sismos tipos interplaca, se utilizará la ley de atenuación elaborada en esta memoria para los cálculos siguientes.

$$\ln(I) = 0.6988 + 0.3446M_s - 0.7682 \log(R + 40.13) + 0.0034H$$

Intraplaca:

En la gráfica de la curva de atenuación de Sismos tipo Intraplaca normalizada por magnitud (figura N° 35), se puede apreciar que la curva se ajusta, pero no de manera uniforme para todos los datos de intensidad reportados para los eventos considerados en el análisis.

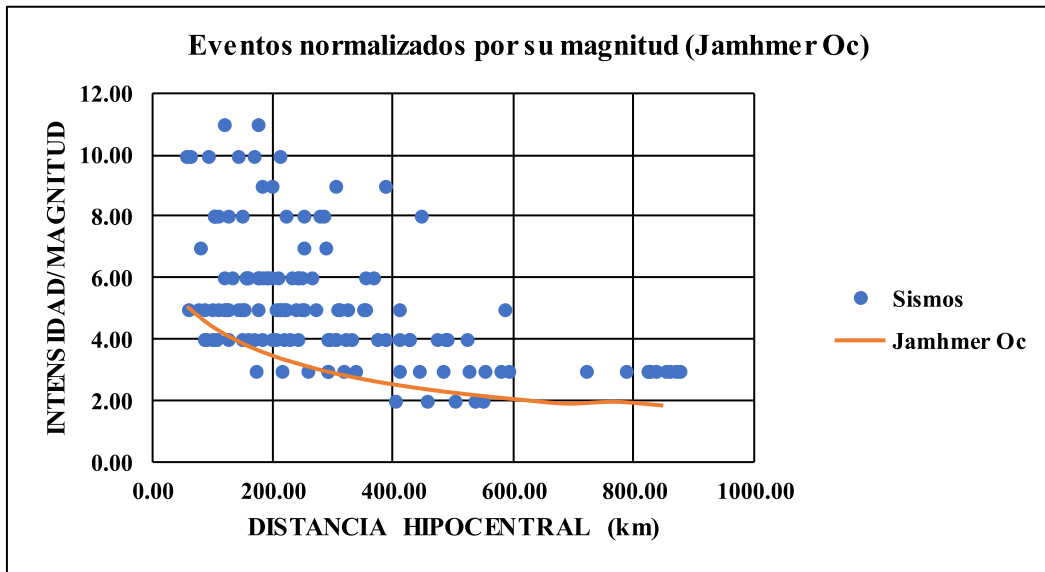


Figura N° 35: Curva de atenuación tipo intraplaca normalizada por su magnitud (elaboración propia)

En la siguiente figura N° 36 se observa que la curva de atenuación de Youngs (1997) se ajusta de mejor manera para los sismos de la zona en estudio.

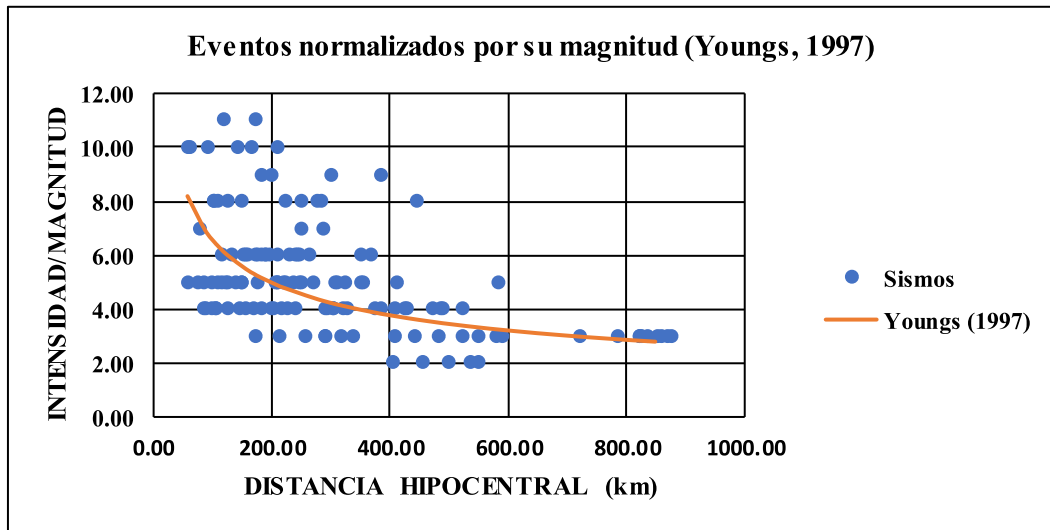


Figura N° 36: Curva de atenuación tipo intraplaca normalizada por su magnitud (elaboración propia)

En conclusión, para cálculos posteriores, se utilizará la ley de atenuación elaborada por Youngs (1997) ya que es la que mejor se ajusta para los eventos sísmicos de Chachapoyas – Barrio Santa Isabel.

$$\ln(I) = 0.2418 + 1.414M_s + C_1 + C_2(10 - M_s)^3 + C_3 \ln(R + 1.7818e^{0.554M_s}) + 0.00607H + 0.3846$$

Donde:

R : Distancia hipocentral (km).

H : Profundidad focal (km).

3.3. Procedimiento para la evaluación del peligro sísmico:

Para realizar la evaluación del peligro se debe contar con la siguiente información:

- ✓ Mapa departamental del Perú (extensión .shp).
- ✓ Coordenadas del lugar en estudio (extensión .asc)
- ✓ Fuentes sismogénicas (extensión .asc).
- ✓ Leyes de atenuación (extensión .atn)

Para dicha evaluación existen una diversidad de modelos computacionales y aplicaciones en software que permiten aplicar la teoría de una forma más sencilla. En este proyecto se utilizará el programa CRISIS 2007 (Ordaz, 2007). Se eligió este software debido a la sencilla aplicación de parámetros sísmicos a través de una interfaz gráfica que permite generar un modelo probabilístico de Poisson, es decir, se supone que los eventos son producidos de modo aleatorio e independiente.

La evaluación del Peligro Sísmico probabilista empleando la plataforma, requiere el ingreso de una serie de input que definen la región en estudio y los parámetros sísmicos que caracterizan la demanda sísmica asociada.

El procedimiento es el siguiente:

a. Ingreso del mapa geográfico:

Se carga el mapa de extensión shape, este mapa contiene las coordenadas geográficas que definen a la zona de estudio, Chachapoyas – barrio Santa Isabel. Luego, se ingresan las coordenadas de los sitios de interés para el cálculo del peligro sísmico a través de un archivo con extensión .asc, seguidamente se define una malla de sitios (figura N° 37) que represente toda la extensión de la zona de cálculo. De esta forma, cada punto de la malla se identifica con una longitud y latitud donde se calcularán posteriormente las tasas de excedencia. Los límites de esta malla deben ser ajustados a través de un polígono reductor que permite disminuir los puntos de cálculo que queden fuera de la región en estudio.

Hay que tener en cuenta que mientras la malla sea más densa podría permitir definiciones más detalladas de los resultados, pero esto conlleva a demorar mucho más cálculo computacional. Por ello, en esta investigación se configuró una malla con un incremento de 0,15 grados.

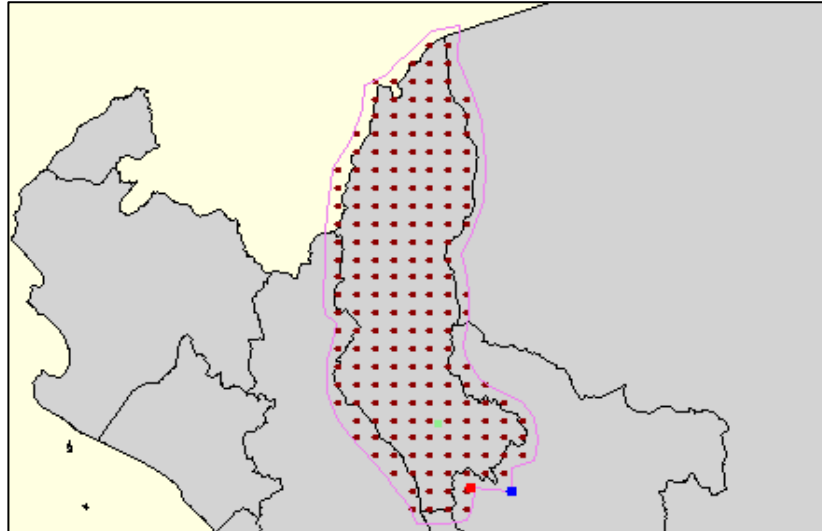


Figura N° 37: Definición de la malla de cálculo (elaboración propia)

Las fuentes son tipo área fueron descritas anteriormente y validada por Cornell (1968).

Para definir las fuentes sismogénicas en la plataforma CRISIS 2007, es necesario el ingreso de su geometría y de la sismicidad asociada, se empieza a cargar de una en una.

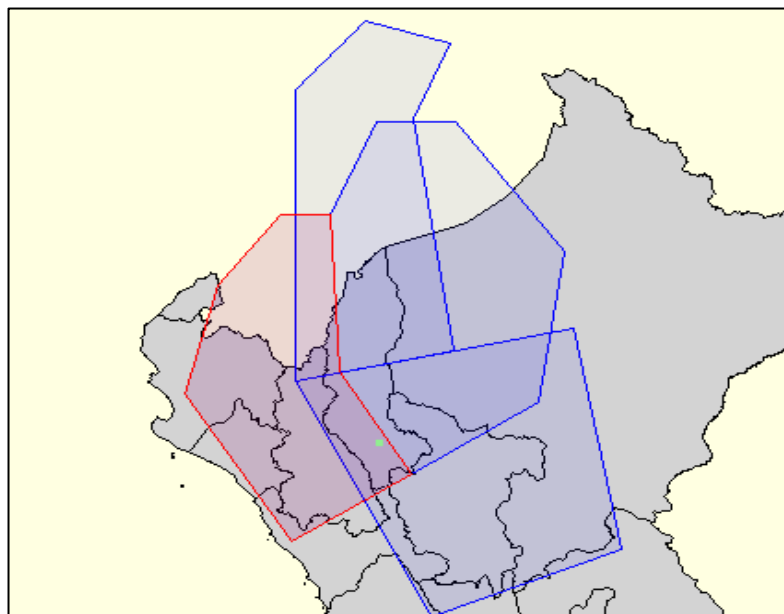


Figura N° 38: Representación de las fuentes sismogénicas (elaboración propia)

b. Ingreso de las leyes de atenuación:

Para el ingreso de las leyes de atenuación, CRISIS 2007 requiere un archivo por cada ley de atenuación a considerar en los cálculos.

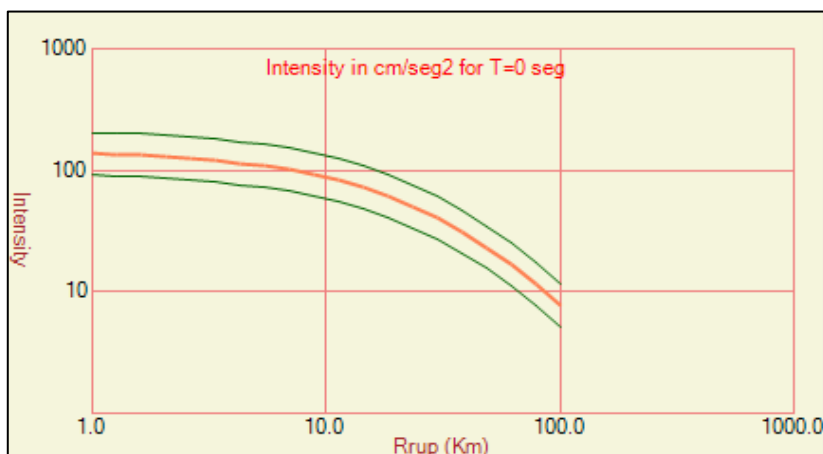
Este archivo contiene en forma tabulada los valores para la zona de estudio en función de magnitudes sísmicas y distancias incrementadas logarímicamente.

Adicionalmente, es necesario indicar el periodo estructural al cual corresponden los valores tabulados, la desviación estándar de dichos valores, el tipo de distancia contemplado para el cálculo (en este caso distancia hipocentral) y los límites máximo y mínimo del parámetro en estudio.

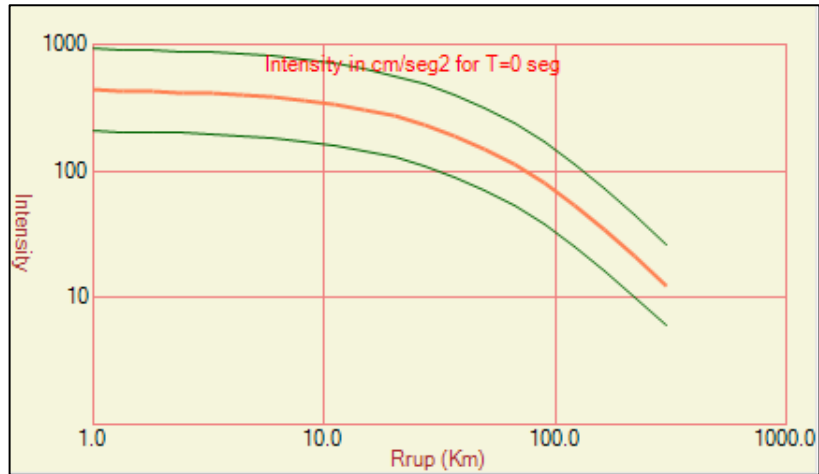
Ingresando las leyes tabuladas a CRISIS 2007, se obtienen las gráficas en escala logarítmica que representan la atenuación del parámetro en estudio con la distancia hipocentral.

En la figura N° 39 las curvas de atenuación de aceleración máxima horizontal obtenidas en la plataforma CRISIS para un sismo con magnitud 7. Se indica con letra (a) la atenuación Cortical, (b) la atenuación Intraplaca y (c) atenuación de tipo Interplaca.

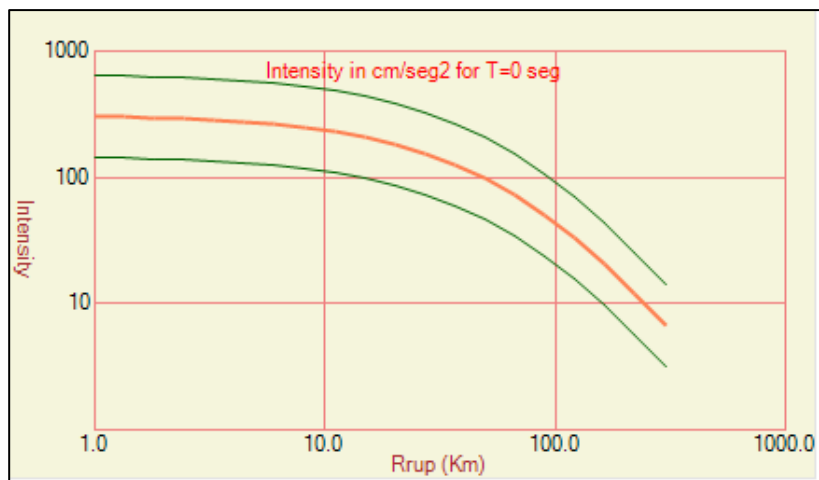
Las curvas de color verde representan la atenuación considerando la desviación estándar asociada.



a)



b)



c)

Figura N° 39: Curvas de atenuación (elaboración propia)

c. Definición de los parámetros globales:

En el contexto ingenieril de esta evaluación de Peligro Sísmico, al momento de diseñar un edificio es necesario establecer la vida útil del mismo. Luego, en función del número de años en el que se estime debe dar servicio un edificio, serán las fuerzas sísmicas que probablemente lo afectarán (Santibáñez, 2013). Estas consideraciones se incorporan en la evaluación y en la plataforma CRISIS 2007 a través de la definición del Período de Retorno, que indica el tiempo en años en el que se espera que la intensidad del movimiento sobrepase el nivel de referencia. Matemáticamente se expresa como:

$$T = \frac{1}{1 - \sqrt[1-P]{1-P}}$$

Donde:

P : Probabilidad de ocurrencia.

t : Tiempo de vida útil de una edificación.

Para la definición de los períodos de retorno a evaluar, es necesario entonces definir la probabilidad de ocurrencia y la vida útil de la edificación asociada. De manera que los mapas probabilísticos que se presentarán como resultado final de esta evaluación, sean una herramienta concreta que aporte al diseño sísmico en función del emplazamiento de las obras de ingeniería, los períodos de retorno se definirán de acuerdo a niveles sísmicos que las normas estipulan considerar al momento del diseño sísmico de las estructuras. Se definen así los siguientes niveles sísmicos (Bolaños y Monroy, 2004):

- ✓ **Sismo de servicio:** Sismo de intensidad tal que tiene 50% de probabilidad de excedencia en 50 años.
- ✓ **Sismo de Diseño:** Sismo de intensidad tal que tiene 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.
- ✓ **Sismo máximo capaz:** Sismo de intensidad tal que tiene 10% de probabilidad de excedencia en 100 años.

Cabe mencionar en este contexto, que la selección de los niveles sísmicos para el proceso de diseño depende del tipo de obra. Es así como la norma peruana E - 030 del 2016, define las zonas sísmicas para el diseño sísmico de edificios en función de un 10 % de probabilidad de excedencia para una vida útil de 50 años.

De esta forma, los niveles sísmicos y los parámetros asociados que se evaluarán en la metodología probabilista son como se indican en la figura N° 40.

The image shows a software interface with two main sections. The first section, titled 'Integration parameters', contains three input fields: 'Maximum integration distance' with the value 500 km, 'Minimum triangle size' with the value 11 km, and 'Minimum Distance/Triangle Size ratio' with the value 5. The second section, titled 'Fixed return periods', contains five input fields for return periods: 43 years, 72 years, 475 years, 949 years, and 2500 years. To the right of this section is a 'Distance for deaggregation' section with four radio button options: 'Focal', 'Epicentral', 'Joyner and Boore', and 'Closest to rupture area', with the last option being selected.

Figura N° 40: Definiciones de los niveles sísmicos y periodos de retorno (elaboración propia)

En base a los parámetros definidos tales como fuentes sismogénicas, magnitudes máximas y mínimas, parámetros de productividad sísmica y leyes de atenuación, se obtienen las frecuencias de excedencia.

Con estos resultados el programa CRISIS 2007 entrega los valores de aceleración o intensidad en estudio representados en mapas de peligro sísmico probabilísticos para los periodos de retorno definidos. Adicionalmente, se generan curvas de tasas de excedencia para cada uno de los puntos de la malla de sitio definida y con dicha información es posible desarrollar curvas de período de retorno y de probabilidad de excedencia de aceleración e intensidad.

3.4. Resultados del peligro sísmico:

Al correr el programa se obtiene un mapa de peligro como se observa en la figura N° 41, las escalas de colores que se muestra significan, el color verde tiene una aceleración baja, por el contrario, el color rojo o anaranjado tiene una aceleración alta.

Del análisis se extraerá la aceleración espectral de los puntos evaluados más los puntos de la grilla definidos al principio, con el fin de trazar mapas de isoaceleraciones espectrales (mapas que unen los puntos de igual aceleración espectral por medio de líneas suavizadas) es necesario extraer la aceleración espectral de cada punto de la grilla.

El segundo resultado que se muestra al evaluar el peligro sísmico en CRISIS 2007 son las curvas de peligro sísmico y espectro de peligro uniforme.

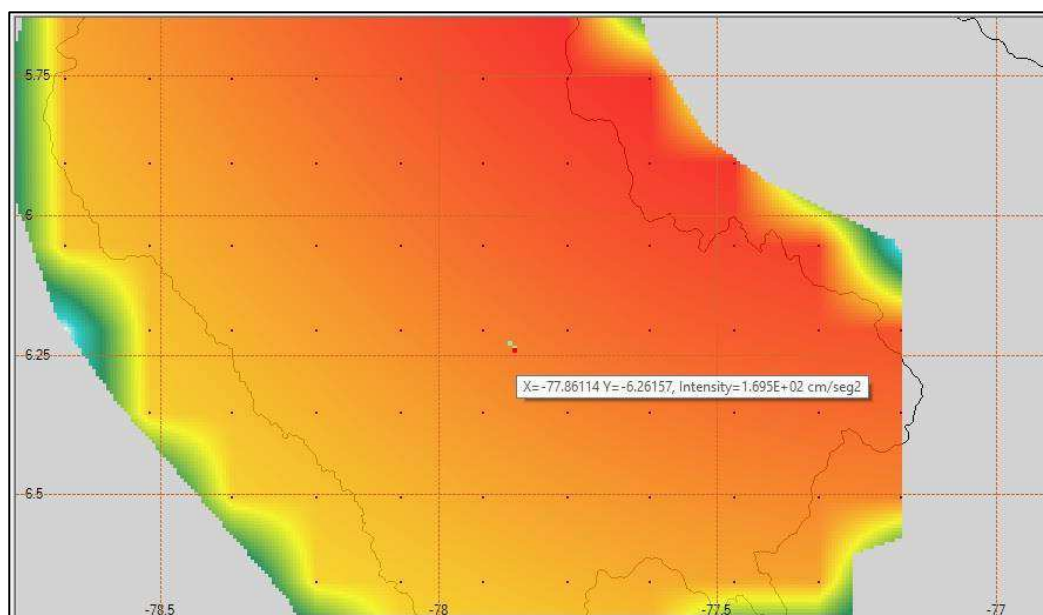


Figura N° 41: Mapa de peligro sísmico (elaboración propia)

- De la figura anterior también se observa que, para la zona de estudio, Chachapoyas – barrio Santa Isabel, tiene una aceleración del suelo de 169.5 cm/seg² o 169.5 Gals que es equivalente a 0.17g para un periodo de 0.00 segundos y un periodo de retorno de 100 años.

