

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“Evaluación De Peligro Sísmico En La Ciudad De Arequipa Y El Distrito De Cabanaconde, Provincia De Caylloma, Región Arequipa Y Su Aplicación En El Diagnostico De Riesgo Sísmico De Cabanaconde”

Tesis presentada por:

GONZALES GALINDO, LUIS GENARO

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL

AREQUIPA – PERU

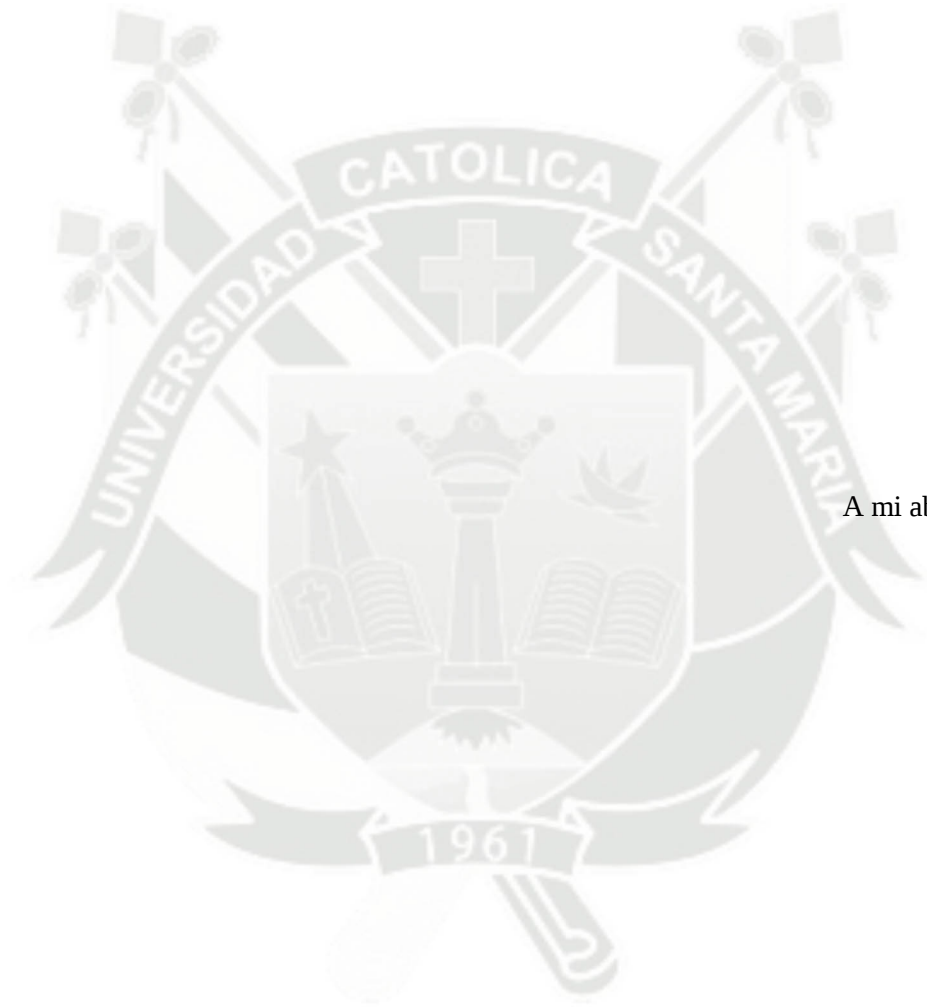
2016

Agradecimientos



A mi Familia y Maestros

Dedicatoria



A mi abuela Sabina

INDICE

1. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1.1 Identificación del problema	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivo específico	2
1.4 Hipótesis	3
1.5 Alcance	3
1.6 Esquema del trabajo.....	3
1.6.1 Recolección de datos	3
1.6.2 Evaluación	4
1.6.3 Resultados.....	4
1.7 Ubicación del lugar de estudio	6
1.7.1 Ciudad de Arequipa	6
1.7.2 Pueblo de Cabanaconde	6

2. CONCEPTOS DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD

2.1. Peligro sísmico.....	8
2.1.1 Método determinístico	8
2.1.1.1 Identificación de las fuentes	9
2.1.1.2 Selección de los sismos controlantes	9
2.1.1.3 Elegir las leyes de atenuación o de predicción de movimiento	10
2.1.1.4 Calculo de los parámetros de movimiento del suelo.....	10
2.1.2 Peligro sísmico probabilista.....	12
2.1.2.1 Identificación de fuentes sismogénicas.....	14
2.1.2.2 Relaciones de recurrencia, distribución de magnitudes y tasa promedio de ocurrencia ...	14
2.1.2.3 Estimación del movimiento del suelo	18
2.1.2.4 Calculo de la curva de peligro	20
2.1.2.5 Resultados.....	21
2.2 Vulnerabilidad Sísmica.....	26
2.2.1 Métodos para la evaluación de Vulnerabilidad.....	26
2.2.1.1 Métodos Empíricos	26

2.2.1.2 Métodos Analíticos/Mecánicos.....	26
2.2.1.3 Métodos basados en desplazamiento	26
2.2.2 Procedimiento MeBase (Mechanical Based Procedure for the Seismic Risk Estimation of Unreinforced Masonry Buildings)	28
2.2.2.1 Procedimiento en el Plano	29
2.2.2.2 Procedimiento fuera del Plano.....	37

3. EVALUACION DE PELIGRO SISMICO

3.1 Tectónica del Perú	47
3.1.1. Zonificación morfológica	48
3.1.2. Zonificación tectónica.....	48
3.1.3. Fuentes de sismogénicas y tipos de sismos en el Perú.....	49
3.1.3.1. Sismos de intraplaca oceánica	50
3.1.3.2. Fuente de Sismos Interplaca	50
3.1.3.3. Fuente de Sismos Corticales	51
3.1.3.4. Fuente de Sismos de Profundidad Intermedia y Profunda (Intraplaca)	51
3.1.4. Sistema de fallas en el Perú	51
3.2. Sismicidad	57
3.2.1. Distribución de los sismos sobre la Tierra	57
3.2.2 Registro de sismos en el Perú	58
3.2.2.1. Registro histórico.....	58
3.2.2.2. Registro instrumental.....	60
3.2.3. Distribución espacial de la sismicidad.....	62
3.2.4. Sismicidad según la profundidad de su foco.....	65
3.2.4.1. Sismicidad de foco superficial.....	65
3.2.4.2. Sismicidad de foco intermedio	65
3.2.4.3. Sismicidad de foco profundo	65
3.2.5. Sismicidad según región	66
3.2.5.1. Sismicidad norte	67
3.2.5.2. Sismicidad centro.....	67
3.2.5.3. Sismicidad sur.....	68
3.3. Fuentes Sismogénicas.....	70
3.3.1. Geometría de las fuentes sismogénicas.....	70
3.3.1.1. Geometría por (Castillo y Alva, 1993)	70
3.3.1.2. Geometría por (Gamarra, 2009).....	75

3.3.2. Parámetros sismológicos.....	80
3.3.2.1. Parámetros sismológicos por (Castillo y Alva, 1993).....	80
3.3.2.2. Parámetros sismológicos (Alva y Escalaya, 2003).....	81
3.3.2.3. Parámetros sismológicos por (Bolaños y Monroy, 2004).....	82
3.3.2.4. Parámetros sismológicos por (Gamarra, 2009).....	83
3.3.2.5. Parámetros sismológicos (Cismid, 2011)	84
3.4. Leyes de Atenuación.....	85
3.4.1. Ley de atenuación de (Young et al, 1997)	86
3.4.2. Ley de atenuación de (Sadigh et al, 1997).....	87
3.5. Evaluación y resultados	89
3.5.1 Datos necesarios para el ingreso en el programa	89
3.5.2 Procedimiento de entrada de datos y evaluación	91
3.5.3. Resultados en programa CRISIS 2007	103
3.5.3.1 Curvas de peligro sísmico.....	104
3.5.3.2 Espectros de peligro uniforme	107
 4. EVALUACION DE VULNERABILIDAD SISMICA DE CABANA CONDE	
4.1 Recolección de Datos en Cabanaconde	112
4.1.1 Descripción del lugar	112
4.1.2 Caracterización de las viviendas	114
4.1.2.1. Viviendas de albañilería confinada.....	116
4.1.2.2. Viviendas de adobe y pircado	122
4.1.3 Levantamiento de las viviendas de adobe y pircado.....	137
4.1.3.1. Identificación de viviendas	137
4.1.3.2. Descripción de las viviendas evaluadas	137
4.1.3.3 Planos de viviendas.....	149
4.2 Datos para la evaluación de vulnerabilidad sísmica	150
4.2.1 Definición de la demanda	150
4.2.2 Definición de estados límite o de desempeño.....	152
4.2.3 Definición de modelos estructurales simplificados	153
4.3 Calculo de vulnerabilidad Sísmica	156
4.3.1 Identificación de muros y datos	156
4.3.2 Procedimiento de cálculo.....	169
4.3.3 Calculo.....	172
4.4 Resultados.....	175

5. COMPORTAMIENTO DE MUROS FRENTE A SISMOS	
5.1 Calculo del comportamiento de muros	181
5.1.1 Procedimiento para comparar el comportamiento de muros.....	181
5.2 Resultados.....	186
5.3 Resumen de resultados	193
5.4 Interpretación de resultados.....	196
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	198
ANEXO A EJEMPLO DE USO DEL PROGRAMA CRISIS 2007	201
ANEXO B EJEMPLO NUMERICO DEL ANALISIS DE PELIGRO SISMICO PROBABILISTA	211
ANEXO C PLANOS.....	232
BIBLIOGRAFIA	233

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de trabajo	5
Figura 2.1 Pasos básicos para un análisis determinístico de peligro sísmico. (Reiter 1990) mostrado en (Green y Hall, 1994)	9
Figura 2.2 a) Lugar de estudio, fallas cercanas y el máximo sismo que podrían producir, b) espectros de respuesta de aceleración para los dos sismos probables (Baker, 2008)	11
Figura 2.3 Ejemplo de un lugar de estudio al centro de una fuente, con terremotos potenciales a cero m de distancia. (Baker, 2008)	11
Figura 2.4 Aceleración espectral observada del terremoto de 1999 en Chi Chi Taiwan, la variabilidad en la intensidad del movimiento de suelo y la predicción de la distribución normal (Baker, 2008)	12
Figura 2.5 Procedimiento para realizar un análisis de peligro sísmico probabilístico (Green y Hall, 1994)	13
Figura 2.6 Ley de Gutenberg Richter (Bolaños y Monroy, 2004)	15
Figura 2.7 Observaciones de sismos, relación de Gutenberg Richter y relación de Gutenberg Richter Truncada por un m_0 y un m_u (Baker 2008)	16
Figura 2.8 Discretización y distribución de distancias fuente-sitio de estudio. (Green y Hall, 1994) extraen un ejemplo de (Tri service Manual, 1986)	18
Figura 2.9 Descripción grafica de un modelo de atenuación para una determinada magnitud con distancias variables, y la probabilidad de que la aceleración pico del suelo sea mayor que 1g a diferentes distancias desde la fuente al sitio de estudio	19
Figura 2.10 Ejemplo de curva de peligro sísmico (Baker, 2008)	22
Figura 2.11 Un espectro de diseño para la norma peruana y un espectro de peligro uniforme obtenido probabilísticamente (Bolaños y Monroy, 2004)	23
Figura 2.12 Un espectro de peligro uniforme con una probabilidad de excedencia uniforme “c” siendo obtenido de diferentes curvas de peligro sísmico “a” para un periodo de 0.3s y b para 1s (Baker, 2008)	23
Figura 2.13 Versión del programa usado en el presente trabajo	25
Figura 2.14 Modelo simplificado de un grado de libertad (Calvi, 2006)	27
Figura 2.15 Ejemplo de estados límites para una estructura (Adaptado de EMS-98)	30
Figura 2.16 Modelos simplificado equivalente SDOF (Restrepo, 2003)	30
Figura 2.17 Perfiles de falla en el plano para diferentes estados limite (Restrepo, 2003)	31
Figura 2.18 Modelo simplificado para la definición de k_2 (Restrepo, 2003)	32
Figura 2.19 Definición de k_2 de acuerdo al piso que falla (Restrepo, 2003)	34
Figura 2.20 Respuesta elastoplástica perfecta para dos estructuras diferentes	35
Figura 2.21 Condiciones de contorno considerados (Restrepo, 2003)	37

Figura 2.22 Respuesta sísmica para un edificio de albañilería sin reforzar (Paulay y Priestley, 1992)	38
Figura 2.23 Respuesta flexible para un movimiento del suelo (Paulay y Priestley, 1992)	38
Figura 2.24 Modelo simplificado Tri-lineal (Doherty, 2002)	39
Figura 2.25 Ancho de grietas w en la base durante el balanceo (Restrepo, 2003)	42
Figura 2.26 Fuerzas de inercia y reacciones (Doherty et al, 2002)	43
Figura 2.27 Mecanismos de colapso (D' Ayala y Speranza, 2003)	44
Figura 3.1 Proceso de convergencia de la placa de Nazca y la placa Sudamericana según (De Mets et al, 1999) mostrado en (Tavera, 2002)	47
Figura 3.2 Principales elementos tectónicos en el Perú (Tavera y Buforn, 1998)	48
Figura 3.3 Principales rasgos tectónicos superficiales del Perú y fallas indicadas por siglas (Bernal y Tavera, 2002)	49
Figura 3.4 Esquema de la geometría de la subducción y ubicación de las fuentes sismogénicas del Perú (Tavera, 2014)	50
Figura 3.5 Principales sistemas de falla en el Perú (Pomachagua, 2000)	52
Figura 3.6 Mapa de fallas y pliegues Cuaternarias de Perú y Regiones oceánicas Adyacentes (Machare, 2003)	56
Figura 3.7 Distribución de los sismos sobre la tierra (Sarria, 1995)	57
Figura 3.8 Cinturón o anillo de fuego del pacifico (Wikipedia)	58
Figura 3.9 Sismicidad histórica de Perú entre 1500 – 1959 $M_s \geq 6$ (Silgado, 1978)	60
Figura 3.10 Numero acumulativo de eventos sísmicos comprendidos desde el año 1900 a 2000 en el catálogo actualizado hasta el 2000 del proyecto SISRA (Bolaños y Monroy, 2004)	61
Figura 3.11 Mapa sísmico del Perú de 1900 a 2011 I.G.P	62
Figura 3.12 Sismos importantes para le Perú con intensidades mayores que VII (MM) I.G.P.	64
Figura 3.13 Zonificación norte centro y sur para la evaluación de sismos en profundidad con sismos de 1960 – 1995 y $m_b > 5$ (Tavera y Buforn, 1998)	66
Figura 3.14 Distribución de sismos en profundidad para el corte a-a al norte del Perú (Tavera y Burforn, 1998)	67
Figura 3.15 Distribución de sismos en profundidad para la zona norte del Peru (Bolaños y Monroy, 2004)	67
Figura 3.16 Distribución de sismos en profundidad para el corte b-b al centro del Perú (Tavera y Burforn, 1998)	68
Figura 3.17 Distribución de sismos en profundidad para la zona centro del Perú (Bolaños y Monroy, 2004)	68
Figura 3.18 Distribución de sismos en profundidad para el corte c-c al sur del Perú (Tavera y Burforn, 1998)	68
Figura 3.19 Distribución de sismos en profundidad para la zona sur del Perú (Bolaños y Monroy, 2004)	

.....	69
Figura 3.20 Fuentes sismogénicas de subducción superficial y continentales según (Castillo y Alva, 1993), extraído de (Alva y Marroquín, 2012).....	71
Figura 3.21 Fuentes sismogénicas de subducción intermedia y profunda (Castillo y Alva, 1993), extraído de (Alva y Marroquín, 2012).....	72
Figura 3.22 Fuentes de Subducción de interface e intraplaca (Gamarra, 2009)	75
Figura 3.23 Fuentes sismogénicas de corteza superficial (Gamarra, 2009).....	76
Figura 3.24 Mapa departamental del Perú en formato shape vista en ArcMap (ArcGis 10.2.2 Desktop)	90
Figura 3.25 Block de notas mostrando la manera de entrar datos de localizaciones de estudios	91
Figura 3.26 Icono del programa CRISIS 2007	91
Figura 3.27 Pantalla de inicio del programa CRISIS 2007.....	92
Figura 3.28 Pantalla de entrada de datos con pasos a seguir en letras rojas	92
Figura 3.29 Mapa del Perú con divisiones departamentales en el programa CRISIS 2007.....	93
Figura 3.30 Delimitación del área de influencia por medio de coordenadas.....	93
Figura 3.31 Pantalla de ingreso de coordenadas (latitud, longitud, profundidad) de los vértices de las fuentes sismogénicas.	94
Figura 3.32 Se muestran las coordenadas de la fuente 2	95
Figura 3.33 Ingreso de datos de parámetros sismológicos de la fuente 1	95
Figura 3.34 Ingreso de datos de parámetros sismológicos de la fuente 2 y 3	96
Figura 3.35 Ingreso de datos de ordenadas espectrales	97
Figura 3.36 Ley de atenuación de Young graficada para intraplaca y roca.....	97
Figura 3.37 Ventana para escoger una ley de atenuación cargada previamente en el programa CRISIS 2007, se muestran las opciones adicionales al escoger la relación de atenuación propuesta por (Young et al, 1997)	98
Figura 3.38 Se muestra la gráfica de la ley de atenuación de (Young et al, 1997) para fuentes de subducción de interfase.....	98
Figura 3.39 Grafica de la ley de atenuación de (Sadigh et al, 1997) extraída de un documento de texto ajeno al programa CRISIS 2007.....	99
Figura 3.40 Asignación de la ley de atenuación de (Young et al, 1997) para fuentes de subducción de interface a la fuente 1.....	100
Figura 3.41 Asignación de la ley de atenuación de (Young et al, 1997) para fuentes de subducción de interface a la fuente 2.....	100
Figura 3.42 Asignación de la ley de atenuación de (Young et al, 1997) para fuentes de subducción de intraplaca a la fuente 6.....	101
Figura 3.43 Ventana de parámetros globales.....	102

Figura 3.44 Resumen de datos de las fuentes sismogénicas 2 y 3.....	102
Figura 3.45 Mapa de intensidades de aceleración espectral para $T=0$ y $T_r=475$ años.....	103
Figura 3.46 A la izquierda curva de peligro sísmico para $T=0$ y $T_r=475$ años, a la derecha espectro de peligro uniforme para Arequipa.....	104
Figura 3.47 Espectros de peligro uniforme del distrito de Cabanaconde para $T_r=5,10,25,50,100,250,500$ y 1000	108
Figura 3.48 Espectros de peligro uniforme del distrito de Cabanaconde para $T_r=43,72,475$ y 1000	108
Figura 3.49 Espectro de peligro uniforme para Arequipa, suelo tipo roca, $T_r=475$ años	109
Figura 3.50 Espectro de peligro uniforme y espectro de diseño para normas del 2003 y 2016 para Arequipa, suelo tipo roca, $T=475$ años.....	109
Figura 3.51 Espectro de peligro uniforme para Cabanaconde, suelo tipo roca, $T=475$ años.....	110
Figura 3.52 Espectro de peligro uniforme y espectro de diseño para normas del 2003 y 2016 para Cabanaconde, suelo tipo roca, $T=475$ años	110
Figura 4.1 Cabanaconde como el último pueblo en el recorrido del valle del Colca (Google Earth).....	112
Figura 4.2 Pueblo de Cabanaconde Fuente http://www.pachamamahome.com	113
Figura 4.3 Vivienda de adobe y pircado.	114
Figura 4.4 Vivienda de albañilería de 2 pisos.....	116
Figura 4.5 Vivienda de albañilería de 2 pisos revestida	117
Figura 4.6 Vivienda de albañilería de 2 pisos.....	117
Figura 4.7 Vivienda de albañilería de 1 piso	118
Figura 4.8 Vivienda de albañilería de 2 pisos.....	118
Figura 4.9 Vivienda de albañilería de 3 pisos.....	119
Figura 4.10 Vivienda de albañilería de 2 pisos.....	119
Figura 4.11 (a) Ladrillos pandereta y aceros de construcción de Aceros Arequipa (b) Ladrillos mecanizados King Kong del Diamante	120
Figura 4.12 (a) Agregado grueso de un tamaño aproximado de $\frac{1}{2}$ pulgada (b) Agregado grueso de un tamaño aproximado de 1 pulgada.....	120
Figura 4.13 Cemento Yura IP	121
Figura 4.14 Vivienda en construcción	121
Figura 4.15 Grietas ocasionadas por sismos en muros de viviendas de adobe	122
Figura 4.16 Grieta vertical en una vivienda de pircado y adobe.....	123
Figura 4.17 Vivienda de adobe.....	124
Figura 4.18 Vivienda de adobe.....	124
Figura 4.19 Vivienda de adobe.....	125
Figura 4.20 Vivienda de adobe.....	125

Figura 4.21 Vivienda de adobe	126
Figura 4.22 Vivienda de pircado.....	127
Figura 4.23 Vivienda de pircado de 1 piso	127
Figura 4.24 Vivienda de adobe y pircado	128
Figura 4.25 Vivienda de adobe y pircado	129
Figura 4.26 Vivienda de adobe y pircado	129
Figura 4.27 Vivienda de adobe y pircado	130
Figura 4.28 Vivienda de adobe y pircado	130
Figura 4.29 Vivienda de adobe y pircado	131
Figura 4.30 Piedras reconocidas en Cabanaconde con un diámetro aproximado de (a) 33 cm y (b) 27 cm	132
Figura 4.31 (a) Piedra tallada para esquinas y marcos, (b) Piedras para muro y (c) Piedras para cimiento	132
Figura 4.32 A la izquierda unidades de adobes “Tipo 1” a la derecha adobes “Tipo 2” (se diferencian por el tamaño)	133
Figura 4.33 Tomando medidas a las unidades de adobe.....	133
Figura 4.34 Arriba paja de cultivos abajo “pajaypuna”	134
Figura 4.35. Elaboración de pilas de adobe.	135
Figura 4.36 Traslado a la máquina de compresión	136
Figura 4.37 Pila ensayada.	136
Figura 4.38 Espectros de desplazamiento del distrito de Cabanaconde.....	150
Figura 4.39 Espectros de desplazamiento del distrito de Cabanaconde.....	151
Figura 4.40 Modelos simplificado equivalente SDOF (Restrepo, 2003) (Repetido).....	153
Figura 4.41 Modelo simplificado para la definición de k_2 (Restrepo, 2003) (Repetido)	154
Figura 4.42 Modelo tri-lineal de comportamiento de (Restrepo, 2003) (Repetido)	155
Figura 4.43 Balanceo y desplazamiento del sistema (Restrepo, 2003).....	155
Figura 4.44 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-1.....	157
Figura 4.45 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-2.....	159
Figura 4.46 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-3.....	161
Figura 4.47 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-5.....	163
Figura 4.48 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-5.....	165
Figura 4.49 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-6.....	167
Figura 5.1 Grafica de barras que representa el porcentaje de muros que alcanzaron el estado limite “LS” para comportamiento en el plano.....	195
Figura 5.2 Grafica de barras que representa el porcentaje de muros que alcanzaron el estado limite “LS” para comportamiento fuera del plano	195

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coordenadas de los distritos del área metropolitana de la provincia de Arequipa (Fuente: Inei)	6
Tabla 1.2 Coordenadas de los distritos en estudio (Fuente: Inei)	6
Tabla 2.1 Estados límite para edificios de albañilería (Calvi, 1999).	29
Tabla 2.2 Estados límite para muros de adobe sujetos a fuerzas en el plano (Tarque, 2008).	29
Tabla 2.3 Valores de k_1 y k_2 para diferentes números de pisos (Restrepo, 2003)	34
Tabla 2.4 Relación de desplazamiento para el modelo tri-linear según (Griffith et al, 2003)	40
Tabla 3.1 Algunas características (Magnitud, profundidad y mecanismos de ruptura) de las fuentes sismogénicas	51
Tabla 3.2 Principales fallas mostrados en (Bolaños y Monroy, 2004), fuente (Pomachagua, 2000)	53
Tabla 3.3 Principales fallas del Perú según (Machare, 2003)	54
Tabla 3.4 Sismicidad histórica de Perú entre 1500 – 1959 $M_s \geq 6$ (Silgado, 1978)	59
Tabla 3.5 Coordenadas de las fuentes sismogénicas de subducción superficial y continentales según (Castillo y Alva, 1993)	73
Tabla 3.6 Fuentes sismogénicas de subducción de interface (Gamarra, 2009)	77
Tabla 3.7 Fuentes sismogénicas de subducción de intraplaca (Gamarra, 2009)	78
Tabla 3.8 Fuentes sismogénicas corticales (Gamarra, 2009)	79
Tabla 3.9 Parámetros sismológicos (Castillo y Alva, 1993)	80
Tabla 3.10 Parámetros sinológicos (Alva y Escalaya, 2003)	81
Tabla 3.11 Parámetros sinológicos (Bolaños y Monroy, 2004)	82
Tabla 3.12 Parámetros sismológicos (Gamarra, 2009)	83
Tabla 3.13 Parámetros sinológicos (Cismid, 2011)	84
Tabla 3.14 Leyes de atenuación utilizadas en anteriores estudios	85
Tabla 3.15 Relación de atenuación y coeficientes de (Young et al, 1997) para sismos de subducción	86
Tabla 3.16 Relación de atenuación de (Sadigh et al, 1997)	87

Tabla 3.17 Dispersiones de las pseudoaceleraciones para la ley de (Sadigh et al, 1997)	88
Tabla 3.18 Periodos estructurales escogidos para la evaluación de peligro sísmico.	89
Tabla 3.19 Periodos de retorno escogidos.	89
Tabla 3.20 Coordenadas de los lugares de estudio para el ingreso de datos en CRISIS 2007.....	90
Tabla 3.21 Valores de tasa de excedencia anual para las curvas de peligro uniforme para Arequipa	105
Tabla 3.22 Valores de tasa de excedencia anual para las curvas de peligro uniforme para Cabanaconde	106
Tabla 4.1 Porcentaje de viviendas en Cabanaconde según su material de construcción (INDECI, 2015)	144
Tabla 4.2 Porcentaje de viviendas en Cabanaconde según su antigüedad (INDECI, 2015).....	115
Tabla 4.3 Tamaños típicos de unidades de adobe.....	134
Tabla 4.4 Resultados de pruebas de pilas ensayadas en compresión.....	136
Tabla 4.5 Propietarios y dirección de las viviendas evaluadas.....	137
Tabla 4.6 Fracción de amortiguamiento para comportamiento en el plano (Tarque, 2008).....	152
Tabla 4.7 Fracción de amortiguamiento para comportamiento fuera del plano	152
Tabla 4.8 Estados límite para comportamiento con demandas en el plano	152
Tabla 4.9 Estados límite para comportamiento fuera del plano (Tarque, 2008) (modificado)	153
Tabla 4.10 (Repetición de la tabla 2.3) Valores de K_1 y K_2 para diferentes números de pisos (Restrepo, 2003)	154
Tabla 4.11 Valores de Δ_1 y Δ_2 (Griffith et al, 2003)	155
Tabla 4.12 Propietarios y código de viviendas para identificación.	156
Tabla 4.13 Formulas para el cálculo de comportamiento en el plano de un muro.....	169
Tabla 4.14 Formulas para el cálculo de comportamiento fuera del plano de un muro.	170
Tabla 4.15 Formulas para el cálculo del mecanismo A de volteo.	171
Tabla 4.16 Datos resumidos para la evaluación de la capacidad del muro X1 de la vivienda V-1 ..	173

Tabla 4.17 Valores calculados capacidad del muro X1 de la vivienda V-1 para comportamiento fuera del plano	173
Tabla 4.18 Calculo de factores de resistencia para el muro X1 de la vivienda V-1 para comportamiento fuera del plano	174
Tabla 4.19 Calculo de los desplazamientos límite para comportamiento fuera del plano del muro X1 de la vivienda V-1	174
Tabla 4.20 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-1	175
Tabla 4.21 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-2	175
Tabla 4.22 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-3	176
Tabla 4.23 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-4	176
Tabla 4.24 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-5	176
Tabla 4.25 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-6	176
Tabla 4.26 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-1	177
Tabla 4.27 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-2	177
Tabla 4.28 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-3	178
Tabla 4.29 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-4	178
Tabla 4.30 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-5	178
Tabla 4.31 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-6	179
Tabla 5.1 Datos para la evaluación de capacidad de desplazamiento	181
Tabla 5.2 Capacidad de desplazamiento del muro X1 de la vivienda V-1	182
Tabla 5.3 Demanda de desplazamiento para los periodos TLS para el muro X1 de la vivienda V-1	182
Tabla 5.4 Relación de Capacidad/demanda para el muro X1 de la vivienda V-1	183
Tabla 5.5 Prueba para demostrar si la capacidad es excedida por la demanda del muro X1 de la vivienda V-1	183
Tabla 5.6 Prueba de colapso para el muro X1 de la vivienda V-1	184
Tabla 5.7 Intervalos posibles	185

Tabla 5.8 Intervalos donde se encuentran el muro para diferentes sismos con periodo de retorno T_r para el muro X1 de la vivienda V-1	185
Tabla 5.9 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-1 para varios sismos con periodo de retorno T_r	187
Tabla 5.10 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-2 para varios sismos con periodo de retorno T_r	188
Tabla 5.11 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-3 para varios sismos con periodo de retorno T_r	189
Tabla 5.12 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-4 para varios sismos con periodo de retorno T_r	190
Tabla 5.13 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-5 para varios sismos con periodo de retorno T_r	191
Tabla 5.14 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-6 para varios sismos con periodo de retorno T_r	192
Tabla 5.15 Numero de muros que están en el intervalo de estados limite contando todas las viviendas	193
Tabla 5.16 Porcentaje de muros que están en el intervalo de estados limite contando todas las viviendas	194
Tabla 5.17 Estado de daño esperado para comportamiento en el plano (Tarque, 2008)	196
Tabla 5.18 Estado de daño esperado para comportamiento fuera del plano (Tarque, 2008)	196

Introducción

Arequipa ha sido escenario de grandes terremotos en el pasado que han causado pérdidas materiales y de vidas, esto se debe en parte a su ubicación, al igual que algunas zonas de la costa del Perú, presenta características tectónicas y de sismicidad importantes.

El Perú forma parte del borde occidental de América del sur, es parte de la zona denominada como cinturón de fuego del Pacífico, región donde se presentan los sismos más importantes del mundo.

La actividad sísmica del Perú se puede asociar a dos fuentes, la primera al proceso de subducción de la placa de Nazca sobre la placa Sudamericana que generan los terremotos de magnitud más elevada y segundo a las deformaciones corticales presentadas en la cordillera andina.

Para asegurar que las estructuras soporten sismos importantes, es decir sean sismorresistentes deben cumplir la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones; pero para evaluar estructuras existentes que en su concepción y construcción no han cumplido con esta norma, por desconocimiento o mala práctica como las viviendas autoconstruidas o de materiales que no se contemplan en esta norma, es necesario recurrir a investigaciones y teorías más específicas para estos casos, por lo cual en este trabajo se usan métodos de evaluación que se consideran adecuados para la evaluación de peligro y vulnerabilidad sísmica que se han aplicado en otras ciudades así también como en otros países.

También se hace evidente en este trabajo que es posible evaluar a las estructuras para sismos con diferente intensidad, valiéndonos de una evaluación probabilista de peligro sísmico, que permite manejar espectros de aceleraciones con diferentes periodos de retorno.

El fin de este trabajo es conocer el comportamiento sísmico de las viviendas del distrito de Cabanaconde considerando su sismicidad intrínseca y la calidad constructiva de las viviendas.

Resumen

En el pueblo de Cabanaconde la mayoría de viviendas son de adobe y pircado, para evaluar su comportamiento frente a futuros sismos, el trabajo se debe dividir en dos partes la primera evaluar de que intensidad serán los próximos sismos en este lugar, y la segunda evaluar la capacidad resistente de las viviendas, estas dos partes son la evaluación de peligro sísmico y evaluación de vulnerabilidad sísmica respectivamente.

Para evaluar el peligro sísmico fue necesario conocer la frecuencia, magnitud y locación con que ocurrieron los sismos en el pasado para el lugar de estudio, así como modelos de predicción de intensidad, llamados leyes de atenuación, que relacionan la magnitud y distancia de un sismo con las aceleraciones que presentarían en un lugar y por medio de un cálculo probabilístico asistido por el software libre CRISIS 2007 desarrollado en la UNAM, se calculó la intensidad y la probabilidad de ocurrencia de los futuros sismos en Arequipa y Cabanaconde.

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica de Cabanaconde se hizo una recolección de datos, un levantamiento de 6 viviendas en las cuales se observó cuál era su material predominante, su sistema resistente estructural, el estado de conservación, daños por pasados sismos, geometría de muros y ambientes, y de la unidad de albañilería, además se entrevistó a las personas del lugar para obtener información acerca de las costumbres constructivas del pueblo.

Para el cálculo se usó una teoría de evaluación de capacidad resistente de estructuras para albañilería sin reforzar, la teoría escogida llamada “MeBase” es una teoría basada en desplazamientos, es decir que relaciona los daños que ocurren en una vivienda con el desplazamiento que puede presentar estas, mediante límites máximos que se han definido en investigaciones experimentales.

En el Capítulo 1 se definen los objetivos, las hipótesis, se delimita el lugar de estudio, se muestra el esquema de trabajo y el alcance.

En el Capítulo 2 se describen los conceptos teóricos necesarios para evaluar el peligro y la vulnerabilidad sísmica de un lugar.

En el Capítulo 3 Se evalúa el peligro sísmico de Arequipa y Cabanaconde, para esto se recogen los datos necesarios, se calcula el peligro sísmico con el programa CRISIS 2007.

En el Capítulo 4 Se evalúa la vulnerabilidad sísmica de Cabanaconde, para esto se muestra la información recogida en el pueblo de Cabanaconde (fotografías de, geometría, características de los materiales) para luego calcular la capacidad resistente de las viviendas.

En el Capítulo 5 Se comparan demanda y capacidad de los muros de las viviendas evaluadas.

En el Capítulo 6 Se dan las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

En el Anexo A Se desarrolla un ejemplo numérico de la evaluación de peligro sísmico probabilista, mediante una hoja de cálculo.

En el Anexo B Se desarrolla un ejemplo del uso del programa CRISIS 2007.

En el Anexo C se muestran los planos de ubicación del lugar de estudio y de levantamiento de las 6 viviendas evaluadas.

Capítulo 1

Planteamiento Operacional

1.1 Identificación del problema

Arequipa es una zona altamente sísmica, en la costa se da el encuentro entre las placas Sudamericana y de Nazca, las cuales han ocasionado ya grandes sismos en el pasado, denominados de “subducción”, por otro lado en zonas alejadas de la costa se presentan fallas geológicas las cuales generan otro tipo de sismos denominados “corticales” que a pesar de tener una baja magnitud, se encuentran cerca a algunos poblados, este es el caso de los pueblos que se encuentran alrededor del cañón del Colca, además de que sus viviendas están construidas con albañilería sin reforzamiento (de adobe y de piedra) y sin tomar en cuenta las especificaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones RNE, esto ocasiona que cuando ocurre un terremoto se dañen y colapsen muchas viviendas, quedando familias sin hogar y ocasionando pérdida de vidas.

1.2 Planteamiento del problema

El Perú es parte del Cinturón de Fuego del Pacífico al igual que países como Chile, Japón y México, la historia sísmica del Perú nos hace notar que es una zona altamente sísmica, en las costas peruanas se encuentran dos placas, denominadas de Nazca y Sudamericana, las cuales por un proceso de subducción, es decir la placa de Nazca se mete por debajo de la Sudamericana, lo cual genera deformaciones y fricciones que se acumulan con el pasar del tiempo, hasta que llegan a un punto en el que la energía es liberada súbitamente, esto hace saber que los sismos se seguirán repitiendo en el futuro debido al movimiento constante de las placas, estos sismos han causado la pérdida de muchas vidas y viviendas en el Perú a lo largo de la historia siendo mayores en ciudades cercanas a la costa. Otra fuente sísmica importante son los que ocurren dentro de la Corteza del continente, debido a fallas geológicas ocasionadas por las deformaciones que ha sufrido el continente a lo largo de la historia por la subducción ocasionada en la costa, estas fallas se encuentran cercanas a algunos poblados, este es el caso de los pueblos que se encuentran en el recorrido del Cañón del Colca.

El problema debido a sismos en Arequipa se debe mayormente a que los sismos de intensidad moderada a fuerte dañan en su mayoría a viviendas de albañilería sin reforzar de material adobe y piedra, las cuales están unidas con morteros de tierra o una mezcla simple de arena y cemento además en el peor de los casos sin ningún mortero, estas viviendas no cuentan con elementos estructurales de confinamiento, las cuales las hace aún más vulnerables debido a que los muros que resisten el sismo, no están unidos entre sí fuertemente, lo que hace que estos actúen de manera independiente empeorando el desempeño sísmico que presentan estas viviendas, además del deterioro que presentan estas viviendas debido al paso del tiempo y la pobre conservación.

Estos problemas se deben a que estos pueblos no cuentan muchas veces con el asesoramiento de un profesional calificado para la construcción de sus viviendas, lo cual hace que las viviendas se construyan por reglas empíricas y no con los lineamientos que existen en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

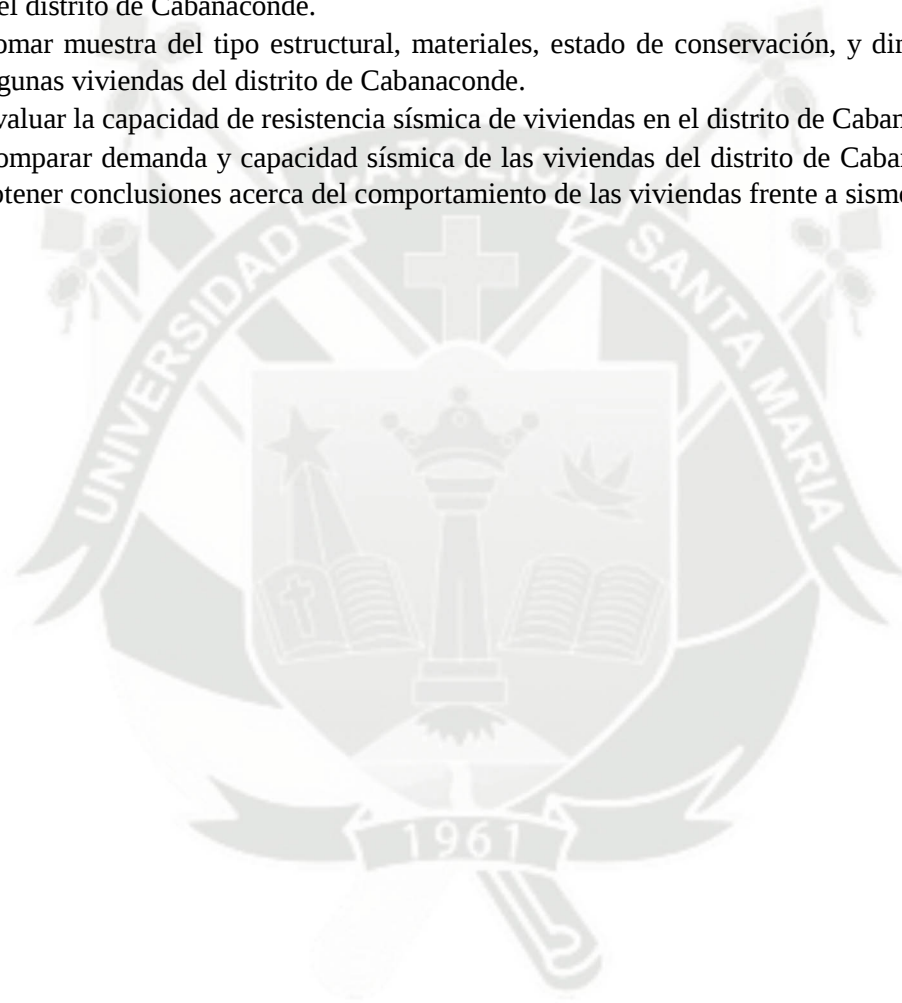
1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar el peligro sísmico en la Ciudad de Arequipa y el distrito de Cabanaconde.
- Evaluar la vulnerabilidad sísmica en el distrito de Cabanaconde.

1.3.2 Objetivo específico

- Generar curvas de peligro sísmico y espectros de peligro uniforme para la ciudad de Arequipa y el distrito de Cabanaconde.
- Tomar muestra del tipo estructural, materiales, estado de conservación, y dimensiones de algunas viviendas del distrito de Cabanaconde.
- Evaluar la capacidad de resistencia sísmica de viviendas en el distrito de Cabanaconde.
- Comparar demanda y capacidad sísmica de las viviendas del distrito de Cabanaconde para obtener conclusiones acerca del comportamiento de las viviendas frente a sismos.