En la figura N° 42 se muestra la curva de la tasa de excedencia y su espectro uniforme para la zona de estudio, podemos apreciar que aproximadamente tiene una aceleración máxima de 350 cm/seg² para un periodo de 0.23 s.

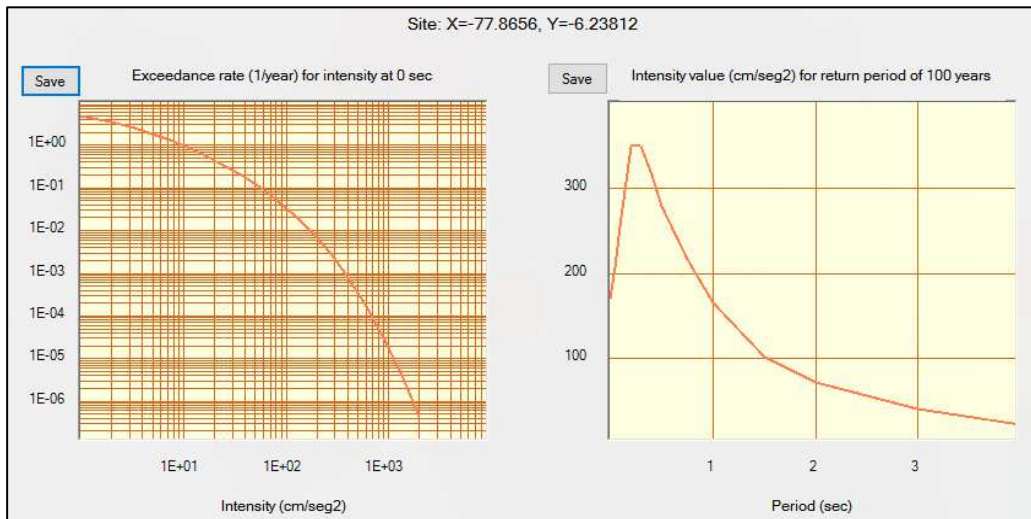


Figura N° 42: Tasa de excedencia y curva de espectro (elaboración propia)

a. Frecuencia anual de excedencia:

Las curvas de peligro sísmico son obtenidas de la evaluación de la frecuencia anual de excedencia para diferentes niveles de aceleración, siendo combinada con la curva de Poisson para estimar la probabilidad de excedencia anual en intervalos de tiempo finitos (Kramer, 1996; Gamarra, 2009).

La probabilidad de excedencia está expresada como:

$$P[Y_t - 1] = 1 - e^{-\lambda y T}$$

Donde:

λy : Es la frecuencia anual excedida.

La siguiente figura N° 43 muestra una tasa de excedencia para un periodo de 0.00 s, ésta figura se puede interpretar de la siguiente manera:

Si proyectamos una recta desde la aceleración, ubicada en la parte inferior, interceptamos con la curva de excedencia, de este punto proyectamos una recta perpendicular a la primera se obtiene el valor de excedencia.

Para la figura se lee, que una aceleración de 100 Gals será excedida en 0.01 año

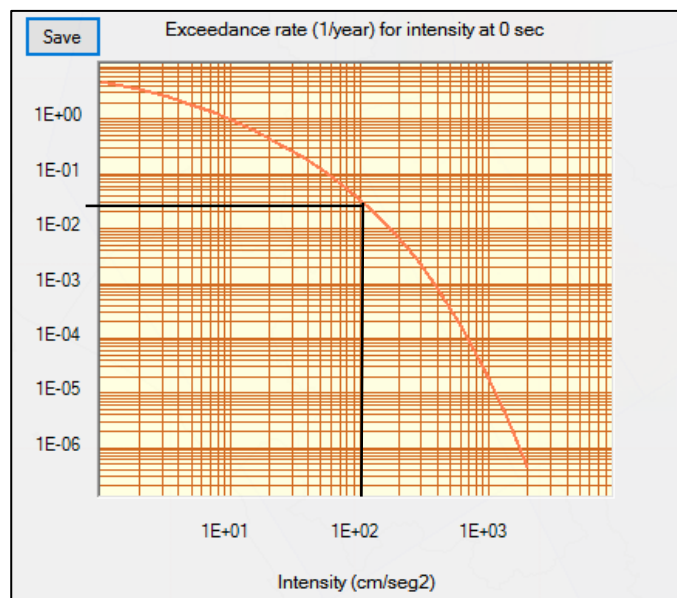


Figura N° 43: Tasa de excedencia para 0.00 segundos (elaboración propia)

En los anexos se observa las tasas de excedencia para diferentes periodos, para la zona en estudio Chachapoyas – barrio Santa Isabel.

b. Aceleraciones esperadas :

Para el barrio Santa Isabel, CRISIS-2007 ha permitido obtener mapas de peligro sísmico que muestran las aceleraciones esperadas para diferentes periodos de retorno, así como distintos espectros de peligro uniforme. Los valores de aceleración estimados se presentan en la tabla 11.

Tabla N° 11: Aceleraciones esperadas para diferentes periodos (elaboración propia)

CITY	COORDENADAS		T (s)	PERIODOS DE RETORNO (años)				
	LATITUD	LONGITUD		43	72	475	949	2500
Chachapoyas Barrio Santa Isabel	-77.86566	-6.2324	0.000	0.12g	0.15g	0.30g	0.37g	0.48g
			0.050	0.14g	0.18g	0.36g	0.45g	0.60g
			0.100	0.18g	0.22g	0.45g	0.56g	0.73g
			0.200	0.24g	0.30g	0.62g	0.76g	1.01g
			0.300	0.24g	0.304g	0.62g	0.76g	1.01g
			0.400	0.22g	0.28g	0.55g	0.69g	0.91g
			0.500	0.19g	0.24g	0.49g	0.61g	0.80g
			0.750	0.15g	0.19g	0.38g	0.48g	0.63g
			1.000	0.11g	0.14g	0.29g	0.36g	0.48g

1.500	0.07g	0.09g	0.19g	0.23g	0.31g
2.000	0.05g	0.06g	0.14g	0.17g	0.23g
3.000	0.03g	0.02g	0.08g	0.11g	0.15g
4.000	0.01g	0.02g	0.05g	0.06g	0.08g

FUENTE: *Elaboración propia*

c. Mapa de isoaceleraciones:

El mapa de peligro sísmico o iso-aceleraciones corresponde a las máximas aceleraciones horizontales del suelo o PGA obtenidos utilizando los parámetros definidos en anteriormente, una malla de nodos espaciados cada 0.1° y el algoritmo CRISIS-2007 (Ordaz, 2007).

Para generar el mapa, se debe exportar puntos en formato .xyz a cualquier programa que trabaje con curvas de nivel, puede ser Civil 3D, ArcGIS, etc.

En este caso los puntos fueron exportados al Google Earth Pro, con el simple objetivo de que se pueda ver exactamente en área de estudio.

Los resultados se pueden apreciar en los anexos.

d. Espectro uniforme:

El software CRISIS 2007 interpola las frecuencias de excedencia y las máximas aceleraciones esperadas, para que al final nos presente una curva de espectros para un cierto tiempo de retorno

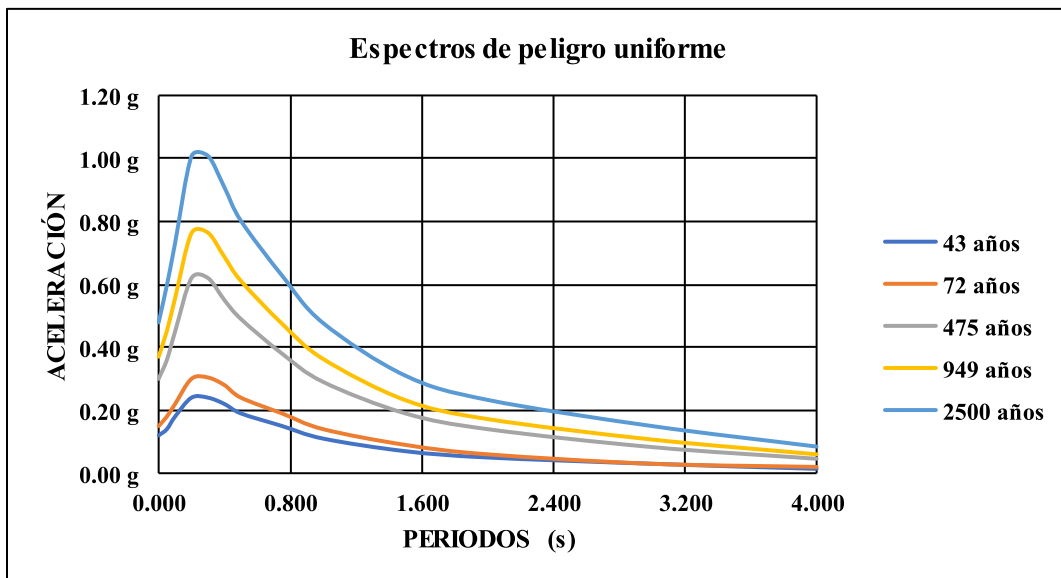


Figura N° 44: Espectros de peligro uniforme para diferentes periodos de retorno (elaboración propia)

e. Espectro uniforme para 50 años:

La norma peruana fija un valor de aceleración máxima de 0.25g, para la ciudad de Chachapoyas y por ende para el barrio Santa Isabel.

De acuerdo a los cálculos realizados en esta memoria se obtendrá una curva de peligro uniforme bajo los mismos parámetros, para un periodo de excedencia de 50 años, tal como nos indica la norma peruana E – 030.

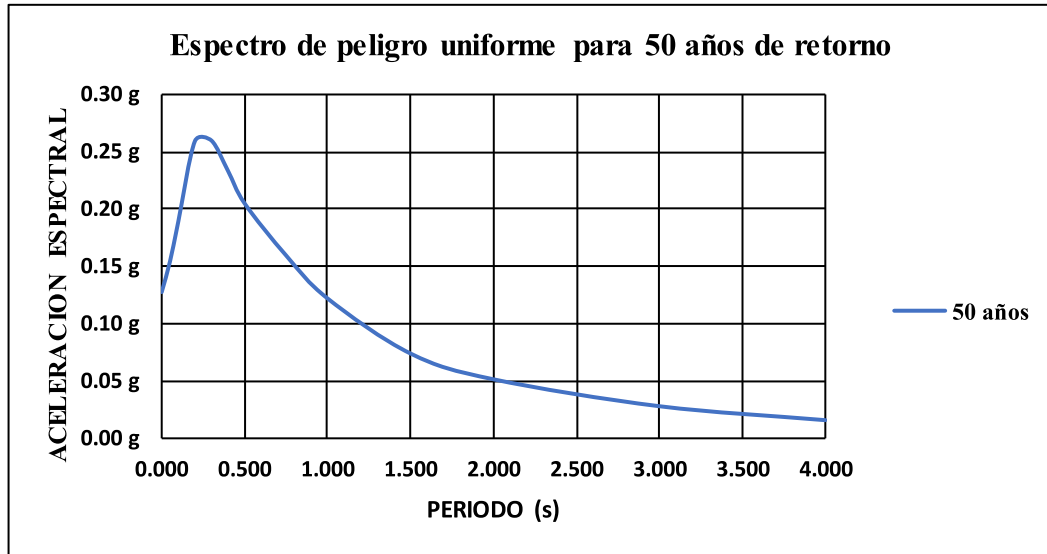


Figura N° 45: Espectro de peligro uniforme para un periodo de retorno de 50 años (elaboración propia)

Se observa que en la presente memoria se obtuvo una aceleración máxima de 0.26g por lo que esta no difiere en exceso de la norma peruana.

f. Nivel de peligro:

El nivel de peligrosidad sísmica se definirá en función de los límites establecidos en el proyecto GSHAP (Giardini, 1999) que se indican en la siguiente figura N° 46.

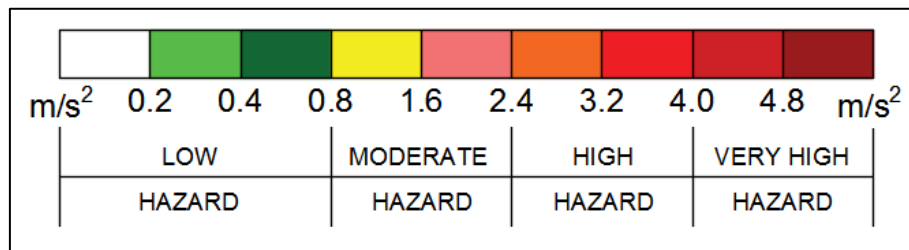


Figura N° 46: Nivel de peligrosidad en función de la aceleración (m/s²) para un periodo de retorno de 50 años (Giardini, 1999)

Los límites anteriores corresponden al estudio en términos de la aceleración máxima. Para la evaluación en función de la intensidad máxima, el nivel de peligrosidad se ajustará de acuerdo al criterio de división y la amplitud de cada nivel de peligro empleado para el caso de la aceleración.

Convertimos las unidades ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$), teniendo una aceleración máxima de 0.26 g el cual equivale a 2.55 m/s^2

Se concluye que para la zona de estudio Chachapoyas – barrio Santa Isabel, teniendo como base la escala de Giargini (1999), el peligro sísmico es alto.

4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD:

4.1. Materiales, herramientas y/o equipos:

- ✓ Laptop.
- ✓ Fichas o encuestas.
- ✓ Software Excel versión 16.
- ✓ Software Surfer Pro versión 13.
- ✓ Software AutoCAD versión 18.
- ✓ Wincha de 50m.
- ✓ GPS Garmin Etrex 20x.

4.2. Metodología:

En la actualidad la mayoría de las construcciones son construidos con materiales frágiles o poco dúctiles, como son las de adobe, mampostería simple, de madera o de tapial, siendo más notable estas construcciones en los países en vías de desarrollo, esta hipótesis conlleva a que estas estructuras se encuentren en riesgo sísmico potencial, es decir la ocurrencia de un evento sísmico provocaría inevitablemente daños y no solamente daños materiales sino hasta muertes.

Actualmente la población del barrio Santa Isabel se incrementó con el transcurrir de los años, lo cual generó un crecimiento poco controlado y planificado del área urbana. La población con menores recursos frente a su necesidad de vivienda, construye sus viviendas con sus reducidos medios económicos. Esto implica, sin la asesoría técnica profesional adecuada en el proyecto como en la construcción, ni con los materiales de calidad idóneos para sus viviendas. Lo que constituye en su mayoría viviendas de alta vulnerabilidad sísmica, generando un riesgo a los residentes de estas viviendas.

Entonces teniendo presente las consecuencias de que traería este fenómeno, es necesario conocer el estado en que se encuentran las viviendas, especialmente las de mayor riesgo como son las viviendas autoconstruidas. Con los resultados se busca plantear mejoras en su estructuración y proceso constructivo, con el propósito de procurar disminuir la vulnerabilidad sísmica de este tipo de viviendas en el futuro (Laucata, 2013).

El resultado final en la evaluación de la vulnerabilidad de una vivienda es el índice de daño que sufrirá dicha estructura, sometida a una determinada acción sísmica.

4.2.1. Metodologías para la evaluación:

Una de las características más importantes de los estudios de Riesgo Sísmico a nivel urbano es que la metodología que se utiliza en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones tiene que ser de alguna manera simplificada, para que se pueda aplicar a zonas urbanas o a un gran conjunto de estructuras.

Evidentemente cualquier metodología se puede aplicar, pero con su correspondiente incremento en los costes de aplicación, que para el caso de ciudades grandes sería completamente inadmisibles. Por esta razón se tiene que encontrar la metodología que mejor se adapte a los objetivos planteados en el estudio de Riesgo Sísmico, pero sobre todo al presupuesto con que se cuente y a la disposición de información de los elementos que se pretenden estudiar.

Se estudiaron métodos cualitativos que se han implementado en otras ciudades del mundo para escoger el que pudiera adaptarse de forma idónea a las condiciones locales (tipología estructural, materiales de construcción utilizados, etc.).

Entre los métodos estudiados tenemos:

a. Sistema de puntuación del índice de vulnerabilidad sísmica:

Esta metodología corresponde a un sistema de puntuación que evalúa el índice de vulnerabilidad sísmica de los edificios, basada en la propuesta del ATC-21, 1988 (Rapid Visual Screening of Building for Potencial Seismic Hazard) pero agregando consideraciones para tomar en cuenta las características específicas del sitio en donde se encuentran ubicados, como son el potencial de licuefacción, el tipo de cimentación y la estabilidad de taludes (Vizconde, 2004).

Este sistema de puntuación es adecuado desde el punto de vista costo – efectividad y sobre todo útil para estudios preliminares de evaluación de la vulnerabilidad sísmica a nivel regional, obteniéndose resultados significativos dentro de los estudios de riesgo sísmico

con presupuesto limitado y con la necesidad de obtener resultados rápidos. El sistema de puntuación consta de 16 criterios o parámetros afectados por un peso dependiendo de la importancia que tenga, estos criterios están divididos en dos grupos principales: 1) Categoría estructural y 2) Categoría del sitio/cimentación, tal como se muestra en la tabla N° 12:

Tabla N° 12: Sistema de puntuación de índice de vulnerabilidad sísmica

FACTOR ESTRUCTURAL	PESO
Tipo de edificio	20
Año de construcción/Usó de Norma	20
Irregularidad vertical	3
Piso suave	5
Irregularidad torsional	3
Irregularidad en planta	3
Columnas cortas	5
Elevación (solo para hospitales)	5
Acumulación de agua	3
Revestimiento pesado	3
Daño visible	5
FACTOR DE CIMENTACIÓN	PESO
Tipo de suelo	10
Potencial de licuefacción	10
Tipo de cimentación	3
Estabilidad de taludes	10
Total	108

FUENTE: Chang, 1995

b. Metodología desarrollada por Rainer, 1997:

En esta metodología uno de los objetivos es determinar o identificar qué sección de una construcción existente será susceptible a sufrir un daño ocasionado por un terremoto debido a la falla de alguno de sus componentes.

Esto permitirá elaborar planes que permitan reducir el daño en los edificios minimizando el riesgo de pérdidas de vidas humanas y de alguna forma modificar los reglamentos para diseño de estructuras nuevas (Rainer, 1997).

La evaluación de la vulnerabilidad de una construcción involucrará la identificación de los sistemas de marcos resistentes, sistemas de fachada y si la estructura contiene elementos vulnerables como la mampostería no reforzada, pisos blandos, formas estructurales irregulares y cualquier sistema mecánico o eléctrico, que necesite seguir funcionando una vez ocurrido el terremoto.

c. Método del Índice de la vulnerabilidad:

Existen muchos métodos para la evaluación de la vulnerabilidad y algunos parámetros en las diferentes metodologías son parecidas, sin embargo, tienen diferentes valores para las mismas. La elección de una metodología dependerá mucho de los objetivos que uno se planteó, de las hipótesis y lo más influyente, la elección dependerá de que datos se necesitan en dicha metodología.

En la presente memoria se hará uso de la **Metodología del Índice de Vulnerabilidad**, desarrollado por los italianos Benedetti y Petrini en el año 1984.

Se eligió este método debido a que nos permite evaluar la vulnerabilidad de cada vivienda, es decir en comparación de otros métodos que trabajan con varias muestras en conjunto, esta metodología permite trabajar cada estructura por separado.

4.2.2. Desarrollo del método Índice de vulnerabilidad:

Para el desarrollo de este método es necesario hacer encuestas para obtener parámetros de vulnerabilidad, entonces en primer lugar hay que recolectar los datos generales del edificio, tales como: ubicación, dimensiones, utilización, tipología estructural.

En dichas encuestas tienen parámetros tanto estructurales y como no estructurales, el índice de vulnerabilidad se obtiene mediante una suma ponderada de los valores de cada uno de los parámetros.

En esta investigación, a cada parámetro se le atribuyó un peso que están denotadas por las letras A, B, C y D y a su vez están letras tienen un valor numérico (k_i) que varía desde 0 a 45, es decir la letra D tiene un valor numérico $k_4 = 45$.

Además, cada parámetro está afectado por un coeficiente de importancia (Benedetti – Petrini, 1984), que varía entre 0.25 y 1.5 entonces el índice de vulnerabilidad estaría dado por la ecuación:

$$V_l = \sum_{i=1}^{11} K_i \times W_i$$

Tabla N° 13: Escala de vulnerabilidad

PARÁMETROS	CLASE K_i				IMPORTANCIA DEL PARÁMETRO
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.00
2. Calidad del sistema resistente.	0	5	25	45	0.50
3. Posición del edificio y cimentación.	0	5	25	45	0.75
4. Losas de entrepiso.	0	5	15	45	1.00
5. Configuración en planta.	0	5	25	45	0.50
6. Configuración en elevación.	0	5	25	45	1.00
7. Distancia máxima entre columnas.	0	5	25	45	0.25
8. Tipo de Cubierta.	0	15	25	45	1.00
9. Correlación.	0	5	25	45	1.25
10. Elementos no estructurales.	0	0	25	45	0.25
11. Estado de conservación.	0	5	25	45	1.00

FUENTE: Benedetti y Petrini, 1984

Al realizar un análisis y haciendo una sumatoria de los valores mínimos y máximos se puede deducir que el índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382.5 que es el máximo valor posible.

Además de la tabla se distingue que los parámetros 1, 2, 3, 4, 8, 10 y 11 son de naturaleza descriptiva y quedan definidos completamente por las instrucciones que se presentan más adelante. Por el contrario, los parámetros 5, 6, 7 y 9 son de naturaleza cuantitativa y requieren de ciertas operaciones matemáticas muy sencillas, las cuales también se describen más adelante.

4.2.3. Descripción de los parámetros:

La encuesta para el levantamiento de la vulnerabilidad que se observa en la Figura N° 46, es una versión modificada por Ochoa (2012).

Una de las simplificaciones que se tienen en cuenta es la de no utilizar aproximaciones debido a que los datos que provee no influyen directamente en el cálculo del V_1 .

La asignación de los once parámetros del formulario de encuesta descrito en el apartado anterior, dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D se lleva a cabo con la ayuda de las siguientes instrucciones.

En éstas se describe de forma muy breve, el fundamento teórico de cada uno de los parámetros con el objetivo de proporcionar al observador de campo un cierto criterio de selección.

ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO				
OPERADOR:				
FAMILIA:				
CÓDIGO:		FECHA:		HORA:
ENCARGADO DE LA CONSTRUCCIÓN:				
MATERIAL PREDOMINANTE:		Nº DE PISOS:		EDAD:
LOSA DE ENTREPISO:		MUROS DIVISORES:		MATERIAL DE FACHADA:
TECHO:		DAÑADO EN SISMOS ANTERIORES:		DAÑOS:
PENDIENTE DEL TERRENO:		Baja (1-4%) <input type="checkbox"/>		Media (5-10%) <input type="checkbox"/>
				Fuerte (11 -50) <input type="checkbox"/>
TIPO DE SUELO:		Roca <input type="checkbox"/>		Arcilla <input type="checkbox"/>
		Arena <input type="checkbox"/>		Relleno <input type="checkbox"/>
				Otro <input type="checkbox"/>
VOLADIZO:		<input type="checkbox"/> No		<input type="checkbox"/> Sí, tipo _____
Nº DE HABITANTES:			ESTADO ACTUAL:	
SISTEMA ESTRUCTURAL:			DIMENSIONES (Aprox.):	
NIVEL DE PREPARACION ANTE SISMO		SI	NO	BOSQUEJO
Tiene lugar seguro dentro su casa		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Considera que su casa es segura		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Ud. y su familia sabe que hacer		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Ha participado en algun simulacro		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tiene conocimiento de algun peligro en su casa		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
COMENTARIOS		FOTOGRAFÍA Nº:		

Figura N° 47: Encuesta modificada de Ochoa en el 2013 (elaboración propia)

1. Organización del sistema resistente:

Con este parámetro se evalúa el grado de organización de los elementos verticales prescindiendo del tipo de material. El elemento significativo es la presencia y la eficiencia de la conexión entre las paredes ortogonales con tal de asegurar el comportamiento en "cajón" de la estructura. Se reporta una de las clases (Navia y Barrera, 2007):

- A. Estructura construida de acuerdo a la norma peruana.
- B. La construcción tiene vigas y columnas.
- C. La construcción no tiene ni vigas ni columnas de confinamiento, es decir está constituida con paredes ortogonales unidas entre sí.
- D. Vivienda con muros ortogonales no ligadas entre sí.

Este ítem hace referencia al sistema estructural que se utilizó en la construcción de la vivienda evaluada.

2. Calidad del sistema resistente:

Con este parámetro se determina el tipo de material predominante, diferenciando, de modo cualitativo, su característica de resistencia con el fin de asegurar la eficiencia del comportamiento en "cajón" de la estructura. La atribución de las cuatro clases se efectúa en función de dos factores: por un lado, del tipo de material y de la forma de los elementos que constituyen.

Por otro lado, de la homogeneidad del material y de las piezas, por toda la extensión del muro.

- A. La construcción es ladrillo, bloques prefabricados de concreto o adobe u otro material de buena calidad. Además, homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro. Presencia de ligamento entre las piezas.
- B. Ladrillos, bloques, adobe o piedra con presencia de morteros más no muy homogéneas.
- C. Ladrillos, bloques, adobe o piedra no homogéneas de baja calidad.
- D. Materiales de baja calidad privadas de ligamento (mortero) no homogéneas.

3. Posición del edificio y cimentación:

Con este parámetro se evalúa, hasta donde es posible por medio de una simple inspección visual, la influencia del terreno y de la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio, es decir se evalúa sobre que material la vivienda.

- A. La vivienda está cimentada sobre terreno estable o roca con pendiente ente 1 a 4%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- B. La edificación está cimentada sobre roca con pendiente comprendida entre un 5% y un 10% o sobre arena o arcilla compactada. La diferencia máxima entre las cotas es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- C. Vivienda cimentada sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 11% y un 30%. La diferencia máxima entre las cotas es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- D. Vivienda cimentada sobre terreno suelto o relleno con pendiente mayor al 30%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

4. Losas de entrepiso:

La calidad de los diafragmas tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. Se reporta una de las clases:

- A. Vivienda con losa de cualquier naturaleza que no presenten deformaciones ni fisuras, además tenga apoyos y una buena conexión, entre los mismos, adecuada, no deberá tener desnivel.
- B. Vivienda con losa como los de la clase A, pero tiene desnivel tanto en el primer piso como en los demás.
- C. Vivienda con losa de cualquier naturaleza, pero tiene desnivel y además presenta una deformación notoria, también se reportará en esta clase las viviendas que no tengan losas de entre piso.
- D. Vivienda en la cual su losa presenta grietas de 5 mm a más, deformación, no tiene apoyo.

Este parámetro hace referencia a la losa de entrepiso.

5. Configuración en planta:

El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma en planta del mismo. En el caso de edificios rectangulares es significativo la relación $\beta_1 = a / L$ entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las protuberancias del cuerpo principal mediante la relación $\beta_2 = b / L$. En la figura 47 se explica el significado de los dos valores que se deben reportar, para lo cual se evalúa siempre el caso más desfavorable.

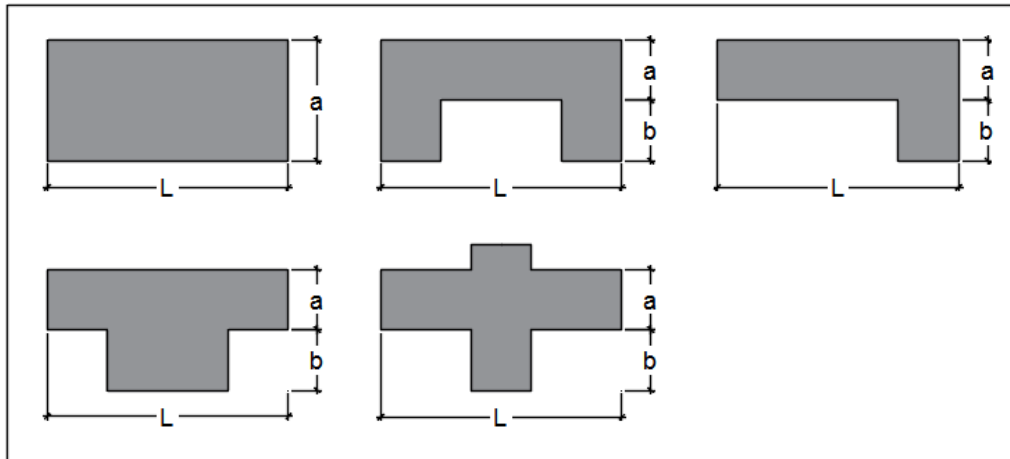


Figura N° 48: Configuración en planta de la estructura (Navia y Barrera, 2007)

La asignación de este parámetro dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A. Vivienda con $\beta_1 \geq 0.8$ o $\beta_2 \leq 0.1$.
- B. Vivienda con $0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ o $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$.
- C. Vivienda con $0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ o $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$.
- D. Vivienda con $0.4 > \beta_1$ o $0.3 < \beta_2$.

Este parámetro hace referencia a las dimensiones y al bosquejo en la encuesta.

6. Configuración en elevación:

En la mayoría de las construcciones la principal causa de irregularidad en altura está constituida por la presencia de voladizos y algunos de ellos muy pronunciados.

La presencia de estos se reporta como la relación porcentual entre la altura de entepiso y el ancho de los voladizos, es decir según la figura 48., se tendrá la relación T/H.

También se reporta la variación de masas en porcentaje $\pm \Delta M/M$ entre dos pisos sucesivos, siendo A la masa del piso más bajo y utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio.

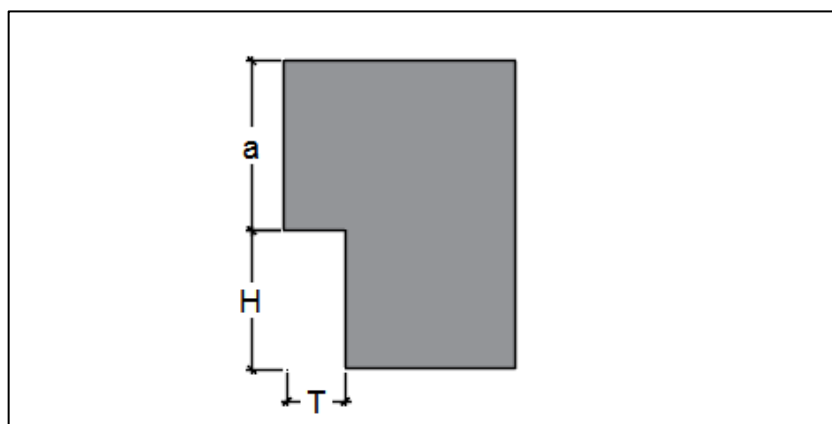


Figura N° 49: Configuración en elevación de la estructura (Navia y Barrera, 2007)

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A. Construcción con $T/H < 10\%$.
- B. Construcción con $10 \leq T/H < 25\%$ o $10\% \leq \pm\Delta M/M < 20\%$.
- C. Construcción con $25\% \leq T/H \leq 50\%$ o $20\% \leq \pm\Delta M/M < 30\%$.
- D. Construcción con $T/H > 50\%$.

En la encuesta la altura de entrepiso se colocará en la parte de los comentarios, ya que no se creó un ítem específico para este valor, además se trabajará con el voladizo y con las dimensiones.

7. Distancias máximas entre columnas:

Con este parámetro se tiene en cuenta la presencia las columnas (de carga) ubicados a distancia excesiva entre ellos. Se reporta el factor L/S , donde L es el espaciamiento máximo entre columnas y S el lado más corto de la columna, evaluando siempre el caso más desfavorable.

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A. Vivienda con $L/S < 15$.
- B. Vivienda con $15 \leq L/S < 18$.
- C. Vivienda con $18 \leq L/S < 25$.
- D. Vivienda con $L/S \geq 25$ o construcción sin columnas.

En la encuesta el espaciamiento máximo ente columnas se colocará en la parte de los comentarios, ya que no se creó un ítem específico para este valor, de igual manera para las secciones de las columnas (no se considera columnetas).

8. Tipo de cubierta:

Se tiene en cuenta con este parámetro, la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas. Se reporta una de las clases:

- A. Construcción con cubierta plana es decir vivienda con azotea.
- B. Construcción con cubierta estable armazón y provisto de materiales en buenas condiciones, es decir con cubierta estables.
- C. Vivienda con cubierta parcialmente estable, en regulares condiciones.
- D. Construcción con cubierta inestable, se muestra deterioro entre sus elementos y se encuentra en peligro de colapso.

En la encuesta, este parámetro se identificará con techo.

9. Coeficiente de correlación:

Benedetti y Petrini (1984) encontraron una relación que dependía de la edad (años) de la construcción, afirmaron que muchas de las viviendas en Italia sufrían colapso por ser muy antiguas, por lo que propusieron la siguiente relación:

$$\alpha = \frac{N^{\circ} \text{ de pisos} \times N^{\circ} \text{ habitantes}}{\text{Edad}}$$

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A. Cuando la vivienda tiene $\alpha > 5$.
- B. Cuando la vivienda tiene $2 \leq \alpha \leq 5$.
- C. Cuando la vivienda tiene $0 \leq \alpha < 2$.
- D. Vivienda con más 30 años de antigüedad.

10. Elementos no estructurales:

Se tiene en cuenta con este parámetro la presencia parapetos o cualquier elemento no estructural que pueda causar daño a personas o cosas. Se trata de un parámetro secundario, para fines de la evaluación de la vulnerabilidad, por lo cual no se hace ninguna distinción entre las dos primeras clases. Se reporta una de las clases:

- A. Todos los muros deben estar bien conectados a los elementos de confinamiento y de tener balcón, este debe formar parte integrante de la estructura de los diafragmas.
- B. Algunos los muros (perimetrales) deben estar bien conectadas a las columnas y de tener balcón, estos deben formar parte integrante de la estructura de los diafragmas.

- C. Vivienda con muros unidos entre sí (trabas) o muros mal vinculados a las columnas.
- D. Muros sin columnas, mal vinculado a la estructura, es decir que pueden caer en caso de terremoto. Aquellos que presenten grietas visibles en las esquinas.

En la encuesta, este parámetro se identificará con muros divisores.

11. Estado de conservación:

Se considera una de las clases:

- A. Muros en buena condición, sin lesiones visibles.
- B. Muros que presentan lesiones leves no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.
- C. Muros con lesiones de tamaño medio entre 1 a 3 milímetros de ancho o con lesiones producidas por sismos.
- D. Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.

En la encuesta, este parámetro se identificará con, dañado con sismos anteriores, daños y por último se dará una opinión a priori del estado actual.

4.3. Toma de datos:

Antes de realizar la toma de datos para la evaluación de la vulnerabilidad fue necesario realizar un levantamiento catastral, para identificar las viviendas. Dicha actividad se hizo posible en 15 días durante el mes de diciembre del 2016.

Para la toma de datos se utilizó la encuesta antes presentada, para el llenado de estas tuvimos el apoyo de un estudiante de décimo ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Los resultados que se presenta en esta memoria son únicamente los que se anotaron en las fichas; sin embargo, está sujeta a posibles fallas de interpretación, de observación y de las técnicas realizadas en campo por lo que algunas de ellas se corrigieron con las fotografías tomas in situ.

4.4. Resultados de campo:

Los resultados obtenidos en campo son los que se muestran a continuación de acuerdo al ítem y al orden plasmadas en las fichas.

4.4.1. Según el tipo de material:

Las viviendas del barrio Santa Isabel en Chachapoyas fueron construidas principalmente por 3 tipos de materiales como son: el ladrillo, el adobe, bloques de concreto.

De acuerdo a la información recolectada, se evaluó un total de 61 viviendas y cuya representación porcentual de acuerdo al tipo de material de construcción se muestra en la figura siguiente:

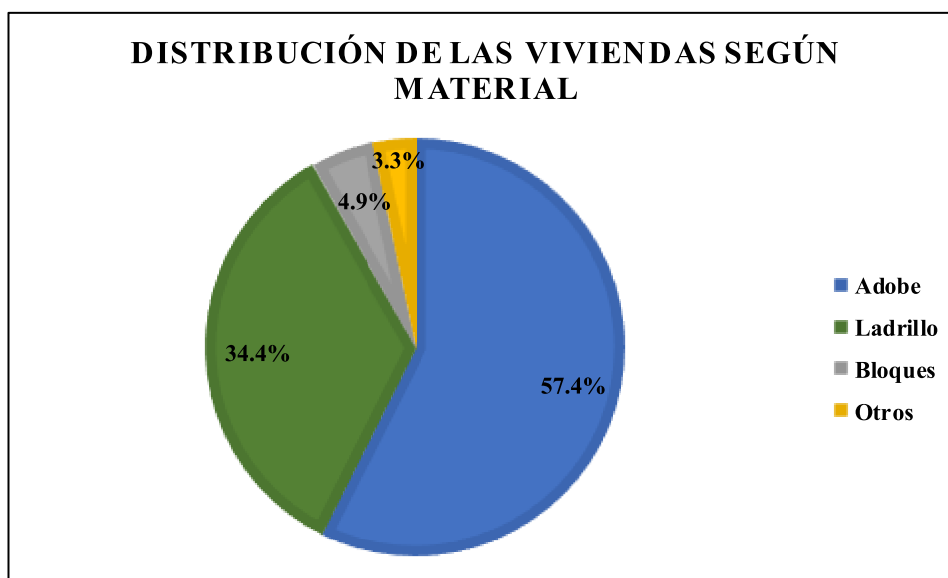


Figura N° 50: Distribución de las viviendas según material de construcción (elaboración propia)

Adobe: Como se muestra en la figura la mayor parte de las viviendas con un 57.4% en el barrio Santa Isabel son construidas con adobe, son las viviendas más antiguas, según nuestros registros, están ubicadas al fondo del barrio.



Figura N° 51: Vivienda de la familia Serván López, construida con adobe (elaboración propia)

Ladrillo: Es el segundo material con 34.4% más usado en las construcciones de las viviendas del barrio Santa Isabel, estas viviendas se encuentran al centro y a la entrada de dicho barrio, son viviendas con menos de 10 años de antigüedad.



Figura N° 52: Vivienda de la familia Bernal Castillo construida con ladrillo (elaboración propia)

4.4.2. Según el nro. de pisos:

De la recolección de datos que se realizó en el barrio de Santa Isabel se observó que solamente se podría clasificar: viviendas de 1 y 2 pisos.

De las 61 viviendas encuestadas se puede observar que la distribución porcentual queda así:

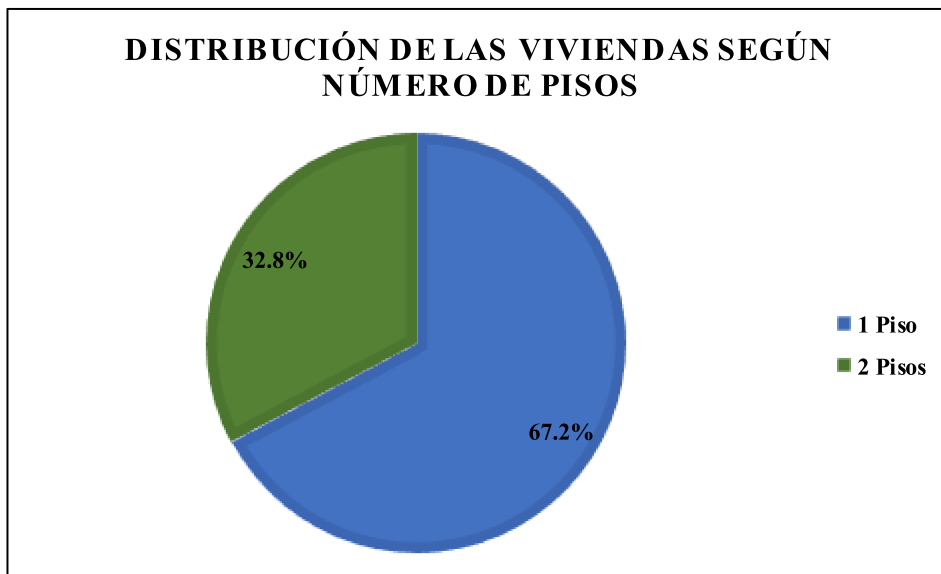


Figura N° 53: Distribución porcentual de las viviendas según nro. de pisos (elaboración propia)

Vivienda de 1 piso: Con 67.2% representa la mayor cantidad en el barrio, la mayoría de estas están construidas con adobe, tal como se muestra en la figura siguiente:



Figura N° 54: Vivienda de la familia Huamán Guiop construida de un piso (elaboración propia)

Vivienda de 2 pisos: Con 32.8% son las viviendas construidas de dos pisos, en su mayoría estas son construidas con ladrillo, por lo que se deduce que estas viviendas ya son modernas a comparación de las que son de un piso.



Figura N° 55: Vivienda de la familia Zuta Gómez construida de dos pisos (elaboración propia)

4.4.3. Según su antigüedad:

Para la distribución de las viviendas según su antigüedad se clasificó en tres grupos: las viviendas que estaban entre 0 – 5 años, las viviendas que tenían entre 6 – 15 años y las que tenían entre 16 a más.

De hecho, las viviendas más antiguas estaban al centro y al fondo del barrio, mientras las demás estaban a la entrada del barrio.