1.4 Hipótesis

- Los espectros de peligro uniforme encontrados mediante el programa Crisis 2007 son de gran utilidad para evaluar el desempeño de estructuras frente a una gran variedad de sismos con diferente probabilidad de ocurrencia y periodo de retorno.
- Las viviendas de Cabanaconde tienen una alta vulnerabilidad y no responderían adecuadamente ante sismos importantes.

1.5 Alcance

Los lugares de estudio para peligro sísmico son la ciudad de Arequipa y el distrito de Cabanaconde, para la evaluación de vulnerabilidad sísmica solamente los distritos de Cabanaconde, coordenados y planos se pueden encontrar en la sección 1.6 y anexo 3 respectivamente.

El estudio de peligro sísmico se realizará con un método probabilístico mediante el programa CRISIS2007, ya que es el que más se presta para los fines de la investigación y por encontrarse libre de paga y de código abierto, con este se obtendrán curvas de peligro sísmico y espectros de peligro uniforme para varios sismos con diferente periodo de retorno.

El estudio de vulnerabilidad sísmica en el distrito de Cabanaconde se realizó con las mediciones de 6 viviendas y se evaluó su vulnerabilidad sísmica mediante una variación del procedimiento denominado “MeBase” que evalúa la capacidad resistente de una estructura por medio de desplazamientos.

1.6 Esquema del trabajo

El trabajo consta de las siguientes partes:

- Recolección de datos.
- Evaluación.
- Discusión de Resultados.

1.6.1 Recolección de datos

a) Peligro sísmico

- a) Información geológica del Perú
- b) Relaciones de atenuación aplicables.
- c) Coordenadas de fuentes sismogénicas para Perú.
- d) Parámetros sismológicos para fuentes sismogénicas (Recurrencia de sismos)

b) Vulnerabilidad sísmica

Para las viviendas de Cabanaconde (Adobe y Pircado)

- a) Sistema estructural.
- b) Material de construcción.
- c) Calidad de la construcción.
- d) Antigüedad de la construcción.
- e) Geometría de las viviendas.

1.6.2 Evaluación

a) Peligro sísmico

- Se calcula el peligro sísmico probabilístico mediante el programa CRISIS 2007.
- Se realiza una comparación de los espectros de peligro uniforme con los espectros de diseño presentados en la norma peruana de diseño sismo resistente E030.

b) Vulnerabilidad sísmica

- Se evalúa la vulnerabilidad sísmica de las viviendas del distrito de Cabanaconde mediante el procedimiento “Mebase” desarrollado en (Restrepo, 2003) con una variante descrita en (Tarque, 2008) (Ver sección 4.2).

c) Comparación demanda capacidad

- Se compara la capacidad, que es el resultado de la evaluación de vulnerabilidad sísmica y la demanda, que es el resultado de la evaluación de peligro sísmico para ver cuál es mayor frente a diferentes niveles de demanda.

1.6.3 Resultados

- Se obtienen espectros de peligro uniforme de la ciudad Arequipa y el distrito Cabanaconde.
- Se obtienen capacidades de desplazamiento máximo para los muros de las viviendas de Cabanaconde
- Se obtiene una comparación de demanda y capacidad que revela el comportamiento de muros de viviendas frente a sismos.

Este proceso se muestra en un esquema en la figura 1.1.

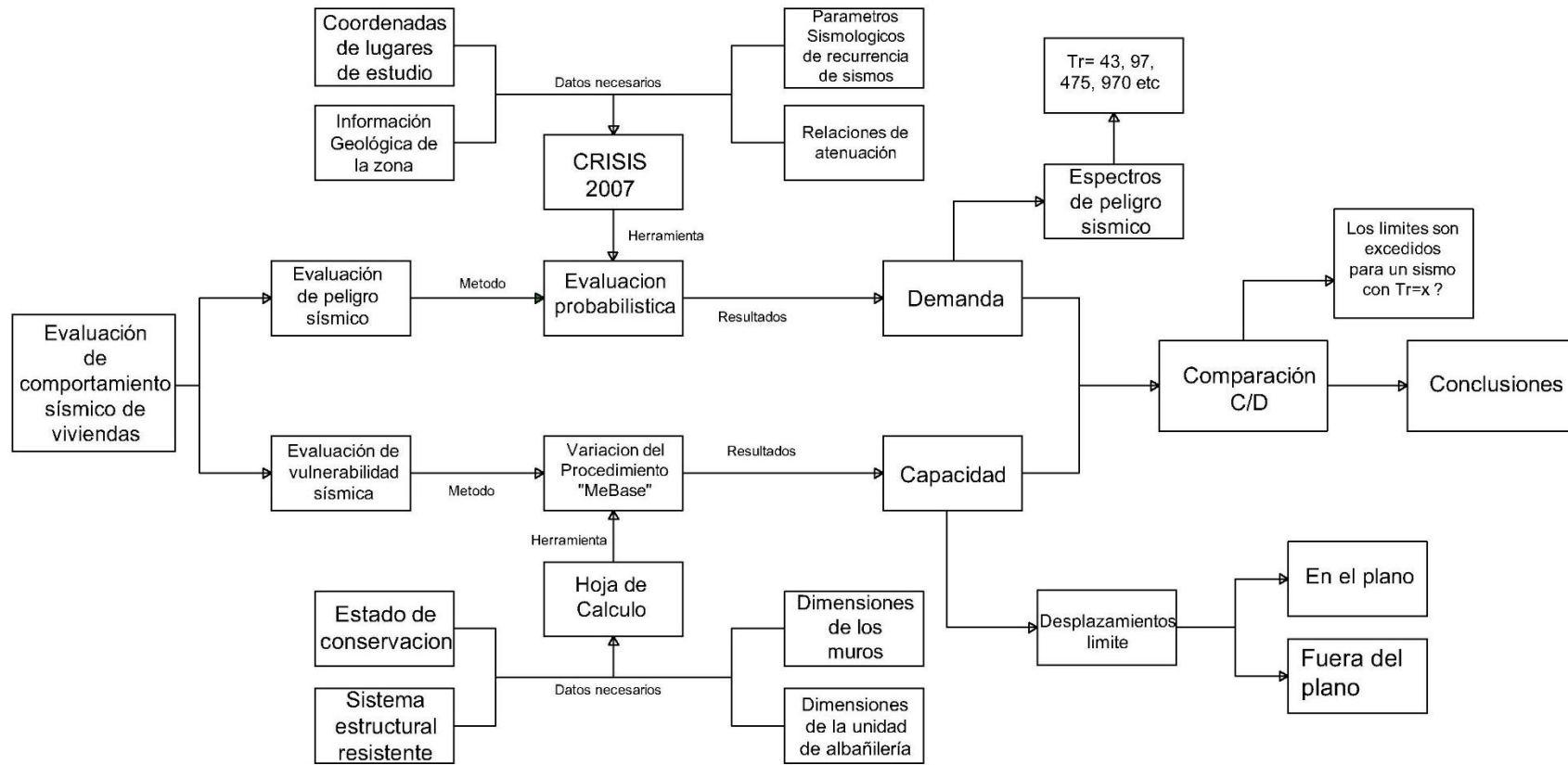


Figura 1.1 Esquema de trabajo

1.7 Ubicación del lugar de estudio

Se fijan dos áreas de estudio el primero concierne a la ciudad de Arequipa, y el segundo al distrito de Cabanaconde.

1.7.1 Ciudad de Arequipa

La ciudad de Arequipa que es parte del departamento de Arequipa en la región sur del Perú (Ver plano 1).

Tabla 1.1 Coordenadas del centro de la ciudad Arequipa (Fuente: INEI)

Ciudad	Latitud Sur	Longitud Oeste
Arequipa	16°24'03"	71°32'16"

1.7.2 Pueblo de Cabanaconde

El pueblo de Cabanaconde se encuentra en el distrito Cabanaconde, en la provincia de Caylloma, en el departamento de Arequipa, (ver plano 2).

Tabla 1.2 Coordenadas de los distritos en estudio (Fuente: INEI)

Distrito	Latitud	Longitud
Cabanaconde	15°37'17"	71°58'47"

Capítulo 2

Conceptos de peligro y vulnerabilidad sísmica

En este capítulo se explican los conceptos teóricos para evaluar el peligro y la vulnerabilidad sísmica, primero se describe como calcular la demanda sísmica en un determinado lugar esto es la evaluación de peligro sísmico, luego se explica cómo encontrar la vulnerabilidad sísmica de viviendas es decir evaluar su capacidad resistente.



2.1. Peligro sísmico

En (McGuire, 2004) se define el peligro sísmico como la propiedad de que un sismo pueda causar daño y pérdida. Y en (Wang, 2006) se dice que el peligro sísmico describe el fenómeno generado por sismos que tienen el potencial de causar daño.

La evaluación de peligro sísmico es la primera parte de la evaluación del comportamiento sísmico de estructuras en un lugar, y este describe la intensidad del movimiento que tendrán que soportar las estructuras es decir la demanda sísmica.

El peligro sísmico ocurre naturalmente y puede ser evaluado de observaciones instrumentales, históricas, y geológicas (Wang, 2006). El peligro sísmico es intrínseco de cada lugar y depende de la sismicidad de una cierta área de influencia alrededor de este lugar, sin importar si es que existen o no estructuras que soporten los movimientos debido a sismo.

Un alto peligro sísmico no significa necesariamente un alto riesgo sísmico y viceversa. Un lugar con alto peligro sísmico (Wang, 2006).

El peligro sísmico se evalúa desde dos perspectivas:

- a) Método determinístico
- b) Método probabilístico

El método determinístico considera el sismo más destructivo que pueda ocurrir en un lugar para cuantificar el peligro.

El método probabilístico considera todos los posibles sismos que puedan ocurrir en el lugar, en relación a un valor de probabilidad de ocurrencia (Bolaños y Monroy, 2004).

2.1.1 Método determinístico

El método determinístico evalúa el peor caso posible que se pueda presentar en un lugar debido a su sismicidad. Es así que se busca escoger el evento con mayor magnitud que pueda ocurrir en la fuente más cercana posible (Baker, 2008).

El análisis de peligro sísmico determinístico consiste en la elección de un sismo que hará de único escenario, este sismo llamado “dominante” o “controlante” se elige considerando varios criterios, que muchas veces dependen del conocimiento de la sismicidad del lugar y en mayor parte el criterio del investigador. El escenario consiste en la ocurrencia de un sismo de tamaño determinado y en una ubicación determinada; este sismo es escogido como el mayor que se pueda dar en el lugar, debido a la fuente sismogénica más “peligrosa” que exista (mayores magnitudes y distancias menores).

El método determinístico se resume en los siguientes pasos según (Green y Hall, 1994)

- a) Identificación de fuentes
- b) Selección de los sismos controlantes
- c) Selección de las relaciones de movimiento de suelo (Leyes de atenuación)
- d) Cálculo de los parámetros de movimiento del suelo

En la figura 2.1 se muestran los pasos para una evaluación de peligro sísmico determinístico.

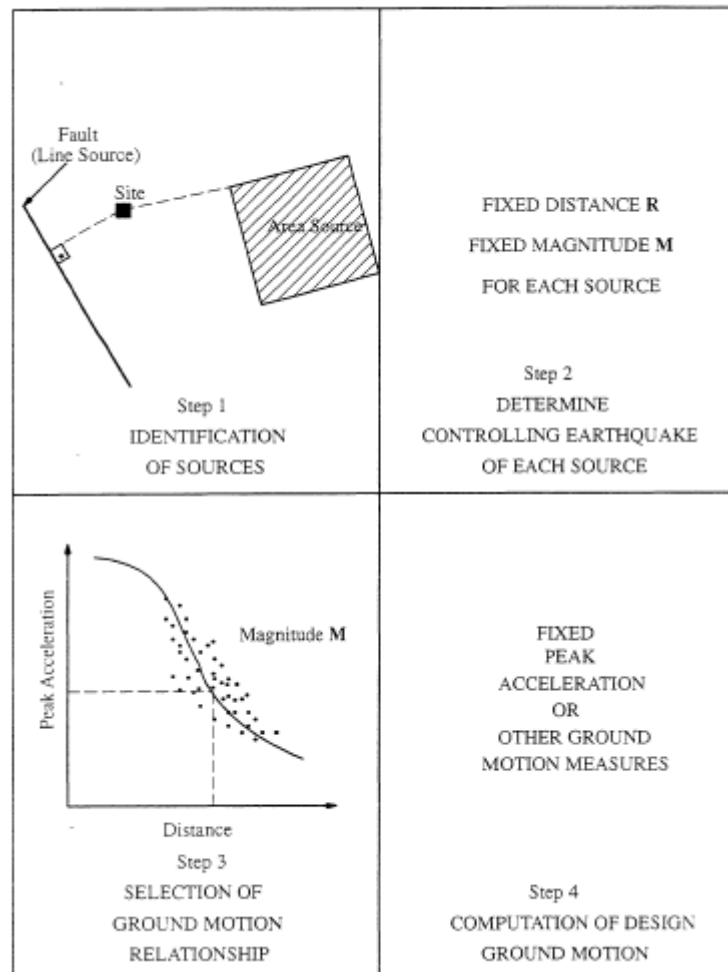


Figura 2.1 Pasos básicos para un análisis determinístico de peligro sísmico. (Reiter 1990) mostrado en (Green y Hall, 1994)

En seguida se da una breve explicación de cada paso.

2.1.1.1 Identificación de las fuentes

Se definen todas las fuentes en las que la ocurrencia de un sismo podría causar un movimiento importante, estas fuentes son llamadas sismogénicas. La identificación de estas fuentes requiere interpretación geológica, geofísica y sismológica con todos los datos disponibles. Las fuentes pueden ser representadas por puntos, líneas o áreas; las más usadas son las áreas, debido a la falta de conocimiento a exactitud de los mecanismos de las fuentes.

2.1.1.2 Selección de los sismos controlantes

Para cada fuente definida se debe escoger un sismo llamado dominante o controlante, este sismo se puede definir en función de la vida útil de la estructura que se pretende diseñar, la sismicidad de la fuente, y la distancia de la fuente al sitio de estudio; para el sismo que se podría esperar que ocurra en toda la vida útil de una edificación.

2.1.1.3 Elegir las leyes de atenuación o de predicción de movimiento

Se eligen leyes que estiman los parámetros sísmicos en el sitio de estudio, (intensidad, aceleración pico del suelo, etc.), debido a un sismo que está alejado una distancia, una magnitud y profundidad; la ley de atenuación se escoge considerando la naturaleza del mecanismo del sismo.

2.1.1.4 Cálculo de los parámetros de movimiento del suelo

Se realiza el cálculo de los parámetros de movimiento en el sitio de estudio usualmente se toma el sismo que genera la aceleración pico del suelo más grande de todas las fuentes definidas, de esta aceleración pico se pueden escalar espectros de diseño, o también usar directamente las leyes de atenuación especiales para definir directamente un espectro de diseño.

Carencias en el método determinístico

El método determinístico, presenta carencias en cuantificar la incertidumbre y probabilidad de que el sismo, elegido como controlante realmente ocurra, como no se tiene en cuenta la probabilidad de ocurrencia de este sismo, como resultado el método no es capaz de evaluar cuantitativamente el nivel de conservadurismo del análisis (Green y Hall, 1994).

En (Baker, 2008) se da una demostración de que un sismo controlante escogido no siempre causa el mayor efecto para diferentes estructuras, esto se demuestra en la figura 2.2.

- En la izquierda dos fuentes sismogénicas tipo falla y los máximos sismos que estos podrían generar; un sismo ubicado en una falla “A” a una distancia de 10 km, de magnitud 6.5 y la segunda un sismo en la falla “B” ubicada a 20 km, de magnitud 7.5.
- A la derecha se muestran los espectros de respuesta de aceleración de estos dos posibles sismos.
- Se observa que el sismo producido por la falla más cercana pero con menor magnitud produce los mayores efectos para estructuras con periodos pequeños del orden de 0.1 s a 0.8 s y para periodos mayores el sismo más lejano y de mayor magnitud es el que produce los mayores efectos.
- Se concluye que la falla más cercana no siempre será la que genere los sismos con mayor magnitud posible, también que no se puede escoger una sola fuente cuyo máximo sismo represente las mayores exigencias para todas las estructuras posibles.

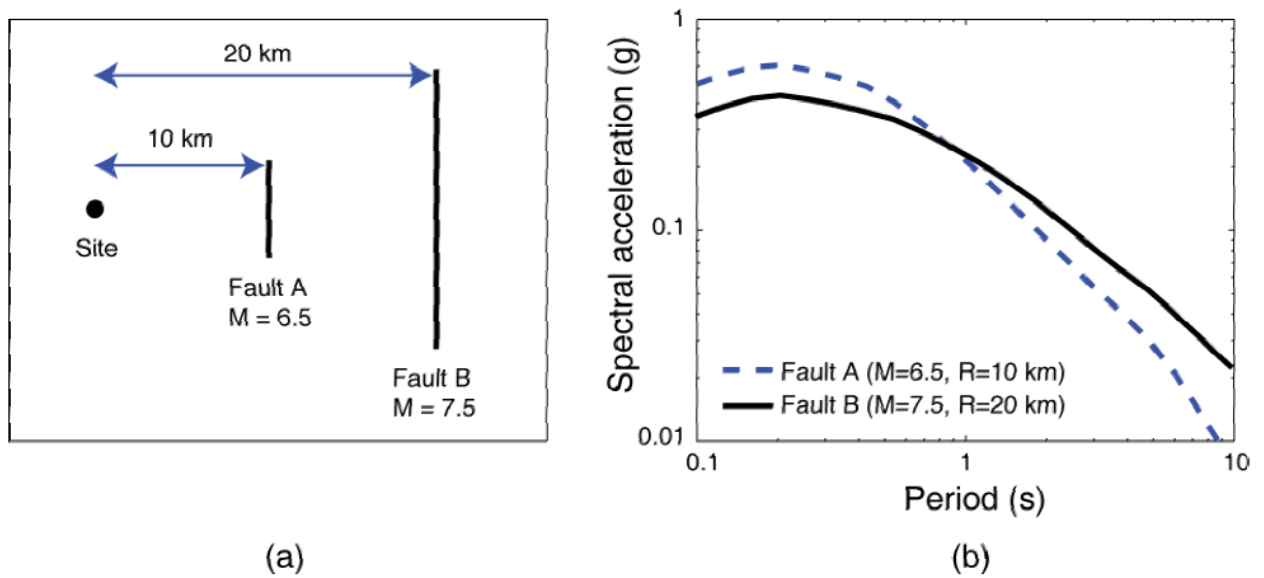


Figura 2.2 a) Lugar de estudio, fallas cercanas y el máximo sismo que podrían producir, b) espectros de respuesta de aceleración para los dos sismos probables (Baker, 2008)

- En (Baker, 2008) también se demuestra, que si el lugar de estudio se encuentra dentro de una fuente sismogénica tipo área (en cualquier lugar hay la misma probabilidad de ocurrencia), el sismo más fuerte y cercano sería uno que se dé a 0 km del lugar de estudio, se deja ver que este sismo tendría una muy baja probabilidad de ocurrencia.

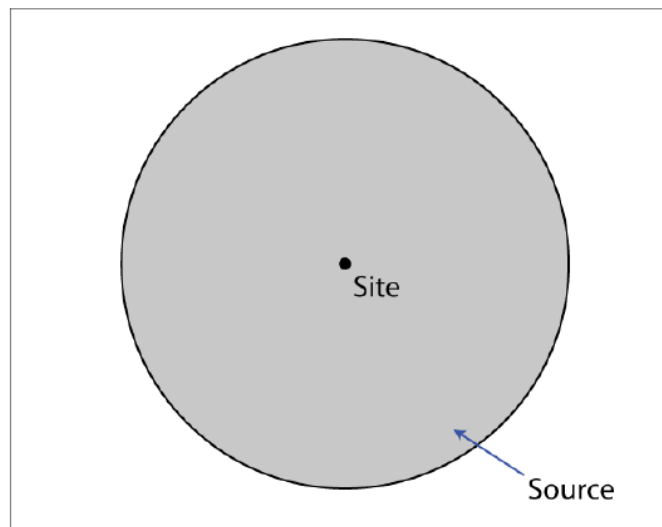


Figura 2.3 Ejemplo de un lugar de estudio al centro de una fuente, con terremotos potenciales a cero m de distancia. (Baker, 2008)

En la figura 2.4 se demuestra la gran dispersión que tienen las aceleraciones espectrales encontradas en un sismo real, para representar una curva suave es necesario usar la media representando los datos como normalmente distribuidos, se puede notar que si el sismo elegido fuera la media entonces este por definición sería excedido el 50 por ciento de las veces, si se eligiera la media más una desviación estándar esta sería excedida el 16 por ciento de las veces.

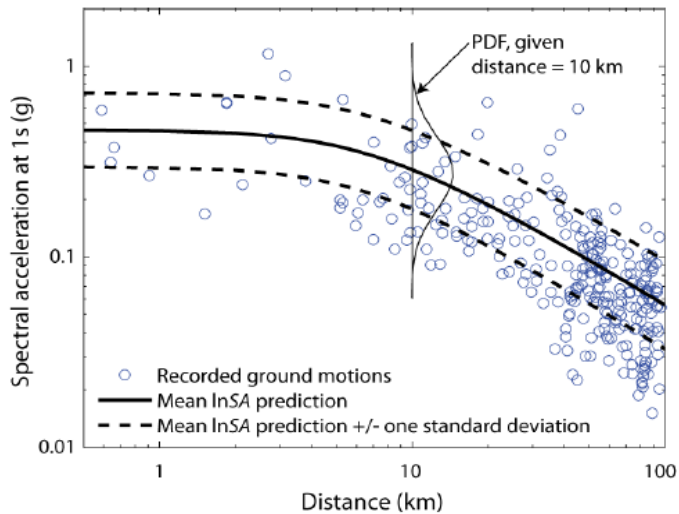


Figura 2.4 Aceleración espectral observada del terremoto de 1999 en Chi Chi Taiwan, la variabilidad en la intensidad del movimiento de suelo y la predicción de la distribución normal (Baker, 2008)

- Se concluye que no se puede elegir un mayor sismo controlante, ya que este tendría una muy baja probabilidad de ocurrencia de elegirse muy alto, o sería excedido ocasionalmente de elegirse muy bajo.

2.1.2 Peligro sísmico probabilista

El análisis de peligro sísmico probabilístico considera todos los posibles sismos, todas las posibles magnitudes, y todas las fuentes sísmicas que podrían generar daño, a todas las posibles distancias del lugar de estudio (Green y Hall, 1994).

El análisis probabilístico de peligro sísmico tiene el objetivo de cuantificar las incertidumbres de locación y magnitud, para combinarlas con el fin de producir una descripción explícita de la distribución de los futuros sismos que podrían ocurrir en un lugar, la incorporación de las incertidumbres agrega complejidad al procedimiento. Los cálculos resultantes son mucho más confiables para ser usados en decisiones ingenieriles para reducir el riesgo (Baker, 2008).

Los resultados de esta evaluación, son las curvas de peligro sísmico, que describen la probabilidad de que una aceleración dada sea excedida, y también los espectros de peligro sísmico que son espectros similares a los espectros de diseño presentado en la norma E030 con la diferencia de que el peligro o la probabilidad de ocurrencia de un mismo espectro se mantiene uniforme a lo largo de este.

Procedimiento

El peligro sísmico probabilista fue presentado por primera vez por (Cornell, 1968), a continuación se presentan los pasos descritos en (Green y Hall, 1994) y se complementan por (Baker, 2008) por la simplicidad de la explicación.

Consta de los siguientes pasos:

- Identificación de fuentes sismogénicas
- Relaciones de recurrencia, distribuciones de magnitud, distribuciones de distancia, y tasa promedio de ocurrencia
- Estimación del movimiento del suelo (Escoger leyes de atenuación)
- Estimación de la curva de peligro

Los pasos se pueden resumir en la figura 2.5.

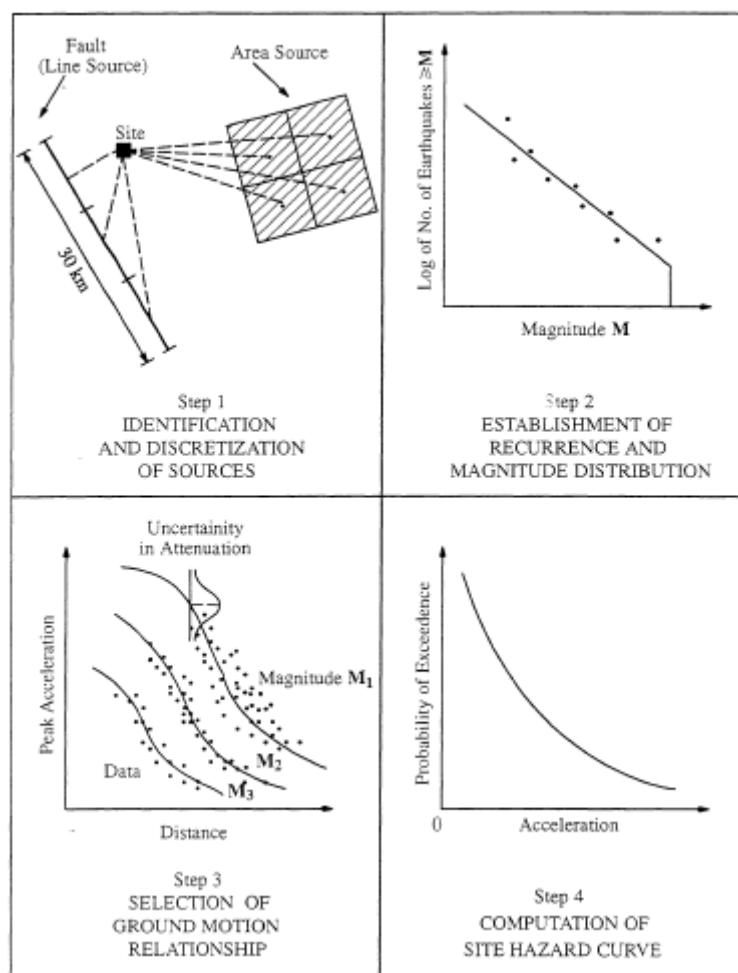


Figura 2.5 Procedimiento para realizar un análisis de peligro sísmico probabilístico (Green y Hall, 1994)

2.1.2.1 Identificación de fuentes sismogénicas

Se definen todas las fuentes que podrían producir daño resultante de un movimiento en el sitio de estudio, esta definición de fuentes está basada en la interpretación geológica, geofísica y sismológica de toda la información disponible para el lugar.

Estas fuentes pueden ser fallas, que son típicamente superficies planas identificadas. Si las fallas individuales no son identificables entonces las fuentes sismogénicas pueden ser descritas por regiones de área donde un sismo podría ocurrir en cualquier lugar de esta.

2.1.2.2 Relaciones de recurrencia, distribución de magnitudes y tasa promedio de ocurrencia

Se establecen relaciones de recurrencia y tasas promedio de ocurrencia de sismos. Una relación de recurrencia establece el número relativo de sismos que ocurren para diferentes niveles de magnitud. En la mayoría de los casos se usa el modelo o ley de Gutenberg Richter llamada también “b-line” que se evidencia en su grafica semilogarítmica.

Ley de Gutenberg Richter

Es una fórmula o relación que permite cuantificar la relación Frecuencia - Magnitud de la actividad sísmica de una región es decir con cuanta frecuencia se presentan los sismos de una determinada magnitud (Gutenberg y Richter, 1944). Dicha cuantificación se mide de la siguiente manera

$$\log N = a - b * M \quad (2.1)$$

Donde:

M : Magnitud

N : Numero esperado de sismos en un año con magnitud igual o mayor que la magnitud M

a, b : Constantes determinadas por la naturaleza de cada fuente.

La ecuación 2.1 puede mostrarse también de las siguientes 2 maneras

$$\lambda(M) = 10^{a-b*M} \quad (2.2)$$

$$\lambda(M) = e^{\alpha-\beta*M} \quad (2.3)$$

Donde:

$$N = \lambda(M) \quad (2.4)$$

$$\alpha = \ln(10) * a \quad (2.5)$$

$$\beta = \ln(10) * b \quad (2.6)$$

Esta relación se grafica en escala semilogarítmica como una línea con una intercepción en el eje y a y con una pendiente b . Las líneas se pueden derivar de un análisis de regresión de datos sismológicos de magnitud o de una combinación de datos sismológicos y geológicos si es que se carece de datos sismológicos.

El valor a indica la tasa global de terremotos en una región y el valor b indica la proporción relativa de pequeñas y grandes magnitudes (Baker, 2008).

El punto débil de esta relación o ecuación es que no toma en cuenta la incidencia de eventos distribuidos en el tiempo. El uso de la relación de Gutenberg-Richter implica que magnitudes se distribuyen de manera exponencial.

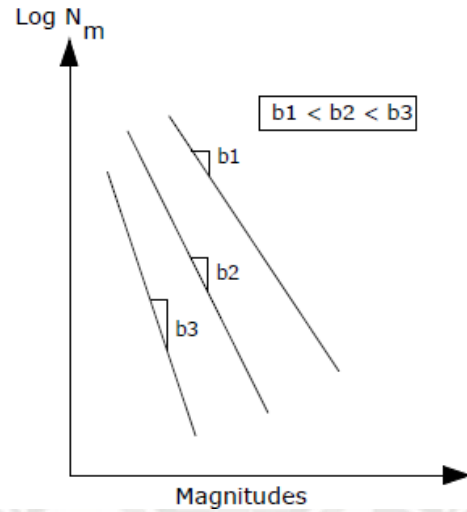


Figura 2.6 Ley de Gutenberg Richter (Bolaños y Monroy, 2004)

La figura 2.6 muestra en escala semilogarítmica 3 líneas con diferente coeficiente b , hace notar que mientras más grande sea este valor, menores son las magnitudes de sismo en ese lugar y viceversa.

Según la ecuación 2.1 matemáticamente no habría límite en la magnitud máxima que puede alcanzar una determinada fuente, lo cual en la realidad es falso porque según la historia no podemos esperar sismos excesivamente grandes por lo que se hace necesario condicionar la ley de Gutenberg Richter a funcionar solo para valores mayores a una magnitud máxima M_u , pero también se debe definir una magnitud mínima M_o , ya que magnitudes menores que esta magnitud mínima no tienen interés desde el punto de vista ingenieril, debido a que estas causarían un movimiento del suelo que no causaría daño a las estructuras esto se puede observar en la figura 2.7.

La ley de Gutenberg Richter truncada a valores mayores que una magnitud mínima M_o y menores a una magnitud máxima M_u se muestra:

$$\lambda(M) = \lambda_o * \frac{e^{-\beta*M} - e^{-\beta*M_u}}{e^{-\beta*M_o} - e^{-\beta*M_u}} \quad (2.7)$$

$$\text{para } M_o \leq M \leq M_u$$

$$\text{Donde } \lambda_o = e^{\alpha - \beta*M}$$

Función de densidad de probabilidad de la magnitud

La función de densidad de probabilidad magnitud derivada de la ecuación de Gutenberg Richter se expresa como:

$$p(M) = -\frac{d\lambda(M)}{dM} = \lambda_o * \beta * \frac{e^{-\beta * M}}{e^{-\beta * M_o} - e^{-\beta * M_u}} \quad (2.8)$$

Donde:

$p(M)$: Función densidad de probabilidad de magnitud
 M : Magnitud
 M_o y M_u : La magnitud mínima y máxima limite respectivamente

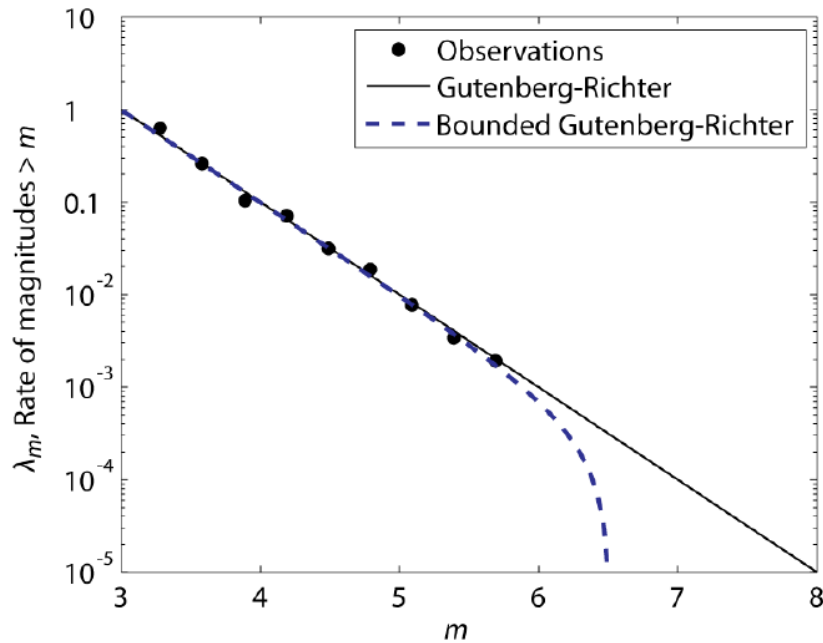


Figura 2.7 Observaciones de sismos, relación de Gutenberg Richter y relación de Gutenberg Richter Truncada por un M_o y un M_u (Baker 2008)

Al igual que con la distribución distancia, la distribución de magnitud puede ser discretizada, tomando el valor central de la cada intervalo escogido.

Cuando ocurre un sismo, la probabilidad de que su magnitud y distancia caigan en los intervalos respectivos se determina. Si las longitudes o áreas de cada segmento o sub-área para una fuente discretizada dada son iguales, entonces hay una igual probabilidad de que un sismo ocurra en cualquiera de los segmentos o sub-áreas (Green y Hall 1994).

Por lo tanto, la probabilidad de que un sismo ocurra en cualquier fuente discretizada los valores de la matriz de distancia al sitio de estudio es simplemente:

$$\frac{1}{(\text{el número de intervalos})}$$

Dada la ocurrencia de un sismo, la probabilidad de que su magnitud caiga en el primer intervalo de magnitud se aproxima multiplicando la función de densidad de probabilidad de magnitud evaluada en la magnitud centro para ese intervalo (M_i) por el rango del intervalo (ΔM), o:

$$P\left(M_i - \frac{\Delta M}{2} \leq M \leq M_i + \frac{\Delta M}{2}\right) \approx f(M_i) * \Delta M \quad (2.9)$$

Tasa de ocurrencia promedio (v)

La tasa de ocurrencia promedio (v) de una fuente se define como el número medio de eventos entre M_o y M_u por unidad de tiempo se define por la siguiente expresión:

$$v = [N(M_o) - N(M_u)] * L \quad (2.10)$$

Donde:

- v :Tasa promedio de ocurrencia
- $N(M_o)$ y $N(M_u)$: Número promedio de terremotos (por unidad de tiempo, por unidad de tamaño) de magnitudes iguales o mayores que M_o y M_u , respectivamente.
- L : representa el tamaño de la fuente.

Caracterizar la distribución de distancias de fuente a sitio de cada fuente

Para predecir el movimiento resultante en un lugar, es también necesario modelar la distribución de distancias desde las fuentes al sitio de interés. Para una fuente dada, se asume generalmente que los sismos podrían ocurrir con igual probabilidad en cualquier lugar de la falla o fuente sísmica. Dado que las fuentes están uniformemente distribuidas, generalmente es simple identificar la distribución de distancias de fuente a sitio usando solo la geometría de la fuente (Baker, 2008).

En una evaluación de peligro sísmico se pueden usar varios tipos de distancia

- Distancia al Epicentro
- Distancia al Hipocentro
- Distancia al punto más cercano de la superficie de ruptura
- Distancia al punto más cercano en la superficie de proyección de la ruptura

En cada fuente se asume típicamente que se tiene un potencial sísmico uniforme en cualquier parte de ella. Esto significa que para una magnitud dada el evento tiene las mismas probabilidades de ocurrir en cualquier lugar dentro de una fuente. (Green y Hall, 1994) citan a (National Research Council, 1988).

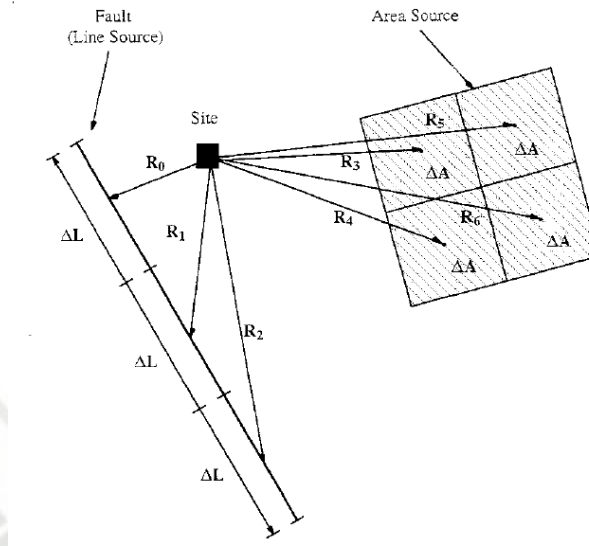


Figura 2.8 Discretización y distribución de distancias fuente-sitio de estudio. (Green y Hall, 1994) extraen un ejemplo de (Tri service Manual, 1986)

2.1.2.3 Estimación del movimiento del suelo

Para predecir el movimiento del suelo se usan las leyes de atenuación, estas describen como varía la respuesta del suelo (en términos de aceleraciones, velocidades, intensidades, etc.) conforme varía la distancia desde el punto de origen de un sismo de determinada magnitud.

Estos modelos predicen la distribución de movimiento del suelo, como función de muchas variables que ayudan a predecirla, estas son magnitud, distancia, mecanismo de falla, condiciones de sitio en la superficie cercana, la potencial presencia de efectos de directividad, etc (Baker, 2008).

Los modelos de predicción son generalmente desarrollados usando regresión estadística de observaciones de un gran número de grabaciones de diferentes intensidades de movimiento del suelo. Muchas leyes de atenuación existen para varios mecanismos y condiciones geológicas, es necesario escoger una conforme las condiciones del lugar de estudio.

Se muestra en la figura 2.9 que hay una gran dispersión en las magnitudes medidas en diferentes lugares para distancias iguales. El modelo de predicción debe proveer una distribución de probabilidad para sus intensidades, más que simplemente proveer una sola intensidad. Esto es importante para la evaluación de peligro sísmico probabilista cuyos cálculos necesitan tomar en cuenta la posibilidad de ocurrencia de sismos mayores a la media. (Baker, 2008) cita a (Boomer y Abrahamson, 2006).

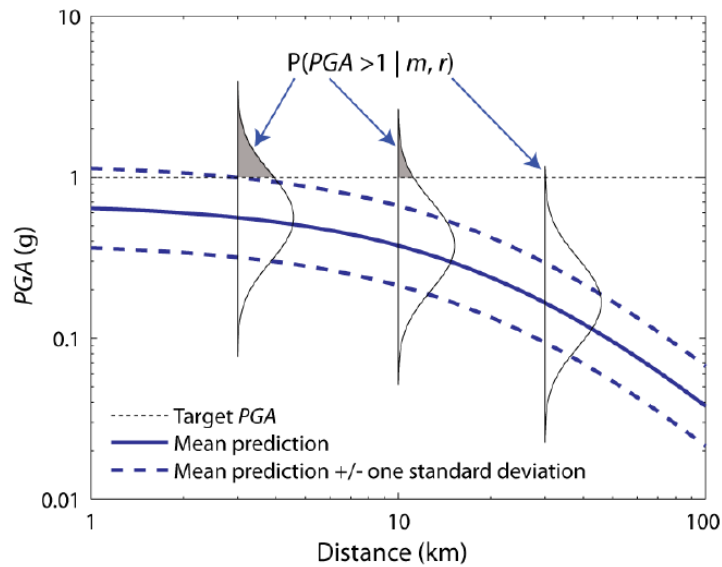


Figura 2.9 Descripción gráfica de un modelo de atenuación para una determinada magnitud con distancias variables, y la probabilidad de que la aceleración pico del suelo sea mayor que 1g a diferentes distancias desde la fuente al sitio de estudio. (Baker, 2008)

Se muestra la distribución de la medida de intensidad del movimiento del suelo, en este caso la aceleración pico del suelo, y la distribución de probabilidad para cada punto de la gráfica, en esta se puede observar la probabilidad de que en un determinado sismo con magnitud fija a diferentes distancias se exceda una determinada aceleración.

Dada la ocurrencia de un sismo, la probabilidad que la aceleración pico del suelo PGA exceda una aceleración de interés acc se va a determinar para cada combinación de la magnitud M_i y distancia R_j para cada fuente identificada o dicho en notación matemática

$$P(PGA > acc | EQ: R_j, M_i)$$

Esto se entiende así:

$P(PGA > acc)$ La probabilidad de que la aceleración pico del suelo PGA exceda la aceleración de interés acc

Dada la ocurrencia de un sismo EQ con radio R_j y magnitud M_i

$$EQ: R_j, M_i$$

Relaciones de atenuación para ordenadas espectrales

Existen relaciones de atenuación para ordenadas espectrales, que obtienen la respuesta de estructuras con distinto periodo de vibración debido al movimiento producido por un sismo, estas relaciones se han logrado obtener con el aumento de registros sísmicos con el tiempo. Para su desarrollo se han evaluado registros de acelerogramas y evaluado el comportamiento de osciladores de un grado de libertad con distintos periodos, trabajos como este se listan más adelante en la sección 4.3.

La probabilidad de que alguna ordenada espectral SA , para un sismo de magnitud m y distancia r exceda un valor Sa se denota matemáticamente por:

$$P[SA(Tn) > Sa(Tn)|M_i, R_j] = 1 - Fu(Sa(Tn)) \quad (2.11)$$

$Fu(Sa(Tn))$: Valor de la función de distribución acumulativa para SA , tal que tenga una magnitud M_i y una distancia R_j . La distribución de probabilidades se asume logarítmica normal.

2.1.2.4 Calculo de la curva de peligro

Una curva de peligro es una gráfica que representa en las abscisas la intensidad y en el eje de las ordenadas la probabilidad de exceder esta intensidad.

Para encontrar la probabilidad de que un parámetro del movimiento del suelo (aceleración pico del suelo, aceleración espectral, velocidad espectral, intensidad, etc.) exceda un valor en particular. Esta probabilidad se evalúa para un posible sismo en una posible ubicación dentro de una fuente y luego esta se multiplica por la probabilidad de que esa magnitud pueda ocurrir en esa ubicación. El proceso se repite para todas las posibles magnitudes y localizaciones. Luego todas estas probabilidades son sumadas.

Para cada combinación de magnitud M_i y distancia R_j , la expresión de probabilidad de movimiento del suelo para una fuente discretizada dada son combinadas para producir la probabilidad que dada la ocurrencia de un sismo EQ con una magnitud de interés en cualquier lugar de la fuente $késima$ se excederá el parámetro sísmico es decir $A > a$ siendo A un parámetro sísmico definido (aceleración pico del suelo, aceleración espectral, intensidad, etc.) y a un valor de interés de ese parámetro sísmico.

$$P_k(A > a|EQ_k) = \int \int P(A > a|EQ_k: M_i, R_j) f(M) * f(R) * dM * dR$$

En notación de sumatoria que es aplicable a distribuciones discretas.

$$P_k(A > a|EQ_k) = \sum_j \sum_i P(A > a|EQ_k: M_i, R_j) f(M_i) * \Delta M * f(R_j) \quad (2.12)$$

Hasta aquí solo se está tomando en cuenta la probabilidad de que se exceda una aceleración a si es que ocurriera un sismo, no se cuantifica la probabilidad de que un sismo ocurra.

Se selecciona una relación de predicción de ocurrencia para expresar la probabilidad de que sucedan futuros eventos sísmicos.

Los modelos para pronosticar en su mayoría se basan en la teoría de procesos estocásticos (aleatorios) y no en la extrapolación de los datos del pasado (por la insuficiencia de datos),

El modelo más utilizado es el modelo de Poisson y puede ser escrito así:

$$P(n, t) = \frac{(v*t)^n * e^{-v*t}}{n!} \quad (2.13)$$

Donde:

$P(n, t)$ Es la probabilidad de tener exactamente n eventos en un periodo de tiempo futuro y v es la tasa de incidencia promedio.

Si queremos decir que ningún evento ocurre en un año, la expresión se reduce a:

$$P(0,1) = e^{-v}$$

Entonces la probabilidad de que al menos un evento ocurra en el año es:

$$P = 1 - e^{-v}$$

Esta expresión se combina con la probabilidad de que la aceleración pico del terreno exceda la aceleración de interés (dada la ocurrencia de un sismo), se convierte en:

$$P_k(A > a) = 1 - e^{-(v \cdot p)_k}$$

Donde:

$$p = P_k(A > a | EQ_k)$$

O en su forma expandida de sumatoria

$$P_k(A > a) = v_k \sum_j \sum_i P_k(A > a | EQ_k) f(M_i) * \Delta M * f(R_j) * \Delta R \quad (2.14)$$

La siguiente expresión es usada para combinar el peligro de cada fuente, resultante en la curva de peligro de un lugar en específico:

$$P(A > a) = 1 - \prod_k (A < a)_k$$

O también:

$$P(A > a) = 1 - \prod_k (1 - (A < a)_k) = 1 - \prod_k (1 - P_k) \quad (2.15)$$

Donde:

P : Probabilidad de excedencia de todas las fuentes

P_k : Probabilidad de excedencia de la fuente k

Un ejemplo desarrollado numérico se puede encontrar en el anexo 2

2.1.2.5 Resultados

a) Curvas de peligro sísmico

Las curvas de peligro sísmico son el resultado de un análisis de peligro sísmico probabilista, estas curvas son graficas que muestran la tasa de probabilidad anual de exceder algún nivel de intensidad que describa el movimiento del suelo resultante por terremotos (Baker, 2008) como por ejemplo la aceleración espectral.

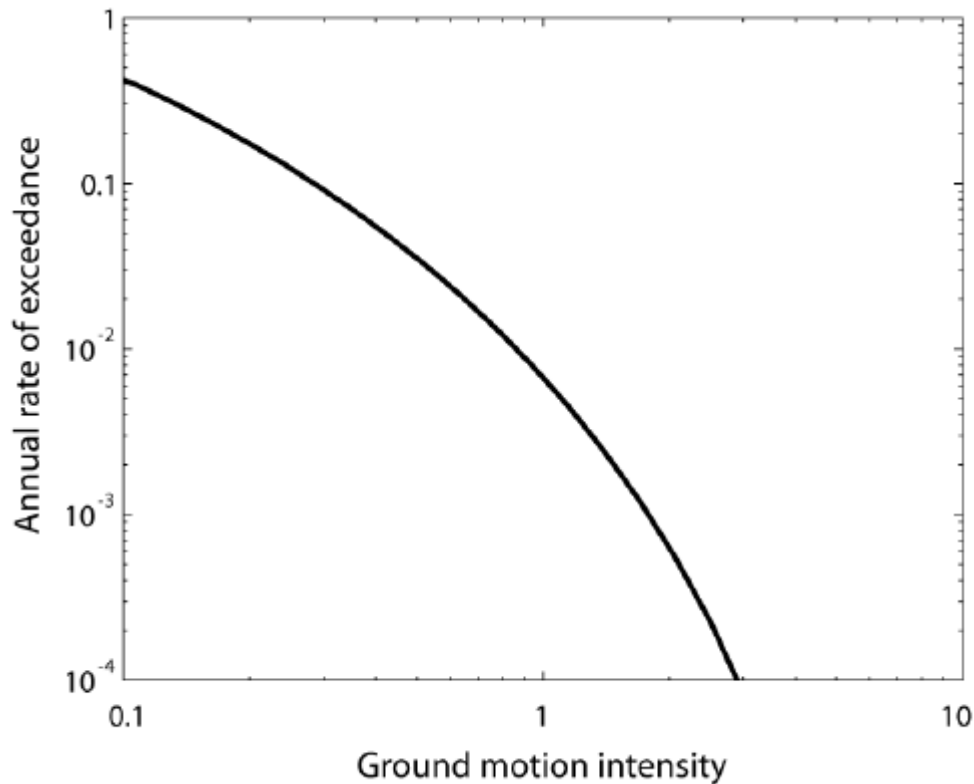


Figura 2.10 Ejemplo de curva de peligro sísmico (Baker, 2008)

b) Espectros de peligro uniforme

Los espectros de la norma E030 se calculan escalando un espectro estándar mediante una aceleración máxima del terreno, no se conserva el mismo peligro para estructuras con diferentes periodos en un mismo espectro (Bolaños y Monroy, 2004).

Una meta común del análisis probabilista de peligro sísmico es identificar un espectro de respuesta para ser usado en análisis estructurales o geotécnicos. Esto se logra desarrollando el espectro de peligro uniforme. Este espectro es desarrollado primero llevando el análisis de peligro sísmico probabilista anteriormente descrito, luego se escoge una tasa de excedencia y para cada periodo estructural la amplitud de la aceleración correspondiente a esa tasa es identificada (Baker, 2008).

El espectro es llamado de peligro uniforme porque cada ordenada tiene una igual tasa probabilidad de ser excedida. Pero debe quedar claro que este espectro es una envolvente de aceleraciones espectrales separadas a diferentes periodos, cada uno de los cuales puede venir de un sismo diferente (Baker, 2008).

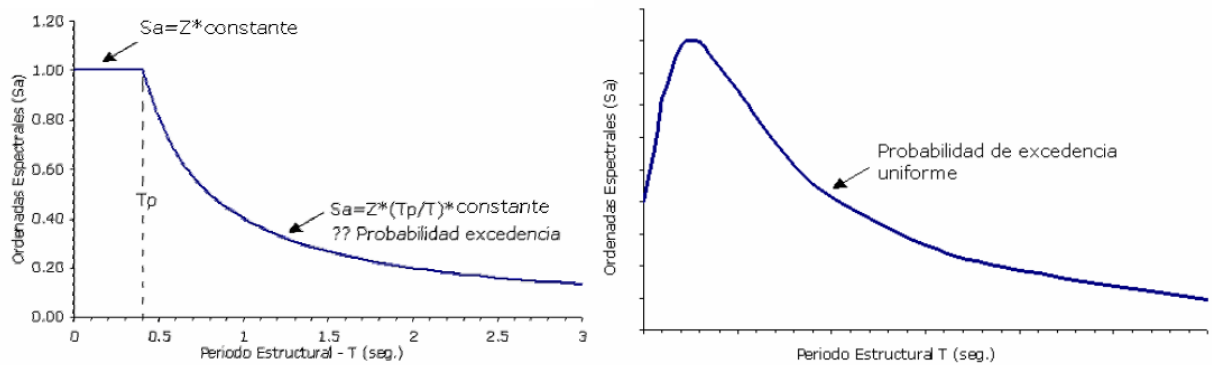


Figura 2.11 Un espectro de diseño para la norma peruana y un espectro de peligro uniforme obtenido probabilísticamente (Bolaños y Monroy, 2004)

En la figura 2.12 se muestra el procedimiento para obtener una curva de peligro sísmico, se escoge una tasa de probabilidad de excedencia en este caso 4×10^{-4} y se obtiene el valor de la aceleración para varias curvas de peligro sísmico por ejemplo para 0.3s y 1s las cuales se grafican obteniendo dos puntos del espectro de peligro uniforme, el procedimiento se realiza para varios periodos hasta completar la gráfica.

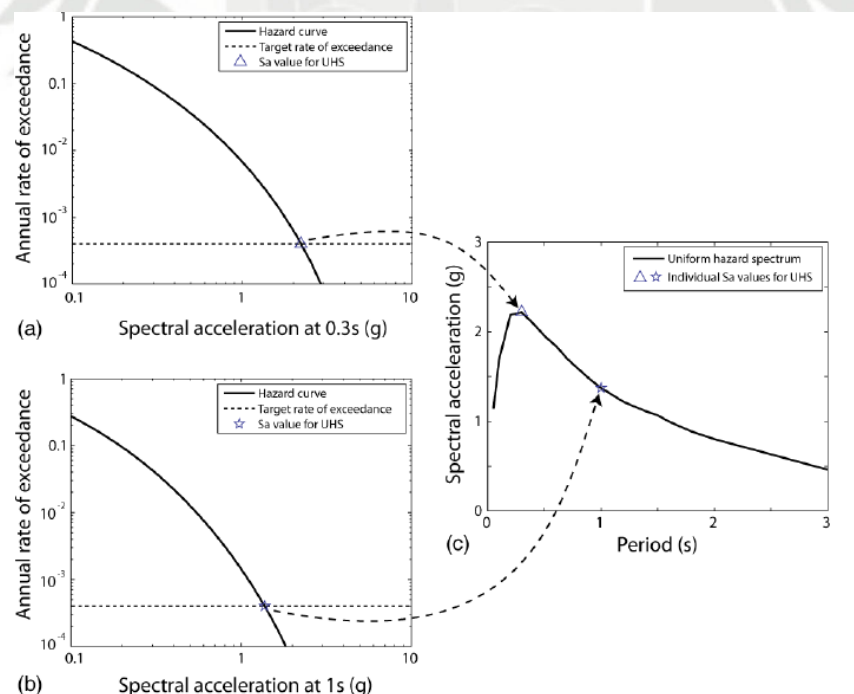


Figura 2.12 Un espectro de peligro uniforme con una probabilidad de excedencia uniforme “c” siendo obtenido de diferentes curvas de peligro sísmico “a” para un periodo de 0.3s y b para 1s (Baker, 2008)

Diferencias entre espectro de peligro uniforme y espectro de las normas.

En (Ahmed, 2010) se discute algunas ventajas principales de los espectros de peligro uniforme respecto a los espectros de diseño de las normas, se mencionan a continuación:

Mejor precisión

En el espectro estándar de diseño, hay un único punto de control que corresponde al periodo 0s y de este punto se genera toda la forma del espectro es decir conseguir los valores de aceleraciones espectrales para todos los periodos.

Obviamente, este enfoque demasiado generalizado y simplista carece de suficiente exactitud y no posee la capacidad de ser aplicado con igual fuerza de precisión para todos los sitios.

Se puede imaginar que si se tuvieran dos sitios con un mismo valor para la aceleración máxima del terreno, es decir que se encuentren en la misma zona si hablamos de la norma peruana, y se estima que los suelos se comportan parecidos entre ellos se tendrá un mismo espectro de diseño, se evidencia que esto en la realidad es una aproximación ya que cada lugar debería tener su propio espectro de diseño que se caracterice por las diferentes aceleraciones espectrales para todos los periodos.

Tener en cuenta terremotos en el campo cercano y lejano en un mismo espectro

Es sabido que el corto periodo de los espectros de diseño generalmente se rige por la contribución de los registros de acelerogramas de campo cercano (sismos moderados) y el largo período de la espectro de diseño es controlado por los registros de campo lejano (grandes terremotos) (Ahmed, 2010) cita a (Adams et al, 2003) y (Humar et al, 2003).

Cada sitio tiene diferentes reacciones a los sismos cercanos y lejanos para ella, por lo que un espectro de diseño como el de las normas no describiría completamente la respuesta de estructuras de cortos periodos como de largos.

En el análisis de peligro sísmico se tiene en cuenta sismos del campo cercano y lejano dado que los catálogos de sismo se toman ocurrencias cercanas y lejanas al sitio en estudio.

Basándonos en estas dos razones se optó por usar los espectros de peligro sísmico para evaluar el riesgo que existe en Cabanaconde ya que el espectro desarrollado describiría mejor el peligro relacionado a la zona de Cabanaconde con respecto al espectro de diseño de la norma E030.

Para la evaluación de vulnerabilidad sísmica en Cabanaconde adicionalmente se extraen los espectros de peligro uniforme necesarios estos se muestran a continuación.

Para el cálculo del peligro sísmico probabilístico se usará el programa Crisis 2007 en seguida se da una breve descripción.

CRISIS 2007

El programa CRISIS 2007 pertenece a la familia de programas de código abierto de CAPRA, este programa sirve para realizar un análisis de amenaza sísmica y de tsunamis usando el método probabilista y fue desarrollado en el instituto de ingeniería de la UNAM por M. Ordaz, A. Aguilar y J. Arboleda.



Figura 2.13 Versión del programa usado en el presente trabajo

En el presente trabajo se usa la versión 7.6 del programa Crisis 2007 ya que este es de código abierto y se encuentra gratuito en la página <http://www.ecapra.org/es/crisis-2007>.

2.2 Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica es una propiedad intrínseca de cada estructura, representa la capacidad resistente de la estructura ante demandas sísmicas y está relacionada por las propiedades mecánicas y geométricas y de respuesta ante movimientos del terreno.

Por ejemplo se puede decir que una vivienda antigua de adobe probablemente tiene una vulnerabilidad sísmica más alta que una estructura de concreto armado diseñada correctamente con las normas vigentes.

En (Calvi et al, 2006) se mencionan algunos métodos de evaluación de vulnerabilidad sísmica se mencionan a continuación.

2.2.1 Métodos para la evaluación de Vulnerabilidad

Los métodos para la evaluación de vulnerabilidad que han sido propuestos en el pasado para el uso en la estimación de pérdidas se pueden dividir en dos principales categorías: empíricos o analíticos, y de estos dos se derivan los métodos híbridos, (Calvi et al., 2006).

2.2.1.1 Métodos Empíricos

Se emplearon desde los años 70 a gran escala, estos métodos son más subjetivos y están basados en la experiencia de varios tipos de edificaciones sometidos a sismos pasados, y la observación de sus tipos de falla, algunos métodos empíricos son (Calvi et al., 2006):

- Matrices de probabilidad de daño. (Damage Probability Matrices)
- Índices de vulnerabilidad (Vulnerability Index Method)
- Curvas de vulnerabilidad (Continuous Vulnerability Curves)
- Métodos de vista (Screening Methods)

2.2.1.2 Métodos Analíticos/Mecánicos

Evalúan la resistencia de las estructuras con modelos mecánicos de respuesta estructural valiéndose de las propiedades mecánicas y geométricas de las estructuras. Los métodos mecánicos surgieron cuando aparecieron las relaciones de atenuación que daban resultados de aceleraciones en términos de ordenadas espectrales derivadas de un análisis de peligro sísmico.

- Curvas de vulnerabilidad derivadas analíticamente y matrices de probabilidad de daño.
- Métodos Híbridos.
- Métodos basados en mecanismos de colapso.
- Métodos basados en el espectro de capacidad.
- Métodos basados en desplazamientos.

2.2.1.3 Métodos basados en desplazamiento

Los primeros pasos desarrollados para este método fueron propuestos por (Calvi, 1999). Estos métodos usan los desplazamientos como indicadores de daño y una representación espectral de la demanda de sismo. En este método una estructura de varios grados de libertad es modelada como una de un solo grado de libertad y diferentes desplazamientos son fijados acordes con el mecanismo de falla a un estado límite “Limit State” (*LS*), se requieren las propiedades geométricas y mecánicas de la estructura para estimar su comportamiento.

Este método es adecuado para los estudios de estimación de pérdidas o vulnerabilidad sísmica, permite también la personalización de características comunes de un conjunto de edificios, es eficiente computacionalmente por lo tanto permite que estudios extensos (en cantidad de estructuras).

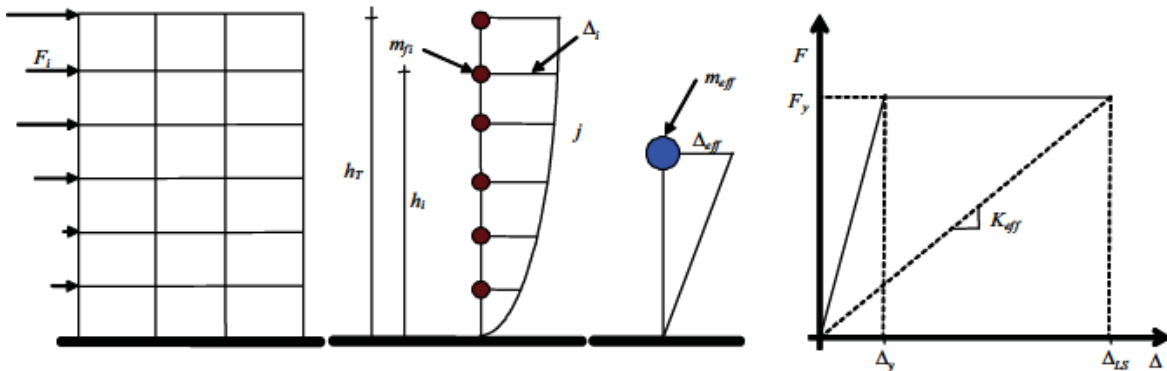


Figura 2.14 Modelo simplificado de un grado de libertad (Calvi et al., 2006).

La metodología propuesta por (Calvi, 1999) ha sido posteriormente desarrollada y continuada para edificios de concreto armado por (Pinho et al., 2002) y (Crowley et al., 2004), (Crowley et al., 2006) de lo cual se derivó la metodología “DBELA” que significa “Displacement-Based Earthquake Loss Assessment procedure” o en español “Procedimiento de evaluación de pérdidas por sismos basada en desplazamiento”.

Para edificios en albañilería se han desarrollado procedimientos por (Restrepo Y Magenes, 2004), (Restrepo, 2005), (Modena et al., 2005) de la cual se deriva el procedimiento denominado “MeBase” **“Mechanical Based Procedure for the Seismic Risk Estimation of Unreinforced Masonry Buildings”**, “Procedimiento basado en mecánica para la estimación de riesgo sísmico de edificios de albañilería sin reforzar”, que se complementaron con los procedimientos desarrollados por (Doherty et al., 2002) y (Griffith et al., 2003) que son para movimientos fuera del plano, importantes para albañilería sin reforzar.

En el presente trabajo se cuantifica la vulnerabilidad mediante desplazamientos por el método de Mebase, ya que las viviendas a evaluar son de albañilería sin reforzar de materiales adobe y piedra, las viviendas de adobe sometida a movimientos fallan principalmente fuera del plano según (Doherty et al., 2002), estos tipos de fallas son más sensibles al desplazamiento que a la aceleración (Tarque, 2008).

2.2.2 Procedimiento MeBase (Mechanical Based Procedure for the Seismic Risk Estimation of Unreinforced Masonry Buildings)

Este procedimiento es presentado en (Restrepo, 2003) y deriva del método propuesto por (Calvi, 1999) se divide en dos partes: procedimiento en el plano y fuera del plano, los cuales tienen en común los siguientes pasos.

1. Definición de la demanda
2. Definición de los estados límite o niveles de desempeño
3. Definición de modelos estructurales simplificados
4. Consideraciones probabilistas

A continuación se explica brevemente el procedimiento MeBase extraído de (Restrepo, 2003) y ampliado por (Tarque, 2008).



2.2.2.1 Procedimiento en el Plano

1. Definición de la demanda

Se define la demanda que representa el movimiento del suelo, en nuestro caso se representa por el espectro de desplazamiento elástico para ($\varepsilon = 5\%$) y este debe considerar los aspectos de amplificación del suelo y también los efectos por su localización geográfica.

2. Definición de los estados límite o niveles de desempeño

Se definen valores apropiados para los límites de deriva correspondientes a un “estado límite” denominado por sus siglas en inglés “LS” (Limit State), este estado límite es un valor de control para el cual se considera un tipo de daño, albañilerías de distintos materiales tienen diferentes límites de deriva, que deben ser obtenidos de investigaciones experimentales, en el caso de desconocerlos se debe tomar en cuenta un mayor grado de incertidumbre.

Se han definido varios estados límite para edificios de concreto armado y también para edificios de mampostería reforzada y sin reforzar, a continuación se muestra en la tabla 2.1 y la tabla 2.2 los estados límite definidos por (Calvi, 1999) y (Tarque, 2008)

Tabla 2.1 Estados límite para edificios de albañilería (Calvi, 1999).

Estado límite	Deriva media (%)	Coefficiente de variación (%)	ξ (%)	Ductilidad
LS-1 y LS-2	0.1	—	2	1
LS-3	0.3	—	5	$1 + 3/n$
LS-4	0.5	10.9	10	$1 + 6/n$

Tabla 2.2 Estados límite para muros de adobe sujetos a fuerzas en el plano (Tarque, 2008).

Estado Límite	Descripción	Deriva (%)	ξ (%)	Ductilidad
LS-1	Operacional	0.052	10	1
LS-2	Funcional	0.1	10	2
LS-3	Seguridad Vital	0.26	12	5
LS-4	Cerca al colapso o colapsado	0.5	16	10

Para explicar mejor los estados límite “LS” A continuación en la figura 2.15 se puede ver una gráfica extraída del documento EMS-98 en el que se relacionan 5 grados de daño o estados límite “Limit States” con su correspondiente imagen.

Clasificación del daño a edificios de mampostería			
	Grado 1: Sin daños a daños leves (Sin daño estructural, daño no estructural leve) Grietas muy delgadas en muy pocos muros. Caída de pequeños pedazos de enlucido o enfoscado. Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.		Grado 4: Daños muy severos (daño estructural severo, daño no estructural muy severo) Fallo serio de los muros; fallo estructural parcial de techos y pisos.
	Grado 2: Daños moderados (daño estructural leve, daño no estructural moderado) Grietas en muchos muros. Caída de pedazos grandes de guarnecido. Colapso parcial de chimeneas.		Grado 5: Destrucción (daño estructural muy severo) Colapso total o casi total.
	Grado 3: Daños sustanciales a severos (daño estructural moderado, daño no estructural severo) Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; fallo de los elementos individuales no estructurales (particiones, frontones).		

Figura 2.15 Ejemplo de estados límites para una estructura (Adaptado de EMS-98)

3. Definición del modelo estructural simplificado

Los edificios de varios pisos que contienen elementos como los muros, los techos y en otros casos columnas vigas y placas, estos se deben simplificar en un sistema de SDOF (Single Degree of freedom) para su evaluación, este sistema basado en el método de “Substitute Structure” definido en el (Shibata y Sozen, 1976); este se explica a continuación:

En la figura 2.16 se muestran las características del sistema de SDOF equivalente, un sistema de varios grados de libertad con masas m_{fi} localizadas en cada piso de altura h_i medidas desde el suelo y sujetadas a un sistema de fuerzas F_i , el sistema puede ser representado por un sistema de SDOF con una masa efectiva m_{eff} y rigidez efectiva k_{eff} dado por la relación entre la fuerza de cedencia del sistema F_y y el desplazamiento Δ_{eff} en la altura efectiva h_{eff} para una demanda de desplazamiento o un estado límite.

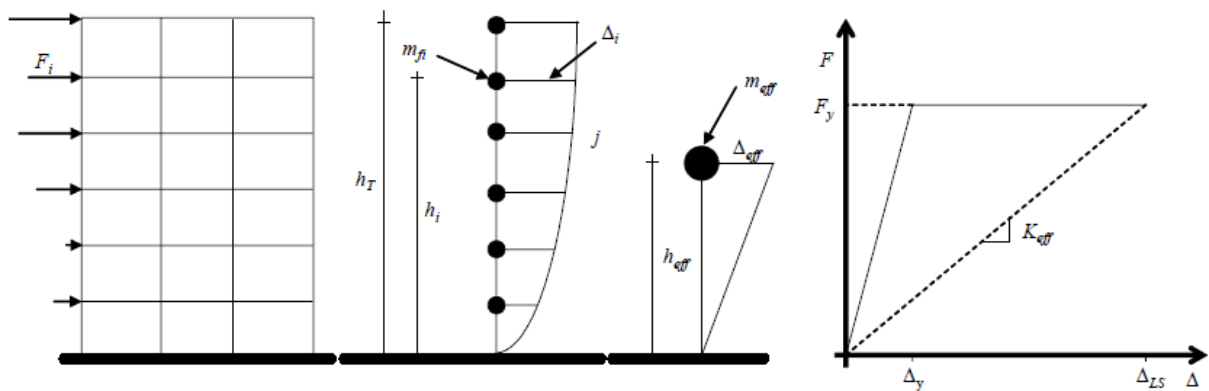


Figura 2.16 Modelos simplificado equivalente SDOF (Restrepo, 2003)

En (Restrepo, 2003) se explican cuatro posibles perfiles de desplazamiento a los cuales puede estar sometido un edificio para diferentes fallas en el plano.

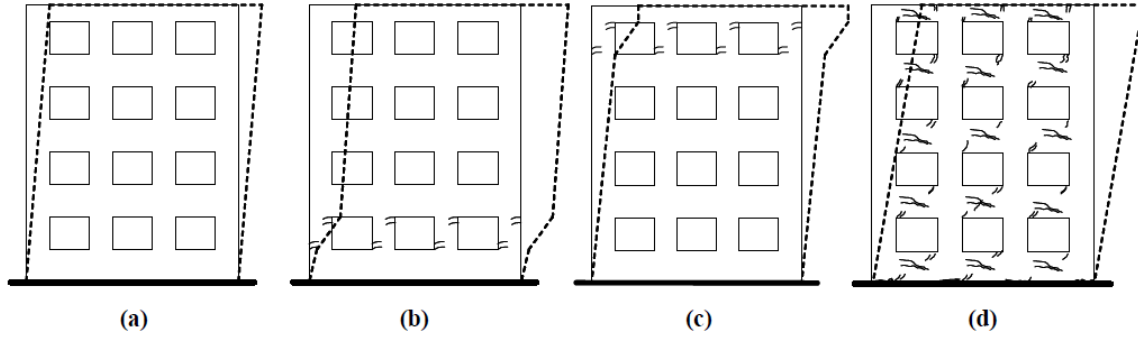


Figura 2.17 Perfiles de falla en el plano para diferentes estados límite (Restrepo, 2003)

En la figura 2.17 se muestran cuatro perfiles o límites, el límite (a) corresponde a los estados límites $LS1$ y $LS2$ para los cuales ninguno de los miembros de la estructura ha sobrepasado el desplazamiento de cedencia Δ_y . El desplazamiento de cedencia Δ_y a una altura efectiva h_{eff} asumiendo una distribución triangular puede ser definida como

$$\Delta_y = \kappa_1 * h_T * \delta_y \quad (2.16)$$

La forma triangular se ajusta a edificios bajos dominados por una falla por deformación por corte, como es el caso de construcciones de albañilería sin reforzar. Los perfiles (b), (c) y (d) corresponden a los estados límite $LS3$ y $LS4$, en los cuales se ha desarrollado un mecanismo de falla de piso suave o uno de falla de viga débil, el perfil (b) es la situación más típica para edificios de albañilería de baja altura, perfil (c) puede ser posible, tanto en el techo como en pisos intermedios, dependiendo de las fuerzas relativas de los pisos, o también el perfil (d) dependiendo de las fuerzas relativas de las columnas y vigas.

El desplazamiento máximo para un estado límite Δ_{LS} , se puede calcular como la suma del desplazamiento de cedencia Δ_y y el desplazamiento plástico Δ_p , siendo h_{sp} la altura efectiva de las columnas que llegan al rango inelástico cuando hay aberturas, o la altura del piso cuando no las hay.

$$\Delta_p = \kappa_2 * (\delta_{LS} - \delta_y) * h_{sp} \quad (2.17)$$

$$\Delta_{LS} = \Delta_y + \Delta_p \quad (2.18)$$

$$\Delta_{LS} = \kappa_1 * h_T * \delta_y + \kappa_2 * (\delta_{LS} - \delta_y) * h_{sp} \quad (2.19)$$

Según (Restrepo, 2003) cuando el edificio tiene una distribución regular de masas y una altura uniforme de pisos κ_1 es igual a 0.667.

Cuando los edificios se pueden representar mejor por una masa distribuida correspondiente a la masa de los muros de albañilería más las masas concentradas correspondientes a cada piso, κ_1 tiene que ser calculado como se indica a continuación.

En las ecuaciones 2.16 y 2.17 una cuestión clave es la definición de κ_1 y κ_2 que han sido definidos llevando el siguiente análisis.

En la figura 2.18 se muestra un modelo simplificado, para el cual las masas concentradas m_f fueron consideradas para cada piso y se asume que la albañilería tiene una masa distribuida m_m por unidad de longitud. La definición de otros parámetros relevantes se muestra en la figura.

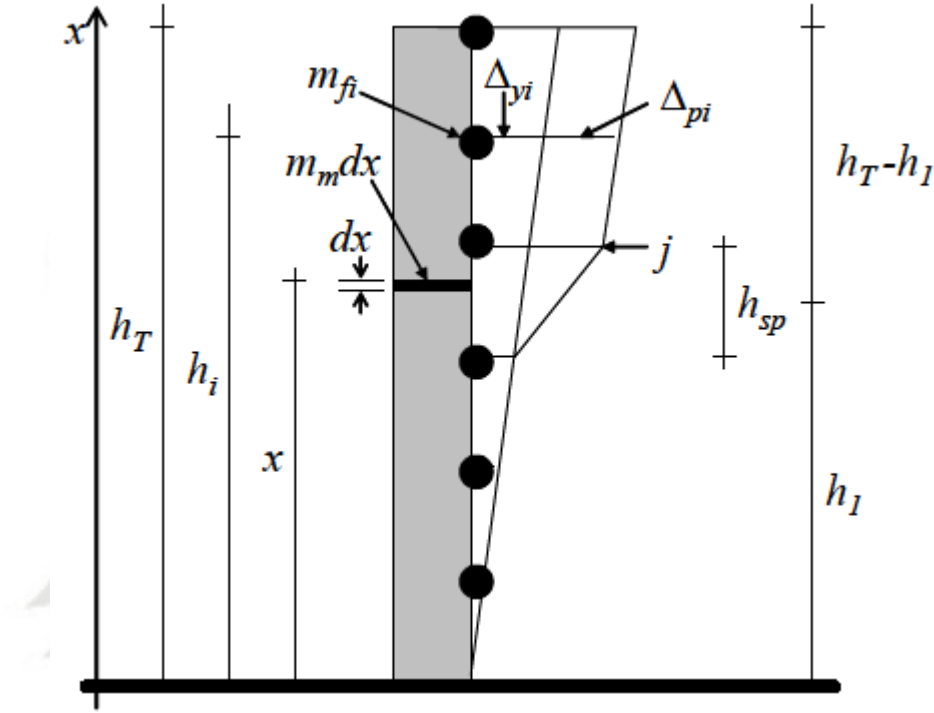


Figura 2.18 Modelo simplificado para la definición de k_2 (Restrepo, 2003)

El desplazamiento efectivo fue calculado de acuerdo a la ecuación 2.20, asumiendo que para un piso dado i , y desplazamiento de cedencia Δy_i obtenida con la ecuación 2.21 y el desplazamiento plástico Δp_i con la ecuación 2.22.

$$\Delta_e = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (\Delta y_i + \Delta p_i)^2}{\sum_{i=1}^n m_i (\Delta y_i + \Delta p_i)^2} \quad (2.20)$$

$$\Delta y_i = h_i * \delta_y \quad (2.21)$$

$$\Delta p_i = (\delta_{LS} - \delta_y) * h_{sp} \quad (2.22)$$

La ecuación 2.20 puede ser escrita de una manera explícita, incluyendo los términos correspondientes para la distribución y las masas concentradas, como aparece en la ecuación 2.23, siendo M_m calculado con la ecuación 2.24 y N_m calculado con la ecuación 2.25.

$$\Delta_e = \frac{\delta_y^2 * \sum_{i=1}^n h_i^2 * m_{fi} + 2 * \delta_y * \delta_p * h_{sp} * \sum_{i=1}^n h_i * m_{fi} + \delta_p^2 * h_{sp}^2 * \sum_{i=1}^n m_{fi} + M_m}{\delta_y * \sum_{i=1}^n h_i * m_{fi} + \delta_p * h_{sp} * \sum_{i=1}^n m_{fi} + N_m} \quad (2.23)$$

$$M_m = \int_0^{h_1} m_m * (x * \delta_y)^2 * dx + \int_{h_1}^{h_T} m_m * (x * \delta_y + \delta_p * h_{sp})^2 * dx \quad (2.24)$$

$$N_m = \int_0^{h_1} m_m * x * \delta_y * dx + \int_{h_1}^{h_T} m_m * (x * \delta_y + \delta_p * h_{sp}) * dx \quad (2.25)$$

Si en la ecuación 2.23 se asume un factor de ductilidad $\mu = 1$ que significa $\delta_p = 0$, es posible calcular Δ_e para el estado de cedencia. Entonces igualando Δ_e a Δ_{LS} en la ecuación 2.19 se puede calcular k_1 .

En la ecuación 2.19 y para diferentes factores de ductilidad, se calcula un desplazamiento efectivo Δ_e el cual es igualado a Δ_{LS} en la ecuación 2.23, con el k_1 previamente definido, Reordenando la ecuación 2.17 k_2 es obtenido con la ecuación 2.26

$$k_2 = \frac{\Delta_{LS} - k_1 * h_T * \delta_y}{(\delta_{LS} - \delta_y) * h_{sp}} \quad (2.26)$$

Como un ejemplo. La figura 2.20 muestra la variación de k_2 para diferentes factores de ductilidad μ , considerando fallas a diferentes alturas, para un edificio de 5 pisos con una relación de masa m_f/m_m igual a 0.3. Se puede notar que k_2 es casi insensible al nivel de ductilidad.

Del análisis de un conjunto de edificios, que van desde 1 a 6 pisos y todos los edificios con la misma relación de masa m_f/m_m igual a 0.3, han sido calculados los siguientes valores de k_2 , de acuerdo a los números de pisos n , los cuales son presentados en la tabla 2.3. Estos valores son considerados validos cuando el piso débil es formado en los dos tercios inferiores del edificio.

Finalmente con k_1 y k_2 de la tabla 2.1 el desplazamiento para cualquier estado limite Δ_{LS} , puede ser calculada con la ecuacion 2.5

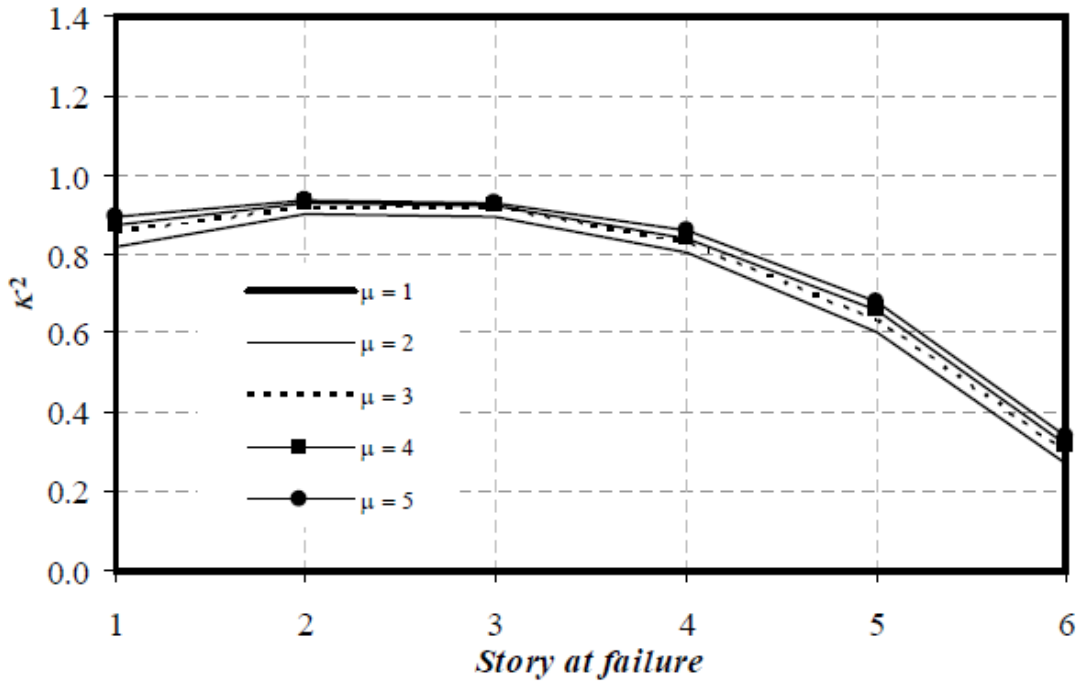


Figura 2.19 Definición de k_2 de acuerdo al piso que falla (Restrepo, 2003)

Tabla 2.3 Valores de κ_1 y κ_2 para diferentes numeros de pisos (Restrepo, 2003)

Número de pisos n	κ_1	κ_2
1	0.79	0.967
2	0.718	0.95
3	0.698	0.918
4	0.689	0.916
5	0.684	0.9
6	0.681	0.881

Definición de la ductilidad para un estado limite dado Δ_{LS}

la ductilidad para un estado limite dado μ_{LS} , es obtenida con las ecuaciones 2.28 y 2.29 para el caso cuando hay aberturas, o con la ecuacion 2.27 en el caso de que no haya aberturas y la altura h_{sp} es la misma para todos los pisos.

$$\mu_{LS} = \frac{\Delta_{LS}}{\Delta_y} = \frac{\Delta_y + \Delta_p}{\Delta_y} = 1 + \frac{\Delta_p}{\Delta_y} \quad (2.27)$$

$$\mu_{LS} = 1 + \frac{\kappa_2 * (\delta_{LS} - \delta_y) * h_{sp}}{\kappa_1 * h_T * \delta_y} \quad (2.28)$$

$$\mu_{LS} = 1 + \frac{\kappa_2 * (\delta_{LS} - \delta_y)}{\kappa_1 * n * \delta_y} \quad (2.29)$$

Definición de la capacidad para un estado límite dado Δ_{LS}

La capacidad de desplazamiento para un estado de límite dado calculado con la ecuación 2.19 no depende del periodo de la estructura, sino del material y las propiedades geométricas. Para dos edificios con materiales y propiedades geométricas similares, esta relación solo dependerá de la altura total h_T como se muestra en la ecuación 2.30. Por lo tanto es necesario encontrar una relación entre el periodo estructural y la altura total $h_T = g(T)$, con el fin de ser capaz de comparar la demanda y la capacidad.

$$\Delta_{Capacidad} = f(h_T) \quad (2.30)$$

$$\Delta_{Capacidad} = f(g(T)) \quad (2.31)$$

Consideremos por ejemplo dos estructuras con la misma altura dada y con una y dos paredes, correspondientes a las curvas 1 y 2 en la figura 2.20, respectivamente. Estas estructuras alcanzaran el desplazamiento de cedencia Δ_y cuando la fuerza lateral aplicada alcanza la fuerza de cada pared F_y , asumiendo una idealización elasto-plástica bilinear simple. Más allá de este punto, ninguna fuerza adicional es necesaria para llevar a las estructuras a algún estado límite de desplazamiento Δ_{LS} . El periodo efectivo de estas estructuras será una función de la rigidez secante de la capacidad del desplazamiento para un estado límite dado.