La distribución porcentual es la siguiente:

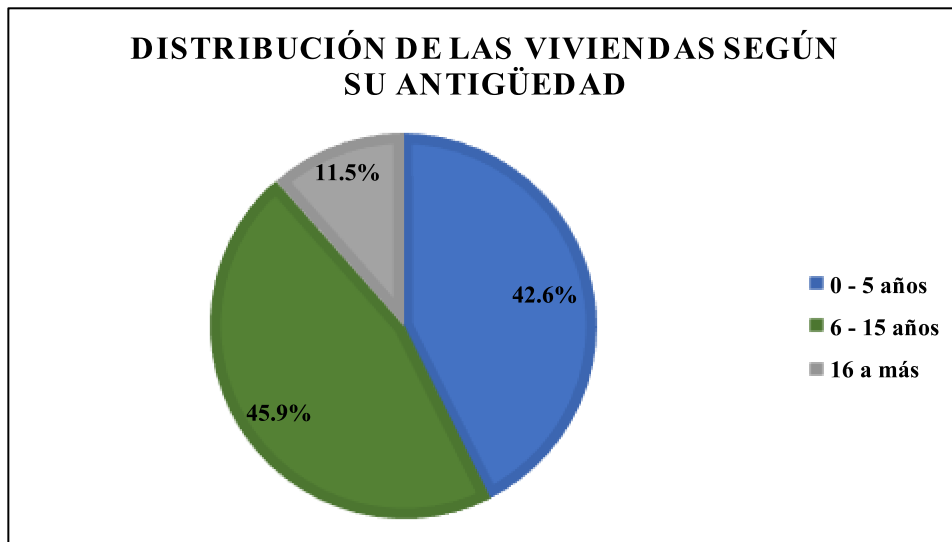


Figura N° 56: Distribución de las viviendas según su antigüedad (elaboración propia)

0 – 5 años: Como se observa en la figura anterior las viviendas nuevas están creciendo, por lo que se deduce que, dentro de un cierto tiempo, será considerado con un barrio nuevo:



Figura N° 57: Vivienda de la familia Culqui Bazán, tiene 2 años de antigüedad (elaboración propia)

6 – 15 años: Son las viviendas en mayor cantidad con 45.9%, son viviendas mayormente de adobe, armazón de madera y techo de calamina:

Estas viviendas presentan una vulnerabilidad alta puesto que sus materiales que las componen se encuentran en deterioro; por mencionar, en la parte de la cobertura, la madera se encuentra en malas condiciones, en algunos casos podría colapsar.

Los adobes, debido a la presión dinámica del viento, sufren ciertas deformaciones perdiendo así área de resistencia.



Figura N° 58: Vivienda de la familia Tafur Vigo, tiene 10 años de antigüedad (elaboración propia)

16 a más años: Todas las viviendas antiguas tienen una vulnerabilidad alta, existe peligro de que se desplome.

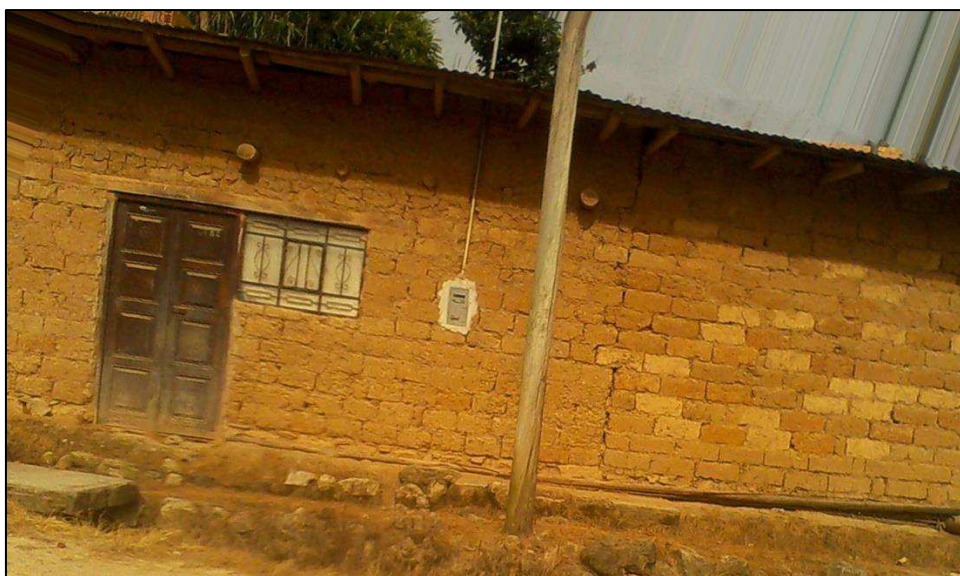


Figura N° 59: Vivienda de la familia Luna Guevara, tiene 25 años de antigüedad (elaboración propia)

4.4.4. Según estado actual:

Este criterio se basó en la observación, de acuerdo a la información recolectada, se clasificó a las viviendas como, bueno, regular y malo.

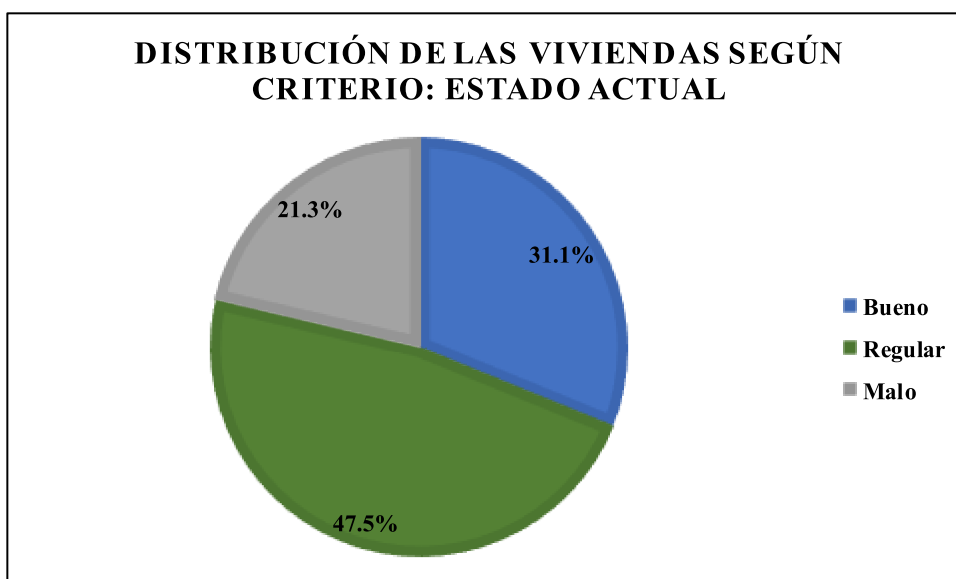


Figura N° 60: Distribución de las viviendas según estado actual (elaboración propia)

Bueno: El 31.1% de las viviendas del barrio Santa Isabel se encuentran en buenas condiciones, estas son las modernas, las que tiene azotea, debido a que estos no tienen ninguna vulnerabilidad con los techos con tijerales, además se considera en esta clasificación los que tienen un material uniforme, adobe y ladrillo.



Figura N° 61: Vivienda de la familia Arbildo Torres en buenas condiciones (elaboración propia)

En regular: Se clasificó con en regular estado a las viviendas que tienen entre 6 – 15 años, además las que tienen techo de madera y teja, adobes en regular estado.



Figura N° 62: Vivienda de la familia Tejada Sánchez, en regular estado (elaboración propia)

En mal estado: son las viviendas que se encuentran en peligro de derrumbe, adobe en malas condiciones, madera apolilladas.



Figura N° 63: Vivienda de la familia Rodríguez Vera, en malas condiciones (elaboración propia)

Además de evaluar las condiciones de las viviendas, se hizo un apartado en las fichas para evaluar el nivel de preparación de las personas que habitan en la vivienda.

Los resultados porcentuales fueron los siguiente:

4.5. Procedimiento de cálculo:

El procedimiento se realizará de una vivienda, los demás cálculos se realizaron en Excel y se muestran en los anexos.

La evaluación se realizará paso a paso a la vivienda de la familia Arbildo Torres.

a. Parámetro 1:

Para definir el grado A, B, C o D se analizó por cada ítem, se definió qué:

- ✓ Por ser la vivienda autoconstruida no se construyó de acuerdo a la norma peruano, por lo que se descarta la letra A.
- ✓ De acuerdo a la inspección que se realizó al interior de la vivienda, se encontró que tiene vigas y columnas.



Figura N° 64: Columnas

Esto forzosamente lleva a que se concluya que la clasificación en este tipo es (B).

b. Parámetro 2:

De acuerdo con la visita de campo realizada se observó los ladrillos se acomodan de buena manera estas se encuentran en venas condiciones debido a que la vivienda recién tiene 2 años de haberse. Los ladrillos son de tipo pandereta con dimensiones constantes (homogéneos), lo que genera que en este parámetro la clasificación sea (A), de mampostería en ladrillo de buena calidad con presencia de ligamento entre las piezas.

c. Parámetro 3:

En este parámetro se observó que es lugar donde se construyo es plano, es decir tiene una pendiente baja con lo cual está cumpliendo con los requisitos de la clasificación A, también se observa que no hay empuje por ninguno de sus lados y el tipo de suelo, como en todo santa Isabel, es arcilla, este dato obtuvo del estudio de suelos realizados para el PDU en el 2013.

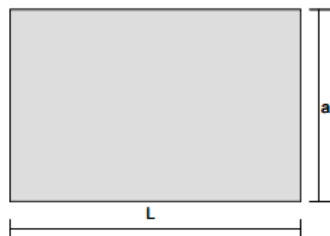
Esto automáticamente nos lleva a clasificarla como A.

d. Parámetro 4:

En este parámetro se observó la calidad de los diafragmas el cual tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. Al ser la vivienda nueva, la losa se encuentra en buenas condiciones, no existe fisuras notables, además que no existe desnivel ya que la vivienda es de un solo piso. Por lo que en este parámetro se clasificara como A.

e. Parámetro 5:

Para clasificar en el siguiente parámetro se realizará ciertos cálculos, de acuerdo a la geometría en planta:



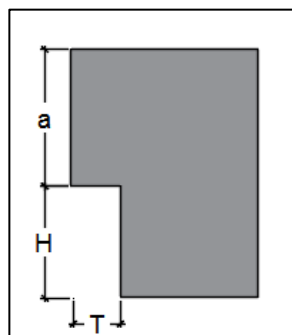
De acuerdo a las medidas obtenidas en la visita a campo se procede a dividir a/L absteniéndose el valor de β_1 así podremos clasificarla:

PLANTA	VALOR
a	10.00
L	8.00
b	0.00
β_1	1.25

A partir del criterio que destaca el método trabajado, donde β_1 es mayor a 0.8 por lo que la estructura se clasifica como (A), es decir de configuración en planta regular mas no ideal.

f. Parámetro 6:

Al igual que en el parámetro anterior, se realizará cálculos para su clasificación, de acuerdo a la geometría de su elevación:



De acuerdo a las medidas obtenidas en la visita a campo se procede a dividir T/H absteniéndose el valor porcentual y así podremos clasificarla:

ELEVACIÓN	VALOR
H	2.45
T	0.85
T/H	34.7%

A partir del criterio que destaca el método trabajado, donde T/H se encuentra entre 25% y 50% por lo que la estructura se clasifica como (C).

g. Parámetro 7:

Para la asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza la división de la longitud máxima entre columnas y el lado menor de la columna:

ELEVACIÓN	VALOR
L	3.00
S1	0.30
S2	0.30
L/S	10.00

Al ser el valor $L/S < 15$ automáticamente se clasifica como A.

h. Parámetro 8:

La vivienda no tiene techo, por lo que no es vulnerable en este parámetro, en vez de techo tiene azotea que de hecho es más seguro que cualquier tijera, según la clasificación mostrada para este parámetro este será de tipo A.

i. Parámetro 9:

Mediante la fórmula propuesta por Benedetti y Petrini (1984) se encontrará el coeficiente de relación con el cual encontramos la clasificación:

VARIABLES	VALOR
Nº DE PISOS	1.00
Nº DE HABITANTES	4.00
EDAD	2.00
α	2.00

Teniendo el valor del coeficiente de correlación igual a 2 se clasificará como tipo B.

j. Parámetro 10:

La vivienda al tener columnas, algunos muros están unidos a estos por lo que tendrá un poco más de seguridad, entonces:

- ✓ No todos los muros están confinados, se descarta el tipo A.
- ✓ Como se mencionó algunos muros están unidos a la columna, la construcción no tiene balcón, entonces esta clasificación será tipo B

k. Parámetro 11:

Al ser la vivienda nueva, no presenta todavía ningún daño ni por siso ni por otro fenómeno, entonces se puede decir que los elementos que lo conforman están en buenas condiciones.

En este parámetro se clasificará como tipo A.

Por último, para encontrar el índice de vulnerabilidad solamente se necesita reemplazar valores, multiplicar, dividir y sumar.

La suma total de los valores de los parámetros multiplicados por su importancia es 37.5, ahora se divide entre su máximo valor porcentual 382.5, obteniendo así su IV = 9.8%.

El índice de vulnerabilidad de la vivienda de la familia Arbildo Torres es la que se muestra en la figura siguiente:

Tabla N° 14: Cálculo del Índice de vulnerabilidad

01 Arbildo Torres					
	PARÁMETROS	CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					37.5
Índice de vulnerabilidad					9.8%

FUENTE: Elaboración propia

De igual manera se trabaja para las demás viviendas, todos los cálculos están en los anexos. Para el cálculo de la vulnerabilidad Benedetti y Petrini (1984) elaboraron una matriz, denominada Matriz de Vulnerabilidad:

Vulnerabilidad baja: $0\% < IV \leq 15\%$.

Vulnerabilidad media: $15\% < IV \leq 30\%$.

Vulnerabilidad alta: $30\% < IV \leq 50\%$

Vulnerabilidad muy alta: $IV > 50\%$.

Teniendo en cuenta estas restricciones y con la ayuda de Excel, se pudo determinar tanto el índice de vulnerabilidad como la vulnerabilidad en sí.

El siguiente grafico muestra los valores encontrados:

TABLA N° 15: Cálculo de la vulnerabilidad

CÓDIGO	FAMILIA	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	VULNERABILIDAD
01	Arbildo Torres	9.8%	MEDIA
02	Cámara Falcon	46.7%	ALTA
03	Torres Mendoza	38.2%	ALTA
04	Crisóstomo Vásquez	18.3%	MEDIA
05	Serván López	35.0%	ALTA
06	Vargas Chávez	27.1%	MEDIA
07	Hidalgo Sánchez	43.5%	ALTA
08	Iliquin Trauco	16.3%	MEDIA
09	Mendoza Merino	12.4%	BAJA
10	Yop Valqui	16.0%	MEDIA
11	Trujillo Cruz	24.8%	MEDIA
12	Santillán Culqui	2.9%	BAJA
13	Bolaños Yzquerdo	20.9%	MEDIA
14	Álvarez Tafur	33.0%	ALTA
15	Chuquizuta Cuipal	49.3%	ALTA
16	Ramos Medina	21.6%	MEDIA
17	Salón Cruz	31.7%	ALTA
18	Lozano Requejo	16.3%	MEDIA
19	Salinas Ponce	31.0%	ALTA
20	Tejada Sánchez	37.6%	ALTA
21	Rodríguez Vera	44.8%	ALTA
22	Valqui Fernández	36.3%	ALTA
23	Luna Guevara	42.8%	ALTA
24	Arce Corrales	8.2%	BAJA
25	Rojas Jiménez	39.5%	ALTA
26	Huamán Pilco	22.2%	MEDIA
27	García Quevedo	52.0%	MUY ALTA
28	Valqui Vargas	43.5%	ALTA
29	Lizana Romero	33.0%	ALTA
30	Mestanza Peláez	44.1%	ALTA
31	Zuta Gómez	11.8%	BAJA

32	Llanos Briceño	31.0%	ALTA
33	Huamán Delgado	38.2%	ALTA
34	Campos Bustamente	33.0%	ALTA
35	Vela Zuta	45.4%	ALTA
36	Culqui Bazán	36.3%	ALTA
37	Lozano Vargas	49.3%	ALTA
38	Bernal Castillo	11.1%	BAJA
39	Damacen Puscán	30.7%	ALTA
40	Huamán Guiop	36.3%	ALTA
41	Valqui Olivares	26.1%	MEDIA
42	Yoplac Polo	44.1%	ALTA
43	Tello Revilla	41.5%	ALTA
44	Rojas Guiop	45.4%	ALTA
45	Chávez Huamán	46.7%	ALTA
46	Trujillo Tafur	40.8%	ALTA
47	Portocarrero Meza	27.1%	MEDIA
48	Tafur Vigo	31.7%	ALTA
49	Muñoz Culqui	31.7%	ALTA
50	Huamán Torrejón	19.0%	MEDIA
51	Mori Mendoza	30.7%	ALTA
52	Rivera Torres	41.5%	ALTA
53	Altamirano Vargas	-	-
54	Carrasco Cruz	19.9%	MEDIA
55	Gómez Huamán	13.1%	BAJA
56	Golac Rojas	-	-
57	Culqui Huamán	51.3%	MUY ALTA
58	Ocampo Tafur	36.3%	ALTA
59	Mas Salcedo	47.4%	ALTA
60	Santillán Serván	4.6%	BAJA
61	Soplin Grandez	33.7%	ALTA

FUENTE: Elaboración propia

4.6. Resultados:

De las 61 viviendas evaluadas se obtuvo:

- 2 viviendas fueron construidas con la guía y asesoramiento de un ingeniero las viviendas son de la familia Altamirano Vargas y de la familia Golac Rojas.
- 11.5% de viviendas se encuentran con vulnerabilidad sísmica baja.
- 23% de las viviendas evaluadas tiene una vulnerabilidad sísmica media.

- 59% de las viviendas evaluadas tiene una vulnerabilidad sísmica alta.
- 3.3% de las viviendas evaluadas tiene una vulnerabilidad sísmica muy alta.

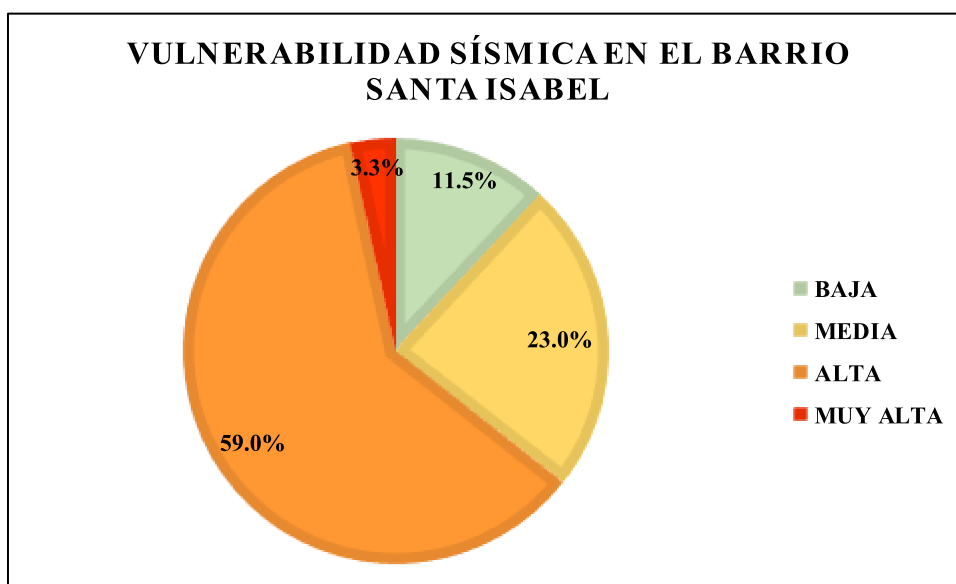


Figura N° 65: Distribución de las viviendas según su vulnerabilidad (elaboración propia)

5. EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO:

5.1. Materiales, herramientas y/o equipos:

- ✓ Laptop.
- ✓ Software Excel versión 16.
- ✓ Software AutoCAD versión 18.

5.2. Metodología:

Una vez identificado el peligro (P) a la que está expuesta el barrio y realizado el análisis de vulnerabilidad (V), se procederá a una evaluación conjunta, para calcular el riesgo (R), es decir estimar la probabilidad de pérdidas y daños esperados.

El cálculo del riesgo corresponde a un análisis y una combinación de datos teóricos y empíricos con respecto a la probabilidad del peligro identificado, es decir la fuerza e intensidad de ocurrencia; así como el análisis de vulnerabilidad o la capacidad de resistencia de los elementos expuestos al peligro (población, viviendas, infraestructura, etc.), dentro de una determinada área geográfica (Astorga y Aguilar, 2006).

Para determinar las probabilidades del peligro y de la vulnerabilidad, se deben tener en cuenta los procedimientos establecidos en anteriormente.

Existen diversos criterios o métodos para el cálculo del riesgo, por un lado, el analítico o matemático; y por otro, el descriptivo.

En la presente memoria se trabajará con el método descriptivo, porque ya tenemos definido las dos variables principales peligro y vulnerabilidad, este método se basa en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Peligro y Vulnerabilidad” tal y como se muestra en la figura N° 70. Para aplicar este método de requiere que previamente se hayan definido los niveles de peligro y niveles de vulnerabilidad.

Peligro Muy Alto	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Alto	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Medio	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Peligro Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

Figura N° 66: Matriz de peligro y vulnerabilidad (INDECI, 2006)

Con ambos valores (porcentajes), se interrelaciona, por un lado (vertical), el valor y nivel estimado del peligro; y por otro (horizontal) el nivel de vulnerabilidad promedio.

En la intersección de ambos valores se podrá estimar el nivel de riesgo esperado.

Recordemos que el peligro encontrado fue alto, debido a que la aceleración esperada en un periodo de retorno de 50 años es 0.26g, este peligro sísmico alto es para todo el barrio Santa Isabel.