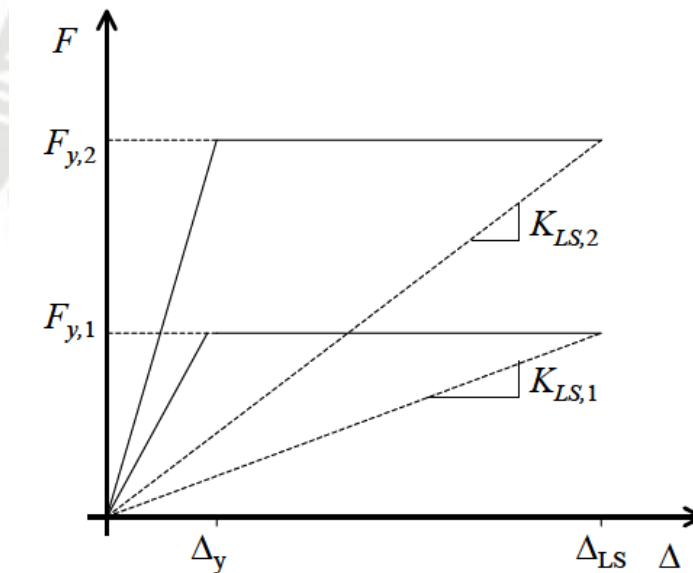


Figura 2.20 Respuesta elasto-plástica perfecta para dos estructuras diferentes

De las figuras 2.20 las ecuaciones 2.32 y 2.33 pueden ser establecidas, relacionando la rigidez y el desplazamiento de cedencia, con la rigidez equivalente y el desplazamiento para un estado límite dado.

$$F_y = K_y * \Delta_y = K_{LS} * \Delta_{LS} \quad (2.32)$$

$$K_{LS} = \frac{K_y * \Delta_y}{\Delta_{LS}} = \frac{K_y}{\mu_{LS}} \quad (2.33)$$

(Restrepo, 2003) Indica dos enfoques diferentes para establecer el periodo de la estructura, en el presente trabajo solo se considera el primero, que considera el periodo elástico de la estructura T_y

como una función de la altura total h_T , de acuerdo con la ecuación 2.34, la cual es un equivalente a ese tipo de fórmulas usadas en los códigos sísmicos. En este caso una suposición inicial es hecha: dos edificios con la misma altura tendrán aproximadamente el mismo periodo elástico, sin tener en cuenta su fuerza de cedencia.

$$T_y = \alpha * h_T^\beta \quad (2.34)$$

De la ecuación 2.33, la relación que se muestra en la ecuación 2.35 puede ser establecida entre el periodo efectivo para un estado límite dado y el periodo elástico, incluyendo el efecto de ductilidad,

$$T_{LS} = T_y * \sqrt{\mu_{LS}} \quad (2.35)$$

$$T_{LS} = \alpha * h_T^\beta * \sqrt{\mu_{LS}} \quad (2.36)$$

Mediante el uso de las ecuaciones 2.16, 2.27 y 2.36, una relación simple que relaciona el desplazamiento y el periodo efectivo para un estado límite dado es encontrado, recordando la suposición hecha:

$$\Delta_{LS} = \frac{\kappa * \delta_y}{\alpha^2 * h_T^{2\beta-1}} * T_{LS}^2 \quad (2.37)$$

La ecuación 2.37 debe ser cuidadosamente entendida, porque esta puede ser malinterpretada. A través de la derivación de esta ecuación se ha mostrado que la dependencia de Δ_{LS} de T_{LS} es solo una manipulación matemática hecha poder comparar la capacidad dada por esta ecuación, con la demanda dada en la ecuación 2.19. De hecho, esta relación no debe ser leída como si el periodo efectivo de la estructura haya cambiado, su capacidad se incrementaría, el verdadero significado de esta ecuación es que para una capacidad de desplazamiento dada un periodo efectivo es obtenido.

2.2.2.2 Procedimiento fuera del Plano

El procedimiento se extrae de (Restrepo, 2003), este procedimiento sirve para parapetos y muros simplemente apoyados, ya sean portante o no, como se muestra en la figura 2.21, en la parte a) muros de parapeto los cuales no tienen cargas en la parte superior y solo cargan con su peso propio, en b) muros los cuales no cargan peso de techo pero si están restringidos horizontalmente por el techo, en c) el muro carga peso de techo y además está restringido horizontalmente y en d) el muro soporta peso, pero este está encima del casi puntualmente y también está restringido horizontalmente.

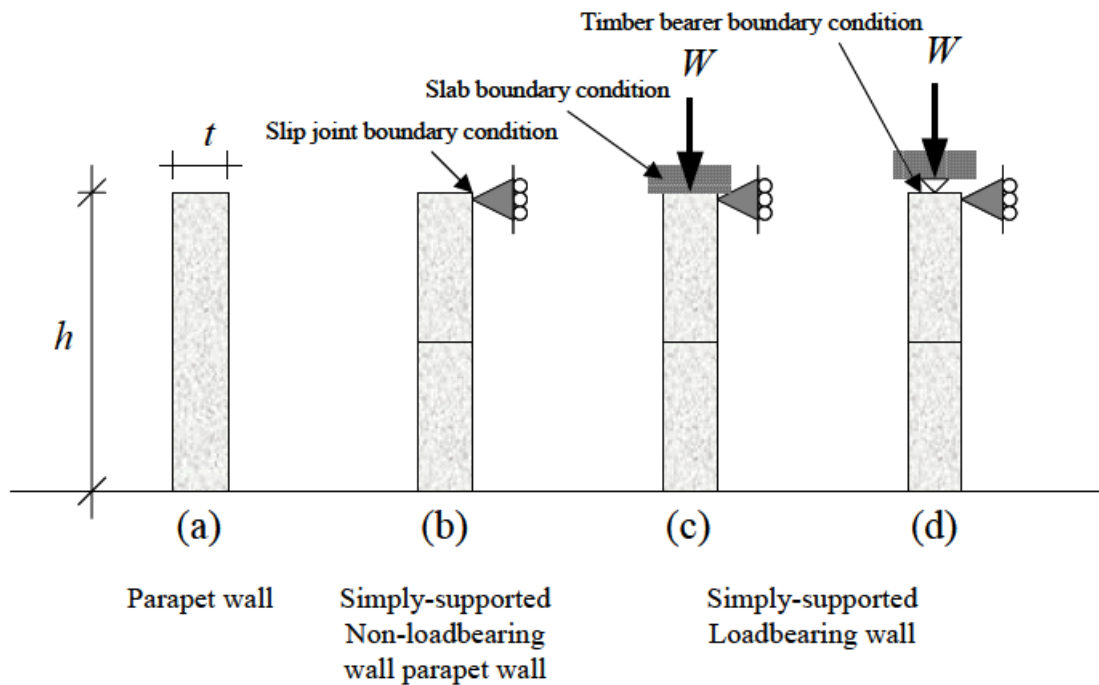


Figura 2.21 Condiciones de contorno considerados (Restrepo, 2003)

1. Demanda

La figura 2.22 muestra como viaja la energía sísmica a través de un edificio de albañilería sin reforzar según (Paulay y Priestley, 1992). La aceleración de entrada y el desplazamiento en cada nivel en los muros con demanda fuera el plano se debe a la combinación de la respuesta del comportamiento de los muros con demanda en el plano y de la respuesta de los diafragmas de piso. Paulay y Priestley propusieron un procedimiento para estimar la aceleración de entrada para el comportamiento de muros con demanda fuera del plano, considerando los efectos descritos.

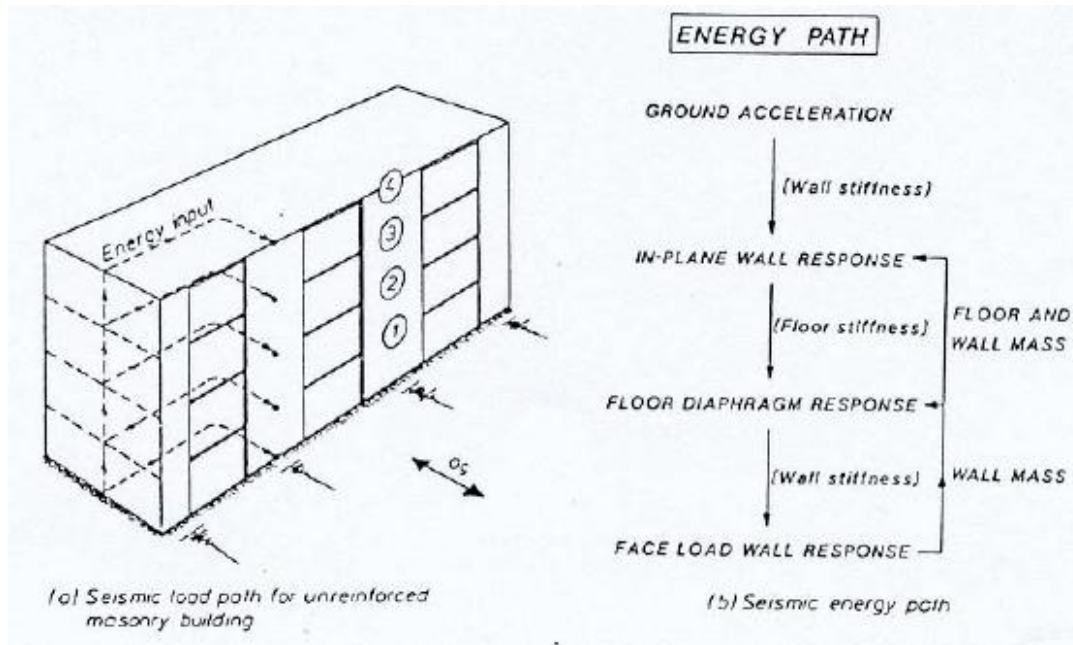


Figura 2.22 Respuesta sísmica para un edificio de albañilería sin reforzar (Paulay y Priestley, 1992)

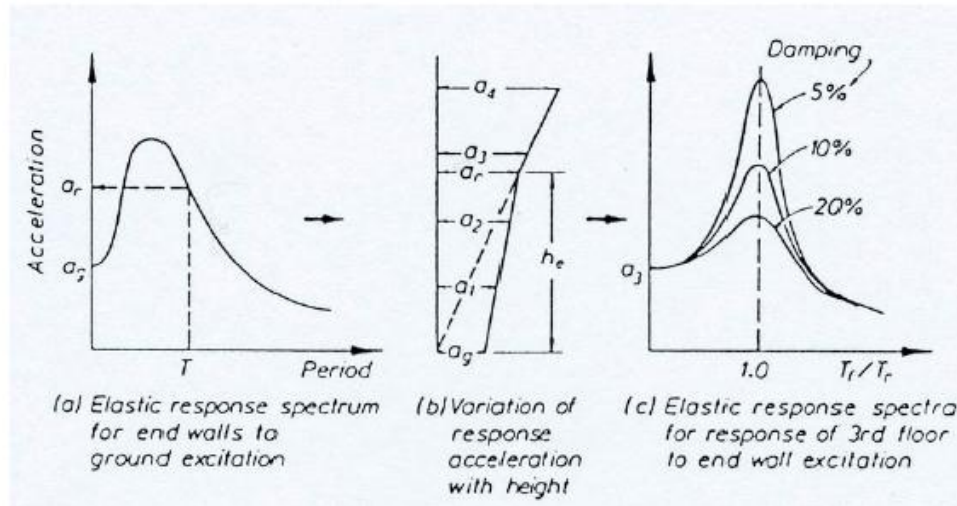


Figura 2.23 Respuesta flexible para un movimiento del suelo (Paulay y Priestley, 1992)

Un procedimiento similar es adoptado en el “Eurocode 8” para calcular la aceleración para elementos no estructurales, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$S_{ane} = \frac{3 \cdot \alpha \cdot \left(1 + \frac{h_{ne}}{h_r}\right)}{1 + \left(1 - \frac{T_{ne}}{T_1}\right)^2} \quad (2.38)$$

Donde:

α : Aceleración pico del suelo.

h_{ne} : Altura a la cual está el elemento no estructural.

h_T : Altura total del edificio.

T_{ne} : Periodo de vibración e los elementos no estructurales.

T_1 : Periodo en el primer modo de vibración del edificio.

En el código de Nueva Zelanda para la evaluación (NZSEE, 2002) ha sido sugerido que el desplazamiento para elementos no estructurales puede ser calculado solo aproximadamente con la siguiente ecuación.

$$S_{d_{ne}} = S_{a_{ne}} * \frac{T_{ne}^2}{4 * \pi^2} \quad (2.39)$$

2. Estados limite

Para definir estados límites para la evaluación de muros de albañilería no reforzada se toman los trabajos hechos por (Doherty et al, 2002) y (Griffith et al, 2003), En los cuales el comportamiento semi-rigido no lineal de una pared curva es descrita por un modelo simplificado tri-lineal, como se muestra en la figura 2.24.

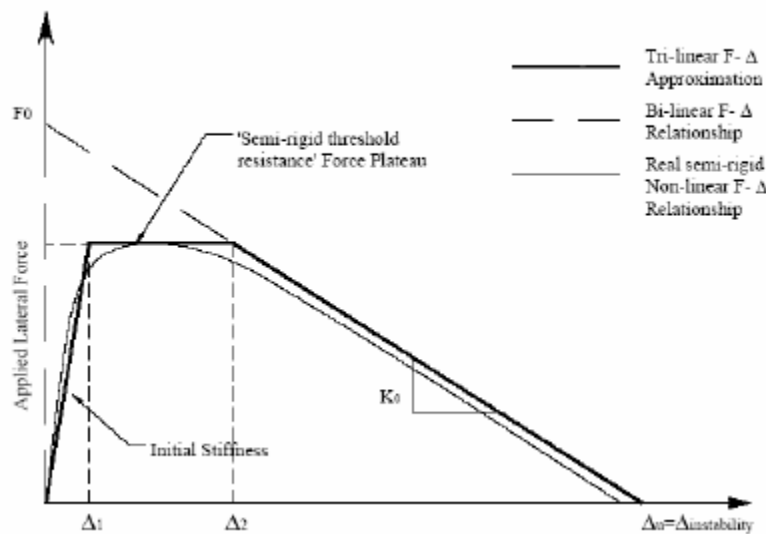


Figura 2.24 Modelo simplificado Tri-lineal (Doherty, 2002)

Donde

F_o : Fuerza resistente al vuelco.

Δ_u : Desplazamiento último o de inestabilidad estática.

La línea definida por estos dos parámetros denota la región donde el muro se ha agrietado antes de que el movimiento de caída inicie, y el muro se comporta como un conjunto de cuerpos rígidos.

El comportamiento real de una pared semi-rigida, que es una consecuencia de la rigidez del muro antes del agrietamiento, (Doherty et al, 2002) y (Griffith et al, 2003) han demostrado que la naturaleza no lineal de los muros de albañilería, sujetas a movimiento fuera del plano pueden ser descritas por

el modelo tri-lineal, definido por los parámetros Δ_1 y Δ_2 , siendo estos parámetros estimados de las propiedades y el estado de degradación del mortero en los puntos de giro, como una proporción del desplazamiento último Δ_u .

La tabla 2.4 muestra los valores propuestos por (Doherty et al, 2002) para tres diferentes condiciones de articulaciones agrietadas.

Tabla 2.4 Relación de desplazamiento para el modelo tri-lineal según (Griffith et al, 2003)

Estado de degradación del punto agrietado	Δ_1/Δ_u (%)	Δ_2/Δ_u (%)
Nuevo	6	28
Moderado	13	40
Severo	20	50

En (Griffith et al, 2003) se estudia el comportamiento de muros para acciones fuera del plano y se dice que el desplazamiento Δ_2 puede ser usado como un parámetro válido para determinar si un muro va a colapsar o no. Se sostiene:

- La falta de inexactitud en la evaluación de Δ_2 no tiene un efecto relevante en la aplicación del procedimiento simplificado.
- La fuerza máxima definida por la fuerza en la parte plana horizontal limitada por Δ_2 es solo una aproximación de la fuerza real máxima.
- La fuerza máxima del muro es relativamente insensible a las propiedades mecánicas del material como módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión.

3. Modelo simplificado

El desplazamiento último o el desplazamiento en el punto de inestabilidad es una función del espesor del muro, y las condiciones de borde y ψ que es la relación entre la sobrecarga encima del muro y el peso propio de la mitad superior del muro.

$$\Delta_u = f(t, B, C., \psi) \quad (2.40)$$

F_o Es la fuerza requerida para iniciar el movimiento de balanceo, es una función de la relación de sobrecarga ψ la masa efectiva y la geometría de la pared, puede expresarse según la siguiente ecuación

$$F_o = \frac{4 \cdot (1 + \psi) \cdot M_e \cdot g \cdot t}{h} \quad (2.41)$$

En la figura 2.24 se muestran los parámetros de F_o , Δ_2 y Δ_u , es posible calcular la fuerza correspondiente a la parte recta horizontal de la gráfica, mediante el uso de la ecuación 2.42, y la rigidez hasta el punto de desplazamiento limitación se determina con las ecuaciones 2.43 y 2.44.

$$F = F_o \cdot \left(1 - \frac{\Delta_2}{\Delta_u}\right) \quad (2.42)$$

$$K_2 = \frac{F}{\Delta_2} \quad (2.43)$$

$$K_2 = \frac{F_o}{\Delta_2} * (1 - \frac{\Delta_2}{\Delta_u}) \quad (2.44)$$

La fuerza lateral estática F y el desplazamiento ultimo Δ_u de un muro sujeto a una acción fuera del plano no es afectado significativamente por incertidumbres en las propiedades del material como los módulos de elasticidad o la resistencia a compresión de la albañilería., donde la geometría y condiciones de borde y fuerzas verticales aplicadas son los parámetros esenciales (Griffith et al, 2003)

Parar el desplazamiento último se usa la rigidez K_2 porque es un parámetro valido con el fin de determinar si un muro colapsara o no, según (Griffith et al, 2003) El uso de la rigidez efectiva K_2 y el periodo efectivo T_2 combinado con un espectro de respuesta elástico de 5 por ciento de amortiguamiento parece trabajar bien en la predicción de la demanda de desplazamiento en la amplitud donde $\Delta_{max} > 0.7 * \Delta_u$ y puede ser considerado como adecuado para predecir si un muro se caera o no. (Doherty et al, 2002) dice que la respuesta pico del oscilador tri-linear puede ser estimado mediante un sistema equivalente con rigidez secante K_2 .

Periodo de vibración

El periodo de vibración para el estado último puede ser obtenido de $T = 2 * \pi * \frac{M}{K}$, entonces, usando la ecuación se obtiene:

$$F_o = \lambda * W \quad (2.45)$$

$$T_2 = (\frac{4*\pi^2*\Delta_u*\Delta_2}{\lambda*g*(\Delta_u-\Delta_2)})^{1/2} \quad (2.46)$$

Y reescrita para el estado último es

$$T_{Lsu} = (\frac{4*\pi^2*\Delta_{Lsu}*\rho_2}{\lambda*\phi*g*(1-\rho_2)})^{1/2} \quad (2.47)$$

Donde $\Delta_{Lsu} = \phi * \Delta_u$ con un factor ϕ que puede ser asumido de 0.8 a 1 justo para reducir el desplazamiento ultimo y $\rho_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta_u}$

Del equilibrio estático una relación de la grieta de la base y el desplazamiento en la cima del muro se puede obtener. De acuerdo con esta se puede ver que mientras más grande el ancho de la grieta más grande es el desplazamiento.

$$\omega = \frac{t*\Delta_t}{h} \quad (2.48)$$

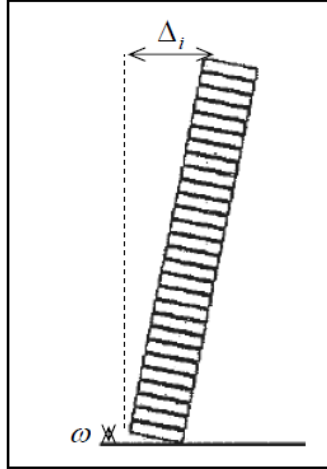


Figura 2.25 Ancho de grietas ω en la base durante el balanceo (Restrepo, 2003).

En el caso de periodo de vibración para los estados intermedios se relacionaran con el desplazamiento Δ_1 y con la rigidez inicial K_1

$$K_1 = \frac{F}{\Delta_1} = \frac{F_o}{\Delta_1} * \left(1 - \frac{\Delta_2}{\Delta_u}\right) \quad (2.49)$$

$$T_1 = \left(4 * \pi^2 * \frac{M}{K_1}\right)^{1/2} \quad (2.50)$$

$$T_{LSi} = \left(\frac{4 * \pi^2 * \Delta_1}{\lambda * g * (1 - \rho_2)}\right)^{1/2} \quad (2.51)$$

El desplazamiento para el estado ultimo ULS se consigue de la siguiente manera: este estado se relaciona a cuando el muro pierde su estabilidad y más adelante colapsa, para el presente trabajo se considera que los muros que caen fuera de su plano lo hacen rotando en su base debido a las demandas sísmicas, el valor de desplazamiento Δ necesario para lograr esto según (Doherty et al, 2002) es $\Delta_u = t$ esto se muestra en la figura:

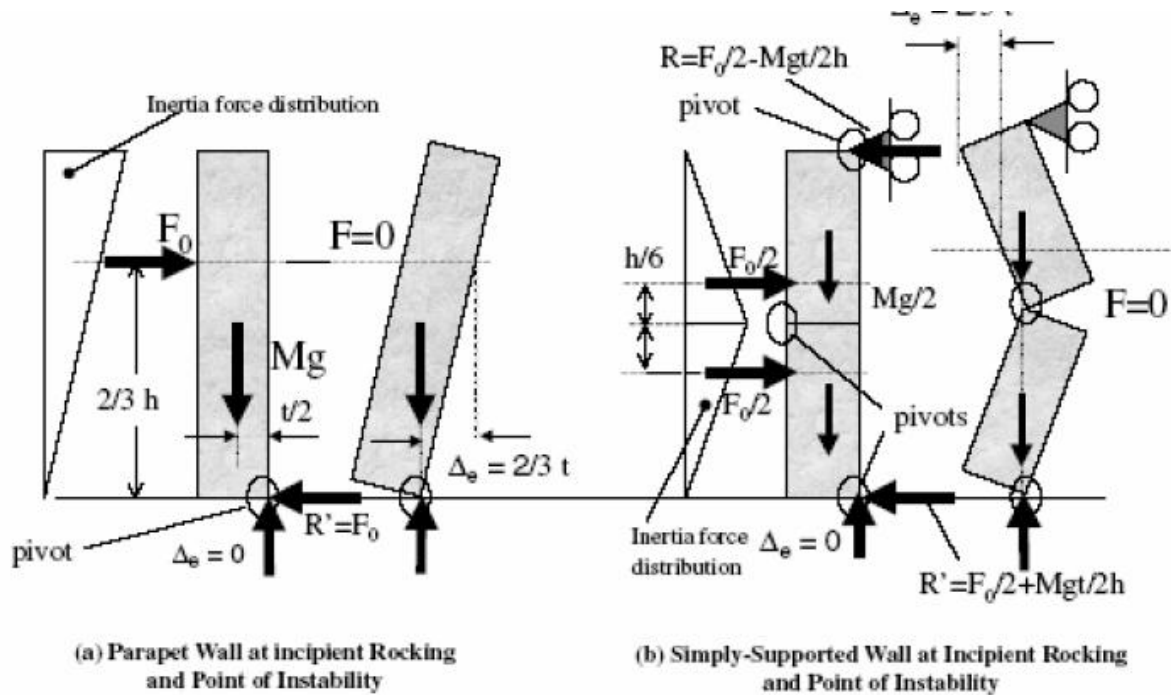


Figura 2.26 Fuerzas de inercia y reacciones (Doherty et al, 2002)

Mecanismos de Colapso

En (D' Ayala y Speranza, 2003) se definen mecanismos típicos de colapso para albañilería. Estos mecanismos han sido identificados de la experiencia de muchas inspecciones post terremotos, y se desarrollaron ecuaciones con el fin de obtener el factor de carga λ que es la relación entre la fuerza lateral máxima para la estabilidad estática y el peso de la pared.

Cuando los edificios no tienen restricción horizontal como una viga solera, los siguientes mecanismos pueden ocurrir:

- **Mecanismo A (Volteo vertical):** Asume que no hay ninguna conexión en los bordes del muro, o esta es insuficiente para generar restricción en el muro.
- **Mecanismo B (Vuelco de un lado y de dos):** Se divide en B1 Y B2, estos ocurrirán en vez del mecanismo A cuando el nivel de conexión es suficiente para incluir una o dos paredes ortogonales debido a una suficiente longitud de superposición común a las dos paredes.
- **Mecanismo C (Fallo de esquina):** Se refiere al vuelco de una esquina y que se producirá cuando al menos una de las esquinas del edificio esté libre, es decir, sin estructuras adyacentes.
- **Mecanismo D (Vuelco parcial):** Se produce cuando sólo una parte de la fachada está envuelta en el vuelco.
- **Mecanismo E (Vuelco en una franja vertical):** Ocurre cuando la disposición de las ventanas y la gran cantidad de ellas producen fallos parciales verticales.

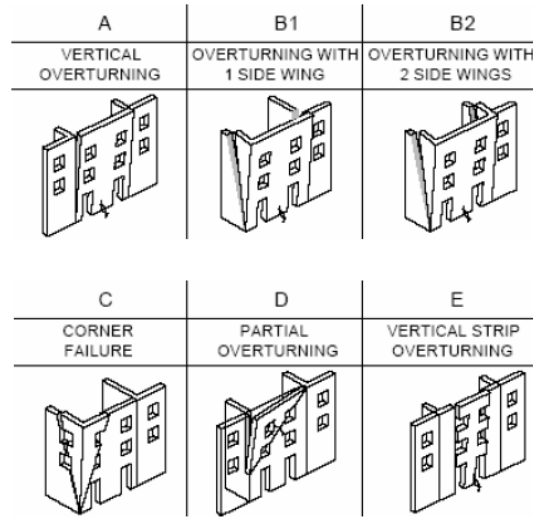


Figura 2.27 Mecanismos de colapso (D' Ayala y Speranza, 2003)

En (Restrepo, 2004) se modifican las ecuaciones para los mecanismos definidos en (D' Ayala y Speranza) para ajustar los datos experimentales realizados. Estas ecuaciones se basan en la consideración de un movimiento de que el muro es un cuerpo rígido y se considerando un término de fricción, (solo en esos casos donde la fricción ha sido identificada como una fuente importante de resistencia lateral)

Según (Tarque, 2008) se dice que las fallas más típicas para viviendas de 1 piso son los mecanismos A, C y D.

Mecanismo A

$$\lambda = \frac{\frac{T^2 * L}{2} + \beta * \Omega_{pef} * \frac{h_s}{3} * \mu * s * b * \frac{(r+1)}{2} + \frac{k_r * L * T}{2}}{h_s * (\frac{T * L}{2} + K_r * L)} \quad (2.52)$$

$$K_r = \frac{Q_r}{\gamma_m * h_s} \quad (2.53)$$

$$\Omega_{pef} = 1 - 0.185 * \frac{L}{h_s} \geq 0 \quad (2.54)$$

Mecanismo C

$$\lambda = \frac{1}{\cos \frac{\pi}{4}} * \left(\frac{3 * T}{2 * \min(r * h * \frac{L * h}{s})} * \frac{L - L_2}{L} + \frac{T}{r * h} * \frac{L_2}{L} \right) \quad (2.55)$$

$$L_1 = \min(r, n * r_{h_s}) * s \quad (2.56)$$

$$L_2 = \begin{cases} 0; & r < n * r_{h_s} \\ L - L_1; & \text{de otro modo} \end{cases} \quad (2.57)$$

Mecanismo D

$$\lambda = \frac{3 * T}{2 * \min(r * h * \frac{L * h}{s})} * \frac{L - L_2}{L} + \frac{T}{r * h} * \frac{L_2}{L} \quad (2.58)$$

Donde

T : Espesor de la pared.

L : Longitud de la pared.

β : Numero de bordes y paredes internas perpendiculares.

Ω_{pef} : Factor parcial de eficiencia de fricción.

h_s : Altura del piso

μ : Coeficiente de fricción

s : Longitud de escalonamiento

b : Espesor de las unidades de albañilería

r : Numero de hiladas

K_r : Carga aplicada encima del muro

Q_r : Carga por unidad de longitud en la cima del muro

γ_m : Peso unitario de la albañilería



Capítulo 3

Evaluación de peligro sísmico

En este capítulo se muestran la recolección de datos, cálculos y resultados para la evaluación de peligro sísmico con el programa CRISIS 2007 estos resultados son curvas de peligro sísmico y espectros de peligro uniforme y se hace una comparación con los espectros de la norma de diseño E030.



3.1 Tectónica del Perú

El Perú forma parte del borde occidental de América del Sur, una de las regiones sísmicas más activas en el mundo.

La actividad sísmica en el país es el resultado de la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, los sismos que ocurren son de magnitud elevada y se producen con una relativa frecuencia; otra fuente generadora de sismos son los reajustes y deformaciones que se producen en la corteza terrestre como consecuencia de la interacción y la morfología alcanzada por el Aparato Andino pero con la diferencia de que estos sismos son menores en magnitud y frecuencia (Alva y Castillo, 1993) y (Tavera y Buffon, 1998).

La placa Nazca penetra por debajo del territorio continental en Chile, Perú, Ecuador y Colombia. El peso del territorio continental que se desliza hacia el Occidente está soportado por la placa Nazca, que se desplaza hacia el Oriente, de tal manera que entre ambas placas hay desplazamiento relativo (Sarria, 1990), este proceso genera una constante acumulación de energía que se libera en forma de terremotos (Pomachagua, 2000).

La subducción de las placas se da a una razón de 8-10 cm/año. (Bolaños y Monroy, 2004) citan a (Jarrard, 1986) y (Barazangi y Isacks, 1976)



Figura 3.1 Proceso de convergencia de la placa de Nazca y la placa Sudamericana según (De Mets et al, 1999) mostrado en (Bernal y Tavera, 2002)

Según (Pomachagua, 2000) el Perú se puede zonificar desde dos puntos de vista el primero en función de su zonificación morfológica y el segundo desde en función de su zonificación tectónica.

3.1.1. Zonificación morfológica

Según (Tavera y Bufo, 1998) se pueden dividir zonas en el Perú según la estructura y las características del relieve terrestre, se presentan las siguientes unidades estructurales y se muestran en la figura 3.2:

- La cordillera occidental
- La cordillera oriental
- Zona costera
- La zona subandina
- El altiplano

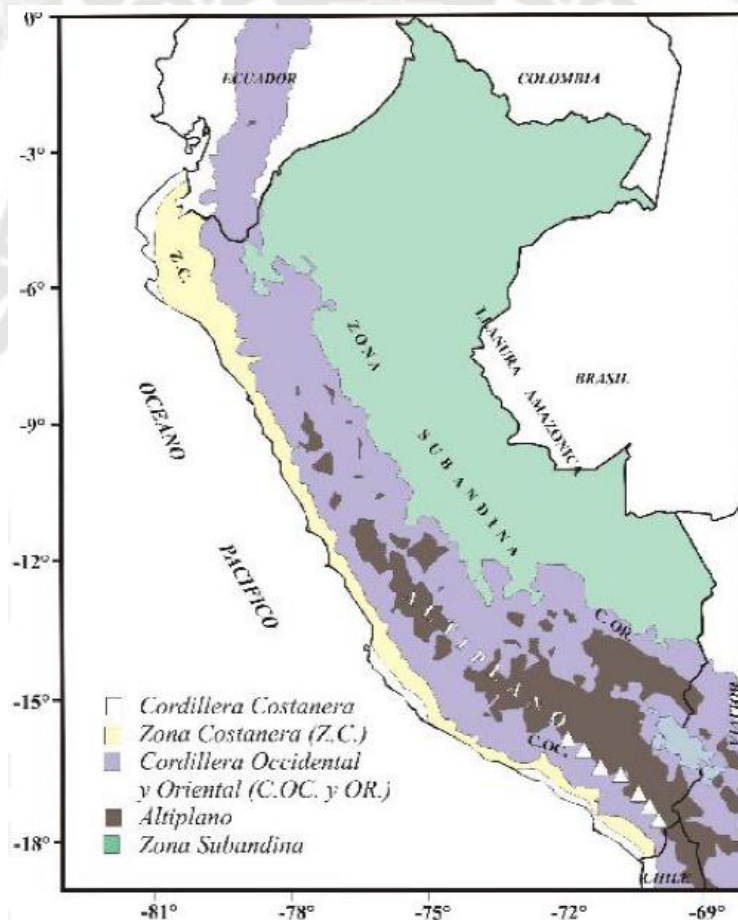


Figura 3.2 Principales elementos tectónicos en el Perú (Tavera y Bufo, 1998)

3.1.2. Zonificación tectónica

Se identifican los relieves formados en Perú debido a la tectónica de placas debido a la colisión de la placa oceánica de Nazca y Sudamericana (Pomachagua, 2000).

Debido a la subducción y a los movimientos de compresión y extensión de las placas se presentan rasgos tectónicos en ambos extremos del margen continental (Bernal y Tavera, 2002)

- La Fosa Peruano-Chilena,
- La Dorsal de Nazca
- La Fractura de Mendaña
- La Cordillera Andina
- La Cadena Volcánica
- Diferentes Sistemas de Fallas distribuidas en el interior del continente

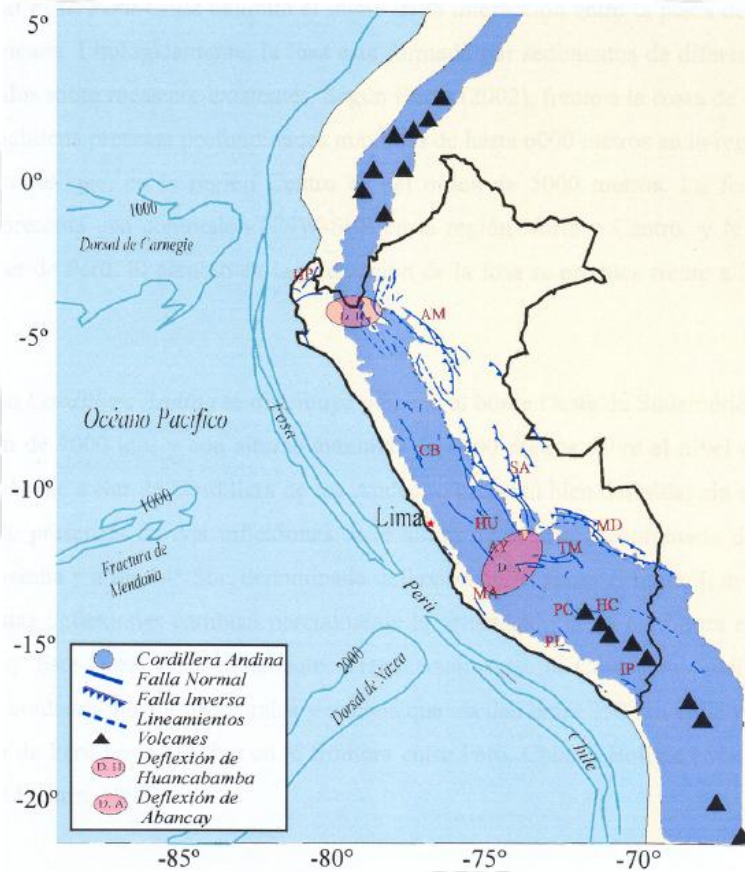


Figura 3.3 Principales rasgos tectónicos superficiales del Perú y fallas indicadas por siglas (Bernal y Tavera, 2002)

3.1.3. Fuentes de sismogénicas y tipos de sismos en el Perú

La subducción de las placas crea como resultados fuentes sísmicas donde se originan los sismos. En este contexto, las fuentes sismogénicas presentes en el Perú permiten definir la existencia de al menos 4 tipos de eventos sísmicos (Tavera, 2001):

- Sismos intraplaca oceánica
- Sismos interplaca
- Sismos corticales
- Sismos intraplaca de profundidad intermedia y profunda

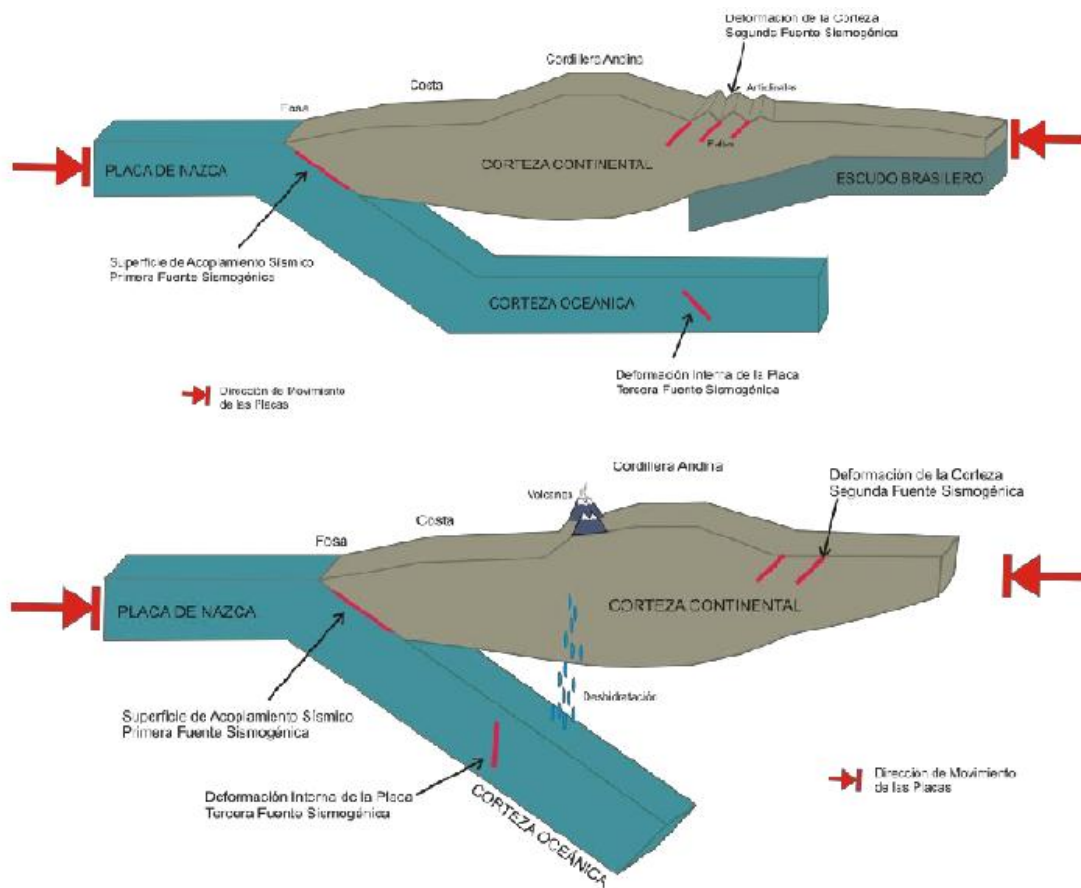


Figura 3.4 Esquema de la geometría de la subducción y ubicación de las fuentes sísmicas del Perú (Tavera, 2014)

3.1.3.1. Sismos de intraplaca oceánica

Fuente: por la colisión de placas ocurre deformación y fractura de la corteza oceánica en las proximidades de la fosa peruano chilena.

Características: Magnitudes, menores a 5 M_w , profundidades menores a 40 km y

Tipos: Comprensión (fallas inversas) y extensión (fallas normales).

Al estar la fuente sísmica alejada del continente, los sismos que ella produce no son sentidos en la costa (Tavera, 2001).

3.1.3.2. Fuente de Sismos Interplaca

Fuente: Fricción entre las superficies de las placas de Nazca y Sudamericana en el borde occidental del Perú (entre la fosa y la línea de costa) se da con un ángulo promedio de 28°-30° y niveles de profundidad entre 20 y 60 km

Características: Presentan los sismos más importantes, en cuanto a su magnitud ($M_w > 8,0$), Algunos eventos son acompañados con tsunamis.

3.1.3.3. Fuente de Sismos Corticales

Fuente: Fracturas y fallas geológicas de decenas de kilómetros, el proceso de encorvamiento continuo de la corteza continental y la colisión del escudo brasilero con la Cordillera Andina.

Características: Magnitudes de hasta 6,5 M_w , en áreas reducidas.

3.1.3.4. Fuente de Sismos de Profundidad Intermedia y Profunda (Intraplaca)

Fuente: Deformación interna de la placa oceánica que subduce por debajo del continente.

Características: Menor a 6 - 7.2 M_w

Tabla 3.1 Algunas características (Magnitud, profundidad y mecanismos de ruptura) de las fuentes sismogénicas

Fuentes de Sismos				
	Intraplaca oceánica	Interplaca	Corteza Superficial	Intraplaca o profundidad intermedia y profunda
Magnitud	Moderada	Alta	Moderada	Moderada a alto
	Menores a 5 M_w	Hasta 9 M_w	Promedio 6.5 M_w	Menor a 6 - 7.2 M_w
Profundidad	Menores a 40 km	20 y 60 km	Menores a 15 km	100 a 500 - 750 km
Mecanismos de ruptura	Compresión (Inversas)	A semeja a una falla inversa	Compresión (Inversas)	Extensión (Normales)
	Extensión (Normales)		Extensión (Normales)	

3.1.4. Sistema de fallas en el Perú

La sismicidad de foco superficial que ocurre en el interior del territorio peruano, ocurre por el la ruptura de la corteza terrestre debido al desplazamiento de bloques en una línea de contacto, estas son denominadas fallas y para el Perú muchas de estas se han identificado y agrupado. Los sistemas de fallas deben su origen a una distribución diferente de esfuerzos de tensión y compresión en el interior del continente (Pomachagua, 2000).

En la figura 3.5 Se muestra un estudio conocido recopilatorio de las fallas y pliegues del Perú y en la tabla 3.2 se muestra un listado de estas fallas.

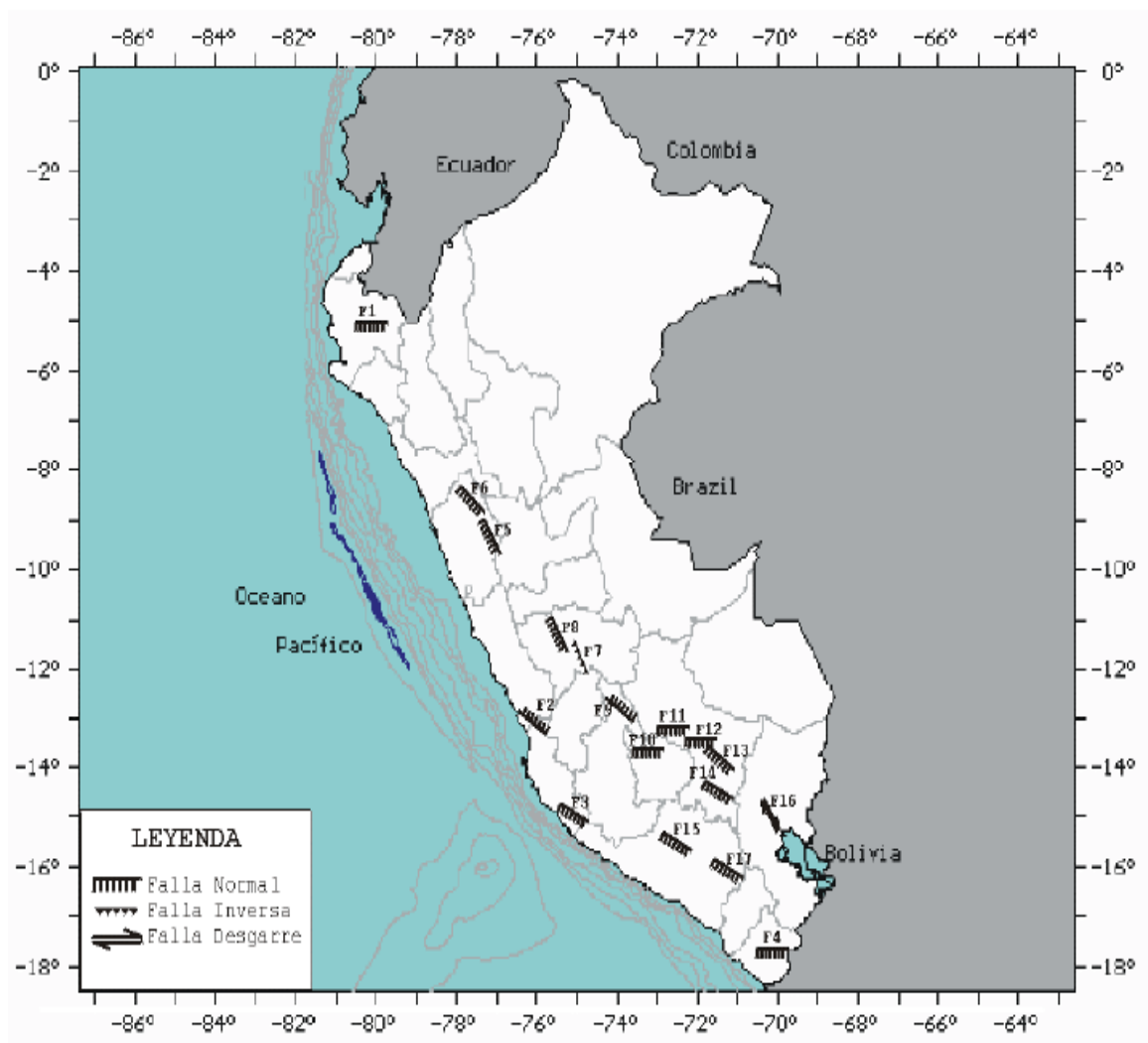


Figura 3.5 Principales sistemas de falla en el Perú (Pomachagua, 2000)

Tabla 3.2 Principales fallas mostrados en (Bolaños y Monroy, 2004), fuente (Pomachagua, 2000)

CODIGO	Sistema de Falla	Ubicación	Orientación	Tipo de Falla	Longitud de Falla	Salto Vertical	Buzamiento
F1	F. Huaypira	Piura	E-W	Normal	70 km		Sur
F2	F. Motejado	Ica	N110°E y 125°E	Normal		7m	65° y 85° N
F3	F. de Marcota	Ica	N120°E	Normal		20cm	70°N
F4	F. Chulibaya	Tacna	N100°E	Normal	5 km	2m	70°Sur
F5	F. Cordillera Blanca	Ancash	N100°E	Normal	190 km	1m a 50m	55° - 75°
F6	F. Quiches	Ancash	NW-SE	Normal	5 km	3m	
F7	F. Huaytapayana	Huancayo	NW-SE	Inverso	4.5 y 9.5	1.7m y 2m	50° NE
F8	F. Cayesh	Huancayo	N160°E	Normal	10 km		
F9	F. Ruzuwilcas	Ayacucho		Normal	100 km		NE
F10	F. Laguna de Pacucha	Apurimac	EW	Normal	100 km		
F11	F. Zurite	Cuzco	EW	Normal	24 km		60° - 70° S
F12	F. Tambomachay	Cuzco	EW	Normal	20 km	2m a 3m	60° S
F13	Falla Urcos	Cuzco	NW-SE	Normal	15 km		SE
F14	F. Alto Vilcanota	Cuzco	N150°E	Normal	70 km		60° SW
F15	F. Pampacolca	Arequipa	N140°E	Normal	20 km		SE
F16	F. Atancolla	Puno	N160°	Transcurrente	1 km		Vertical
F17	F. Huambo Cabanaconde	Arequipa	E-W	Normal	28 km		65° S

Como parte del programa internacional “World Map of Major Active Faults,” que traducido es Mapa mundial de grandes fallas activas, la U.S. Geological Survey o (USGS) asistió en la compilación de mapas digitales para fallas del cuaternario en países del hemisferio occidental, como parte de este estudio (Machare, 2003) añadió información de fallas y extendió el trabajo realizado por (Pomachagua, 2000) un resumen de las fallas compiladas en este trabajo para el Perú se muestra a continuación:

Tabla 3.3 Principales fallas del Perú según (Machare, 2003)

Fault number	Name of structure	Sense of movement	Time of most recent faulting	Slip rate category in mm/yr
PE-01	Amotape fault zone	Reverse	<1.6 Ma	<1 (?)
PE-02	Shitari fault	Sinistrai	<15 ka	<1 (?)
PE-03	Chaquilbamba fault	Normal	Historic (1937)	<1 (?)
PE-04	Eastern Boundary fault	Normal	<15 ka(?)	1-5(?)
PE-05	Quiches fault	Normal	Historic (1946)	<1
PE-06	Cordillera Blanca fault zone			
PE-06a	Section A	Normal	<15 ka	<1
PE-06b	Section B	Normal	<15 ka	01-may
PE-06c	Section C	Normal	<15 ka	01-may
PE-06d	Section D	Normal	<15 ka	01-may
PE-07	Cayesh fault	Normal	<1.6 Ma	<1
PE-08	Huaytalpallana fault	Reverse, sinistral	Historic (1969)	<1 (?)
PE-09	Cuzco fault zone	Normal	Historic (1965 and 1986)	0.2-1
PE-10	Ocongate fault zone	Normal	<15 ka	0.2-1
PE-11	Vilcanota River (fault zone)	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-12	Trigal fault	Normal	<15 ka	0.2-1
PE-13	Solarpampa fault	Normal	<15 ka	0.2-1
PE-14	Machado Chico fault	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-15	Pampa Huanocollo fault	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-16	Cerro Cordilleras fault			
PE-16a	Northern section	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-16b	Central section	Normal	<15 ka	<0.2
PE-16c	Southern section	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-17	Unnamed fault west of Rio Manas	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-18	Chololo fault	Normal	<15 ka	<0.2
PE-19	Cerro Loreto fault	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-20	Chaspaya fault	Normal	<15 ka	<0.2
PE-21	Cerro Chascoso fault	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-22	Altos los Chilenos fault	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-23	Cerro Morrito fault	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-24	Pampa Trapiche fault	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-25	Toquepala fault			
PE-25a	Western section	Normal	<15 ka	0.2-1.0
PE-25b	Eastern section	Normal	<15 ka	0.2-1.0
PE-26	Micalaco fault	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-27	Pampa del Purgatorio fault			
PE-27a	Western section	Normal	<15 ka	0.2-1.0

PE-27b	Eastern section	Normal	<15 ka	0.2-1.0
PE-28	VillacoNo fault			
PE-28a	Northern section	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-28b	Southern section	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-29	Cerro Rocos fault	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-30	Cerro Caquilluco fault	Unknown	<1.6 Ma	<0.2
PE-31	San Francisco fault	Normal	<1.6 Ma	<0.2
PE-32	Peru-Chile trench (Nazca subduction zone)	Thrust	Historic (2001, many prior)	>5 (75-80)

Las fallas encontradas en la anterior tabla pueden también verse en la figura 3.5.

Este sistema de fallas dan origen a una cantidad importante de sismos que se denominan corticales, cuyo efecto es tomado por las fuentes delimitadas como fuentes corticales en los trabajos de (Gamarra, 2009) y (Alva y Castillo, 1993)

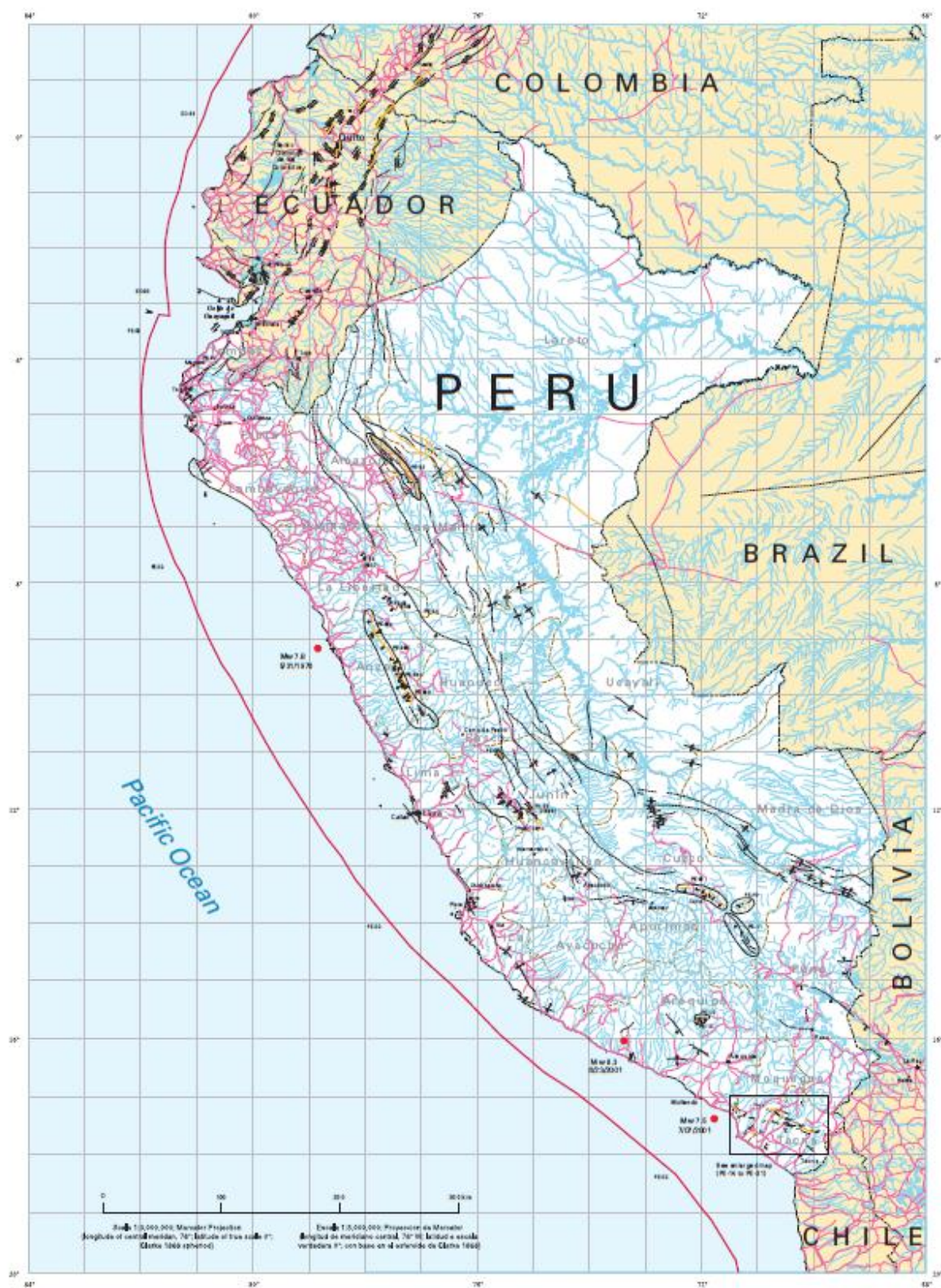


Figura 3.6 Mapa de fallas y pliegues Cuaternarios de Perú y Regiones oceánicas Adyacentes (Machare, 2003)

3.2. Sismicidad

En esta sección se describen las características de sismicidad en el Perú, de ocurrencia de sismos en el pasado y los lugares donde se presentaron, la teoría es extraída de trabajos realizados por conocedores en el campo.

3.2.1. Distribución de los sismos sobre la Tierra

Los sismos se agrupan franjas largas, a lo largo de las fosas o zonas de subducción en los bordes de las placas, en la figura 3.7 se puede notar claramente la ubicación del cinturón de fuego del Pacífico, en el que se libera en promedio el 85 por ciento de la energía sísmica (Sarria, 1995)

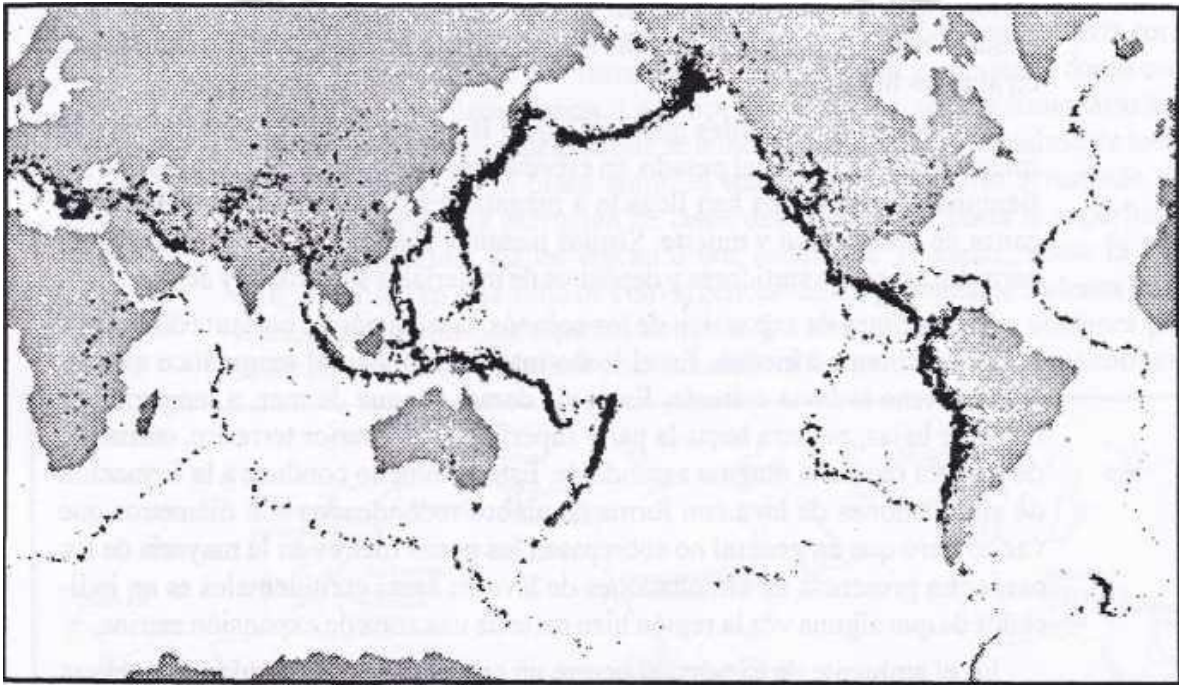


Figura 3.7 Distribución de los sismos sobre la tierra (Sarria, 1995)

- Se distinguen otras franjas claramente delimitadas resultan concordantes con las dorsales oceánicas.
- Una notable franja se asocia con cadenas montañosas de Europa y Asia, pasando por Turquía.

En la figura 3.8 se puede ver el cinturón de fuego en el que se nota que el Perú forma parte, esta zona la más sísmica del mundo.

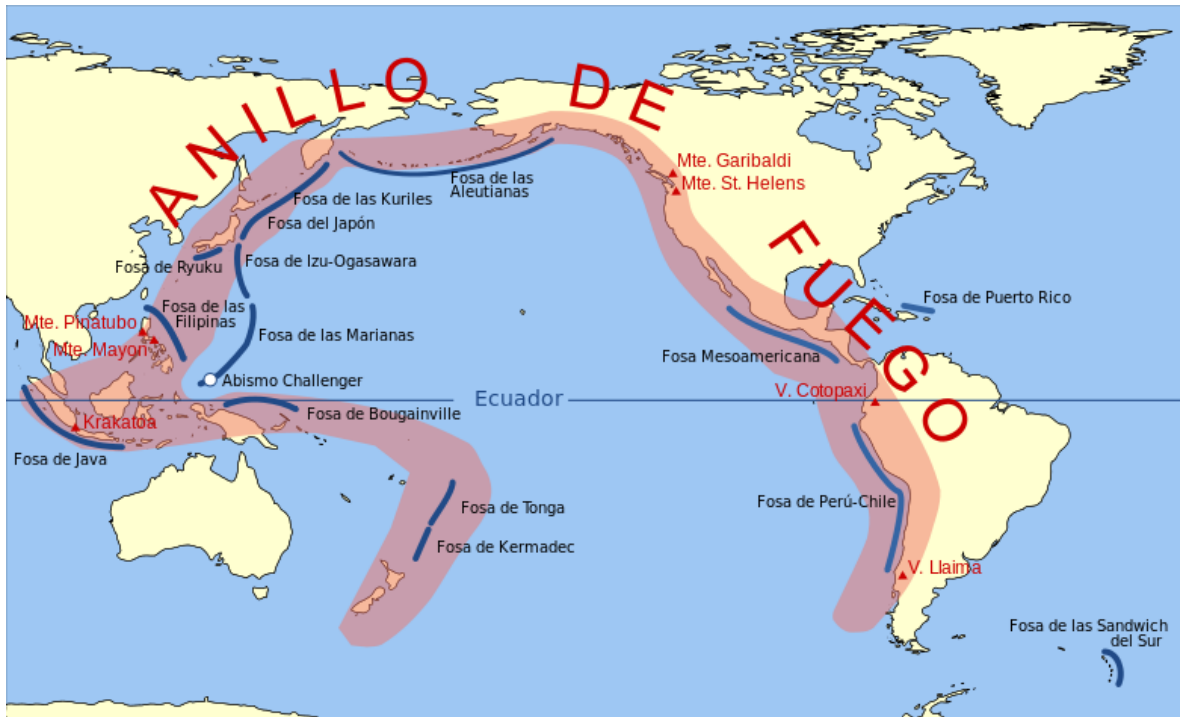


Figura 3.8 Cinturón o anillo de fuego del pacifico (Wikipedia)

3.2.2 Registro de sismos en el Perú

3.2.2.1. Registro histórico

Algunos trabajos de recopilación de ocurrencia de sismos históricos del Perú (entendiéndose por sismicidad histórica a la que ocurrió antes de la época de recopilación instrumental de ocurrencia de sismos, es decir 1960) se nombran a continuación:

- (Silgado, 1978) presenta sismicidad entre 1513 y 1974
- (Dorbath et al, 1990).

Tabla 3.4 Sismicidad histórica de Perú entre 1500 – 1959 $M_s \geq 6$ (Silgado, 1978)

N	Fecha (a/m/d)	Lat. (°)	Long. (°)	Mag (M_s)	Energía (ergios)
1	1582/01/22	-16.3	-73.3	7.9	4.50E+23
2	1586/07/09	-12.2	-77.7	8.1	8.90E+23
3	1604/11/24	-18	-71.5	8.4	2.50E+24
4	1619/02/14	-8	-79.2	7.8	3.20E+23
5	1650/05/31	-13.8	-72	7.2	4.00E+22
6	1655/11/13	-12	-77.4	7.4	7.90E+22
7	1664/05/12	-14	-76	7.8	3.20E+23
8	1678/06/16	-12.3	-77.8	7	2.00E+22
9	1687/09/20	-13	-77.5	8.2	1.30E+24
10	1687/10/21	-16.4	-71.6	7	2.00E+22
11	1725/01/22	-12	-77	7	2.00E+22
12	1746/09/28	-11.6	-77.5	8.4	2.50E+24
13	1784/05/13	-16.5	-72	8	6.30E+23
14	1806/12/07	-12	-78	7.5	1.10E+23
15	1821/07/10	-16	-73	7.9	4.50E+23
16	1833/09/18	-18.2	-71	7	2.00E+22
17	1868/08/13	-18.5	-71.2	8.6	5.00E+24
18	1877/05/09	-19.5	-71	7.5	1.10E+23
19	28/07/1913	-17	-73	7	2.00E+22
20	06/08/1913	-17	-74	7.7	2.20E+23
21	11/10/1922	-16	-72.5	7.4	7.90E+22
22	09/04/1928	-13	-69	6.4	2.50E+21
23	14/05/1928	-5	-78	7.3	5.60E+22
24	18/07/1928	-5.5	-79	7	2.00E+22
25	24/05/1940	-10.5	-77.6	8.2	1.30E+24
26	24/08/1942	-15	-76	8.4	2.50E+24
27	30/09/1946	-14	-76.5	7	2.00E+22
28	10/11/1946	-8.3	-77.8	7.2	4.00E+22
29	01/11/1947	-11	-75	7.5	1.10E+23
30	28/05/1948	-13.1	-76.2	6.7	7.10E+21
31	21/05/1950	-14.1	-72	6	6.30E+20
32	04/03/1951	-16	-74.5	6.7	7.10E+21
33	12/12/1953	-3.6	-80.5	7.7	2.20E+23
34	21/07/1955	-15.4	-74	6.7	7.10E+21
35	15/01/1958	-16.5	-72	7.3	5.60E+22
36	07/02/1959	-4	-81.5	7.2	4.00E+22

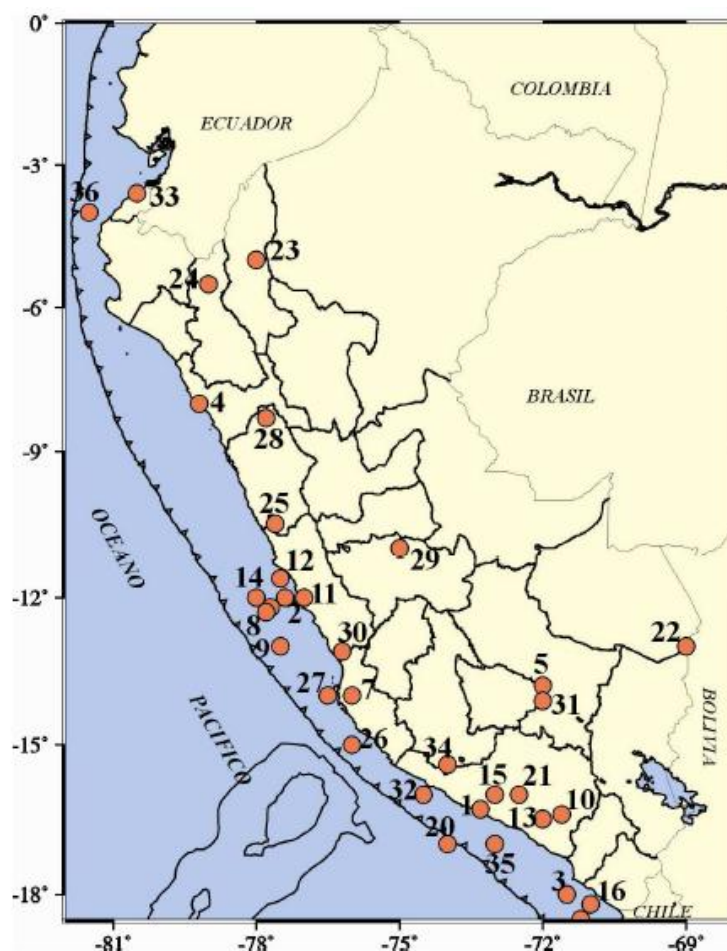


Figura 3.9 Sismicidad histórica de Perú entre 1500 – 1959 $M_s \geq 6$ (Silgado, 1978)

3.2.2.2. Registro instrumental

En 1960, se instala la Red Sísmica Mundial (World Wide Seismological Standard Network), desde entonces se recolecta una base de datos consistente y continua.

Según (Tavera, 2001) la información sísmica instrumental para el Perú se encuentra recopilada en Tres catálogos sísmicos hasta el 2001:

- Catálogo Sísmico República del Perú (1471-1982), desarrollado por Leonidas Ocola. Proyecto SISAN – 1984.
- Catálogo Sísmico del Perú (1500-1984), desarrollado por A. Espinoza, L. Casaverde, J. Michel, J. Alva, J. Vargas-Neumann Instituto Geográfico Nacional de España, USGS, PUCP, UNI – 1985.
- Catálogo Sísmico del Perú (1500-1982), desarrollado por Daniel Huaco, Instituto Geofísico del Perú. Proyecto SISRA, 1986.

Además actualmente se pueden obtener catálogos sísmicos de las siguientes fuentes:

- Nuevos catálogos se han recopilado con el tiempo, una de las fuentes existentes para el Perú es la del I.G.P. (Instituto Geofísico del Perú).

- También se puede obtener un catálogo actualizado a la fecha del N.E.I.C. (National Earthquake Information Center), pero los sismos reportados por N.E.I.C. han sido y deben ser objeto de revisión para su posterior uso, este trabajo de revisión a estado a cargo del I.G.P..

En (Bolaños y Monroy, 2004) trabajando con sismos en el periodo de 1900 a 2000 se muestra que el catalogo sísmico instrumental debe ser usado con cuidado, ya que para eventos antes de 1963 cuando la red sísmica mundial aún no estaba instalada solo se reportaron los sismos importantes y en los centros más poblados del país y con más acceso de comunicación, dejando pasar sismos ocurridos en lugares donde la comunicación de ocurrencia de sismos se dificultaba por su ubicación lejana.

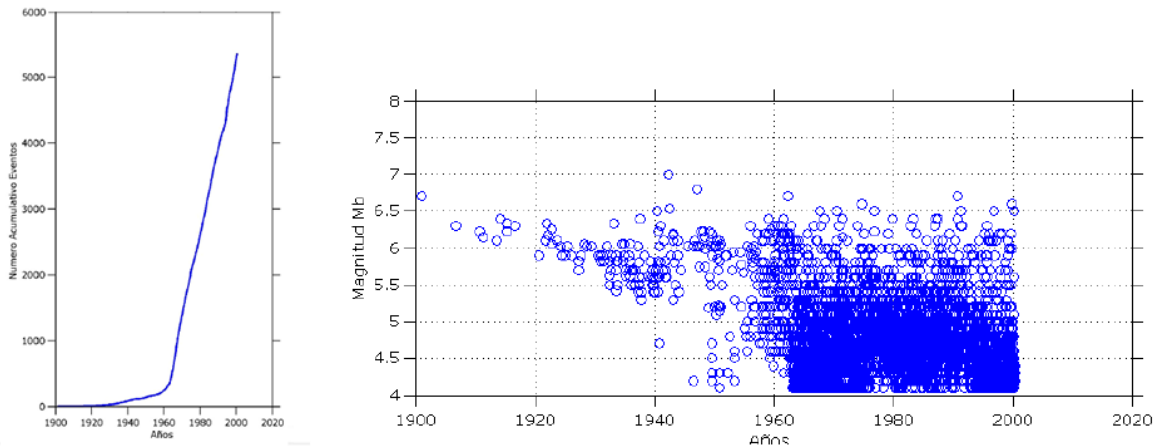


Figura 3.10 Numero acumulativo de eventos sísmicos comprendidos desde el año 1900 a 2000 en el catálogo actualizado hasta el 2000 del proyecto SISRA (Bolaños y Monroy, 2004)

3.2.3. Distribución espacial de la sismicidad

En años recientes el I.G.P. hizo presente el mapa oficial de los sismos ocurridos en Perú, para el periodo 1900 a 2011, el mapa se presenta a continuación, el mapa muestra la ubicación de los sismos pasados para observar las zonas con mayor riesgo.

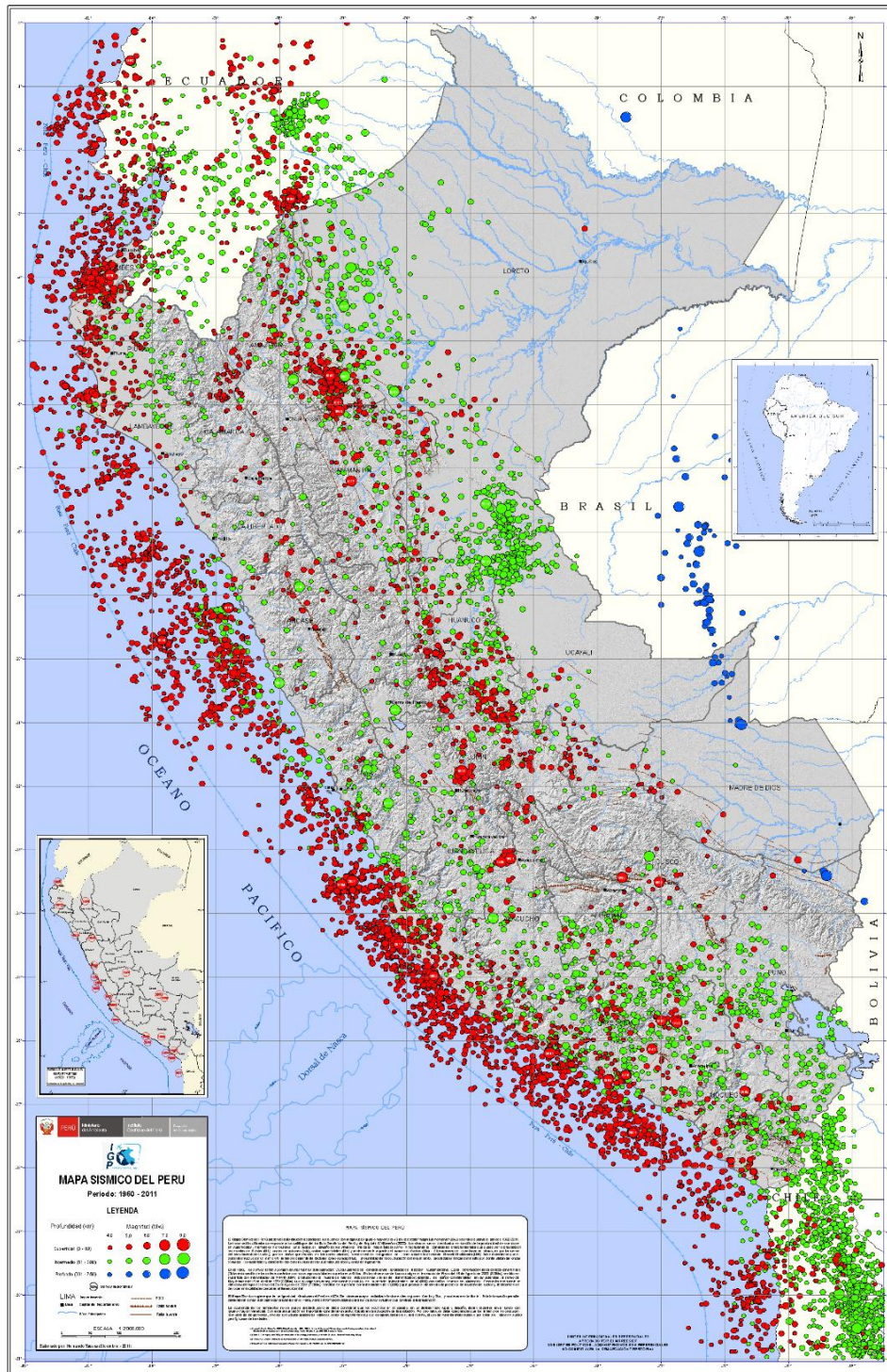


Figura 3.11 Mapa sísmico del Perú de 1900 a 2011 I.G.P

Los sismos, son recurrentes en el tiempo. En otras palabras, si una determinada ciudad fue afectada por un sismo en el pasado, en el futuro volverá a serlo con igual o mayor intensidad (Tavera, 2014).

Esto se puede observar en la figura 3.11 donde se observa un aglutinamiento de ocurrencia de sismos en determinados lugares del Perú por ejemplo en la zona de Ica, y la carencia de sismos en otros lugares por ejemplo Loreto, se observa entonces que algunos lugares son más propensos que otros a ser afectados por sismos, y tener información pasada de ocurrencia de sismos nos ayudaría a saber dónde se podrían dar los próximos sismos, esta afirmación se hace complementaria con la observación de (Tavera, 2014) dice que el 70% del total de eventos presentan sus epicentros frente a la zona costera (recurrencia), la sismicidad es mayor en la región centro y sur; y menor en la región norte .En la figura 3.12 se muestran los sismos más importantes para el Perú hasta el 2014, en esta podemos resaltar los ocurridos en Arequipa.



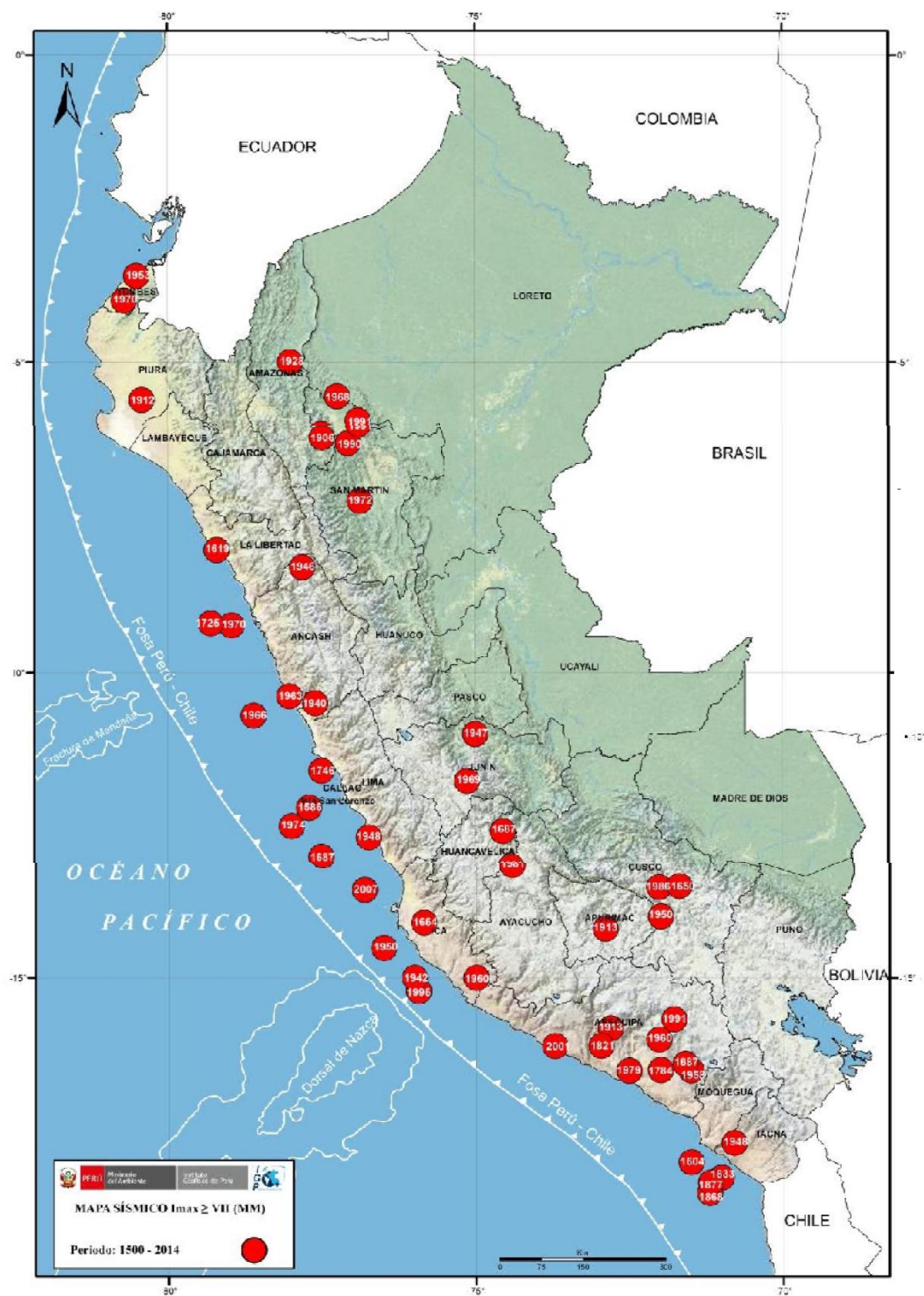


Figura 3.12 Sismos importantes para le peru con intensidades mayores que VII (MM) I.G.P.

Trabajos como (Tavera y Buforn, 1998), (Pomachagua, 2000) y (Bolaños y Monroy, 2014) describen la sismicidad observada en el Perú:

3.2.4. Sismicidad según la profundidad de su foco

3.2.4.1. Sismicidad de foco superficial ($h \leq 60\text{km}$)

Los sismos superficiales han sido agrupados en dos fuentes.