Con la ayuda del Excel se logró obtener el riesgo sísmico para el barrio santa Isabel, los resultados se muestran a continuación:

Figura N° 16: Riesgo sísmico en el barrio Santa Isabel

CÓD.	FAMILIA	PELIGRO SÍSMICO	VULNERABILIDAD	RIESGO SÍSMICO
01	Arbildo Torres	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO
02	Cámara Falcon	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
03	Torres Mendoza	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
04	Crisóstomo Vásquez	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO
05	Serván López	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
06	Vargas Chávez	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO
07	Hidalgo Sánchez	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
08	Iliquin Trauco	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO

09	Mendoza Merino	ALTO	BAJA	RIESGO MEDIO
10	Yop Valqui	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO
11	Trujillo Cruz	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO
12	Santillán Culqui	ALTO	BAJA	RIESGO MEDIO
13	Bolaños Yzquerdo	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO
14	Álvarez Tafur	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
15	Chuquizuta Cuipal	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
16	Ramos Medina	ALTO	MEDIA	RIESGO ALTO
17	Salón Cruz	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
18	Lozano Requejo	ALTO	MEDIA	RIESGO ALTO
19	Salinas Ponce	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
20	Tejada Sánchez	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
21	Rodríguez Vera	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
22	Valqui Fernández	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
23	Luna Guevara	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
24	Arce Corrales	ALTO	BAJA	RIESGO MEDIO
25	Rojas Jiménez	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
26	Huamán Pilco	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO
27	García Quevedo	ALTO	MUY ALTA	RIESGO MUY ALTO
28	Valqui Vargas	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
29	Lizana Romero	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
30	Mestanza Peláez	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
31	Zuta Gómez	ALTO	BAJA	RIESGO MEDIO
32	Llanos Briceño	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
33	Huamán Delgado	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
34	Campos Bustamente	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
35	Vela Zuta	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
36	Culqui Bazán	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
37	Lozano Vargas	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
38	Bernal Castillo	ALTO	BAJA	RIESGO MEDIO
39	Damacen Puscán	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
40	Huamán Guiop	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
41	Valqui Olivares	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO
42	Yoplac Polo	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
43	Tello Revilla	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
44	Rojas Guiop	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
45	Chávez Huamán	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
46	Trujillo Tafur	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
47	Portocarrero Meza	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO
48	Tafur Vígo	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
49	Muñoz Culqui	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
50	Huamán Torrejón	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO

51	Mori Mendoza	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
52	Rivera Torres	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
53	Altamirano Vargas	ALTO	-	RIESGO MEDIO
54	Carrasco Cruz	ALTO	MEDIA	RIESGO MEDIO
55	Gómez Huamán	ALTO	BAJA	RIESGO MEDIO
56	Golac Rojas	ALTO	-	RIESGO MEDIO
57	Culqui Huamán	ALTO	MUY ALTA	RIESGO MUY ALTO
58	Ocampo Tafur	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
59	Mas Salcedo	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO
60	Santillán Serván	ALTO	BAJA	RIESGO MEDIO
61	Soplin Grandez	ALTO	ALTA	RIESGO ALTO

FUENTE: *Elaboración propia*

Cabe mencionar que las dos viviendas que fueron construidas con el asesoramiento de un ingeniero, se supuso que su vulnerabilidad es baja, por lo que, al hacer la intersección en la matriz se tiene que estas viviendas tienen riesgo sísmico medio.

5.3. Resultados:

De las 61 viviendas evaluadas se obtuvo:

- 0.0% de viviendas tienen riesgo sísmico bajo.
- 34.4% que equivalente a 21 viviendas evaluadas tiene un riesgo sísmico medio.
- 62.3% que equivale a 38 viviendas evaluadas tiene un riesgo sísmico alto.
- 3.3% que equivale a 2 viviendas evaluadas tiene un riesgo sísmico muy alto.

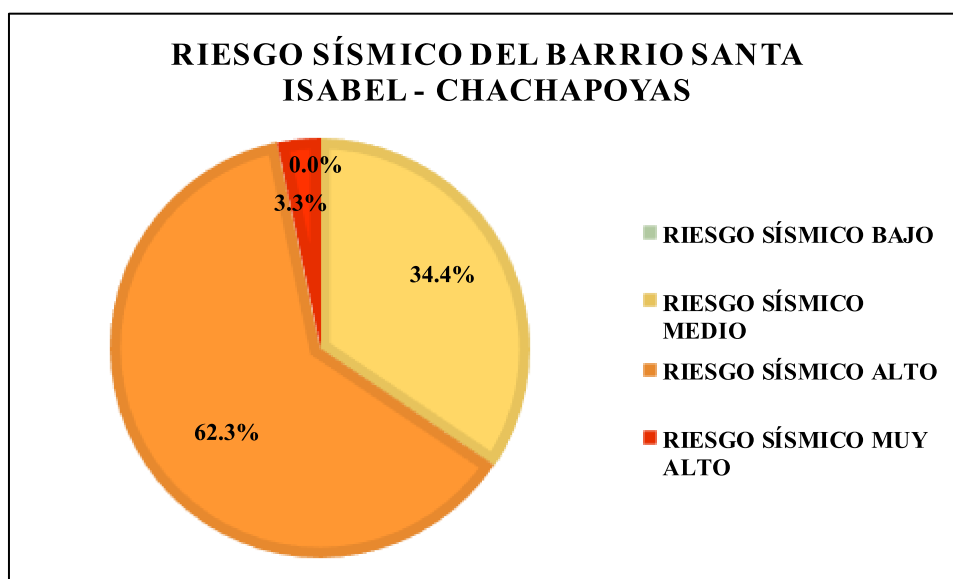


Figura N° 67: *Distribución de las viviendas según el riesgo sísmico (elaboración propia)*

V. DISCUSIÓN:

1. En el **PROYECTO PNDU PER/02/051 CIUDADES SOSTENIBLES** realizada por el Instituto Nacional de Defensa Civil en la ciudad de Chachapoyas, en el año 2010 hizo estudios de peligros y vulnerabilidades en cada barrio de Chachapoyas.

En el caso de la vulnerabilidad, no realizaron un estudio específico de la vulnerabilidad sísmica, se hicieron estudios globales de vulnerabilidad tal es como, vulnerabilidad por fenómenos de origen geológico, climático, etc.

De igual forma para el peligro no realizaron un estudio específico del peligro sísmico, solamente se guiaron de la norma peruana del 2006, en la cual divide al Perú en 3 zonas. Por lo que encontraron que Santa Isabel tiene un peligro medio, considerando peligros por inundación, peligros tecnológicos, etc.

Y para el tema del riesgo, se hicieron estudios de riesgos globales tal es como de origen climático, geológico, encontrando que para zona de Santa Isabel existe un riesgo medio, mas no realizaron un estudio específico de riesgo sísmico.

En cada evaluación de estas variables utilizaron el manual de INDECI.

2. En el plan de desarrollo urbano (PDU) de la ciudad de Chachapoyas también se realizaron diagnósticos en los diferentes barrios, realizada por la Municipalidad de Chachapoyas en el año 2013, se encontró que el peligro para la zona de Santa Isabel es medio, pero se hace un diagnóstico general, es decir no se realizó un estudio específico de peligro sísmico o un peligro por deslizamientos, etc.

De igual manera para la vulnerabilidad y el riesgo sísmico, son estudios generales por lo que no se podría hacer una comparación con la presente memoria.

3. CONCLUSIONES:

Después de la ejecución del presente trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- ✓ El barrio Santa Isabel en la ciudad de Chachapoyas tiene un riesgo sísmico alto, debido a que la mayoría de las viviendas tiene una vulnerabilidad alta.

En términos porcentuales el riesgo sísmico del barrio santa Isabel es como se muestra:

- 0.0% de viviendas tienen riesgo sísmico bajo.
- 34.4% que equivalente a 21 viviendas evaluadas tiene un riesgo sísmico medio.
- 62.3% que equivale a 38 viviendas evaluadas tiene un riesgo sísmico alto.
- 3.3% que equivale a 2 viviendas evaluadas tiene un riesgo sísmico muy alto.

- ✓ Se creó un catálogo de todos los sismos ocurridos los últimos 100 años, es decir desde el año 1900 hasta el año 2017.

El catalogo sísmico cuenta con 1156 eventos sísmicos, caracterizados por fecha, hora, latitud, longitud, profundidad, magnitud su ubicación.

Parte del catálogo se muestra en los anexos.

- ✓ Se creó un catálogo sísmico de intensidades de diferentes años, abarcando desde el año 1586 hasta el año 2010.

El catalogo sísmico cuenta con 50 eventos sísmicos, caracterizados por fecha, hora, latitud, longitud, profundidad y reporte de la intensidad observada.

Parte del catálogo se muestra en los anexos.

- ✓ Se elaboraron 3 leyes de atenuación tanto para la aceleración del suelo como para las intensidades. Se elaboró una ley para cada fuente sismogénica, es decir para la fuente cortical, interplaca e intraplaca.

- ✓ Se generó un mapa de iso-aceleraciones utilizando los parámetros definidos en anteriormente, una malla de nodos espaciados cada 0.1° y el software CRISIS-2007

Para generar el mapa, se exportó puntos en formato .xyz al Google Earth Pro, con el simple objetivo de que se pueda ver exactamente en área de estudio.

Los resultados se pueden apreciar en los anexos.

- ✓ Se elaboró el espectro de peligro uniforme para el barrio Santa Isabel, obteniéndose una aceleración máxima de 0.26g la cual es mayor a comparación de la norma peruana E-030 sismorresistente.

El espectro se puede apreciar en la parte de los resultados del peligro sísmico.

- ✓ El peligro sísmico para el barrio de Santa Isabel es alto, se obtuvo convirtiendo la máxima aceleración (0.26g) a 2.55 m/s^2 y con la ayuda de la escala de peligro establecidos en el proyecto GSHAP (Giardini, 1999), encontramos que 2.55 m/s^2 corresponde a un peligro sísmico alto.

- ✓ Al realizar las encuestas de cada una de las viviendas se pudo conocer el material predominante de las mismas. Se encontró que la mayor parte de las viviendas fueron construidas con adobe el cual representa un 57.4% de las viviendas.

En términos porcentuales el material predominante es como se muestra:

- Viviendas construidas con adobe 57.4%
- Viviendas construidas con ladrillo 34.4%
- Viviendas construidas con bloques de concreto 4.9%
- Viviendas construidas con otro tipo de material 3.3%

- ✓ Se determinó el Índice de Vulnerabilidad de cada vivienda, obteniendo así un índice máximo de 52% correspondiente a la vivienda de la familia García Quevedo y un índice de vulnerabilidad mínima de 2.9% correspondiente a la vivienda de la familia Santillán Culqui.

- ✓ La vulnerabilidad de las viviendas autoconstruidas del barrio Santa Isabel son como se muestra:

- 11.5% de viviendas se encuentran con vulnerabilidad sísmica baja.
- 23% de las viviendas evaluadas tiene una vulnerabilidad sísmica media.
- 59% de las viviendas evaluadas tiene una vulnerabilidad sísmica alta.
- 3.3% de las viviendas evaluadas tiene una vulnerabilidad sísmica muy alta.

- ✓ El mapa de riesgo sísmico se muestra en los anexos.

4. RECOMENDACIONES:

- ✓ A medida que transcurra el tiempo y se recopile una mayor cantidad de eventos sísmicos, recomiendo actualizar los parámetros sismológicos de cada fuente sismogénica.
- ✓ Como se ha podido notar, las leyes de atenuación desempeñan un papel importante a la hora de evaluar el peligro sísmico debido a que cuantifican la disipación de la energía de las ondas sísmicas con la distancia. Sin embargo, no es nada sencillo la determinar una expresión que modele adecuadamente el comportamiento real de las ondas con la distancia. Por lo que, recomiendo para próximos estudios de peligro sísmico, alimenten bien a la base de datos de las aceleraciones para así formular leyes de atenuación mucho más exactas además actualizar constantemente la data.
- ✓ Al realizar estudios de vulnerabilidad, recomiendo que para realizar encuestas por lo menos se cuente con 5 personas especializadas y que manejen términos ingenieriles, de esta forma se tendrán datos más exactos, se reducirá el tiempo en campo, se obtendrán cálculos más confiables y más coherentes
- ✓ A los habitantes que vayan a construir sus viviendas, recomiendo pedir asesoramiento de profesionales para que a la hora de construir estas puedan cumplir las regulaciones de las normas sismo resistente E.030, de albañilería E.070 y de adobe E.080 y así reducir la vulnerabilidad sísmica.
- ✓ Recomiendo, a las autoridades como los de Defensa Civil y a la misma Municipalidad de Chachapoyas, educar a la población para la mitigación de riesgos, ya que muchos desconocen las acciones a tomar durante o después de un sismo u otro cualquier fenómeno natural que pudiera ocurrir.
- ✓ A la universidad, promover la investigación y algunos trabajos de prácticas en favor de la población en zonas de alto riesgo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AFGP. (2009). *Association Francaise du Genie Parasismique*.
- Aguilar, A. (12 de octubre del 2010). El boom de la autoconstrucción en el Perú. *El Comercio*. 1.
- Alfaro A. J. y Torres A. (2000). *Estudio de amenaza y microzonificación sísmica, vulnerabilidad estructural y evaluación de escenarios de daño en Neiva – Colombia*. Instituto Geofísico Universidad Javeriana. Neiva, Colombia.
- Astorga M. A. y Aguilar R. (2006). *Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Atkinson G. M. y Boore D. (2003). *Empirical ground-motion relations for subduction zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions*. Bull. Seism. Soc. Am. 93.
- Barazangi M. e Isacks, B. (1976). *Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America*. vol. 4. New York, States United: Geology.
- Barbat A, Caicedo R., Canas F. y Aguiar R. (1994). *Seismic fragility curves for traditional unreinforced masonry buildings of Barcelona, Spain*. Technical University of Catalonia. Barcelona, España.
- Barbat A. (2010). *Evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico en zonas urbanas: Aplicación a Barcelona*. Barcelona, España.
- Benedetti D y Petrini V. (1984). *Sulla Vulnerabilità Sismica di edifici muratura y proposte di un metodo di valutazione*, L'industria delle Costruzioni, vol. 1. Florence, Italia.
- Berrocal J. (1975). *Estudio de Sismicidad para el Proyecto de Derivación del Río Mantaro a Lima*. Informe del Instituto Geofísico del Perú a ELECTROPERU S.A. Lima, Perú.
- Berz G., y Smolka, A. (1995). *World map of natural hazards - a global view of the distribution and intensity of significant exposures*. University of Columbia. States United.
- Bolaños A. M. y Monroy O. M. (2004). *Espectros de peligro sísmico uniforme* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Bolt B. A. (1999). *Earthquakes*, W. H. Freeman and Company. New York, States United: Fourth Edition.
- Bozzo L. (1995). *Técnicas avanzadas de diseño sismorresistente* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

- Cano L., Monsalve H., Agudelo J. A., Upegui F. M. y Jaramillo J. D. (2000). *Metodología para la evaluación del riesgo sísmico de pequeñas y medianas ciudades. Estudio de caso: zona centro de la ciudad de Armenia – Colombia*. Centro de Estudios e Investigaciones, Facultad de Ingeniería. Vol. 5. Armenia, Colombia.
- CAPRA. (2010). *Vulnerabilidad de edificaciones e infraestructura*, Bogotá, D.C.
- Casaverde L. (1980). *Zonificación Sísmica del Perú*, II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismorresistente, OEA y PUCP. Lima, Perú.
- Castillo J. L. (1993). *Peligro Sísmico en el Perú* (tesis de maestría). Universidad Nacional De Ingeniería. Lima, Perú.
- Castillo J. y Alva, J. (1993). *Peligro Sísmico en el Perú*. VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Lima, Perú.
- CERESIS. (1985). *Catálogo de terremotos para América del Sur. Datos de Hipocentros e Intensidades*. Perú. Vol.7.
- China C. (2002). *Posicionándonos en el Globo Terrestre; Distancia entre dos puntos de la superficie*. (Disponible en: <http://casanchi.com/ast/latierra.htm>. Consultado el: 10 de noviembre de 2012).
- CNIC. (1999). *Relación de Monumentos Históricos del Perú, del Centro nacional de Información Cultural dependiente del Instituto nacional de Cultura*. Lima, Perú.
- COOPI. (2009). *Estudio de identificación de zonas de peligro y vulnerabilidad en los distritos de Cercado de Lima*. Lima, Perú.
- Cornell C.A. (1968). *Engineering seismic risk analysis. Bulletin of the Seismological Society of America*. Washington, Estados Unidos.
- De la Cruz I. J. (2011). *Peligro sísmico probabilístico y espectro uniforme en la región de Ancash* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Ancash, Perú.
- Dowrick D. J. (1997). *Earthquake Resistant Design For Engineers and Architects*. John Wiley & Sons.
- Flores R. A. (2002). *Diagnostico preliminar de la vulnerabilidad sísmica de las autoconstrucciones en lima* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

- Gamarra C. (2009). *Nuevas fuentes sísmicas para la evaluación del peligro sísmico y generación de espectros de peligro uniforme en el Perú* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Giardini D. (1999). *Global seismic hazard assessment program (GSHAP)*. (Disponible en: <http://www.seismo.ethz.ch/static/gshap/index.html>.)
- González M. (2000). *Simulación post-evento de los efectos de un terremoto*. Informe técnico núm. GS-128/00. Institut Cartogràfic de Catalunya. Barcelona, España.
- GSHAP. (1999). *Global Seismic Hazard Assessment Program*. <http://seismo.ethz.ch/gshap/>.
- Hernández A. (2010). *Vulnerabilidad sísmica de hospitales, fundamentos para ingenieros, arquitectos y administradores*. Boletín técnico 51 / Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Bogotá, Colombia.
- Housner P. (1970). *Lokalbeobachtung der südlichen Anden zwischen 36° und 40°S*. Thesis Universidad Libre de Berlin.
- Huaco D. (1980). *Análisis de los parámetros que intervienen en la evaluación del Peligro Sísmico*. Instituto geofísico el Perú. Lima, Perú.
- INDECI. (2001). *Manual básico para la estimación de riesgo*. Lima, Perú.
- Isacks T. (1968). *Seismology and new global tectonics: jour*. Geophys. Research, New York, States Unites.
- Kramer S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall International Series.
- Kuroiwa J. (1990). *Prevención y Mitigación de Desastres en el Perú*. Seminarios CISMID. Lima, Perú.
- Kuroiwa J. (2002). *Reducción de desastres – Viviendo en armonía con la naturaleza*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Lima, Perú: CAPECO.
- Lara V. y Alva J. (1984). *Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú*. Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- Laucata J. E. (2013). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la ciudad de Trujillo* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Maeda E. (1996). *Identificación de una posible estructura en bloques en el Sur del Perú*. Seminarios CISMID. Universidad Nacional Ingeniería. Lima, Perú.

- Magri L. (1992). *For an adequate use of intensity data in site hazard estimates: Mixing theoretical and observed intensities. Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*. Madrid, España.
- Mena U. (2002). *Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Muñoz A., Tinman M. y Quiun D. (1999). *Riesgo sísmico de edificios peruanos*. Departamento de Ingeniería PUCP. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.
- MVCS, (2013). *Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chachapoyas*. Chachapoyas, Amazonas.
- Navia J. A. y Barrera E. M. (2007). *Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica en viviendas de uno y dos pisos en la ciudad de Bogotá*. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
- Nishimura T. (2011). *Efectos en el terreno ocasionados por los sismos del alto mayo en Perú*. Lima, Perú.
- Nyffenegger, P. (1997). *Earthquake Basics*. University of Texas Institute For Geophysics. <http://wadati.ig.utexas.edu:8000/earthquake/EQFAQ/eqfaq.html>.
- Ochoa A. J. (2012). *Aplicación de los sistemas de información geográfica para la determinación de escenarios de riesgo en el balneario de Pucusana* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Ordaz M. (2007). *Program for computing seismic hazard: CRISIS 2007 Vol. 7.6*. Institute of Engineering, UNAM. México.
- Ortiz C. (2011). *Determinación del Peligro Sísmico de la Región de Tacna* (Tesis de maestría). Universidad de Tacna. Tacna, Perú.
- Rainer J. H. (2000). *Vibrations in Buildings. National Research Council Canada*. Institute for Research in Construction. CBD-232. Canadá.
- Reiter L. (1990). *Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights*. Columbia University. States United.
- Ruiz R. (1999). *La Atenuación en los Andes y la Evaluación Probabilística del Peligro Sísmico* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villareal. Lima, Perú.

- Sadigh K., Chang C., Egan J., Makdisi F., Youngs R.R. (1997). *Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data*. Seismological Research Letters, Vol. 68, Number 1.
- Sadigh K. (1997). *Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data*. Seismological Research Letters 68.
- Sahop S. W. (2005). *Riesgo sísmico en la región metropolitana de San Salvador*. Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente. San Salvador.
- Sandi H. (1999). *Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems*. Proceedings of the eighth European Conference on Earthquake Engineering. Lisbon, Portugal.
- Santibáñez O. A. (2013). *Evaluación del peligro sísmico uniforme en la región de los ríos usando enfoques probabilista y determinista* (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Saragoni G. R. (2004). *Implicaciones y Nuevos Desafíos de Diseño Sísmico de los Acelerogramas del terremoto del 2010* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Saragoni G. R. y Ruiz S. (2005). *Modelos Elásticos 1D para la respuesta dinámica de suelos obtenidas del análisis de acelerogramas de sismos de Chile Central*. 5th Congreso Chileno de Geotecnia, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Sarria A. (1995). *Ingeniería Sísmica*. (2ª ed.). Santa Fe de Bogotá, Colombia. Ediciones Uniandes.
- Silgado E. (1978). *Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú (1513-1974)*, Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Lima, Perú.
- Silgado E. (2003). *Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1515-1960)*. Boletín Bibliográfico de Geografía y Oceanografías Americanas. México.
- Silva N. (2008). *Caracterización y determinación del peligro sísmico en la Región Metropolitana* (Tesis de maestría). Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Sommerville P. (2000). *Seismic Hazard Evaluation. State of the art*. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, New Zealand, Paper N° 2833.
- Souter F. (1996). *Redefining terms in the field on seismic safety and risk Mitigation*. New York, States United: Earthquake Spectra.

- Tavera H., Agüero C., y Fernández, E. (2016). *Catálogo general de isosistas para sismos peruanos*. Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú.
- Tavera H., Buforn E. (1998). *Sismicidad y sismotectónica de Perú* (tesis de doctorado). Universidad Complutense de Madrid, España.
- USGS. (2017). *National Earthquake Information Center, World Data Center a for Seismology*, <http://wwwneic.cr.usgs.gov/>.
- Vega O. (1977). *Diseño Sismo Resistente de muros de Adobe* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Velarde G. K. (2014). *Análisis de vulnerabilidad sísmica de vivienda de dos pisos de adobe existente en Lima* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Velásquez J. (2006). *Charla académica: Perú y su naturaleza sísmica*. Academia de Ciencias de Perú. Lima, Perú.
- Vizconde A. (2004). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente: Clínica San Miguel de Piura* (Tesis de pregrado) – Universidad de Piura. Piura, Perú.
- Yépez F. (1996). *Vulnerabilidad Sísmica de Edificios de Mampostería para Estudios de Riesgo Sísmico* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Youngs R. R. (1997). *Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard assessments*. Bulletin of the Seismological Society of America. Vol. 75, N°4.
- Youngs R. R., Chiou S. J., Silva W. J. y Humphrey J. R. (1997). *Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes*. Seismological Research Letters.

ANEXOS








ANEXO 1

Mapa de riesgo sísmico

Riesgo sísmico del barrio Santa Isabel en la ciudad de Chachapoyas



LEYENDA

- | | |
|---|---|
|  RIESGO SÍSMICO BAJO |  LOTE DE TERRENO |
|  RIESGO SÍSMICO MEDIO |  LOTE DE TERRENO VACÍO |
|  RIESGO SÍSMICO ALTO |  LÍMITE DEL BARRIO |
|  RIESGO SÍSMICO MUY ALTO | |

UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

AUTOR:
JAMHMER OC LLATANCE

FACULTAD:
INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

FECHA:
MAYO, 2017

PROYECTO:
**ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DE LAS
VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS EN EL BARRIO
SANTA ISABEL, CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2016**

ANEXO 2

Catálogo sísmico

NÚMERO	ORIGEN		HIPOCENTRO			MAGNITUD				UBICACIÓN
	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF. (km)	Ms	Mb	MI	Mw	
1	20/02/2017	07:45:10	-5.220	-74.971	10.00	-	5.40	-	-	Loreto, reserva nacional Pacaya Samiria
2	16/02/2017	10:36:09	-7.163	-80.640	40.17	-	4.80	-	-	85km WSW de Pimentel, Chiclayo
3	31/01/2017	23:38:27	-3.313	-76.887	46.88	-	4.80	-	-	169km N de Barranca, Lima
4	07/01/2017	16:04:54	-7.844	-75.548	39.70	-	4.90	-	-	82km SO de Contamana, Pucallpa
5	02/01/2017	13:13:49	-4.895	-76.368	106.00	-	-	-	5.90	37km E de Barranca, Lima
6	29/12/2016	15:38:43	-6.845	-75.942	4.49	-	4.50	-	-	36km SE de Chazuta, Tarapoto
7	07/12/2016	10:24:56	-5.246	-78.812	16.60	-	4.60	-	-	23km SE de San Ignacio, Cajamarca
8	27/11/2016	16:53:14	-8.331	-79.988	35.00	-	4.70	-	-	92km SE de Santiago de Cao, Trujillo
9	09/11/2016	20:01:23	-6.504	-80.668	10.00	-	4.60	-	-	72km O de Mórrope, Lambayeque
10	16/10/2016	13:04:27	-7.009	-80.125	40.74	-	5.00	-	-	28km SO de Pimentel, Chiclayo
11	02/10/2016	20:59:56	-8.553	-80.446	10.00	-	4.60	-	-	148km SO de Santiago de Cao, Trujillo
12	30/09/2016	22:35:49	-3.998	-76.936	105.52	-	4.60	-	-	96km NO de Barranca, Lima
13	25/09/2016	12:10:41	-8.384	-75.106	121.22	-	4.60	-	-	34km NO de Campoverde, Ucayali
14	15/09/2016	06:42:23	-6.347	-76.733	19.74	-	4.50	-	-	5km O de Tabalosos, San Martin
15	10/09/2016	10:08:20	-5.573	-76.954	121.00	-	-	-	6.10	52km N de Moyobamba, San Martin
16	27/08/2016	20:19:16	-8.245	-76.210	121.70	-	4.50	-	-	33km SE de Tocache Nuevo, San Martin
17	01/08/2016	07:32:45	-8.910	-76.541	129.47	-	4.70	-	-	50km S of Uchiza, Peru
18	20/07/2016	16:49:58	-8.400	-78.611	106.13	-	4.90	-	-	15km E of Viru, Peru
19	02/07/2016	06:35:02	-4.754	-80.669	57.71	-	4.50	-	-	9km NNW of Querecotillo, Peru
20	08/06/2016	20:18:28	-4.268	-76.879	103.45	-	4.90	-	-	65km NNW of Barranca, Peru
21	24/05/2016	16:35:21	-2.798	-78.772	90.94	-	4.70	-	-	9km SE of Azogues, Ecuador
22	09/05/2016	01:22:45	-7.233	-74.891	131.25	-	4.50	-	-	17km NE of Contamana, Peru
23	09/04/2016	07:15:13	-4.311	-78.335	38.92	-	4.90	-	-	71km SE of Yantzaza, Ecuador
24	21/03/2016	08:31:16	-5.357	-77.719	35.00	-	4.60	-	-	84km ENE of La Peca, Peru
25	26/02/2016	13:09:57	-4.718	-80.721	49.93	-	4.50	-	-	15km NNW of Querecotillo, Peru
26	25/01/2016	08:28:08	-6.065	-76.734	29.49	-	4.70	-	-	24km ENE of Jepelacio, Peru
27	16/01/2016	21:39:18	-7.780	-79.960	43.48	-	4.60	-	-	60km SW of Pacasmayo, Peru
28	07/01/2016	14:55:43	-6.800	-76.898	10.00	-	4.50	-	-	20km NW of Saposoa, Peru
29	23/12/2015	02:34:24	-5.788	-74.652	25.87	-	4.60	-	-	129km ESE of Lagunas, Peru
30	20/11/2015	21:28:58	-6.596	-80.521	53.41	-	4.60	-	-	56km W of Morrope, Peru
31	13/11/2015	06:54:49	-8.504	-75.947	117.56	-	5.00	-	-	57km E of Uchiza, Peru
32	04/10/2015	15:56:41	-3.789	-79.927	57.70	-	4.60	-	-	33km WSW of Pinas, Ecuador
33	28/09/2015	03:07:16	-5.223	-76.801	107.35	-	4.50	-	-	44km SSW of Barranca, Peru
34	02/09/2015	14:30:33	-5.650	-76.770	28.00	-	4.60	-	-	49km NNE of Moyobamba, Peru
35	28/07/2015	02:42:21	-5.909	-75.078	35.44	-	4.50	-	-	100km SE of Lagunas, Peru
36	25/07/2015	07:34:09	-8.370	-75.710	126.00	-	5.20	-	-	83km E of Uchiza, Peru
37	09/07/2015	18:08:36	-9.110	-75.830	27.00	-	5.00	-	-	27km NE of Tingo Maria, Peru
38	06/07/2015	11:17:48	-7.180	-80.516	36.72	-	4.90	-	-	74km WSW of Pimentel, Peru
39	07/06/2015	06:39:29	-6.631	-81.082	10.60	-	4.80	-	-	118km W of Morrope, Peru

NÚMERO	ORIGEN		HIPOCENTRO			MAGNITUD				UBICACIÓN
	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF. (km)	Ms	Mb	MI	Mw	
40	02/06/2015	08:22:38	-3.987	-76.078	118.19	-	4.90	-	-	116km NE of Barranca, Peru
41	20/05/2015	22:34:30	-3.083	-77.550	8.45	-	5.10	-	-	96km SE of Sucua, Ecuador
42	12/05/2015	04:10:03	-5.438	-79.465	87.82	-	4.50	-	-	22km S of Huancabamba, Peru
43	11/05/2015	16:29:11	-8.196	-76.265	128.47	-	4.50	-	-	27km E of Tocache Nuevo, Peru
44	07/05/2015	14:46:25	-8.012	-77.687	48.06	-	4.70	-	-	47km ESE of Huamachuco, Peru
45	26/04/2015	23:35:30	-8.324	-79.832	22.00	-	-	-	5.60	76km WSW of Santiago de Cao, Peru
46	23/04/2015	17:10:49	-8.363	-75.642	15.58	-	4.70	-	-	91km E of Uchiza, Peru
47	13/04/2015	14:32:28	-8.528	-80.319	27.33	-	4.90	-	-	134km WSW of Santiago de Cao, Peru
48	06/03/2015	18:09:51	-8.483	-75.661	36.47	-	4.80	-	-	88km E of Uchiza, Peru
49	28/02/2015	04:53:11	-4.931	-78.182	67.42	-	4.60	-	-	80km NNE of La Peca, Peru
50	13/02/2015	19:38:54	-3.055	-78.425	97.56	-	4.80	-	-	40km NNE of Gualaquiza, Ecuador
51	01/02/2015	23:33:00	-3.913	-76.618	115.65	-	5.10	-	-	102km N of Barranca, Peru
52	16/01/2015	11:39:23	-3.379	-79.972	79.03	-	5.10	-	-	7km N of Santa Rosa, Ecuador
53	15/12/2014	05:53:59	-8.340	-75.072	112.64	-	4.50	-	-	32km WNW of Campoverde, Peru
54	29/11/2014	15:48:28	-8.525	-80.019	34.31	-	4.60	-	-	106km SW of Santiago de Cao, Peru
55	28/11/2014	04:06:16	-3.878	-77.210	114.16	-	4.50	-	-	119km NNW of Barranca, Peru
56	09/11/2014	13:26:45	-5.492	-78.445	39.26	-	4.80	-	-	13km N of La Peca, Peru
57	31/10/2014	18:42:18	-7.605	-76.362	17.59	-	5.40	-	-	59km SE of Huicungo, Peru
58	31/10/2014	04:12:45	-8.600	-76.210	30.00	-	4.60	-	-	31km ESE of Uchiza, Peru
59	05/10/2014	13:54:45	-4.404	-76.367	35.57	-	4.60	-	-	60km NE of Barranca, Peru
60	09/09/2014	07:12:39	-4.147	-80.268	94.25	-	4.80	-	-	35km W of Celica, Ecuador
61	23/08/2014	18:15:47	-5.925	-76.511	59.99	-	4.60	-	-	47km W of Yurimaguas, Peru
62	07/08/2014	11:33:19	-6.220	-75.880	84.00	-	-	-	-	41km SSE of Yurimaguas, Peru
63	31/07/2014	23:32:21	-6.649	-76.106	73.57	-	4.60	-	-	8km SSE of Chazuta, Peru
64	23/07/2014	09:57:47	-5.721	-81.001	39.66	-	4.60	-	-	26km SW of Sechura, Peru
65	04/07/2014	20:00:14	-9.061	-75.642	51.47	-	4.50	-	-	47km ENE of Tingo Maria, Peru
66	06/06/2014	23:49:28	-7.257	-75.736	22.10	-	4.80	-	-	75km ESE of Picota, Peru
67	15/05/2014	22:43:18	-7.603	-79.368	64.16	-	5.10	-	-	16km NNW of Paijan, Peru
68	15/05/2014	01:48:53	-5.591	-80.983	49.97	-	4.60	-	-	18km WSW of Sechura, Peru
69	14/05/2014	21:12:48	-8.370	-76.250	28.00	-	4.70	-	-	25km ENE of Uchiza, Peru
70	12/05/2014	04:15:27	-4.210	-80.460	34.00	-	4.50	-	-	Peru-Ecuador border region
71	22/03/2014	00:38:45	-5.430	-80.830	37.00	-	4.90	-	-	5km WSW of Vice, Peru
72	16/03/2014	15:25:14	-5.690	-81.000	28.00	-	4.50	-	-	24km SW of Sechura, Peru
73	15/03/2014	23:51:33	-5.575	-80.971	29.00	-	-	-	6.30	16km W of Sechura, Peru
74	05/03/2014	04:25:43	-3.961	-76.374	99.73	-	4.50	-	-	102km NNE of Barranca, Peru
75	16/02/2014	16:56:00	-4.617	-78.386	23.25	-	4.50	-	-	87km SE of Zamora, Ecuador
76	13/01/2014	09:17:47	-5.291	-78.455	49.50	-	4.50	-	-	35km N of La Peca, Peru
77	08/01/2014	15:39:18	-5.012	-80.001	72.10	-	4.60	-	-	19km N of Morropon, Peru
78	06/01/2014	20:05:45	-4.799	-80.595	45.24	-	4.70	-	-	7km NE of Querecotillo, Peru

ANEXO 3

Catálogo sísmico de intensidades

ORIGEN		HIPOCENTRO			MAGNITUD (Ms)	REPORTE DE LA INTENSIDAD OBSERVADA				
FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF. (km)		LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	DIST.EPIC. (km)	INTENSIDAD
10/07/1586	19:00:00	-12.301	-77.705	60.00	8.10	CALLAO	-12.067	-77.150	65.74	9.00
						LIMA	-12.043	-77.028	78.99	8.00
						HUARMEY	-10.068	-78.152	253.29	7.00
						TRUJILLO	-8.112	-79.028	488.33	5.00
						CASMA	-9.475	-78.302	321.28	6.00
						CABANA, ANCASH	-8.400	-78.033	435.71	5.00
						CAJAMARCA	-7.164	-78.500	578.45	4.00
						CHACHAPOYAS	-6.232	-77.869	675.85	4.00
MOYOBAMBA	-6.050	-76.967	700.54	4.00						
14/02/1619	16:30:00	-8.900	-79.300	40.00	7.80	TRUJILLO	-8.112	-79.028	92.73	9.00
						SAN PEDRO DE LLOC	-7.433	-79.506	164.90	7.00
						HUAMACHUCO	-7.800	-78.067	182.89	7.00
						CHICLAYO	-6.774	-79.842	244.13	7.00
						CONTUMAZÁ, CAJAMARCA	-7.367	-78.817	178.81	7.00
						ASCOPE	-7.714	-79.108	133.67	8.00
						PAITA	-5.089	-81.114	469.20	7.00
						PUCARÁ, CAJAMARCA	-6.040	-79.129	318.94	7.00
						LIMA	-12.043	-77.028	429.24	6.00
						SANTIAGO DE CHUCO	-8.150	-78.183	148.61	7.00
						PIURA	-5.200	-80.633	437.43	7.00
QUEROCOTO, CAJAMARCA	-6.359	-79.036	284.38	7.00						
MALA	-12.658	-76.631	510.09	5.00						
20/10/1687	09:15:00	-11.350	-78.200	30.00	8.20	CAÑETE	-13.078	-76.384	275.80	11.00
						CHIMBOTE	-9.085	-78.578	255.50	4.00
						HUARMEY	-10.068	-78.152	142.80	5.00
						CABANA, ANCASH	-8.400	-78.033	328.91	3.00
						TRUJILLO	-8.112	-79.028	371.77	3.00
						HUARAL	-11.495	-77.208	109.47	7.00
07/01/1725	04:15:00	-9.200	-79.300	40.00	7.70	BARRANCA	-10.750	-77.767	240.90	8.00
						CASMA	-9.475	-78.302	113.85	7.00
						YUNGAY	-9.138	-77.744	171.18	7.00
						HUAMACHUCO	-7.800	-78.067	206.71	6.00
						SAN PEDRO DE CHONTA	-8.658	-76.864	274.64	6.00
						TOCACHE	-8.188	-76.550	322.87	5.00
						CAJAMARCA	-7.164	-78.500	243.19	5.00
						CHEPEN	-7.217	-79.450	221.41	5.00
29/10/1746	03:30:00	-11.990	-77.190	30.00	8.40	LIMA	-12.043	-77.028	18.57	8.00
						TRUJILLO	-8.112	-79.028	476.42	7.00

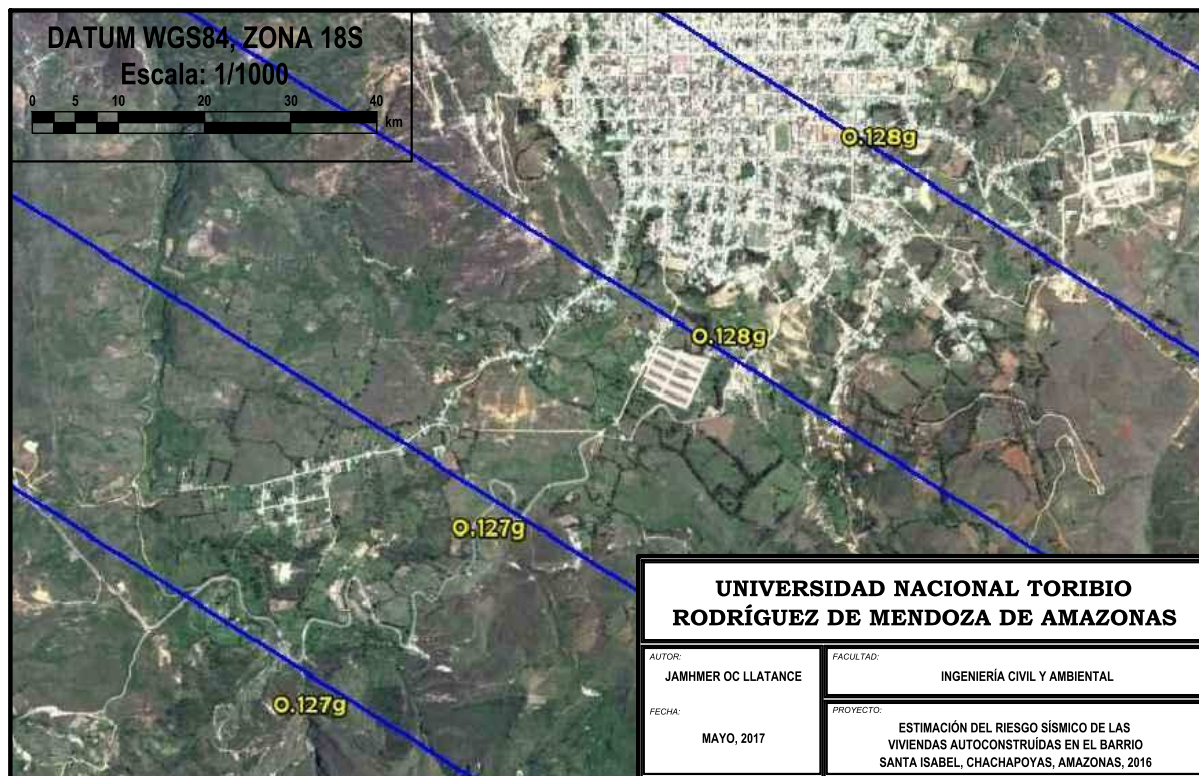
Catálogo sísmico de intensidades (laboración propia)