- El primer grupo se localiza en la zona oceánica en dirección paralela a la línea de costa, produciendo terremotos de magnitud elevada con relativa frecuencia.
- El segundo grupo se produce por la subsidencia del escudo brasileño bajo la Cordillera Andina, estando la mayor parte de estos sismos localizados en la zona de transición entre la Cordillera Oriental y el margen occidental de la zona Subandina, en la zona del Altiplano también existen sismos superficiales pero son menos numerosos y más dispersos. Los terremotos que ocurren en esta zona presentan magnitudes moderadas.
- Cuando se analiza en detalle la distribución espacial de la sismicidad en el Perú, se debe dar mayor atención a los sismos de foco superficial, debido a que ellos, por ocurrir cerca de la superficie, representan ser de mayor peligro para las áreas pobladas. Según la historia sísmica del Perú, los sismos que han causado mayores daños en superficie, presentaron magnitudes aproximadas mayores a 7,0 Mw y niveles de sacudimiento superiores a intensidades VII en la escala Mercalli Modificada (MM) (Tavera, 2014)

3.2.4.2. Sismicidad de foco intermedio ($60\text{km} < h \leq 300\text{km}$)

Se distribuye de manera irregular, pudiendo definirse tres zonas

El primer grupo se distribuye paralela a la línea de costa por debajo de 9°S y se caracteriza por la frecuente presencia de terremotos de magnitud elevada.

El segundo grupo se localiza en el interior del continente (zona Norte y Centro) a lo largo de la Cordillera Oriental y zona Subandina. Estos terremotos siguen una línea N-S y raramente producen daños.

El tercer grupo se localiza en la región Sur de Perú, siendo esta región la de mayor índice de sismicidad.

En los dos primeros grupos, los sismos alcanzan profundidades del orden de 100-120 km; mientras que para el tercer grupo la profundidad máxima de los focos llega hasta 300 km.

3.2.4.3. Sismicidad de foco profundo ($300\text{km} < h$)

Se localiza en la región Centro y Sur del Llano Amazónico. Esta actividad, es mayor en la región central y se alinea en dirección N-S cubriendo un área de aproximadamente 500 km de longitud (borde Perú-Brasil); mientras que en la región Sur es menos numeroso y más dispersa (borde Perú-Bolivia).

3.2.5. Sismicidad según región

En (Tavera y Bufo, 1998), (Bolaños y Monroy, 2004) se analiza la sismicidad desde 3 frentes norte, centro y sur.

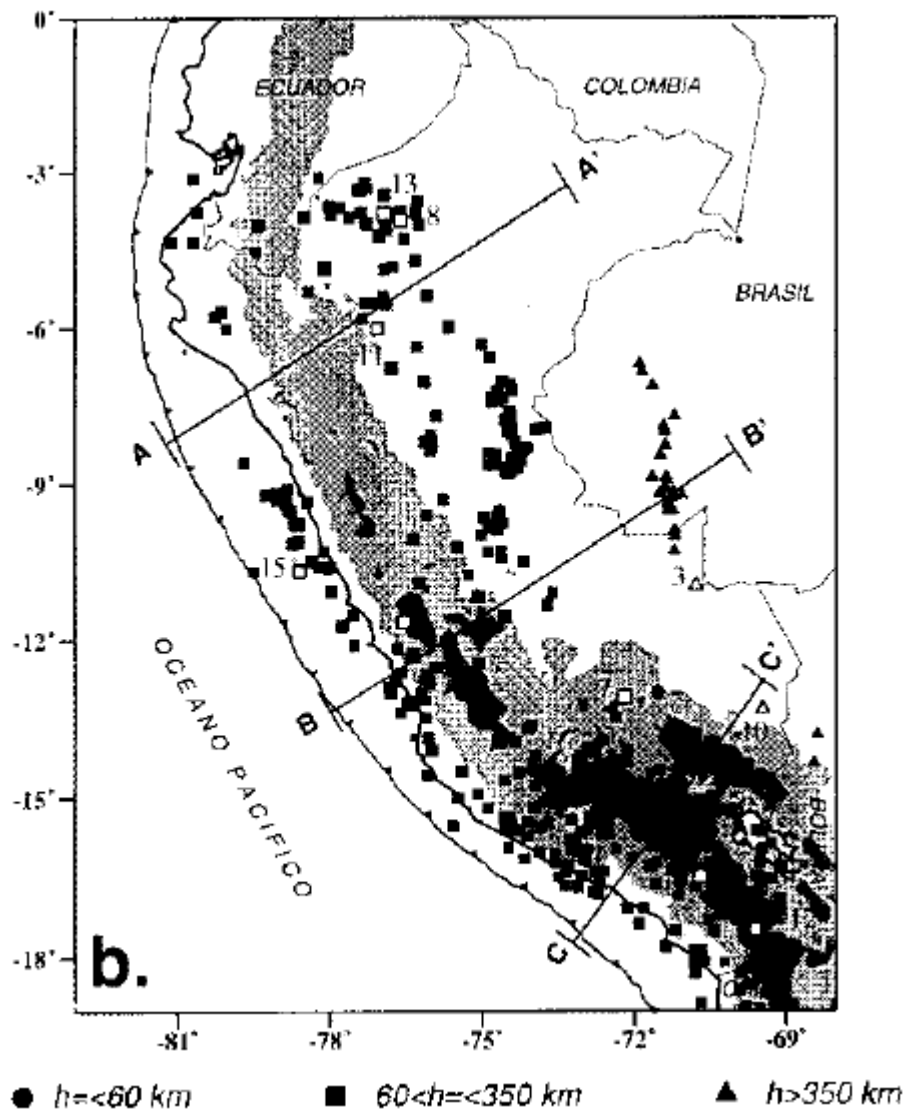


Figura 3.13 Zonificación norte centro y sur para la evaluación de sismos en profundidad con sismos de 1960 – 1995 y $mb > 5$ (Tavera y Bufo, 1998)

3.2.5.1. Sismicidad norte

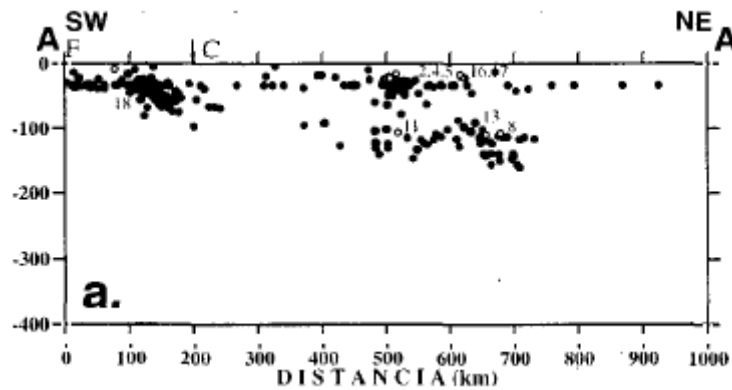


Figura 3.14 Distribución de sismos en profundidad para el corte a-a al norte del Perú (Tavera y Burforn, 1998)

En (Tavera y Bufo, 1998) Se describe que la profundidad de los sismos aumenta de oeste a este desde profundidades de menos de 50 km hasta 150 km, también se observa una disminución de sismos desde la distancia 200 a 450 km probablemente una laguna sísmica, se nota también que en 700 km los sismos dejan de ocurrir, lo que indica el final de la subducción. En (Bolaños y Monroy, 2004) se puede observar esto también.

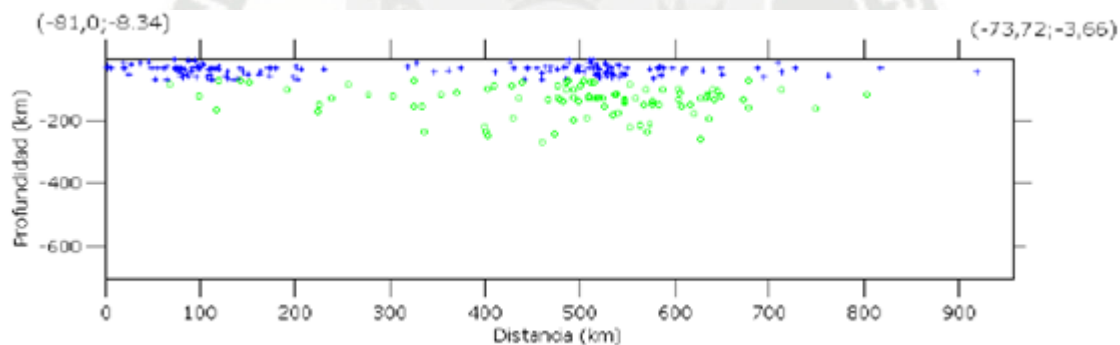


Figura 3.15 Distribución de sismos en profundidad para la zona norte del Perú (Bolaños y Monroy, 2004)

3.2.5.2. Sismicidad centro

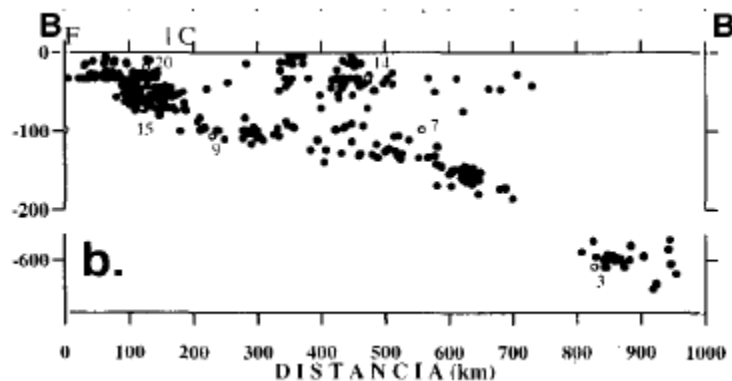


Figura 3.16 Distribución de sismos en profundidad para el corte b-b al centro del Perú (Tavera y Burforn, 1998)

Se observa que los sismos ocurridos hasta 200 km describen una línea con 30° de inclinación aproximadamente luego, prácticamente horizontal, con profundidades hasta 150 km.

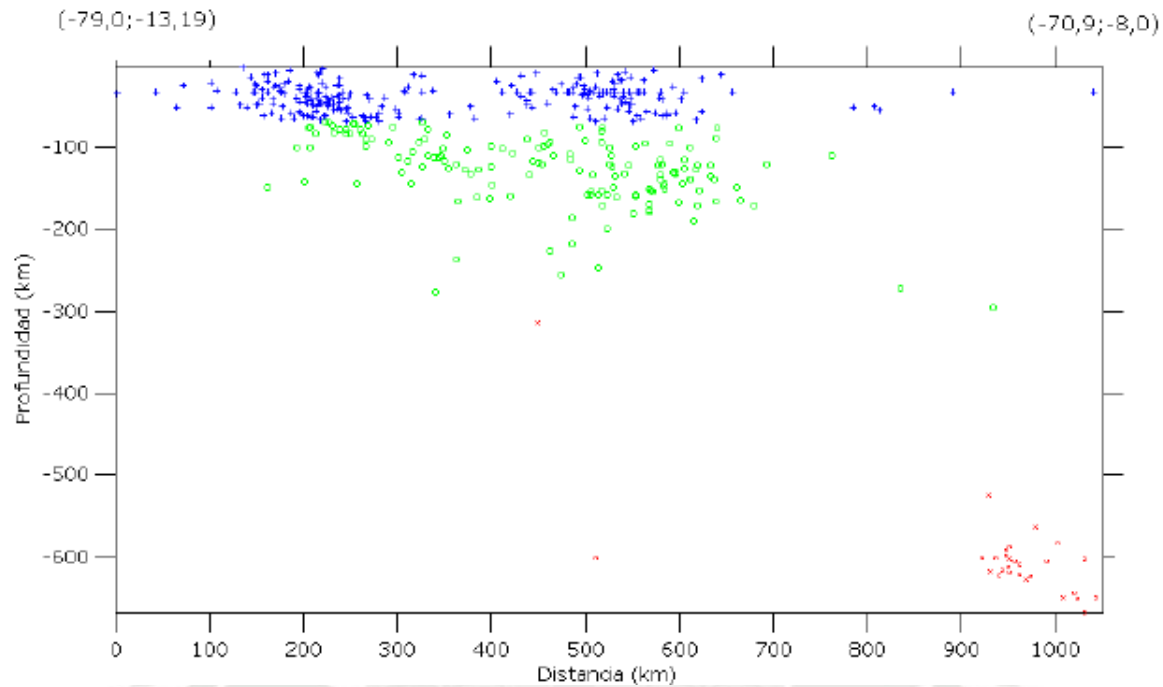


Figura 3.17 Distribución de sismos en profundidad para la zona centro del Perú (Bolaños y Monroy, 2004)

3.2.5.3. Sismicidad sur

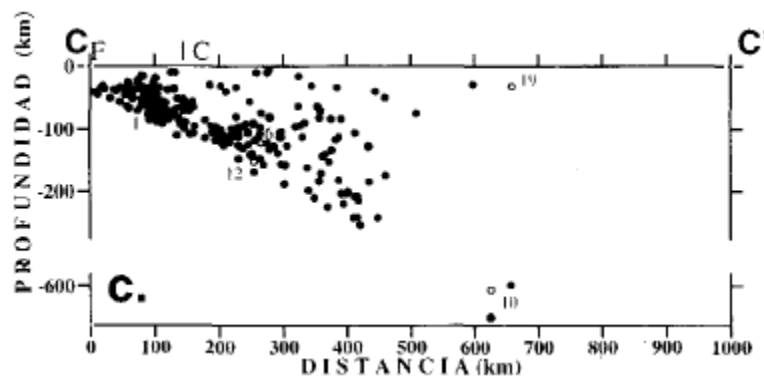


Figura 3.18 Distribución de sismos en profundidad para el corte c-c al sur del Perú (Tavera y Burforn, 1998)

La pendiente es de 25° hasta los 300 km. Los sismos solo llegan a una distancia de 400 km desde la línea de fosa, a distancias mayores se localizan terremotos con foco superficial o profundo.

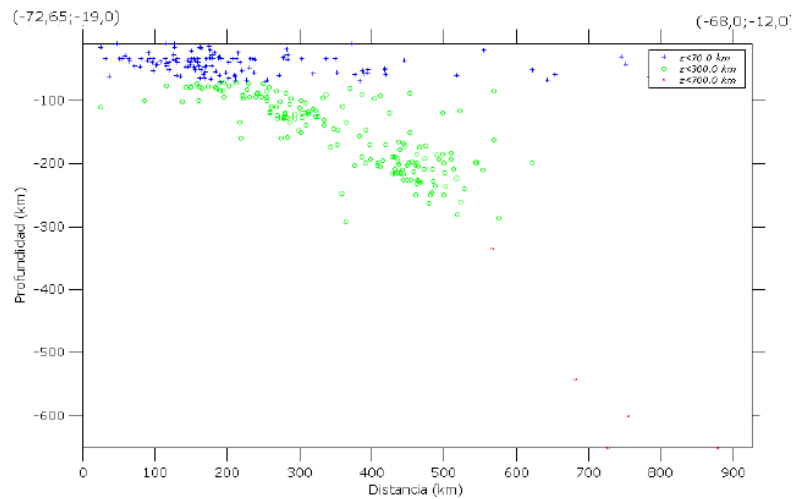


Figura 3.19 Distribución de sismos en profundidad para la zona sur del Perú (Bolaños y Monroy, 2004)

En la parte centro y sur se muestran además focos profundos, entre 500 y 650 km de profundidad. Se observa la ausencia de sismicidad entre los 250 y 500 km de profundidad en la región norte y centro; y entre 300-500 km en la región Sur.

Se pone en evidencia la no continuidad de la placa oceánica en el proceso de subducción, a mayores niveles de profundidad.

3.3. Fuentes Sismogénicas

Las fuentes sismogénicas en el Perú han sido estudiadas en el pasado estas se definen por su geometría y la sismicidad que presenten.

3.3.1. Geometría de las fuentes sismogénicas

Las fuentes sismogénicas se definen por su geometría espacial a continuación se muestran algunos estudios en los que las fuentes han sido delimitadas.

3.3.1.1. Geometría por (Castillo y Alva, 1993)

En (Castillo y Alva, 1993) se definieron 20 fuentes sismogénicas, tomando en cuenta la actividad sísmica y las características neotectónicas en el Perú, cada fuente tiene características sismotectónicas particulares, son presentadas como áreas porque no existen los suficientes datos para modelar las fuentes como lineales.

En la figura 3.20 se muestran las fuentes del 1 al 12 definidas por (Castillo y Alva, 1993) y en la figura 3.21 Se muestran del 12 al 20, se hace notar que del 1 al 5 son fuentes de subducción superficial, del 6 al 12 son fuentes continentales, del 13 al 19 de subducción intermedia y el 20 de subducción profunda.

En la tabla 3.20 Se muestran las coordenadas de las esquinas de cada fuente.

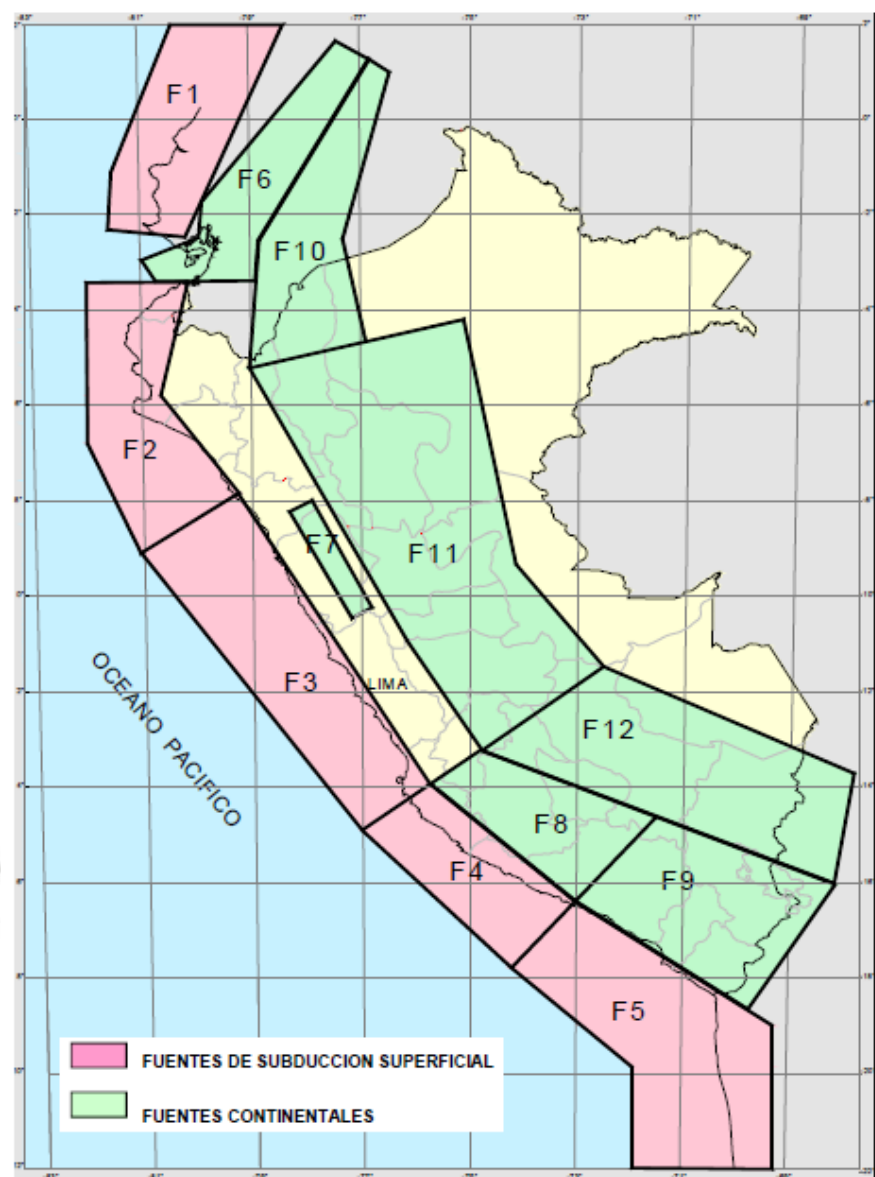


Figura 3.20 Fuentes sismogénicas de subducción superficial y continentales según (Castillo y Alva, 1993)

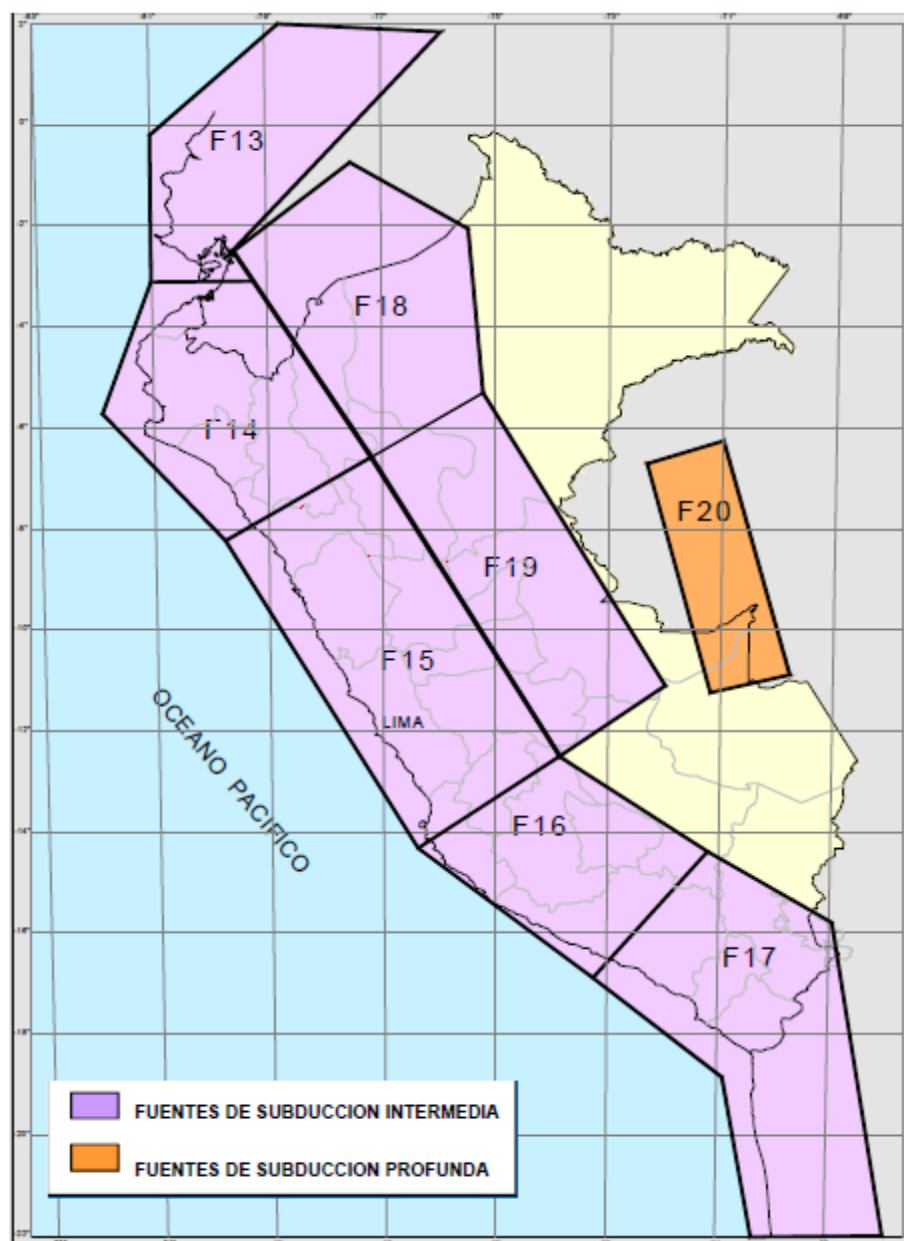


Figura 3.21 Fuentes sísmicas de subducción intermedia y profunda (Castillo y Alva, 1993)

Tabla 3.5 Coordenadas de las fuentes sismogénicas de subducción superficial y continentales según (Castillo y Alva, 1993)

FUENTES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (°)				SUBDUCCION SUPERFICIAL
FUENTE 1	-80.29	2	-78.32	2	
	-81.39	-0.97	-79.65	-1.21	
	-81.52	-2.39	-80.19	-2.5	
FUENTE 2	-82	-3.39	-80.17	-3.45	
	-82	-6.83	-80.67	-5.42	
	-81.17	-9	-79.27	-7.9	
FUENTE 3	-81.17	-9	-79.27	-7.9	
	-77	-14.8	-75.84	-13.87	
FUENTE 4	-77	-14.8	-75.84	-13.87	
	-74.16	-17.87	-73	-16.53	
FUENTE 5	-74.16	-17.87	-73	-16.53	FUENTES CONTINENTALES
	-71.85	-19.87	-69.21	-19	
	-71.85	-22	-69.21	-22	
FUENTE 6	-77.5	1.58	-76.92	1.19	
	-79.83	-1.65	-78.9	-2.53	
	-79.96	-2.46	-78.97	-3.43	
	-80.92	-2.96	-80.79	-3.44	
FUENTE 7	-78.28	-8.2	-77.86	-8.07	
	-77.21	-10.47	-76.83	-10.23	
FUENTE 8	-75.84	-13.87	-74.76	-13.13	
	-73	-16.53	-71.41	-14.67	
FUENTE 9	-73	-16.53	-71.41	-14.67	
	-69.71	-18.67	-68.12	-16.13	
FUENTE 10	-76.92	1.19	-76.5	1	
	-78.9	-2.53	-77.35	-2.4	
	-79.1	-5.2	-77	-4.77	
FUENTE 11	-79.1	-5.2	-75.1	-4.33	
	-76.34	-10.67	-74.17	-9.33	
	-74.76	-13.13	-72.48	-11.4	
FUENTE 12	-74.76	-13.13	-72.48	-11.4	
	-68.12	-16.13	-67.76	-13.8	

Tabla 3.5 (Continuación)

FUENTES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (°)				
FUENTE 13	-78.73	2	-76	1.82	SUBDUCCION INTERMEDIA
	-81	-0.67	-79.59	-2.55	
	-81	-3.07	-79.2	-3.07	
FUENTE 14	-81	-3.07	-79.2	-3.07	
	-81.93	-5.73	-78.6	-4	
	-79.8	-8.13	-77.17	-6.53	
FUENTE 15	-79.8	-8.13	-77.17	-6.53	
	-76.38	-14.3	-73.86	-12.46	
FUENTE 16	-76.38	-14.3	-73.86	-12.46	
	-73.28	-16.87	-71.21	-14.4	
FUENTE 17	-73.28	-16.87	-71.21	-14.4	
	-70.86	-18.8	-68.93	-15.73	
	-70.38	-22	-67.98	-22	
FUENTE 18	-79.59	-2.55	-77.5	-0.73	
	-78.6	-4	-75.51	-2.06	
	-77.17	-6.53	-75.27	-5.33	
FUENTE 19	-77.17	-6.53	-75.27	-5.33	
	-73.86	-12.46	-72.03	-11.13	
FUENTE 20	-72.31	-6.67	-71	-6.33	SUBDUCCION PROFUNDA
	-71.14	-11.3	-69.69	-10.93	

3.3.1.2. Geometría por (Gamarra, 2009)

Posteriormente en (Gamarra, 2009) se proponen 20 nuevas fuentes sismogénicas modificando las anteriores presentadas estas se muestran en la figura 4.3.3 se muestran las fuentes del 1 al 14 y en la figura 4.3.4 se muestran las fuentes del 15 al 20; se hace notar que las fuentes del 1 al 5 son fuentes de interface del 6 al 14 de intraplaca y del 15 al 20 de corteza superficial.

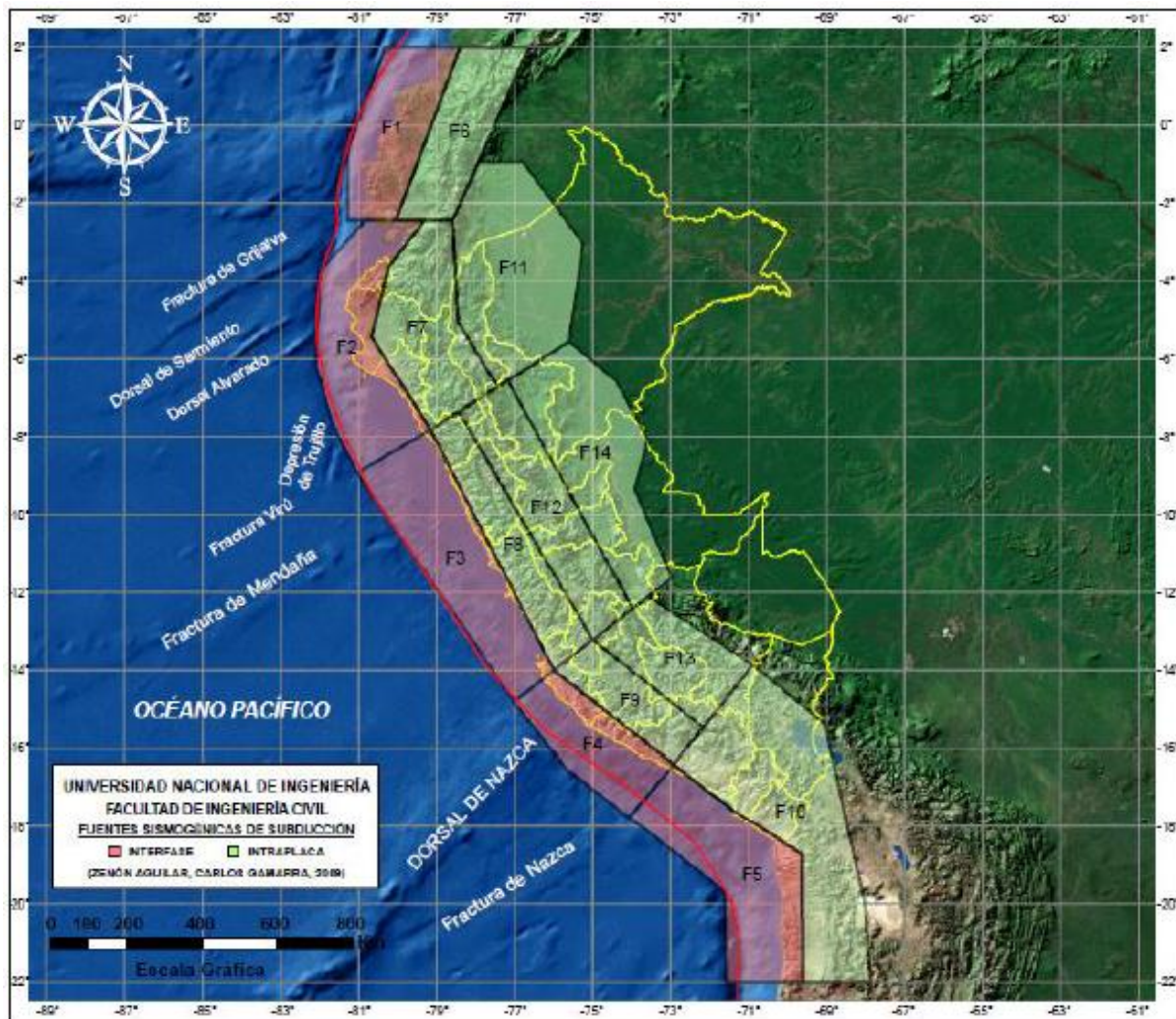


Figura 3.22 Fuentes de Subducción de interface e intraplaca (Gamarra, 2009)

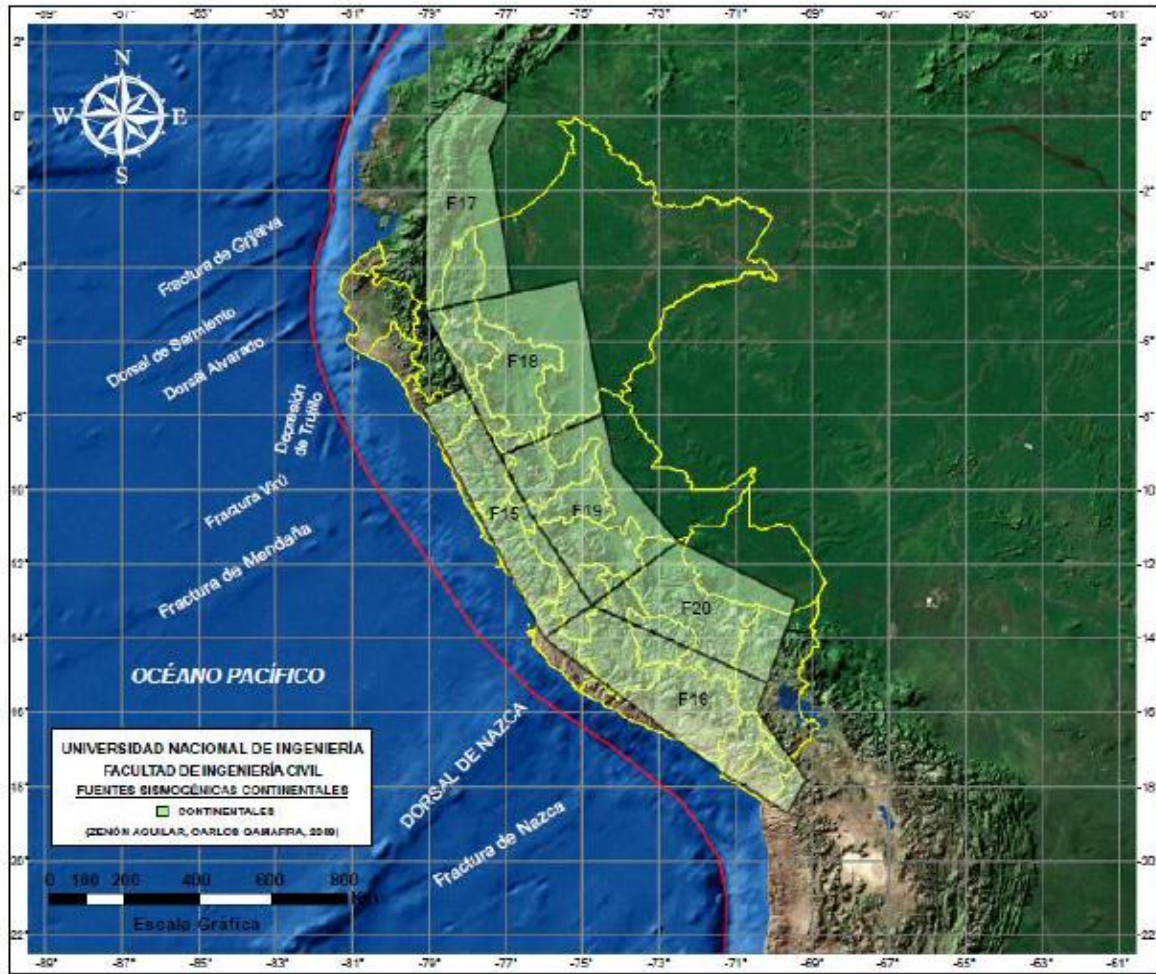


Figura 3.23 Fuentes sismogénicas de corteza superficial (Gamarra, 2009)

- En la tabla 3.6 Se presentan las coordenadas de las esquinas de las fuentes sismogénicas de interface (fuentes del 1 al 5) definidas por (Gamarra, 2009).
- En la tabla 3.7 Se presentan las coordenadas de las esquinas de las fuentes sismogénicas de intraplaca (fuentes del 6 al 14) definidas por (Gamarra, 2009).
- En la tabla 3.8 Se presentan las coordenadas de las esquinas de las fuentes sismogénicas de corteza superficial (fuentes del 15 al 20) definidas por (Gamarra, 2009).

Tabla 3.6 Fuentes sismogénicas de subducción de interface (Gamarra, 2009)

Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)
	Longitud	Latitud	
F1	-80.323	2	25
	-78.408	2	60
	-80.044	-2.448	60
	-81.284	-2.448	25
	-81.284	-0.595	25
F2	-80.821	-2.448	25
	-79.31	-2.448	50
	-80.214	-3.622	50
	-80.67	-5.42	50
	-79.156	-7.834	60
	-81.05	-8.931	25
	-81.693	-7.632	25
	-82.088	-6.198	25
	-82	-3.76	25
F3	-81.05	-8.931	30
	-79.156	-7.834	75
	-75.998	-13.999	75
	-77.028	-14.811	30
F4	-77.028	-14.811	30
	-75.998	-13.999	75
	-72.914	-16.397	75
	-74.063	-17.768	30
	-75.684	-16.501	30
F5	-74.063	-17.768	30
	-72.914	-16.397	60
	-71.427	-17.553	60
	-69.641	-18.721	70
	-69.627	-22	70
	-71.586	-22	30
	-71.617	-19.68	30

INTERFASE

Tabla 3.7 Fuentes sismogénicas de subducción de intraplaca (Gamarra, 2009)

Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad
	Longitud	Latitud	(km)
F6	-78.408	2	60
	-76.644	2	135
	-78.593	-2.448	150
	-80.044	-2.448	60
F7	-79.31	-2.448	50
	-78.593	-2.448	100
	-78.449	-5.045	125
	-77.429	-6.72	125
	-79.156	-7.834	60
	-80.67	-5.42	50
	-80.214	-3.622	50
F8	-79.156	-7.834	80
	-78.427	-7.363	100
	-74.996	-13.218	115
	-75.998	-13.999	80
F9	-75.998	-13.999	80
	-74.996	-13.218	110
	-72.16	-15.453	130
	-72.914	-16.397	80
F10	-72.914	-16.397	95
	-70.892	-13.863	245
	-69.055	-15.365	275
	-68.013	-19.959	200
	-67.868	-22	165
	-69.627	-22	100
	-69.641	-18.721	100
	-71.427	-17.553	110
F11	-77.923	-0.918	200
	-76.785	-0.918	200
	-75.236	-3.054	160
	-75.6	-5.539	145
	-77.429	-6.72	145
	-78.449	-5.045	150
	-78.593	-2.448	150
F12	-78.427	-7.363	100
	-77.177	-6.557	140
	-73.973	-12.421	135

INTRAPLACA

	-74.996	-13.218	115	
F13	-74.996	-13.218	110	
	-73.577	-12.112	110	
	-70.892	-13.863	130	
	-72.16	-15.453	130	
F14	-77.177	-6.557	145	
	-75.6	-5.539	145	
	-74.4	-6.567	155	
	-73.589	-8.086	195	
	-73.914	-9.347	170	
	-72.963	-11.633	145	
	-73.973	-12.421	140	

Tabla 3.8 Fuentes sismogénicas corticales (Gamarra, 2009)

Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad	CORTICAL
	Longitud	Latitud	(km)	
F15	-79.156	-7.834	25	
	-78.084	-7.213	40	
	-76.34	-10.67	40	
	-74.76	-13.13	40	
	-75.998	-13.999	25	
F16	-75.998	-13.999	25	
	-74.76	-13.13	50	
	-70.176	-15.201	50	
	-70.434	-15.947	50	
	-69.134	-17.789	50	
	-69.641	-18.721	25	
	-71.427	-17.553	25	
F17	-78.1	0.748	25	
	-76.872	0.373	40	
	-77.41	-0.867	60	
	-76.826	-4.705	60	
	-79.1	-5.2	25	
	-79.085	-0.37	25	
F18	-79.1	-5.2	35	
	-75.1	-4.33	35	
	-74.422	-7.976	50	
	-77.143	-9.079	50	
F19	-77.143	-9.079	35	

	-74.422	-7.976	35	
	-74.17	-9.33	35	
	-72.48	-11.4	40	
	-74.76	-13.13	40	
	-76.34	-10.67	35	
F20	-74.76	-13.13	40	
	-72.48	-11.4	40	
	-69.4	-12.966	40	
	-70.176	-15.201	40	

En el presente trabajo se usan las fuentes propuestas por (Gamarra, 2009) debido a que son las ultimas definidas y aceptadas, ya que se ha visto que se han aplicado a estudios de riesgo sísmico y microzonificación sísmica realizados por CISMID en el 2011 para algunos distritos de Lima.

3.3.2. Parámetros sismológicos

En el Perú, se han desarrollado parámetros sismológicos que describen la sismicidad de cada fuente sismogénica descrita anteriormente, a continuación se muestran los resultados de algunos estudios.

3.3.2.1. Parámetros sismológicos por (Castillo y Alva, 1993)

Para las fuentes delimitadas por (Castillo y Alva, 1993) en el mismo trabajo se presentan los siguientes parámetros sismológicos de cada fuente además de su profundidad característica.