ORIGEN		HIPOCENTRO			MAGNITUD (Ms)	REPORTE DE LA INTENSIDAD OBSERVADA				
FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROF. (km)		LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	DIST.EPIC. (km)	INTENSIDAD
						CAJAMARCA	-7.164	-78.500	556.16	7.00
						TOCACHE	-8.188	-76.550	429.01	6.00
						JUANJUI	-7.178	-76.731	538.07	6.00
						CHICLAYO	-6.774	-79.842	649.59	7.00
						LAGUNAS, LORETO	-5.227	-75.675	771.10	4.00
						YURIMAGUAS	-5.900	-76.083	688.78	4.00
						CONTAMANA	-7.350	-75.010	569.28	4.00
24/07/1912	11:50:00	-5.600	-80.400	30.00	8.00	CHIRINOS, CAJAMARCA	-5.305	-78.898	169.62	11.00
						HUANCABAMBA	-5.239	-79.451	112.65	11.00
						OLMOS	-5.985	-79.745	84.22	10.00
						BAGUA	-5.635	-78.531	207.15	10.00
						PIURA	-5.200	-80.633	51.49	10.00
						CAJAMARCA	-7.164	-78.500	272.91	8.00
						NIEVA	-4.583	-77.900	299.42	9.00
						TALARA	-4.577	-81.272	149.37	6.00
						JUANJUI	-7.178	-76.731	442.22	8.00
						CUTERVO	-6.377	-78.818	195.30	9.00
						CHICLAYO	-6.774	-79.842	144.52	8.00
						SECHURA	-5.557	-80.822	47.02	10.00
						MOYOBAMBA	-6.050	-76.967	383.52	9.00
14/05/1928	22:14:46	-5.000	-78.000	30.00	7.30	CHACHAPOYAS	-6.232	-77.869	137.88	10.00
						MOYOBAMBA	-6.050	-76.967	163.62	10.00
						JUANJUI	-7.178	-76.731	280.16	8.00
						CUTERVO	-6.377	-78.818	178.09	9.00
						CAJAMARCA	-7.164	-78.500	247.17	8.00
						CHICLAYO	-6.774	-79.842	283.85	7.00
						TRUJILLO	-8.112	-79.028	364.58	6.00
						MORROPON	-5.182	-79.969	219.26	8.00
21/06/1937	15:13:00	-8.500	-80.000	60.00	6.70	SALAVERRY, TRUJILLO	-8.215	-78.978	116.92	6.00
						VIRÚ	-8.417	-78.750	137.95	6.00
						OTUZCO, LA LIBERTAD	-7.904	-78.565	171.47	5.00
						CHEPEN	-7.217	-79.450	155.20	4.00
						CARAZ	-9.048	-77.811	248.46	4.00
						HUAMACHUCO	-7.800	-78.067	226.85	4.00
24/05/1940	16:34:00	-10.500	-77.000	50.00	8.20	BARRANCA	-10.750	-77.767	88.38	8.00
						MALA	-12.658	-76.631	243.59	7.00
						CHIMBOTE	-9.085	-78.578	234.05	6.00
						VIRÚ	-8.417	-78.750	301.18	5.00

ANEXO 4

Peligro sísmico probabilístico

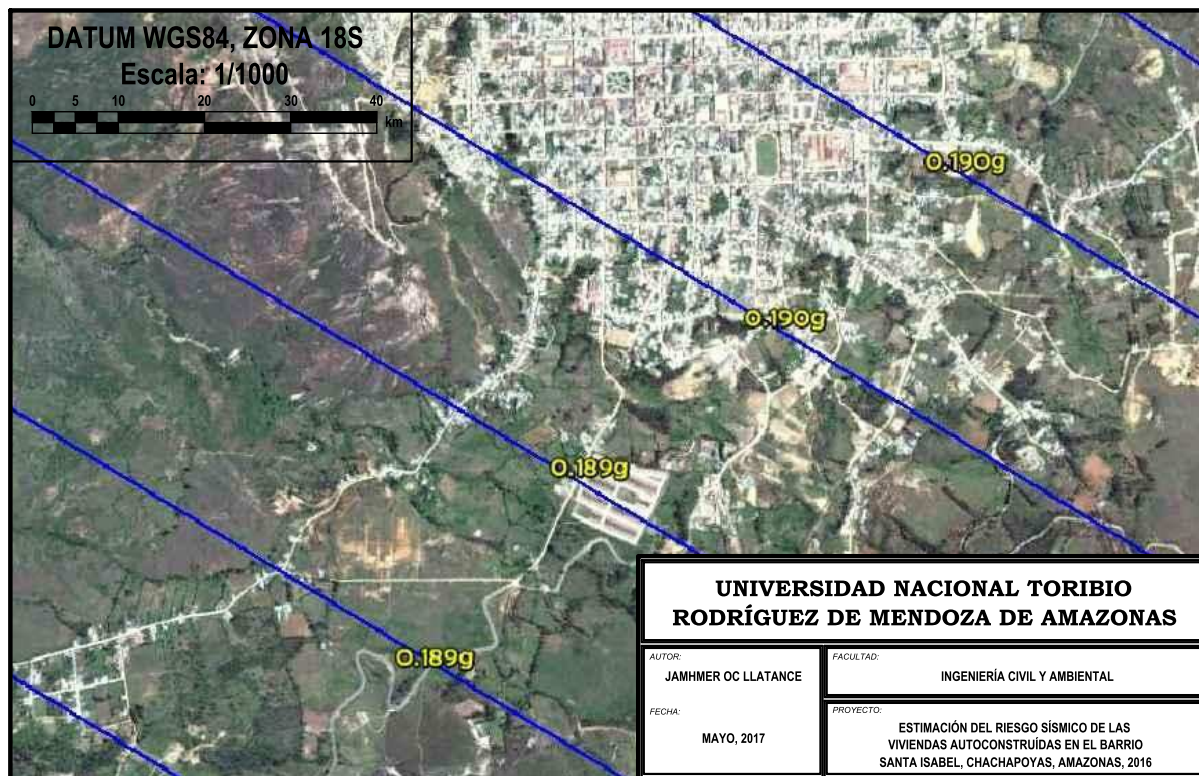
Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 0.00s$



Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 0.05s$



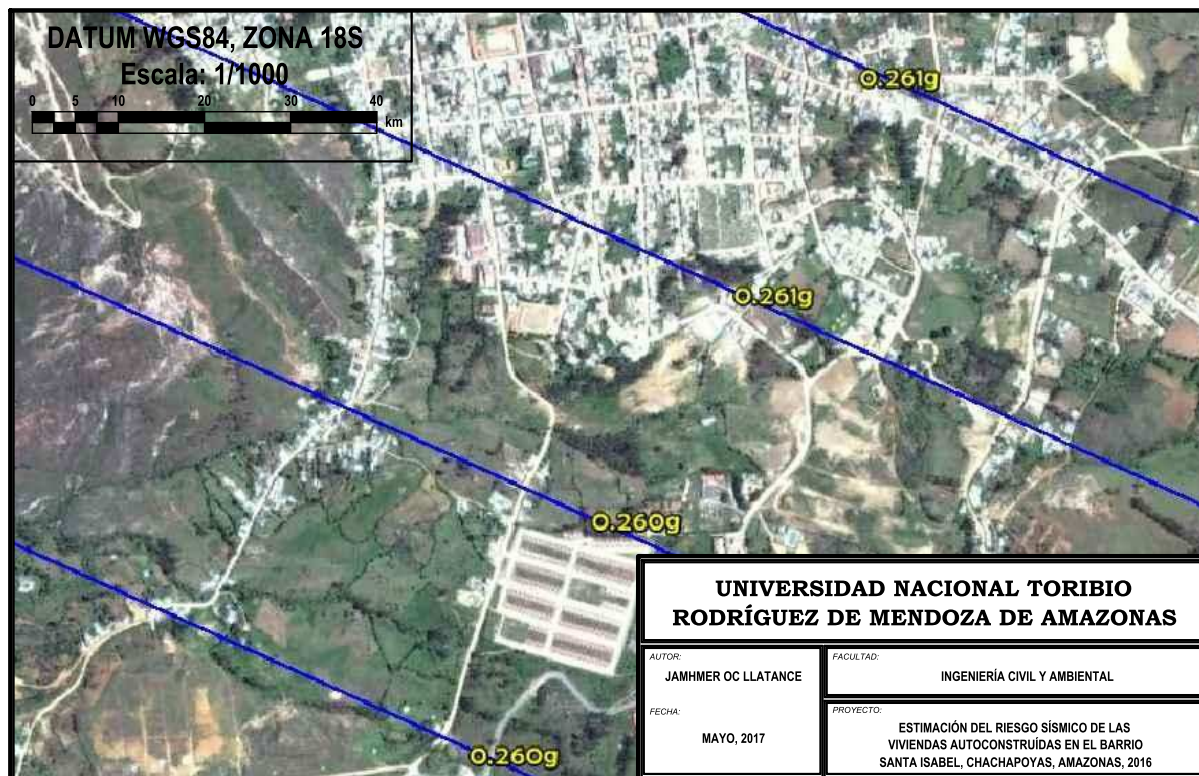
Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 0.10s$



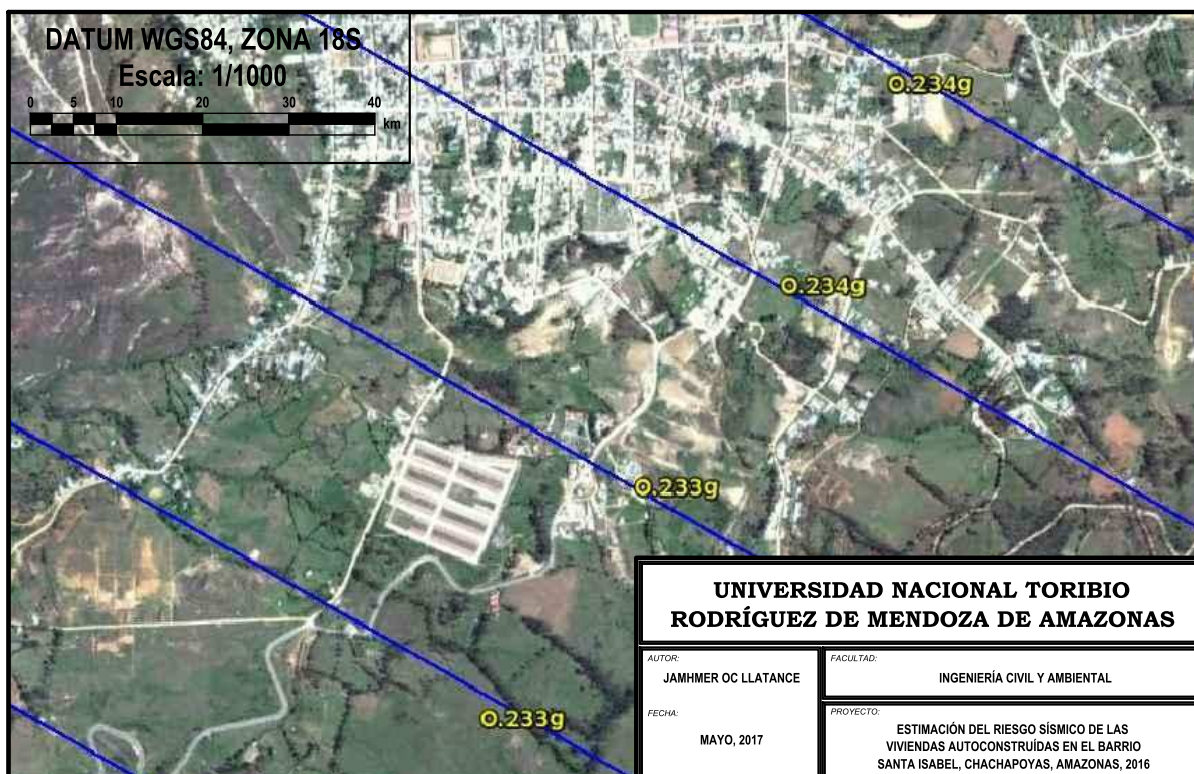
Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 0.20s$



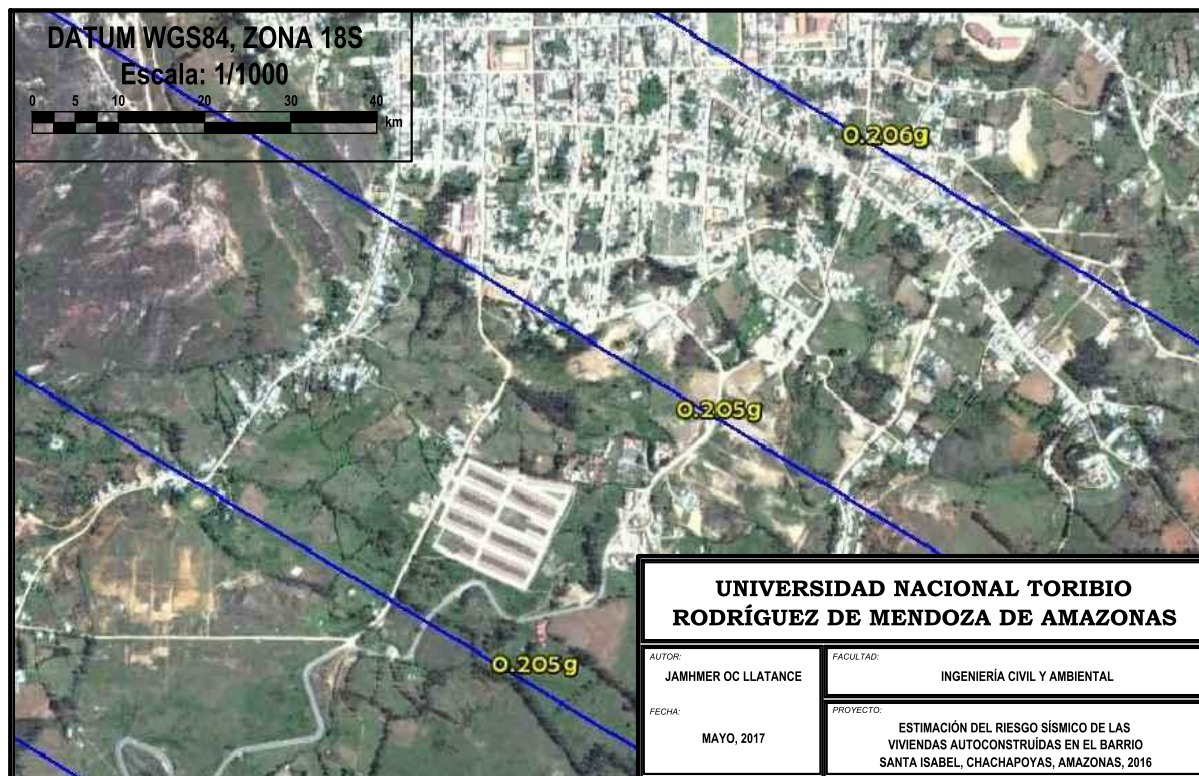
Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 0.30s$



Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 0.40s$



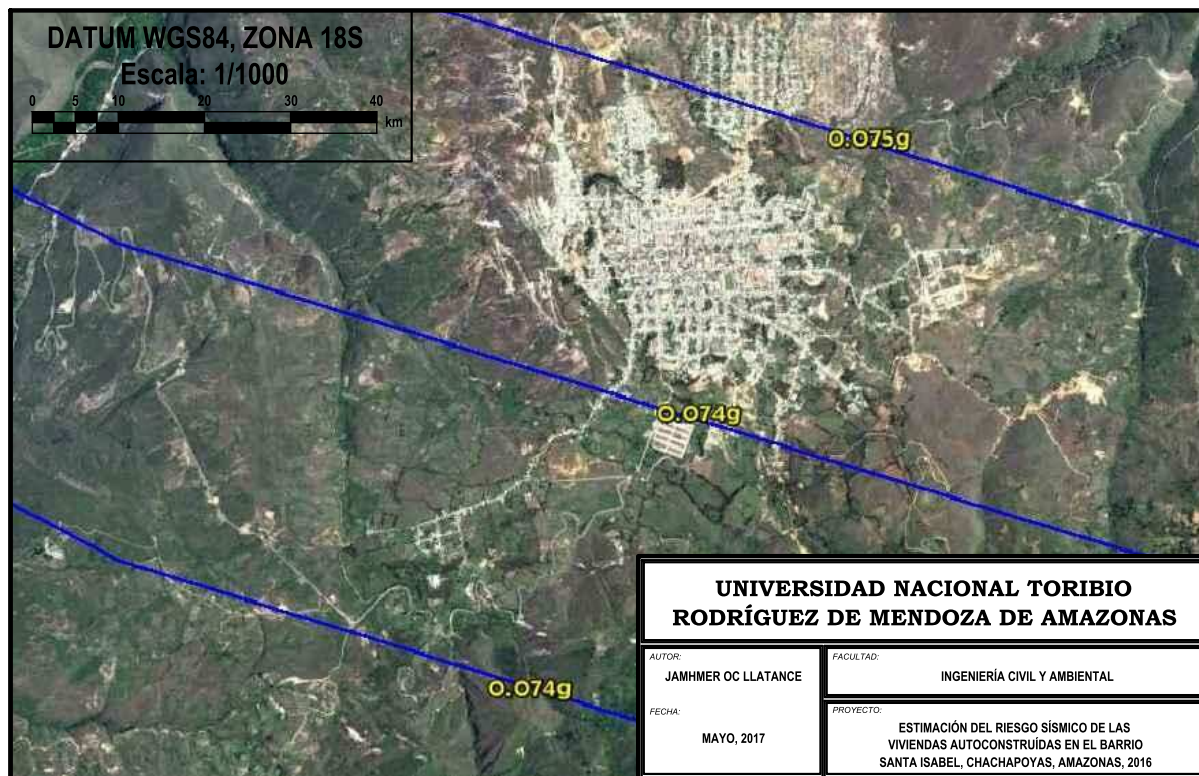
Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 0.50s$



Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 0.75s$



Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 1.50s$



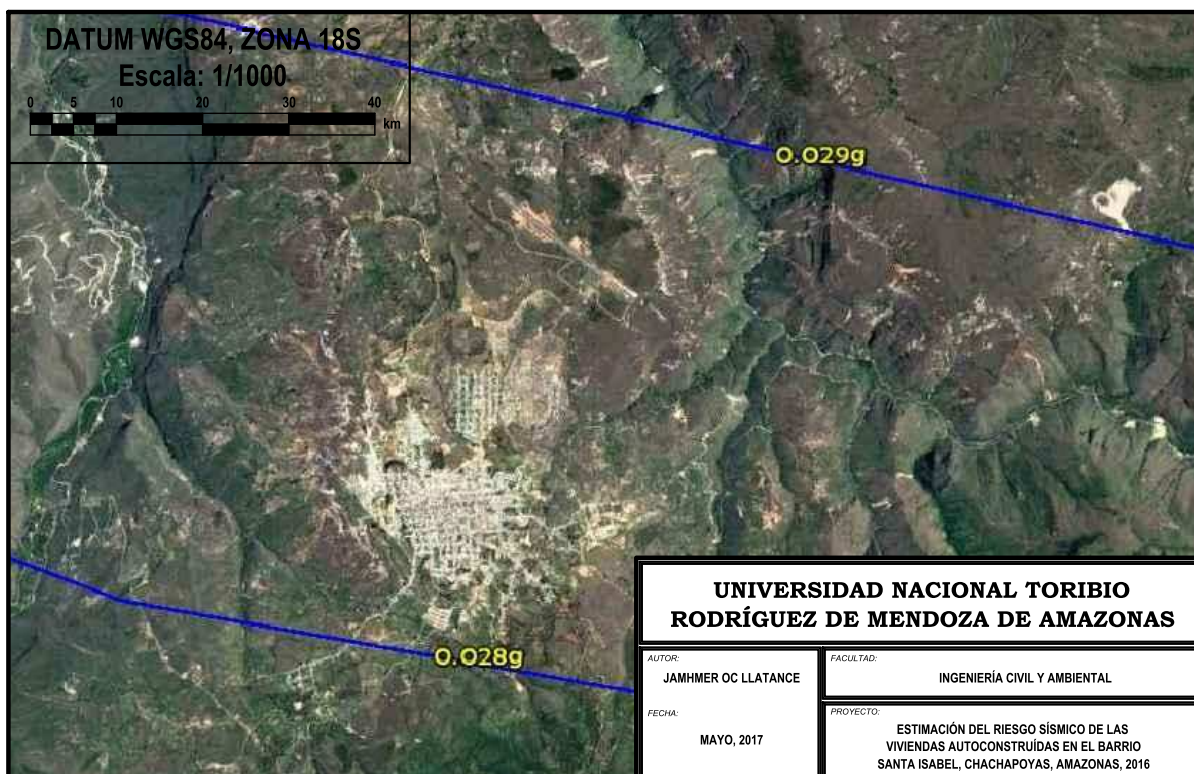
Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 2.00s$



Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 3.00s$



Peligro sísmico probabilístico para un periodo de $T = 4.00s$



ANEXO 5

Cálculo del índice de vulnerabilidad

01 Arbildo Torres

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					37.5
Índice de vulnerabilidad					9.8%

02 Cámara falcon

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	D	45	0.25	11.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					178.75
Índice de vulnerabilidad					46.7%

03 Torres Mendoza

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					146.25
Índice de vulnerabilidad					38.2%

04 Crisóstomo Vásquez

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					70
Índice de vulnerabilidad					18.3%

05 Serván López

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	D	45	0.25	11.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					133.75
Índice de vulnerabilidad					35.0%

06 Vargas Chavez

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					103.75
Índice de vulnerabilidad					27.1%

07 Hidalgo Sánchez

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					166.25
Índice de vulnerabilidad					43.5%

08 Iliquin Trauco

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					62.5
Índice de vulnerabilidad					16.3%

09 Mendoza Merino

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	B	5	1.00	5
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					47.5
Índice de vulnerabilidad					12.4%

10 Yop Valqui

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	C	25	0.25	6.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					61.25
Índice de vulnerabilidad					16.01%

11 Trujillo Cruz

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	D	45	0.50	22.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	A	0	1.25	0
10	Elementos no estructurales.	D	45	0.25	11.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					95
Índice de vulnerabilidad					24.8%

12 Santillan Culqui

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	B	5	1.00	5
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	A	0	1.25	0
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					11.25
Índice de vulnerabilidad					2.9%

13 Bolaños Yzquierdo

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	A	0	1.25	0
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					80
Índice de vulnerabilidad					20.9%

14 Álvarez Tafur

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	D	45	0.50	22.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					126.25
Índice de vulnerabilidad					33.0%

15 Chuquizuta Cuipal

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	C	25	0.50	12.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					188.75
Índice de vulnerabilidad					49.3%