Tabla 3.9 Parámetros sismológicos (Castillo y Alva, 1993)

<i>FUENTE</i>	<i>Mmin</i>	<i>Mmax</i>	<i>TASA</i>	<i>BETA</i>	<i>PROF (Km)</i>
F1	4.8	8.1	1.49	2.51	50
F2	4.8	7.9	3.28	2.6	40
F3	4.8	8	6.43	3.14	30, 60
F4	4.8	8.2	3.79	3.24	40, 60
F5	4.8	8.2	3.95	2.82	60
F6	4.9	7.4	0.44	2.67	50
F7	4.9	7.4	0.17	3.57	40
F8	4.9	7	0.19	2.42	65
F9	4.9	7.5	0.88	3.3	60
F10	4.9	7.3	0.71	2.57	50
F11	4.9	7.1	3.6	3.55	40, 60
F12	4.9	7.1	0.75	4.55	50
F13	4.9	6.9	0.18	2.52	100
F14	4.9	6.5	0.86	4.75	100
F15	4.9	7.2	1.64	2.69	100
F16	4.9	7.2	3.09	3.76	115
F17	4.9	7.5	12.82	3.69	90, 125, 160
F18	4.9	7.5	2.43	2.29	110, 180

F19	4.9	7	2.87	3.33	120, 160
F20	4.9	7.5	0.75	1.69	610

3.3.2.2. Parámetros sismológicos (Alva y Escalaya, 2003)

En el 2003 (Alva y Escalaya, 2003) actualizan el trabajo de (Castillo y Alva, 1993) para las mismas fuentes y presentan los siguientes parámetros sismológicos.

Tabla 3.10 Parámetros sinológicos (Alva y Escalaya, 2003)

FUENTE	Mw						PROF. (Km)
	a	b	Mmin	Mmax	BETA	TASA	
F1	3.7217	0.4795	4	8.3	1.1	1.59	40
F2	6.0894	0.8392	5.1	7.4	1.93	1.61	40
F3	5.4177	0.6828	4.3	8.2	1.57	7.57	40
F4	5.6176	0.7528	4.7	8.4	1.73	3	40
F5	5.5403	0.7337	4.7	8.4	1.69	3.09	40
F6	3.7363	0.5305	3.8	7.1	1.22	1.31	40
F7	3.2533	0.5746	4.3	7.1	1.32	0.15	45
F8	4.489	0.7316	3.8	6.8	1.68	1.28	45
F9	4.3551	0.6309	4.3	7.2	1.45	1.1	40
F10	4.2485	0.5763	4.5	7	1.33	1.13	40
F11	4.8948	0.6126	4	6.9	1.41	6.96	40
F12	3.9508	0.601	4	6.9	1.38	0.88	45
F13	4.1138	0.6367	4	6.8	1.47	0.92	125
F14	4.3627	0.6415	4.3	6.5	1.48	1.01	130
F15	4.5287	0.6015	4.5	7	1.39	1.66	130
F16	5.8866	0.8257	4.7	7	1.9	2.53	115
F17	7.4704	0.9855	5.3	7.2	2.27	4.42	130
F18	4.6431	0.5638	4.3	7.2	1.3	4.14	155
F19	5.7901	0.788	4.9	6.8	1.81	2.12	160
F20	4.0533	0.5213	5.1	7.2	1.2	0.62	580

3.3.2.3. Parámetros sismológicos por (Bolaños y Monroy, 2004)

El 2004 en la tesis magistral de (Bolaños y Monroy, 2004) se vuelven a calcular los parámetros sismológicos que se presentan a continuación:

Tabla 3.11 Parámetros sinológicos (Bolaños y Monroy, 2004)

FUENTE	Mmin	Mmax	BETA	RAZON SISMOS (v)	PROFUNDIDAD (Km)
	(Mw)	(Mw)	(P)		
1	4,50	7,33	1,248	0,939	35,00
2	4,00	8,00	1,142	4,050	30,00
3	3,40	8,70	1,027	12,75	30,00-60,00
4	3,60	8,80	1,098	6,832	30,00-60,00
5	3,60	8,80	0,928	4,797	30,00-60,00
6	3,60	7,16	1,091	2,215	35,00
7	4,30	7,90	1,950	0,288	30,00-50,00
8	4,30	6,80	2,190	0,552	30,00
9	3,80	7,20	1,087	1,143	45,00
10	3,80	7,33	1,032	2,087	35,00
11	4,50	8,15	1,881	3,940	35,00-60,00
12	4,10	6,90	1,395	0,808	40,00
13	3,80	7,00	1,637	1,259	90,00
14	3,80	7,10	1,506	2,435	90,00
15	3,60	8,20	1,289	5,319	100,00
16	3,60	7,90	1,059	6,249	120,00
17	4,50	8,40	1,628	10,48	90,00-110,00-160,00
18	3,30	7,33	1,038	9,850	110,00-170,00
19	3,40	7,00	1,013	8,240	120,00-180,00
20	4,30	7,10	0,764	0,987	610,00

3.3.2.4. Parámetros sismológicos por (Gamarra, 2009)

En este trabajo se generan nuevos parámetros sismológicos pero esta vez para las nuevas fuentes definidas en el mismo trabajo de (Gamarra, 2009)

Tabla 3.12 Parámetros sismológicos (Gamarra, 2009)

<i>Fuente</i>	<i>M_w</i>			
	<i>M_{min}</i>	<i>M_{max}</i>	β	<i>Tasa</i>
F1	4.2	8.3	1.492	3.014
F2	4.5	8.2	2.128	4.75
F3	4.6	8.4	1.292	8.683
F4	4.5	8.4	1.672	7.132
F5	4.5	8.4	1.973	8.32
F6	4.4	6.5	2.001	1.104
F7	4.3	7.1	2.22	2.722
F8	4.3	7.1	1.879	3.754
F9	4.5	7.8	2.07	3.591
F10	4.9	7.8	2.022	11.211
F11	4.5	7.5	1.271	4.421
F12	4.1	7.1	1.962	3.099
F13	4.6	7.5	2.079	2.145
F14	4.8	7.3	1.81	4.65
F15	4.4	6.3	2.385	0.782
F16	4.8	6.9	2.977	1.89
F17	4.6	7.5	1.842	1.966
F18	4.6	7.4	1.881	2.22
F19	4.8	7.2	2.45	2.589
F20	4.3	6.9	2.01	1.409

3.3.2.5. Parámetros sismológicos (Cismid, 2011)

Con el fin de evaluar el peligro sísmico probabilista de varios distritos de Lima, el 2011 se dan a conocer una serie de trabajos, que usan nuevos parámetros sismológicos con base en las fuentes de (Gamarra, 2009), aunque se observa que las fuentes están incompletas, esto puede ser debido a que las fuentes faltantes no causan un efecto importante en el lugar de estudio.

Tabla 3.13 Parámetros sinológicos (Cismid, 2011)

<i>FUENTE</i>	<i>M_w</i>			
	<i>M_{min}</i>	<i>M_{max}</i>	<i>BETA</i>	<i>TASA</i>
F3	4.8	8.4	1.273	6.98
F4	4.8	8.4	1.616	5.34
F5	4.8	8.1	2.012	6.59
F8	4.5	7.1	1.837	3.06
F9	4.8	8.3	1.732	2.55
F10	4.9	8.3	2.022	1.121
F12	4.6	7.1	1.911	1.68
F13	4.6	7.5	2.079	2.15
F14	4.8	8.3	1.81	4.65
F 15	4.4	6.3	2.385	0.782
F 16	4.8	6.9	2.977	1.89
F 17	4.6	7.5	1.842	1.97
F 18	4.6	7.4	1.881	2.22
F 19	4.8	7.2	2.45	2.589
F 20	4.3	6.9	2.01	1.409

En el presente trabajo se usaran los parámetros sismológicos desarrollados en (Gamarra, 2009) por ser una de las últimas actualizaciones además, de encontrarse libre y completo para consulta, de preferencia se pudo haber usado las halladas por CISMID en el 2011, pero al no estar estas libres para consulta se optó por (Gamarra, 2009).

3.4. Leyes de Atenuación

Las leyes de atenuación son relaciones basadas en el estudio de la respuesta del suelo y estructuras frente a sismos pasados considerando distancia y magnitud de estos sismos, muchos estudios se han realizado para diversas partes del mundo, en ocasiones es posible aplicar las relaciones de atenuación derivadas un lugar a un lugar diferente pero que tenga características tectónicas parecidas, su aplicabilidad debe ser objeto de estudio.

En la tabla 3.14 se muestra las leyes de atenuación utilizadas en anteriores estudios

Tabla 3.14 Leyes de atenuación utilizadas en anteriores estudios

Investigación por	Subducción	Cortical
	Autor	
Castillo y Alva (1993)	Casaverde y Vargas (1980)	McGuire (1974)
Alva y Escalaya (2003)	*Varios	
Bolaños y Monroy (2004)	Youngs et al (1997)	Sadigh (1997)
Gamarra (2009)	Youngs et al (1997)	Sadigh (1997)
Cismid (2011)	Youngs et al (1997) y Chavez (2006)	Sadigh (1997)

* Idriss, I. M. (1993)
 Sadigh, K. et al. (1993)
 Boore, Joyner y Fumai (1993,4)
 Dahle, A. et al (1995)
 Schmidt, et al. (1997)
 Youngs, et al, (1997) y Campbell, K. (1981)
 Casaverde y Vargas(1980) y R.McGuire (1974)
 Youngs, et al, (1997) y Sadigh,et al. (1997)

En el presente trabajo se usan las relaciones de (Youngs et al, 1997) para subducción y (Sadigh et al, 1997), se decido no utilizar las leyes de atenuación presentadas por (Chavez, 2006), ya que estas están derivadas para suelos del tipo D que significa suelo rígido según la clasificación del IBC.

Se muestra a continuación las leyes de atenuación con las que se trabajara

3.4.1. Ley de atenuación de (Youngs et al, 1997)

Esta ley de atenuación sirve para sismos de subducción de interfase o de intraplaca.

Tabla 3.15 Relación de atenuación y coeficientes de (Youngs et al, 1997) para sismos de subducción

Relaciones de atenuación para la respuesta de aceleración espectral horizontal (5 % de amortiguamiento) para sismos de subducción					
Para Roca					
$\ln(y) = 0.2418 + 1.414 * M + C_1 + C_2 * (10 - M)^3 + C_3 * \ln(r_{rup} + 1.7818 * e^{0.554 * M}) + 0.00607 * H + 0.3846 * Zt$ <i>Desviacion estándar = $C_4 + C_5 * M$</i>					
Periodo (s)	C1	C2	C3	C4	C5
PGA	0	0	-2.552	1.45	-0.1
0.075	1.275	0	-2.707	1.45	-0.1
0.1	1.188	-0.0011	-2.655	1.45	-0.1
0.2	0.722	-0.0027	-2.528	1.45	-0.1
0.3	0.246	-0.0036	-2.454	1.45	-0.1
0.4	-0.115	-0.0043	-2.401	1.45	-0.1
0.5	-0.4	-0.0048	-2.36	1.45	-0.1
0.75	-1.149	-0.0057	-2.286	1.45	-0.1
1	-1.736	-0.0064	-2.234	1.45	-0.1
1.5	-2.634	-0.0073	-2.16	1.5	-0.1
2	-3.328	-0.008	-2.107	1.55	-0.1
3	-4.511	-0.0089	-2.033	1.65	-0.1

Para suelo					
$\ln(y) = -0.6687 + 1.438 * M + C_1 + C_2 * (10 - M)^3 + C_3 * \ln(r_{rup} + 1.097 * e^{0.617 * M}) + 0.00648 * H + 0.3643 * Zt$ <i>Desviacion estándar = $C_4 + C_5 * M$</i>					
Periodo (s)	C1	C2	C3	C4	C5
PGA	0	0	-2.329	1.45	-0.1
0.075	2.4	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.1	2.516	-0.0019	-2.697	1.45	-0.1
0.2	1.549	-0.0019	-2.464	1.45	-0.1
0.3	0.793	-0.002	-2.327	1.45	-0.1
0.4	0.144	-0.002	-2.23	1.45	-0.1
0.5	-0.438	-0.0035	-2.14	1.45	-0.1
0.75	-1.704	-0.0048	-1.952	1.45	-0.1
1	-2.87	-0.0066	-1.785	1.45	-0.1

1.5	-5.101	-0.0114	-1.47	1.5	-0.1
2	-6.433	-0.0164	-1.29	1.55	-0.1
3	-6.672	-0.0221	-1.347	1.65	-0.1
4	-7.618	-0.0235	-1.272	1.65	-0.1

Esta relación de atenuación se encuentra cargada en el programa CRISIS 2007 por defecto.

3.4.2 Ley de atenuación de (Sadigh et al, 1997)

Tabla 3.16 Relación de atenuación de (Sadigh et al, 1997)

Relaciones de atenuación para respuesta horizontal de aceleraciones espectrales con 5% de amortiguamiento para sitios de roca							
$\ln(y) = C_1 + C_2 * M + C_3 * (8.5 - M)^{2.5} + C_4 * \ln(r_{rup} + e^{C_5 + C_6 * M}) + C_7 * \ln(r_{rup} + 2)$							
Periodo(s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Para $M \leq 6.5$							
PGA	-0.624	1	0	-2.1	1.29649	0.25	0
0.07	0.11	1	0.006	-2.128	1.29649	0.25	-0.082
0.1	0.275	1	0.006	-2.148	1.29649	0.25	-0.041
0.2	0.153	1	-0.004	-2.08	1.29649	0.25	0
0.3	-0.057	1	-0.017	-2.028	1.29649	0.25	0
0.4	-0.298	1	-0.028	-1.99	1.29649	0.25	0
0.5	-0.588	1	-0.04	-1.945	1.29649	0.25	0
0.75	-1.208	1	-0.05	-1.865	1.29649	0.25	0
1	-1.705	1	-0.055	-1.8	1.29649	0.25	0
1.5	-2.407	1	-0.065	-1.725	1.29649	0.25	0
2	-2.945	1	-0.07	-1.67	1.29649	0.25	0
3	-3.7	1	-0.08	-1.61	1.29649	0.25	0
4	-4.23	1	-0.1	-1.57	1.29649	0.25	0
Para $M > 6.5$							
PGA	-1.274	1.1	0	-2.1	-0.48451	0.524	0
0.07	-0.54	1.1	0.006	-2.128	-0.48451	0.524	-0.082
0.1	-0.375	1.1	0.006	-2.148	-0.48451	0.524	-0.041
0.2	-0.497	1.1	-0.004	-2.08	-0.48451	0.524	0
0.3	-0.707	1.1	-0.017	-2.028	-0.48451	0.524	0
0.4	-0.948	1.1	-0.028	-1.99	-0.48451	0.524	0
0.5	-1.238	1.1	-0.04	-1.945	-0.48451	0.524	0
0.75	-1.858	1.1	-0.05	-1.865	-0.48451	0.524	0
1	-2.355	1.1	-0.055	-1.8	-0.48451	0.524	0
1.5	-3.057	1.1	-0.065	-1.725	-0.48451	0.524	0

2	-3.595	1.1	-0.07	-1.67	-0.48451	0.524	0
3	-4.35	1.1	-0.08	-1.61	-0.48451	0.524	0
4	-4.88	1.1	-0.1	-1.57	-0.48451	0.524	0

Tabla 3.17 Dispersiones de las pseudoaceleraciones para la ley de (Sadigh et al, 1997)

Dispersión para relaciones para movimiento horizontal en roca		
Periodo	M<7.21	M>=7.21
PGA	1.39-0.14M	0.38
0.07	1.40-0.14M	0.39
0.1	1.41 -0.14M	0.4
0.2	1.43-0.14M	0.42
0.3	1.45-0.14M	0.44
0.4	1.48-0.14M	0.47
0.5	1.50-0.14M	0.49
0.75	1.52-0.14M	0.51
1	1.53-0.14M	0.52
>1.00	1.53-0.14M	0.52

3.5. Evaluación y resultado

Se evaluó el peligro sísmico, con las siguientes consideraciones, vistas en las secciones anteriores.

1. Mapa departamental del Perú.
2. Fuentes sismogénicas definidas por (Gamarra, 2009).
3. Parámetros sismológicos definidos por (Gamarra, 2009).
4. Ley de atenuación de (Young et al, 1997) para roca y sismos de interplaca e intraplaca.
5. Ley de atenuación de (Sadigh et al, 1997) para roca y sismos de corteza superficial.
6. Para los siguientes periodos estructurales (en segundos):

Tabla 3.18 Periodos estructurales escogidos para la evaluación de peligro sísmico.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
T	0	0.07	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4

7. Se pidieron respuestas para intensidades de aceleración espectral entre 1 y 2000 gals
8. Para varios periodos de retorno

Tabla 3.19 Periodos de retorno escogidos.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tr	5	10	25	50	100	250	500	1000	43	72	475	970

La presentación de estos datos a sido desarrollada en las anteriores secciones 3.2 y 3.3

3.5.1 Datos necesarios para el ingreso en el programa

- a) Mapa del lugar de estudio en formato Shape (*.shp)
- b) Coordenadas (latitud, longitud) de los lugares en los que se va evaluar el peligro sísmico en formato de texto (*.asc).
- c) Geometría de las fuentes sismogénicas (latitud, longitud y profundidad).
- d) Sismicidad de las fuentes (M min, M max, beta, tasa de variación).
- e) Leyes de atenuación (Sa(M,R)).

a) Mapa del lugar de estudio en formato Shape (*.shp)

Se requiere un mapa georreferenciado en formato shape o *.shp

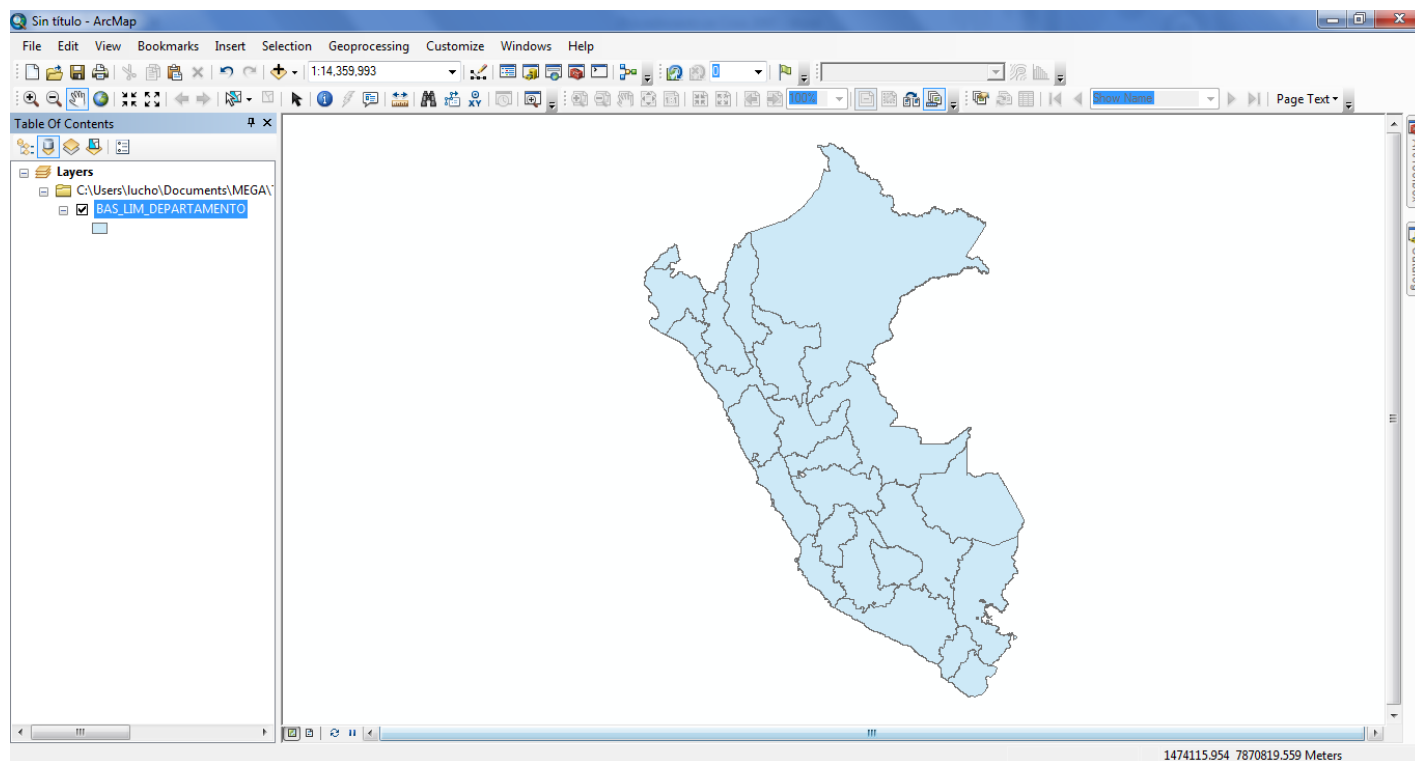


Figura 3.24 Mapa departamental del Perú en formato shape vista en ArcMap (ArcGis 10.2.2 Desktop)

Fuente: Inei – servidor MINAM (Ministerio del Ambiente)

http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/archivos/download/Limite_departamental.rar

b) Coordenadas de los lugares de estudio

En la sección 1.6 se definieron los lugares de estudio:

- a) La ciudad de Arequipa
- b) Pueblo de Cabanaconde

Tabla 3.20 Coordenadas de los lugares de estudio para el ingreso de datos en CRISIS 2007

	Departamento	Ciudad	Sexagesimal		Decimal	
			Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
1	Arequipa	Arequipa	16°24'03"	71°32' 16"	-71.5378	-16.4008
2	Arequipa	Cabanaconde	71°58'47"	15°37'17"	-71.9797	-15.6214

Se escriben las coordenadas en un documento de texto que debe ser guardado con formato *.asc

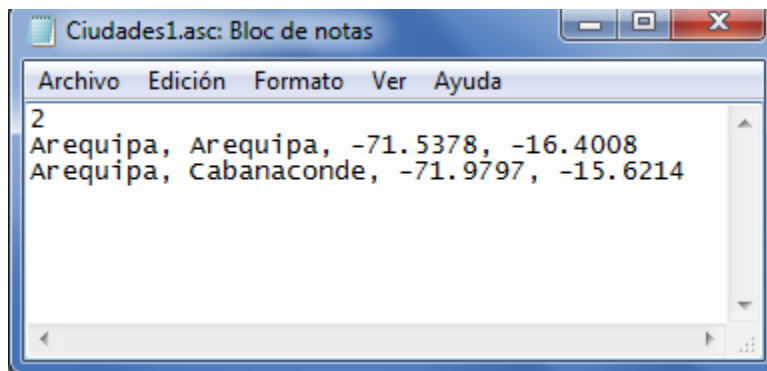


Figura 3.25 Block de notas mostrando la manera de entrar datos de localizaciones de estudios

c) Geometría de las fuentes sismogénicas

Para el presente trabajo se escogieron las fuentes delimitadas por (Gamarra, 2009) estas se muestran en la sección 3.3.2.4.

d) Sismicidad de las fuentes

Se usaron los parámetros sinológicos de (Gamarra, 2009) que se muestran en la sección 3.3.2.4.

e) Leyes de atenuación

Las leyes de atenuación escogidas son (Young et al, 1997) para fuentes de subducción y (Sadigh et al, 1997) para fuentes corticales estas se muestran en la sección 3.4.

3.5.2 Procedimiento de entrada de datos y evaluación

El programa CRISIS 2007 es de código abierto y puede ser obtenido de forma gratuita en el siguiente enlace:

<http://www.ecapra.org/es/crisis-2007>

El procedimiento consiste en ingresar todos los datos obtenidos en la sección 3.3.1.2, 3.3.2.4, 3.4.1 y 3.4.2 para ello abrimos el programa



CRISIS 2007

Figura 3.26 Icono del programa CRISIS 2007

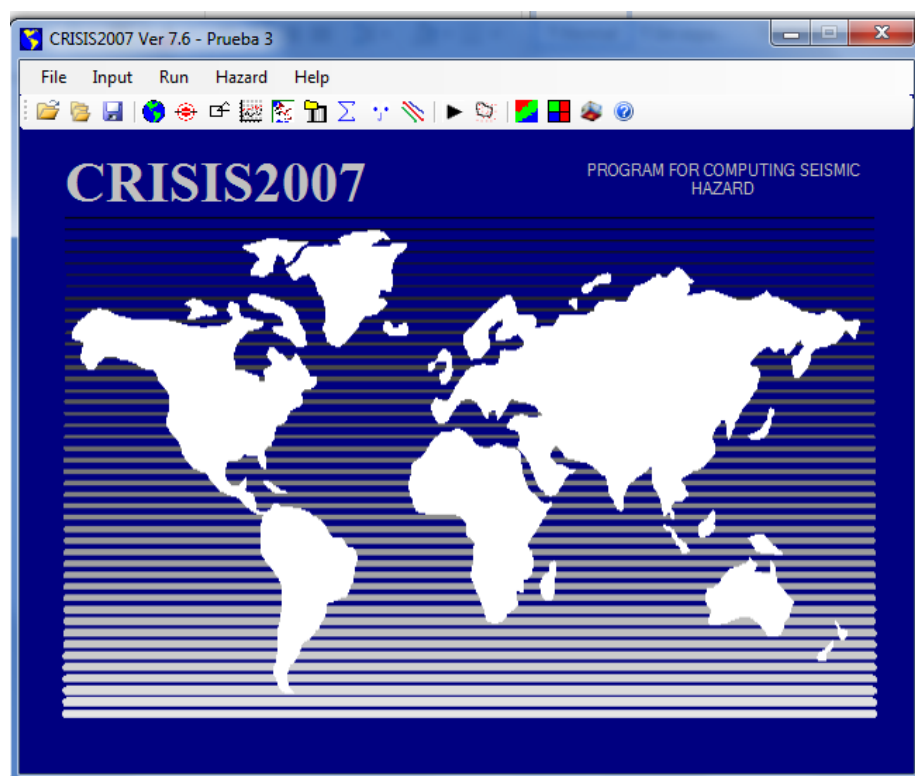


Figura 3.27 Pantalla de inicio del programa CRISIS 2007

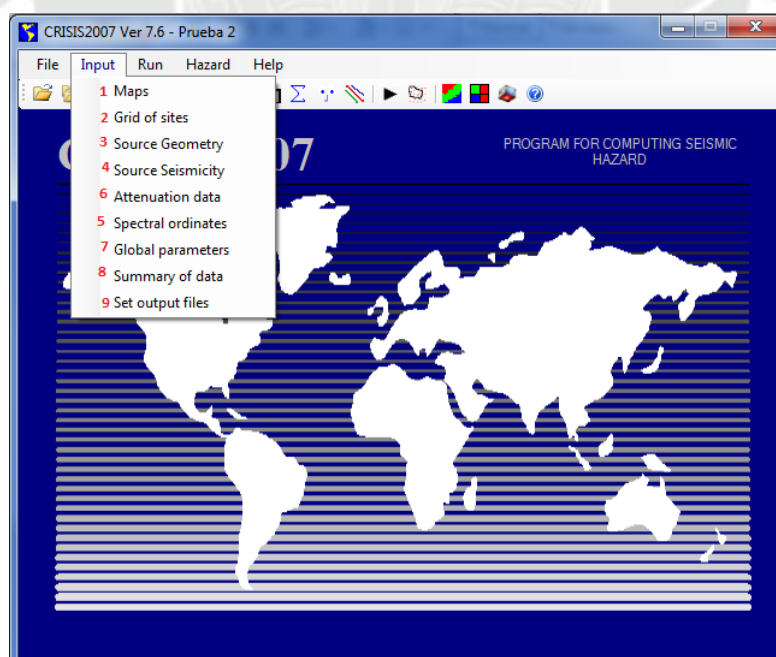


Figura 3.28 Pantalla de entrada de datos con pasos a seguir en letras rojas

1. Se coloca el mapa en formato *.shp y las coordenadas en formato *.asc en el espacio mapas que se muestra en la figura 3.29.

Se debe tener cuidado de observar que el sistema de coordenadas de las ciudades concuerde con el sistema de coordenadas del mapa en este caso grados sexagesimales (se observan las ciudades Arequipa y Cabanaconde dentro del mapa en la región Arequipa

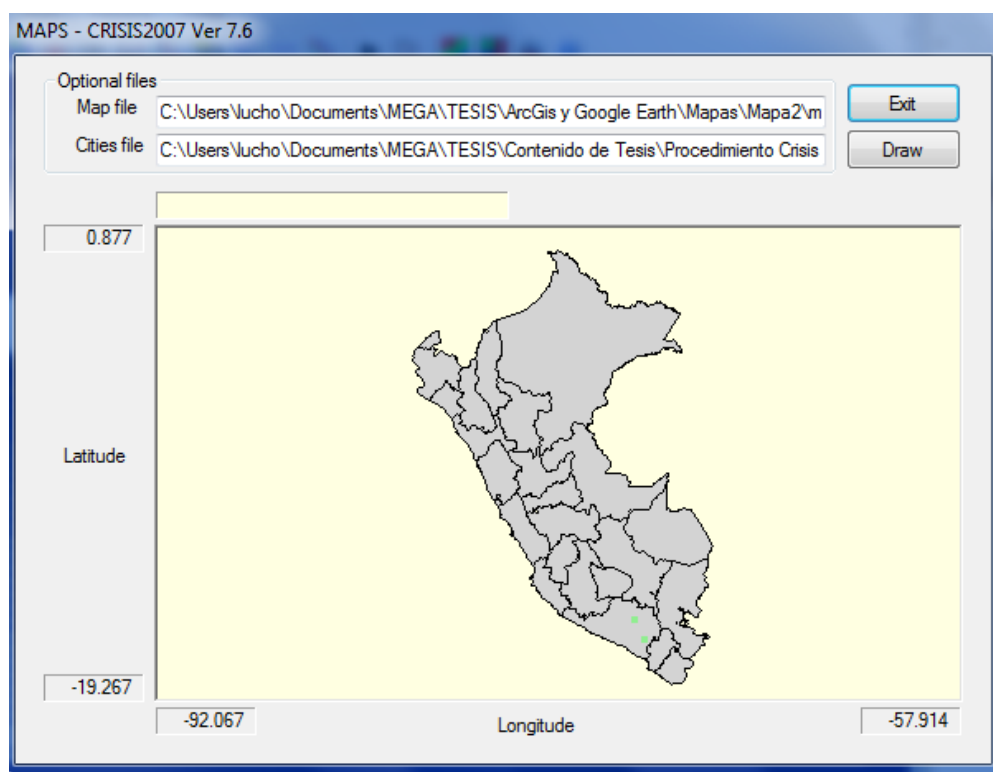


Figura 3.29 Mapa del Perú con divisiones departamentales en el programa CRISIS 2007

Se delimita el área de influencia, en la que un sismo podría causar efectos al sitio de estudio.

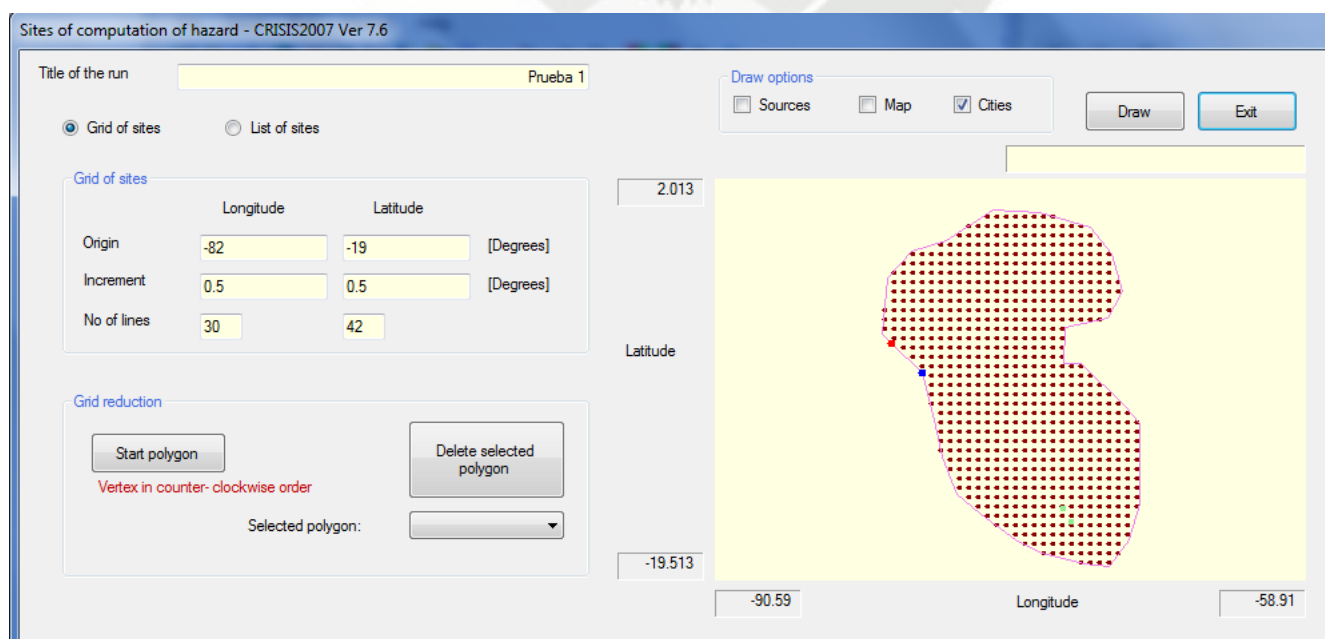


Figura 3.30 Delimitación del área de influencia por medio de coordenadas

- Se ingresan los datos de geometría de las fuentes definidas en la sección 3.3.1.2 según el trabajo de (Gamarra. 2009) los datos a llenar son: Latitud, longitud y profundidad

GEOMETRY OF THE SEISMIC SOURCES - CRISIS2007 Ver 7.6

Name: Fuente 1

Total sources: 20

Active source: 1

Source type: ☒ Area ☐ Fault ☐ Point ☒ Source is alive

Vertex in counter-clockwise order (area source)

Vertex: 5

Export SHP Import SHP

Longitude	Latitude	Depth
-80.323	2	25
-78.408	2	60
-80.044	-2.448	60
-81.284	-2.448	25
-81.284	-0.595	25

Rupture radius (km)

$R = K1 * \exp (K2 * M)$

K1: 0.003809

K2: 1.1513

Choose

Draw options: ☐ Trian ☐ Grid ☒ Cities ☒ Map

Sources to draw: ☒ Active ☐ Selection ☐ Range Start: End:

Done Draw

Long-Lat plane Several planes

Latitude: 2.46

Longitude: -87.285 -65.537

Latitude: -16.861

Figura 3.31 Pantalla de ingreso de coordenadas (latitud, longitud, profundidad) de los vértices de las fuentes sismogénicas.

Se continúa fuente por fuente hasta completar las 20 fuentes.

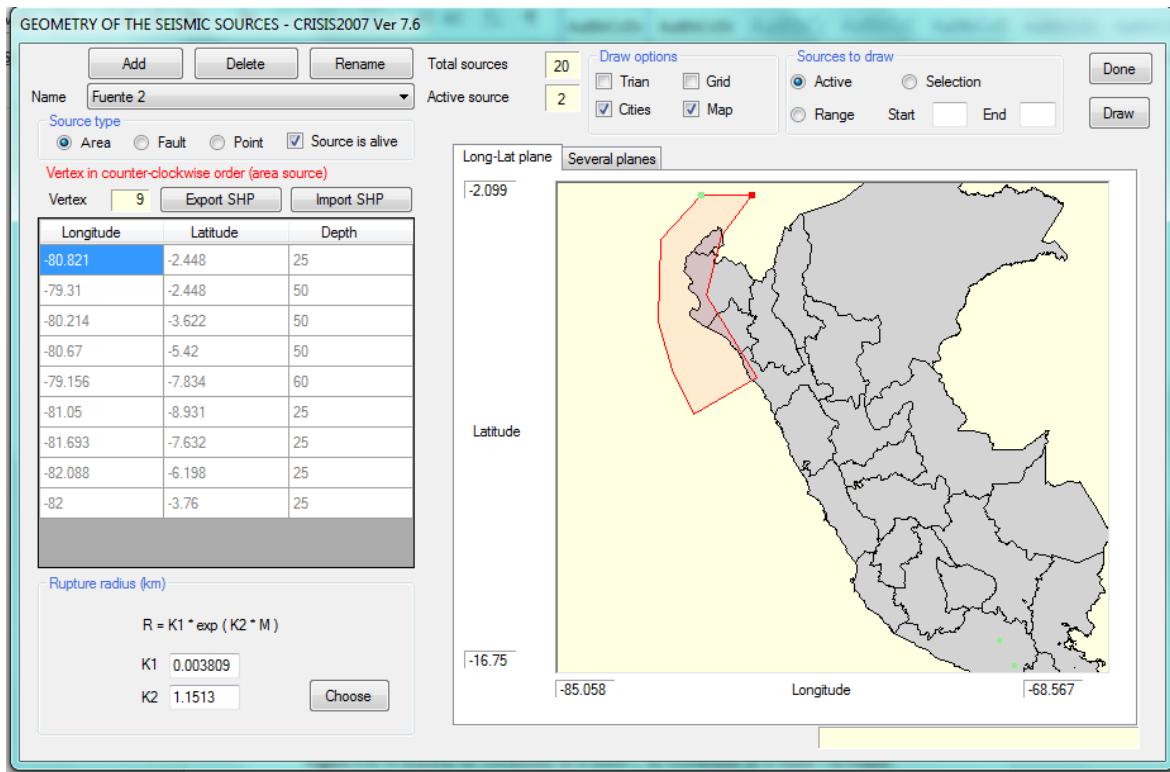


Figura 3.32 Se muestran las coordenadas de la fuente 2.

- Se llenan los datos de parametros sismologicos para cada fuente los datos a llenar son: Magnitud minima “Mo”, Lambda, valor esperado de beta “ β ” y Magnitud maxima.

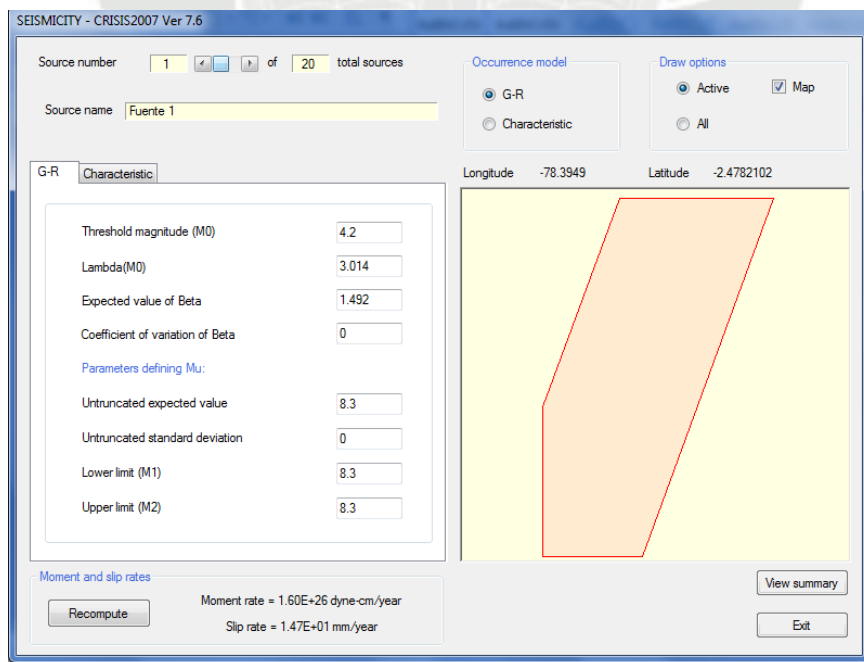


Figura 3.33 Ingreso de datos de parámetros sismológicos de la fuente 1

SEISMICITY - CRISIS2007 Ver 7.6

Source number of total sources

Source name

Occurrence model
☒ G-R
☐ Characteristic

Draw options
☒ Active
☒ Map
☐ All

Longitude Latitude

G-R ☒ Characteristic

Threshold magnitude (M0)
 Lambda(M0)
 Expected value of Beta
 Coefficient of variation of Beta
 Parameters defining Mu:
 Untruncated expected value
 Untruncated standard deviation
 Lower limit (M1)
 Upper limit (M2)

Moment and slip rates
 Moment rate = $6.45E+25$ dyne-cm/year
 Slip rate = $4.31E+00$ mm/year

View summary
Exit

SEISMICITY - CRISIS2007 Ver 7.6

Source number of total sources

Source name

Occurrence model
☒ G-R
☐ Characteristic

Draw options
☒ Active
☒ Map
☐ All

Longitude Latitude

G-R ☒ Characteristic

Threshold magnitude (M0)
 Lambda(M0)
 Expected value of Beta
 Coefficient of variation of Beta
 Parameters defining Mu:
 Untruncated expected value
 Untruncated standard deviation
 Lower limit (M1)
 Upper limit (M2)

Moment and slip rates
 Moment rate = $1.72E+27$ dyne-cm/year
 Slip rate = $1.02E+02$ mm/year

View summary
Exit

Figura 3.34 Ingreso de datos de parámetros sismológicos de la fuente 2 y 3

4. Se ingresan las ordenadas espectrales en este caso se piden los datos para periodos estructurales de $T=0s$, $0.05s$, $0.1s$, $0.15s$, $0.3s$, $0.5s$, $1s$, $2s$, $3s$, y $4s$; también se piden respuesta de aceleraciones espectrales en un rango de 1 a 2000 gals.