16 Ramos Medina

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					82.5
Índice de vulnerabilidad					21.6%

17

Salón Cruz

PARAMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					121.25
Índice de vulnerabilidad					31.7%

18

Lozano Requejo

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					62.5
Índice de vulnerabilidad					16.3%

19

Salinas Ponce

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	C	25	0.50	12.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					118.75
Índice de vulnerabilidad					31.0%

20

Tejada Sanchez

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	C	25	0.50	12.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	D	45	0.25	11.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					143.75
Índice de vulnerabilidad					37.6%

21 Rodríguez Vera

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	D	45	0.25	11.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					171.25
Índice de vulnerabilidad					44.8%

22 Valqui Fernandez

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	C	25	0.50	12.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					138.75
Índice de vulnerabilidad					36.3%

23 Luna Guevara

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	D	45	0.25	11.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					163.75
Índice de vulnerabilidad					42.8%

24 Arce Corrales

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	A	0	1.25	0
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					31.25
Índice de vulnerabilidad					8.2%

25

Rojas Jimenez

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	D	45	0.25	11.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					151.25
Índice de vulnerabilidad					39.5%

26

Huaman Pilco

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					85
Índice de vulnerabilidad					22.2%

27

García Quevedo

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	D	45	0.50	22.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					198.75
Índice de vulnerabilidad					52.0%

28

Valqui Vargas

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					166.25
Índice de vulnerabilidad					43.5%

29

Lizana Romero

PARAMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	D	45	0.50	22.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					126.25
Índice de vulnerabilidad					33.0%

30

Mestanza Pelaez

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	B	5	1.00	5
5	Configuración en planta.	C	25	0.50	12.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					168.75
Índice de vulnerabilidad					44.1%

31

Zuta Gomez

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					45
Índice de vulnerabilidad					11.8%

32

Llanos Briceño

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					118.75
Índice de vulnerabilidad					31.0%

33

Huaman Delgado

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					146.25
Índice de vulnerabilidad					38.2%

34

Campos Bustamante

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	B	5	1.00	5
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					126.25
Índice de vulnerabilidad					33.0%

35

Vela Zuta

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	D	45	0.25	11.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					173.75
Índice de vulnerabilidad					45.4%

36

Culqui Bazán

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	C	25	0.50	12.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					138.75
Índice de vulnerabilidad					36.3%

37

Lozano Vargas

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					188.75
Índice de vulnerabilidad					49.3%

38

Bernal Castillo

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					42.5
Índice de vulnerabilidad					11.1%

39

Damacen Puscan

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	D	45	0.50	22.5
6	Configuración en elevación.	B	5	1.00	5
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					117.5
Índice de vulnerabilidad					30.7%

40

Huaman Guiop

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					138.75
Índice de vulnerabilidad					36.3%

41 Valqui Olivares

PARAMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					100
Índice de vulnerabilidad					26.1%

42 Yoplac Polo

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	C	25	0.50	12.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					168.75
Índice de vulnerabilidad					44.1%

43 Tello Revilla

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					158.75
Índice de vulnerabilidad					41.5%

44 Rojas Guiop

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					173.75
Índice de vulnerabilidad					45.4%

45

Chavez Huaman

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	C	25	0.50	12.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					178.75
Índice de vulnerabilidad					46.7%

46

Trujillo Tafur

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					156.25
Índice de vulnerabilidad					40.8%

47

Portocarrero Meza

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					103.75
Índice de vulnerabilidad					27.1%

48

Tafur Vigo

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					121.25
Índice de vulnerabilidad					31.7%

49

Muñoz Culqui

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					121.25
Índice de vulnerabilidad					31.7%

50

Huaman Torrejón

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					72.5
Índice de vulnerabilidad					19.0%

51

Mori Mendoza

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	C	25	0.50	12.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	D	45	0.50	22.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					117.5
Índice de vulnerabilidad					30.7%

52

Rivera Torres

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					158.75
Índice de vulnerabilidad					41.5%

54

Carrasco Cruz

PARAMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	C	25	0.25	6.25
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	B	5	1.00	5
Suma de valores de los parámetros					76.25
Índice de vulnerabilidad					19.9%

55

Gomez Human

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	A	0	1.00	0
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	C	25	1.00	25
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	B	15	1.00	15
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					50
Índice de vulnerabilidad					13.1%

57

Culqui Human

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	D	45	0.50	22.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					196.25
Índice de vulnerabilidad					51.3%

58

Ocampo Tafur

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	B	5	0.50	2.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	C	25	1.00	25
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					138.75
Índice de vulnerabilidad					36.3%

59

Mas Salcedo

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	C	15	1.00	15
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	D	45	0.25	11.25
8	Tipo de Cubierta.	D	45	1.00	45
9	Correlación.	C	25	1.25	31.25
10	Elementos no estructurales.	D	45	0.25	11.25
11	Estado de conservación.	D	45	1.00	45
Suma de valores de los parámetros					181.25
Índice de vulnerabilidad					47.4%

60

Santillan Serván

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	B	5	1.00	5
2	Calidad del sistema resistente.	A	0	0.50	0
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	A	0	0.50	0
6	Configuración en elevación.	B	5	1.00	5
7	Distancia máxima entre columnas.	A	0	0.25	0
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	B	5	1.25	6.25
10	Elementos no estructurales.	B	5	0.25	1.25
11	Estado de conservación.	A	0	1.00	0
Suma de valores de los parámetros					17.5
Índice de vulnerabilidad					4.6%

61

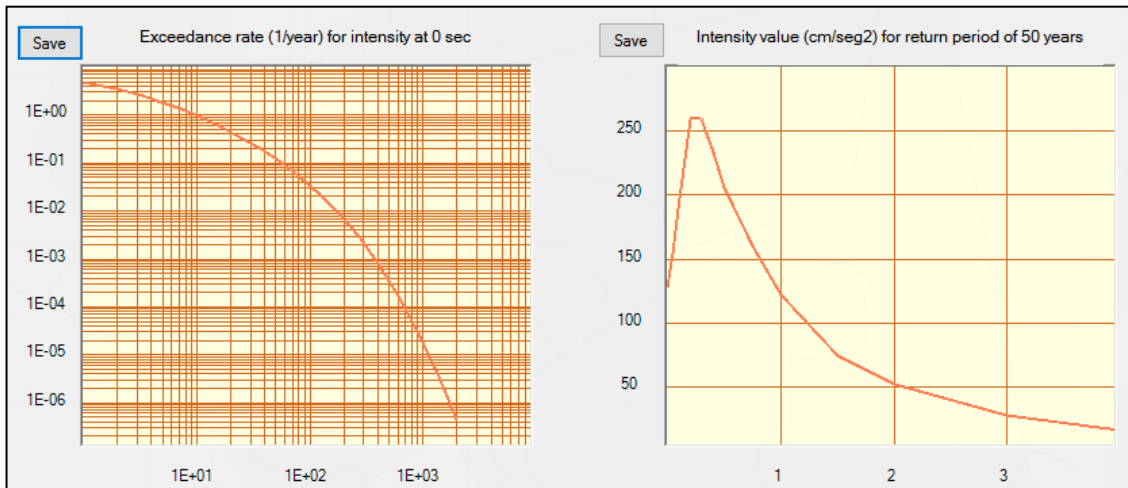
Soplín Grandez

PARÁMETROS		CLASE Ki	VALOR	IMPORTANCIA	PRODUCTO
1	Organización del sistema resistente	C	20	1.00	20
2	Calidad del sistema resistente.	B	5	0.50	2.5
3	Posición del edificio y cimentación.	A	0	0.75	0
4	Losas de entrepiso.	A	0	1.00	0
5	Configuración en planta.	C	25	0.50	12.5
6	Configuración en elevación.	A	0	1.00	0
7	Distancia máxima entre columnas.	C	25	0.25	6.25
8	Tipo de Cubierta.	A	0	1.00	0
9	Correlación.	D	45	1.25	56.25
10	Elementos no estructurales.	C	25	0.25	6.25
11	Estado de conservación.	C	25	1.00	25
Suma de valores de los parámetros					128.75
Índice de vulnerabilidad					33.7%

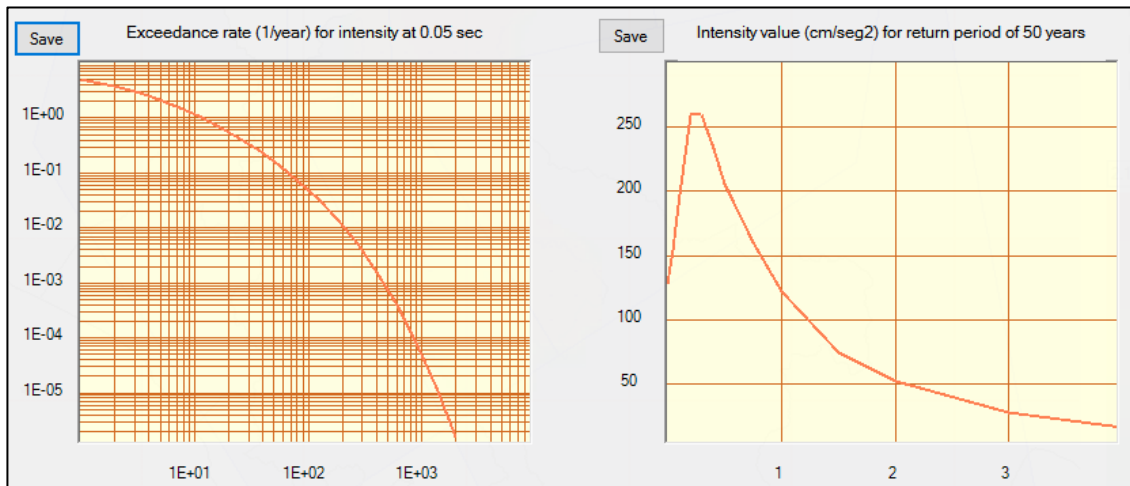
ANEXO 6

Tasa de excedencia para diferentes periodos

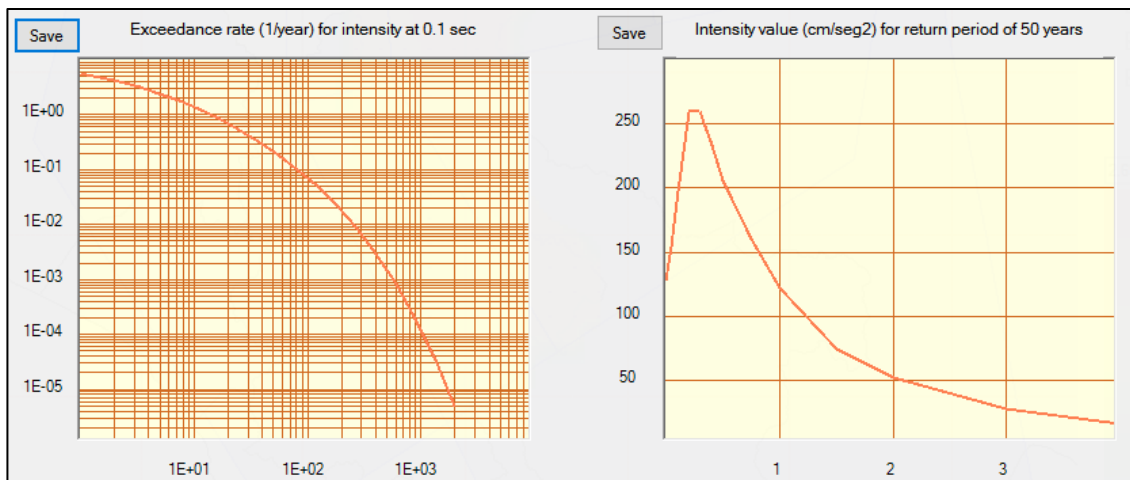
Tasa de excedencia para 0.00s y para un periodo de retorno de 50 años



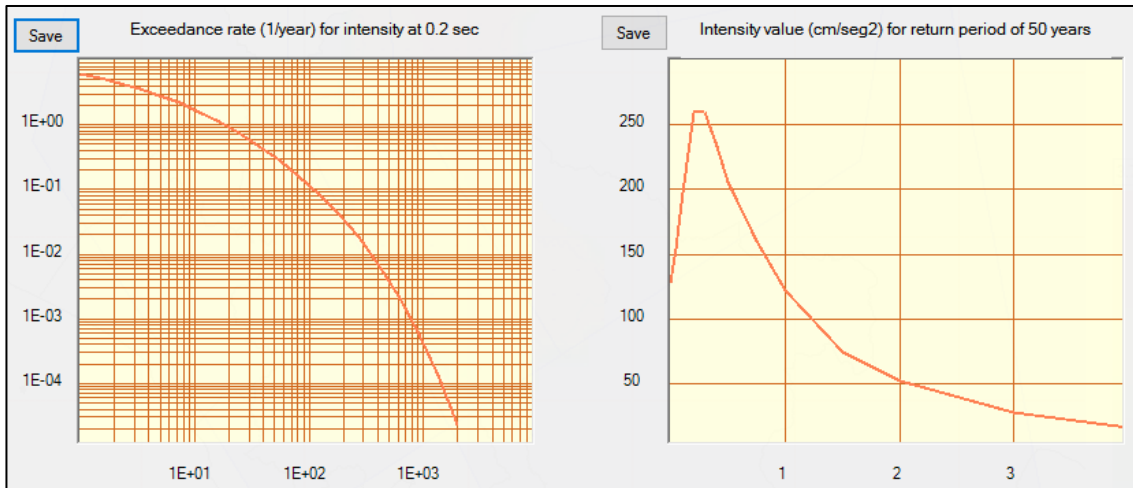
Tasa de excedencia para 0.05s y para un periodo de retorno de 50 años



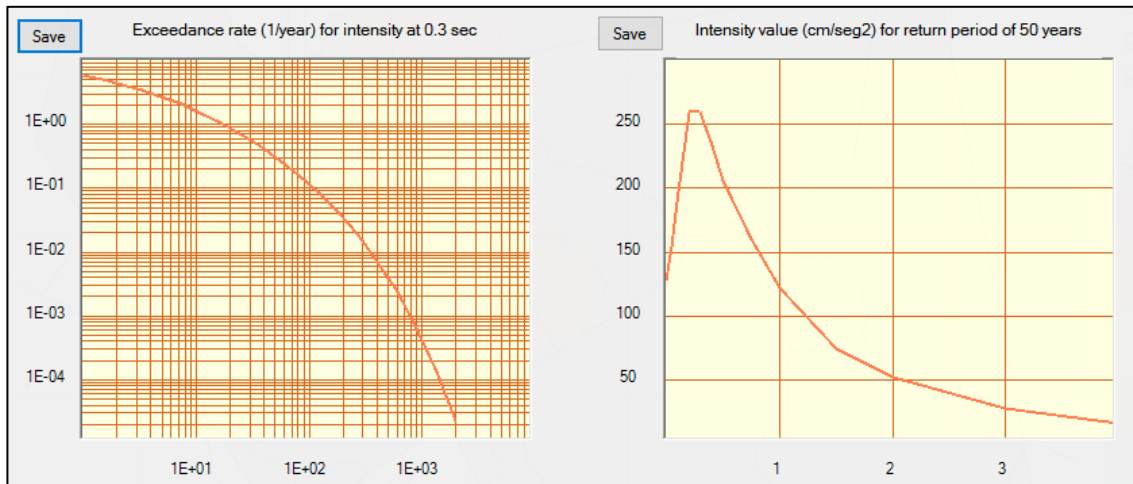
Tasa de excedencia para 0.1s y para un periodo de retorno de 50 años



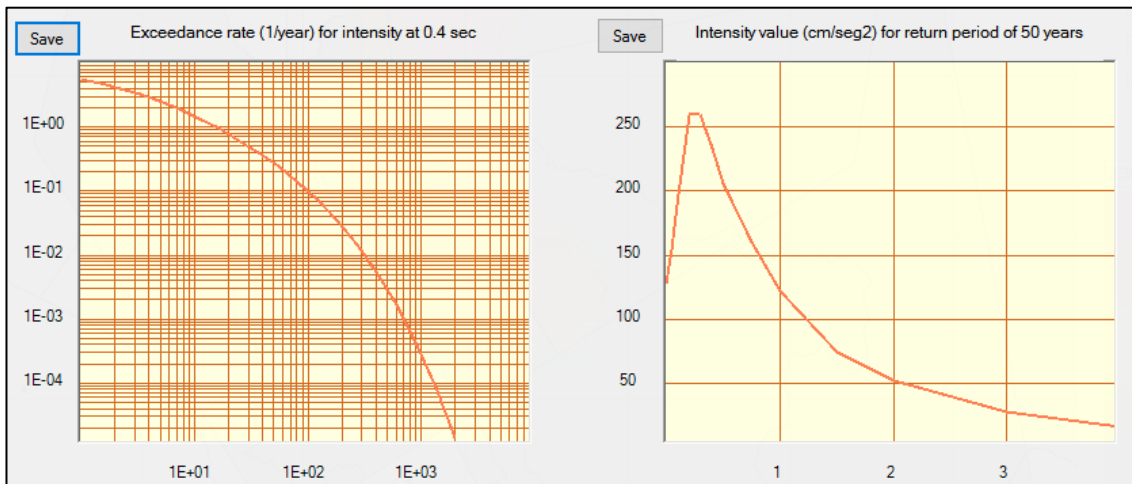
Tasa de excedencia para 0.2s y para un periodo de retorno de 50 años



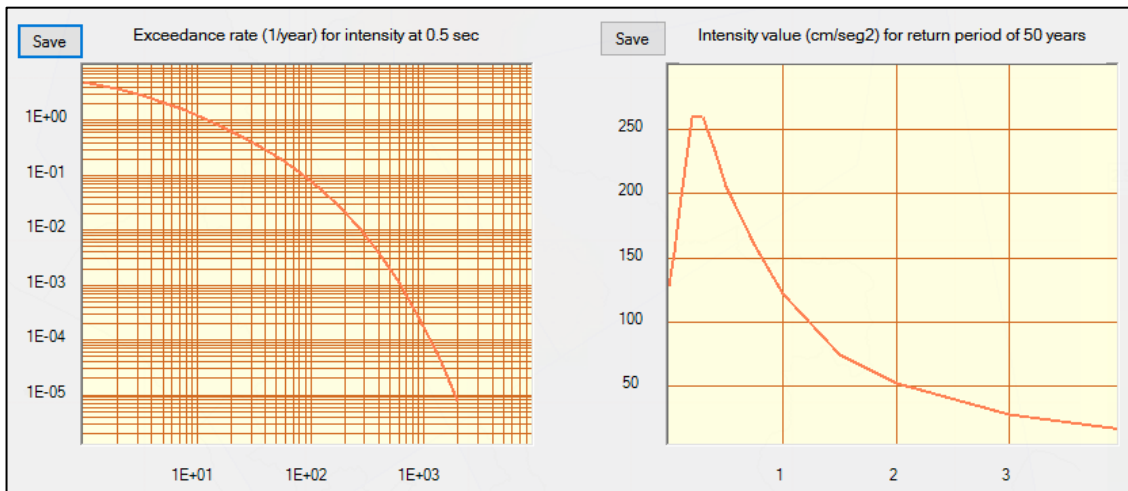
Tasa de excedencia para 0.3s y para un periodo de retorno de 50 años



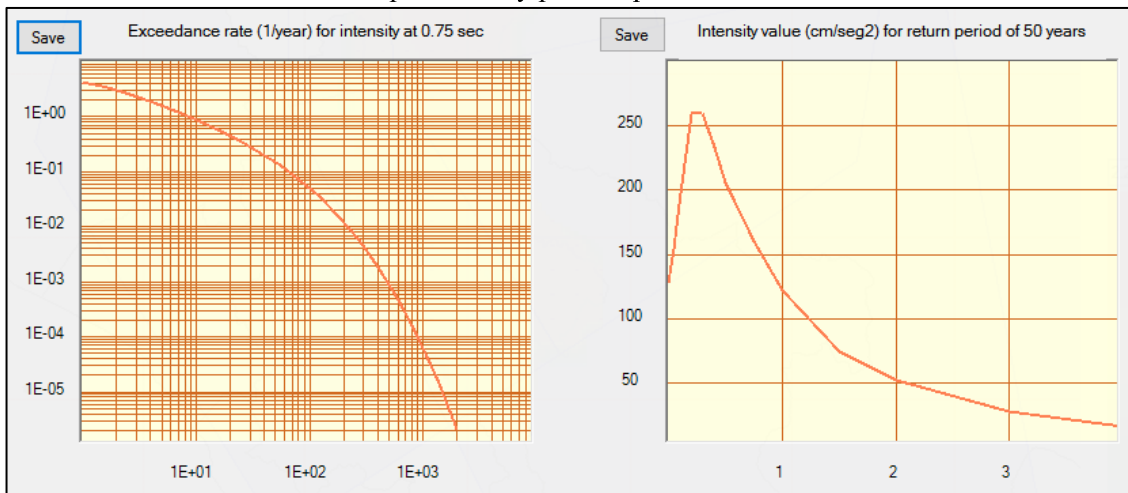
Tasa de excedencia para 0.4s y para un periodo de retorno de 50 años



Tasa de excedencia para 0.5s y para un periodo de retorno de 50 años



Tasa de excedencia para 0.75s y para un periodo de retorno de 50 años



Tasa de excedencia para 1.00s y para un periodo de retorno de 50 años