Figura 3.35 Ingreso de datos de ordenadas espectrales

5. Se escogen las relaciones o leyes de atenuación en este caso el programa viene cargado con la ley de (Young et al, 1997) para interface e intraplaca, para suelo y roca pero la ley de (Sadigh, 1997) no se encuentra así que es necesario crearla en un archivo de texto.

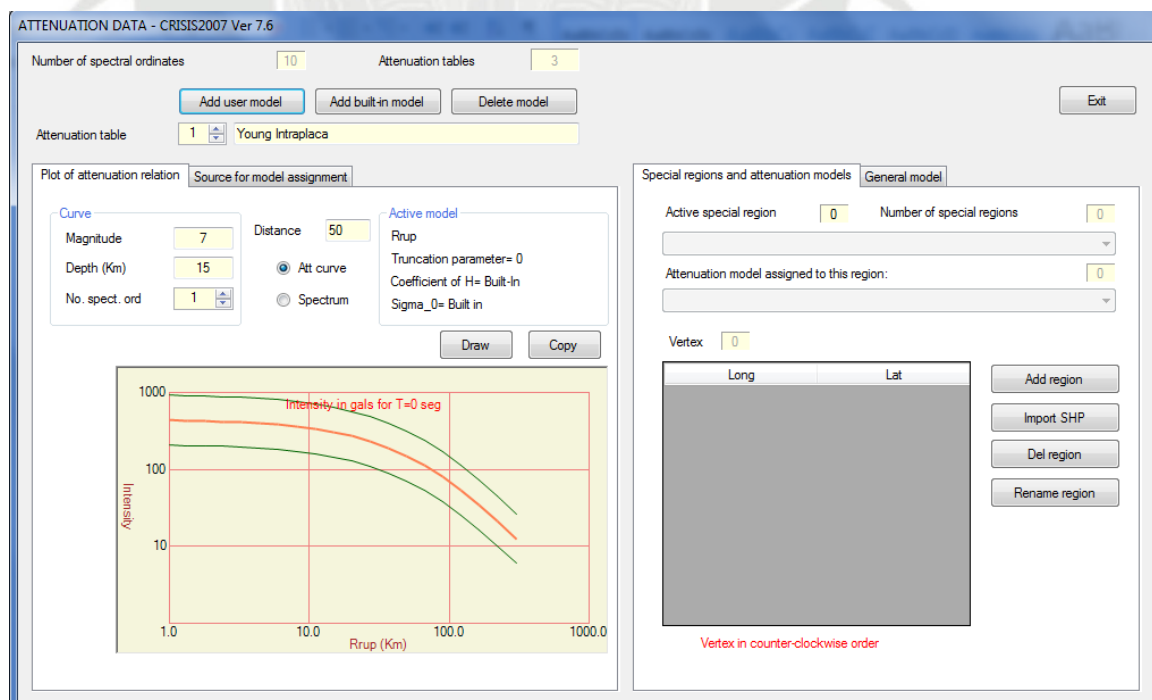


Figura 3.36 Ley de atenuación de Young graficada para intraplaca y roca

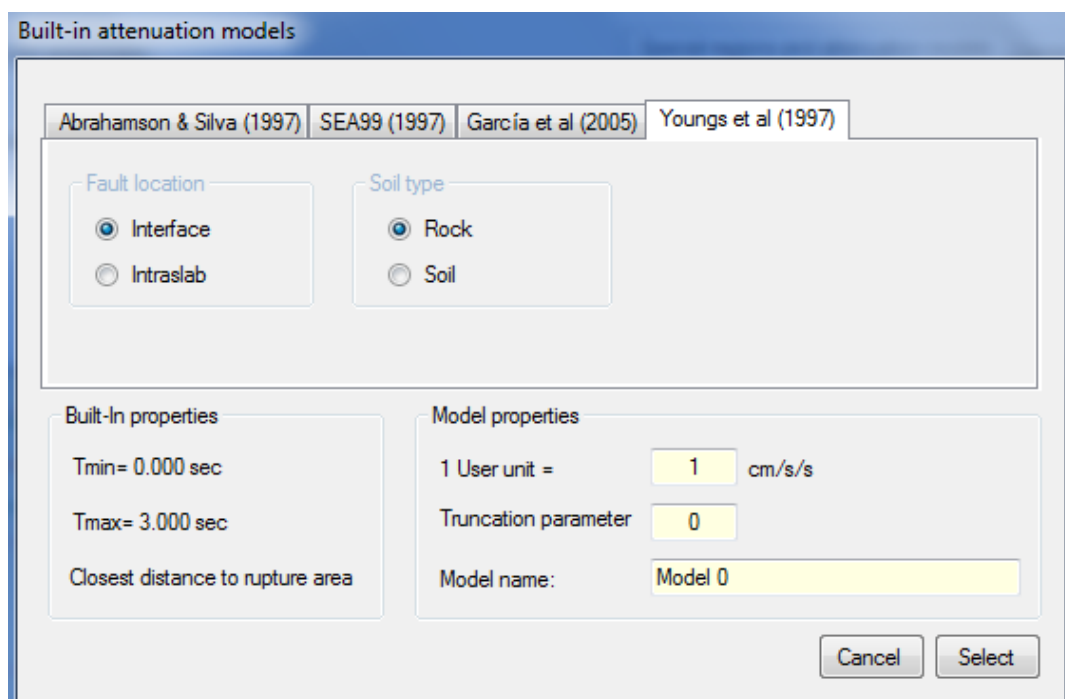


Figura 3.37 Ventana para escoger una ley de atenuación cargada previamente en el programa CRISIS 2007, se muestran las opciones adicionales al escoger la relación de atenuación propuesta por (Young et al, 1997)

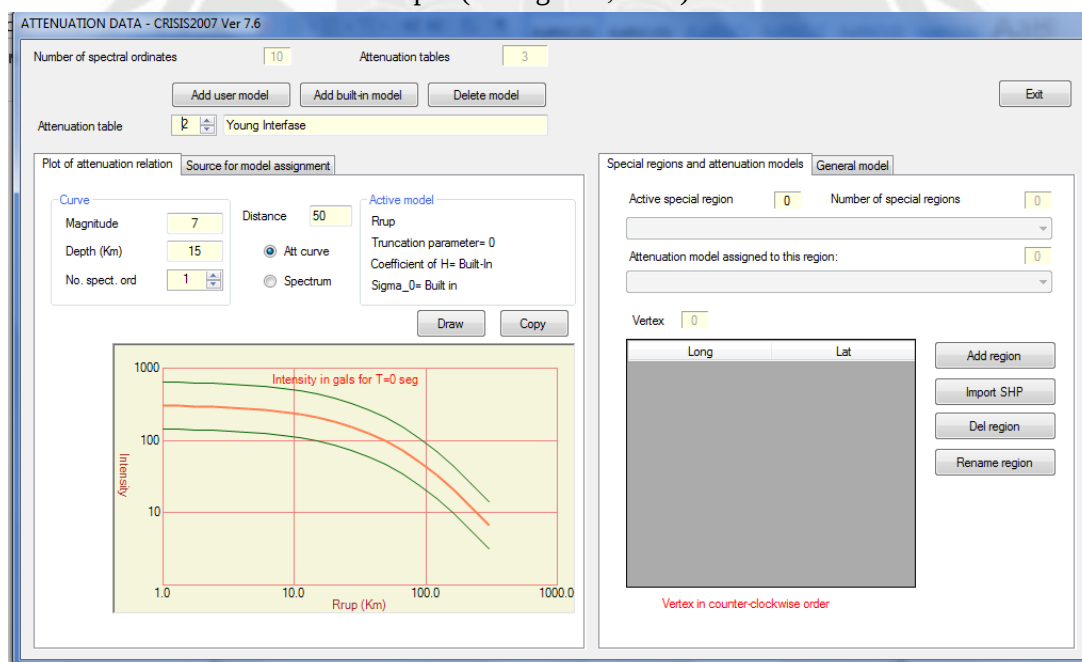


Figura 3.38 Se muestra la gráfica de la ley de atenuación de (Young et al, 1997) para fuentes de subducción de interfase

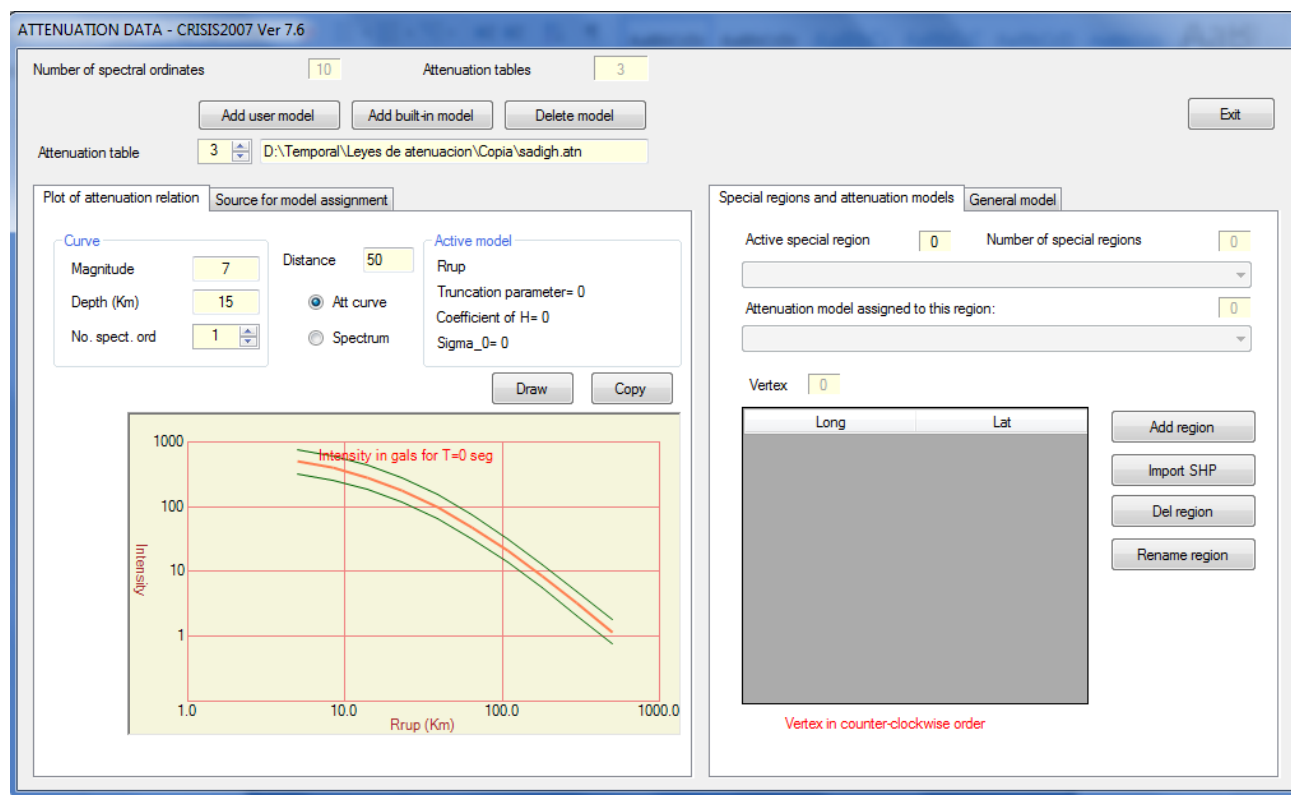


Figura 3.39 Grafica de la ley de atenuación de (Sadigh et al, 1997) extraída de un documento de texto ajeno al programa CRISIS 2007

Se asigna un tipo de ley de atenuación según las características de cada fuente sísmogénica

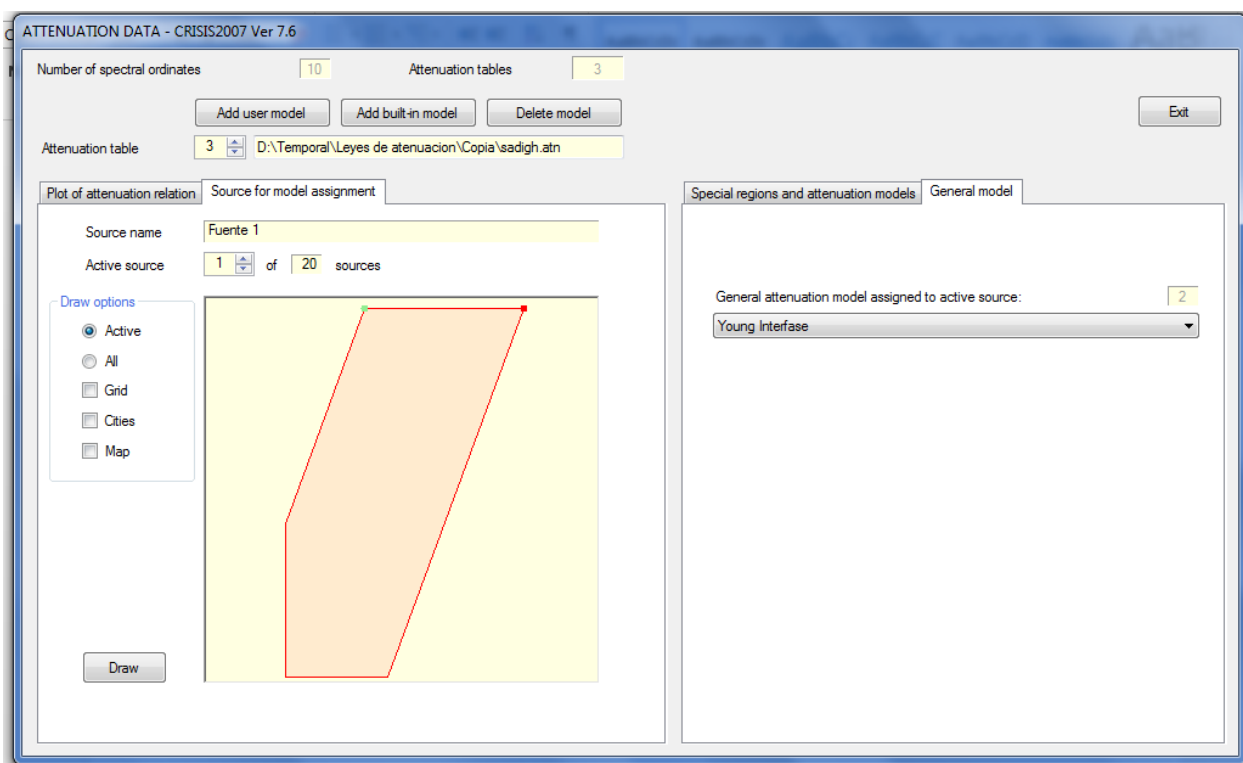


Figura 3.40 Asignación de la ley de atenuación de (Young et al, 1997) para fuentes de subducción de interface a la fuente 1

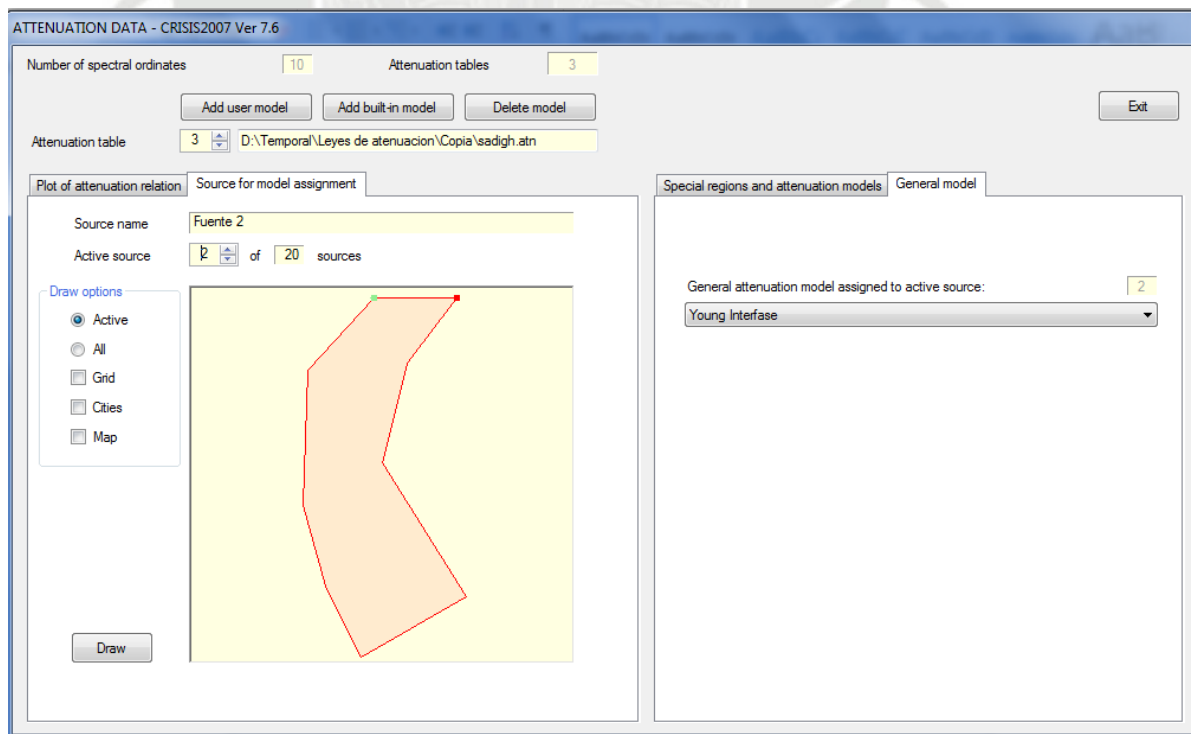


Figura 3.41 Asignación de la ley de atenuación de (Young et al, 1997) para fuentes de subducción de interface a la fuente 2

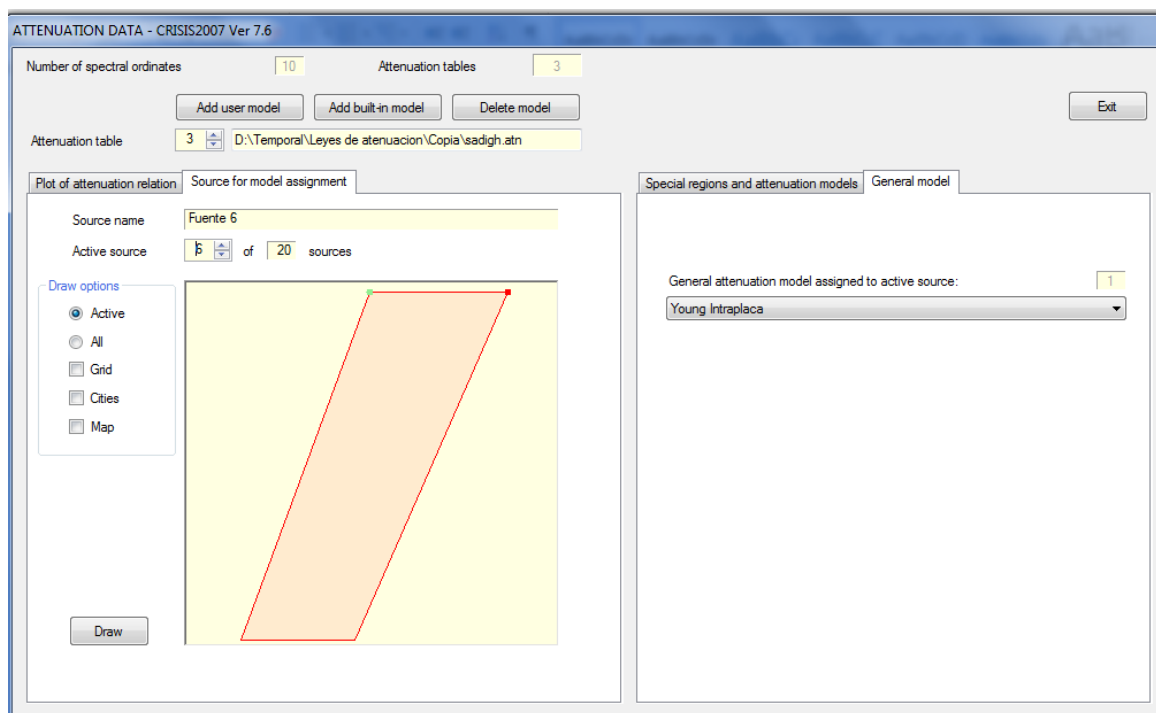


Figura 3.42 Asignación de la ley de atenuación de (Young et al, 1997) para fuentes de subducción de intraplaca a la fuente 6

Parámetros globales: Se coloca la distancia máxima a la que se considera que la ocurrencia de un sismo podría tener algún efecto en el lugar de estudio, también se dejan por defecto las medidas de integración para los triángulos que usara el algoritmo del programa, los periodos de retorno a los cuales se calculara el peligro sísmico y por último el tipo de distancia con la cual se va a trabajar en este caso la más cercana al área de ruptura

GLOBAL PARAMETERS - CRISIS2007 Ver 7.6

Integration parameters

Maximum integration distance km

Minimum triangle size km

Minimum Distance/Triangle Size ratio

Fixed return periods

First return period years

Second return period years

Third return period years

Fourth return period years

Fifth return period years

Distance for deaggregation

☐ Focal

☐ Epicentral

☐ Joyner and Boore

☒ Closest to rupture area

Exit

Figura 3.43 Ventana de parámetros globales

Resumen de las fuentes: se muestra una ventana en la cual se resumen los datos antes colocados: coordenadas de vértices de las fuentes, sismicidad, tipo de ley de atenuación asignada; esto sirve para la verificación y/o corrección de datos.

SUMMARY OF THE SOURCES - CRISIS2007 Ver 7.6

Source number ☐ Active

Source Name Vertex

General attenuation model

Longitude	Latitude	Depth (km)
-80.821	-2.448	25
-79.31	-2.448	50
-80.214	-3.622	50
-80.67	-5.42	50

Poisson Model

M0

Lambda(M0)

E(Beta)

c(Beta)

E(Mu)

Sigma(Mu)

M1

M2

Draw options

☒ Active ☐ All ☒ Map ☒ Cities

Area source

Exit

SUMMARY OF THE SOURCES - CRISIS2007 Ver 7.6

Source number ☐ Active

Source Name Vertex

General attenuation model

Longitude	Latitude	Depth (km)
-81.05	-8.931	30
-77.028	-14.811	30
-75.998	-13.999	75
-79.156	-7.824	75

Poisson Model

M0

Lambda(M0)

E(Beta)

c(Beta)

E(Mu)

Sigma(Mu)

M1

M2

Draw options

☒ Active ☐ All ☒ Map ☒ Cities

Area source

Exit

Figura 3.44 Resumen de datos de las fuentes sismogénicas 2 y 3

3.5.3. Resultados en programa CRISIS 2007

El primer resultado es un mapa de intensidad de aceleración espectral como se observa en la figura 4.5.1, su magnitud puede ser observada por medio de una escala de colores que se muestra a la derecha, adicionalmente se tiene la opción de extraer la aceleración espectral de los puntos evaluados mas 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.

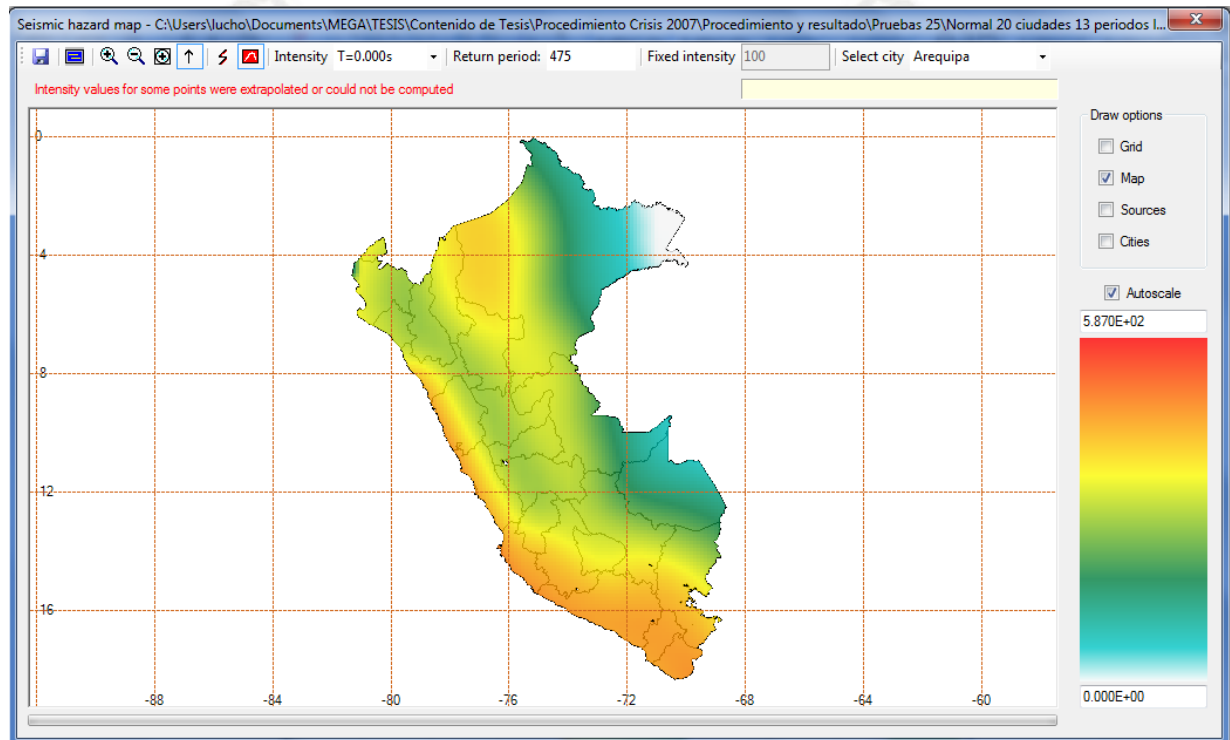


Figura 3.45 Mapa de intensidades de aceleración espectral para $T = 0s$ y $Tr = 475$ años

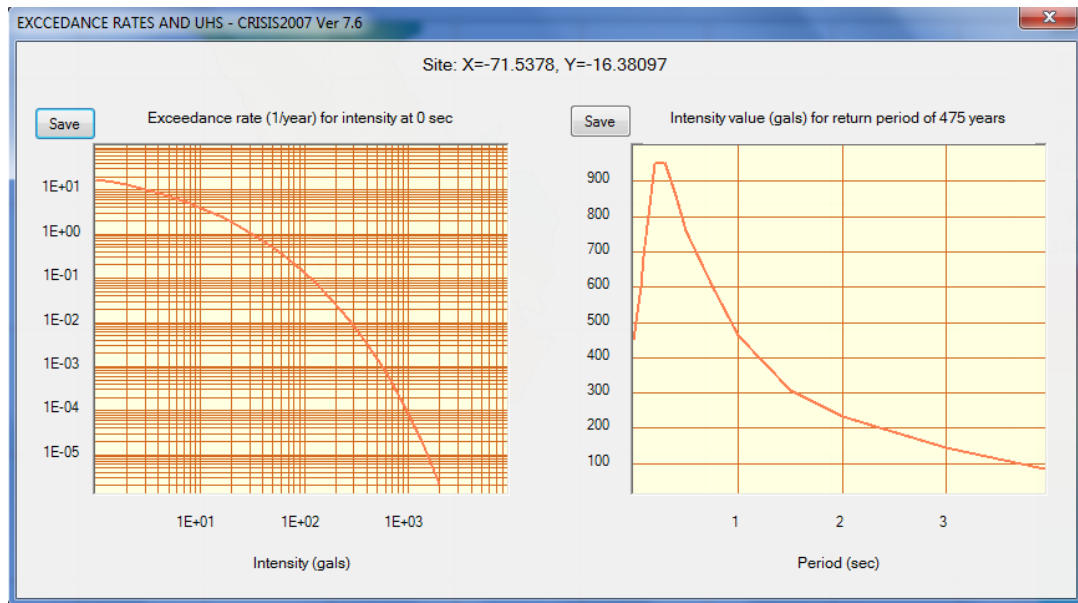


Figura 3.46 A la izquierda curva de peligro sísmico para $T = 0s$, a la derecha espectro de peligro uniforme para $Tr = 475$ años para Arequipa

Con los datos proporcionados es posible obtener del programa CRISIS 2007 curvas de peligro sísmico para los 13 periodos mencionados anteriormente para cada lugar establecido.

3.5.3.1 Curvas de peligro sísmico

El resultado más importante de la evaluación son las curvas de peligro sísmico, que nos muestran la tasa de probabilidad de que algún valor en este caso de aceleración espectral exceda un valor establecido un desarrollo teórico se puede encontrar en la sección 3.1.

En la Tabla 3.21 se muestran valores de tasa de excedencia anual para varias intensidades y periodos, para la ciudad de Arequipa, y en la tabla 3.22 para Cabanaconde.

Tabla 3.21 Valores de tasa de excedencia anual para las curvas de peligro uniforme para Arequipa

Aceleración espectral en gals	PERIODO (s)												
	0	0.07	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4
1.000	1.76E+01	1.92E+01	1.99E+01	2.12E+01	2.05E+01	1.97E+01	1.86E+01	1.62E+01	1.38E+01	8.93E+00	5.52E+00	2.55E+00	1.50E+00
1.492	1.49E+01	1.64E+01	1.72E+01	1.86E+01	1.80E+01	1.72E+01	1.60E+01	1.37E+01	1.13E+01	6.77E+00	3.97E+00	1.77E+00	1.02E+00
2.226	1.23E+01	1.37E+01	1.44E+01	1.60E+01	1.55E+01	1.47E+01	1.35E+01	1.12E+01	8.97E+00	4.95E+00	2.78E+00	1.21E+00	6.78E-01
3.321	9.72E+00	1.10E+01	1.17E+01	1.33E+01	1.29E+01	1.22E+01	1.10E+01	8.90E+00	6.85E+00	3.48E+00	1.89E+00	8.14E-01	4.41E-01
4.954	7.40E+00	8.50E+00	9.21E+00	1.08E+01	1.05E+01	9.82E+00	8.67E+00	6.79E+00	5.00E+00	2.36E+00	1.26E+00	5.35E-01	2.79E-01
7.391	5.37E+00	6.32E+00	6.95E+00	8.43E+00	8.21E+00	7.61E+00	6.56E+00	4.95E+00	3.48E+00	1.54E+00	8.16E-01	3.43E-01	1.71E-01
11.026	3.68E+00	4.47E+00	5.00E+00	6.31E+00	6.16E+00	5.64E+00	4.73E+00	3.43E+00	2.31E+00	9.79E-01	5.16E-01	2.13E-01	9.99E-02
16.450	2.38E+00	3.00E+00	3.43E+00	4.51E+00	4.40E+00	3.97E+00	3.24E+00	2.26E+00	1.46E+00	6.00E-01	3.17E-01	1.27E-01	5.51E-02
24.542	1.43E+00	1.90E+00	2.21E+00	3.05E+00	2.98E+00	2.64E+00	2.10E+00	1.41E+00	8.79E-01	3.55E-01	1.87E-01	7.20E-02	2.83E-02
36.614	8.04E-01	1.12E+00	1.35E+00	1.94E+00	1.89E+00	1.65E+00	1.28E+00	8.29E-01	5.06E-01	2.01E-01	1.05E-01	3.83E-02	1.33E-02
54.624	4.18E-01	6.21E-01	7.63E-01	1.16E+00	1.13E+00	9.69E-01	7.39E-01	4.64E-01	2.77E-01	1.08E-01	5.48E-02	1.88E-02	5.65E-03
81.493	2.00E-01	3.18E-01	4.02E-01	6.49E-01	6.33E-01	5.32E-01	4.00E-01	2.45E-01	1.43E-01	5.33E-02	2.63E-02	8.35E-03	2.12E-03
121.580	8.70E-02	1.50E-01	1.95E-01	3.37E-01	3.30E-01	2.72E-01	2.03E-01	1.20E-01	6.79E-02	2.39E-02	1.13E-02	3.31E-03	6.94E-04
181.380	3.37E-02	6.38E-02	8.63E-02	1.62E-01	1.59E-01	1.28E-01	9.46E-02	5.41E-02	2.91E-02	9.38E-03	4.22E-03	1.15E-03	1.96E-04
270.610	1.13E-02	2.41E-02	3.41E-02	7.06E-02	6.97E-02	5.49E-02	3.99E-02	2.17E-02	1.08E-02	3.15E-03	1.35E-03	3.48E-04	4.73E-05
403.720	3.21E-03	7.85E-03	1.17E-02	2.74E-02	2.73E-02	2.07E-02	1.48E-02	7.44E-03	3.38E-03	8.76E-04	3.61E-04	9.00E-05	9.65E-06
602.300	7.42E-04	2.14E-03	3.40E-03	9.20E-03	9.21E-03	6.72E-03	4.63E-03	2.12E-03	8.57E-04	1.98E-04	7.94E-05	1.98E-05	1.66E-06
898.570	1.37E-04	4.76E-04	8.12E-04	2.59E-03	2.61E-03	1.81E-03	1.19E-03	4.86E-04	1.71E-04	3.55E-05	1.42E-05	3.67E-06	2.38E-07
1340.600	1.97E-05	8.39E-05	1.55E-04	5.93E-04	6.00E-04	3.91E-04	2.45E-04	8.74E-05	2.63E-05	5.01E-06	2.04E-06	5.69E-07	2.84E-08
2000.000	2.17E-06	1.15E-05	2.33E-05	1.08E-04	1.10E-04	6.67E-05	3.92E-05	1.21E-05	3.06E-06	5.47E-07	2.34E-07	7.37E-08	2.81E-09

Tabla 3.22 Valores de tasa de excedencia anual para las curvas de peligro uniforme para Arequipa

Aceleración espectral en gals	PERIODO (s)												
	0	0.07	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4
1.000	1.75E+01	1.92E+01	2.00E+01	2.12E+01	2.04E+01	1.96E+01	1.84E+01	1.60E+01	1.36E+01	8.58E+00	5.21E+00	2.39E+00	1.40E+00
1.492	1.47E+01	1.64E+01	1.72E+01	1.86E+01	1.79E+01	1.71E+01	1.59E+01	1.35E+01	1.11E+01	6.45E+00	3.73E+00	1.66E+00	9.49E-01
2.226	1.21E+01	1.35E+01	1.43E+01	1.59E+01	1.53E+01	1.45E+01	1.33E+01	1.10E+01	8.72E+00	4.67E+00	2.59E+00	1.13E+00	6.30E-01
3.321	9.51E+00	1.08E+01	1.16E+01	1.32E+01	1.28E+01	1.21E+01	1.08E+01	8.68E+00	6.59E+00	3.26E+00	1.76E+00	7.56E-01	4.09E-01
4.954	7.18E+00	8.28E+00	9.01E+00	1.06E+01	1.03E+01	9.66E+00	8.46E+00	6.56E+00	4.76E+00	2.19E+00	1.17E+00	4.95E-01	2.58E-01
7.391	5.16E+00	6.08E+00	6.73E+00	8.25E+00	8.04E+00	7.43E+00	6.34E+00	4.73E+00	3.28E+00	1.43E+00	7.55E-01	3.16E-01	1.57E-01
11.026	3.50E+00	4.25E+00	4.79E+00	6.12E+00	5.98E+00	5.46E+00	4.52E+00	3.24E+00	2.15E+00	9.02E-01	4.76E-01	1.95E-01	9.09E-02
16.450	2.23E+00	2.81E+00	3.24E+00	4.32E+00	4.22E+00	3.80E+00	3.06E+00	2.10E+00	1.35E+00	5.51E-01	2.91E-01	1.16E-01	4.98E-02
24.542	1.32E+00	1.75E+00	2.06E+00	2.89E+00	2.82E+00	2.49E+00	1.96E+00	1.30E+00	8.05E-01	3.24E-01	1.71E-01	6.53E-02	2.54E-02
36.614	7.32E-01	1.02E+00	1.23E+00	1.81E+00	1.77E+00	1.54E+00	1.18E+00	7.58E-01	4.60E-01	1.83E-01	9.49E-02	3.44E-02	1.18E-02
54.624	3.75E-01	5.56E-01	6.89E-01	1.07E+00	1.04E+00	8.90E-01	6.72E-01	4.20E-01	2.50E-01	9.68E-02	4.93E-02	1.67E-02	4.96E-03
81.493	1.77E-01	2.81E-01	3.57E-01	5.88E-01	5.74E-01	4.82E-01	3.60E-01	2.19E-01	1.27E-01	4.75E-02	2.34E-02	7.36E-03	1.84E-03
121.580	7.60E-02	1.30E-01	1.71E-01	3.01E-01	2.95E-01	2.43E-01	1.80E-01	1.07E-01	6.00E-02	2.10E-02	9.92E-03	2.89E-03	5.99E-04
181.380	2.90E-02	5.48E-02	7.45E-02	1.42E-01	1.40E-01	1.13E-01	8.32E-02	4.74E-02	2.54E-02	8.16E-03	3.67E-03	9.98E-04	1.68E-04
270.610	9.62E-03	2.04E-02	2.90E-02	6.13E-02	6.08E-02	4.77E-02	3.46E-02	1.87E-02	9.31E-03	2.70E-03	1.16E-03	2.99E-04	4.03E-05
403.720	2.68E-03	6.55E-03	9.80E-03	2.34E-02	2.34E-02	1.78E-02	1.26E-02	6.33E-03	2.87E-03	7.45E-04	3.09E-04	7.68E-05	8.19E-06
602.300	6.11E-04	1.76E-03	2.80E-03	7.75E-03	7.79E-03	5.67E-03	3.90E-03	1.78E-03	7.18E-04	1.67E-04	6.76E-05	1.68E-05	1.40E-06
898.570	1.11E-04	3.84E-04	6.58E-04	2.15E-03	2.17E-03	1.50E-03	9.90E-04	4.04E-04	1.42E-04	2.98E-05	1.21E-05	3.11E-06	2.01E-07
1340.600	1.58E-05	6.66E-05	1.24E-04	4.85E-04	4.94E-04	3.21E-04	2.01E-04	7.19E-05	2.17E-05	4.20E-06	1.73E-06	4.81E-07	2.40E-08
2000.000	1.72E-06	9.02E-06	1.82E-05	8.70E-05	8.88E-05	5.41E-05	3.18E-05	9.83E-06	2.52E-06	4.58E-07	1.98E-07	6.23E-08	2.38E-09

3.5.3.2 Espectros de peligro uniforme

Con los valores de tasa de excedencia anual mostradas en las tablas 3.21 y 3.22, es posible obtener la aceleración espectral correspondiente a una misma tasa de excedencia anual para distintos periodos, la gráfica resultante conocida como espectro de peligro uniforme es entonces obtenida de una combinación de valores de varias curvas de peligro sísmico.

Los valores obtenidos de los espectros de peligro sísmico pueden ser comparados con los valores calculados con la norma de diseño sismorresistente peruana E030, en esta norma los factores de Z de zonificación sísmica que simbolizan la aceleración máxima esperada en el terreno, se dan para una probabilidad de excedencia de 10 por ciento en 50 años de vida útil, es decir 475 años de periodo de retorno.

Para ubicar la tasa de excedencia deseada de 10 por ciento en 50 años en las tablas 3.21 y 3.22 es necesario interpolar datos y hallar la tasa de excedencia anual correspondiente.

La tasa anual de excedencia correspondiente a 10 por ciento en 50 años se halla:

$$p1 = 1 - (1 - P)^{1/t} \quad (3.1)$$

Donde

$p1$: Tasa anual de excedencia

P : Probabilidad de excedencia durante vida útil

t : Vida útil

Reemplazando

$$p1 = 1 - (1 - 0.1)^{1/50}$$

$$p1 = 0.0021 \text{ tasa/año}$$

Entonces los espectros de peligro uniforme se forman al unir el valor de la aceleración espectral hallada en las curvas de peligro sísmico para una tasa anual de excedencia de 0.0021 valor que debe ser interpolado de la tabla 3.22.

El programa CRISIS 2007 realiza este proceso y es capaz de entregarnos los espectros de peligro uniforme.

Una gran ventaja de las curvas de peligro sísmico son que es posible extraer de ellas espectros con diferente probabilidad de excedencia es decir con diferente periodo de retorno, para así evaluar estructuras no solo con el sismo presentado en las normas que es el de $Tr = 475$ años sino también es con sismos como los presentados en diseño por desempeño los cuales tienen $Tr = 43, 72, 475$ y 970 para ver el comportamiento de una estructura para distintos grados de demanda, en la figura 3.51 y 3.52 se muestran espectros con diferentes periodos de retorno extraídos de los resultados de este cálculo de peligro sísmico.

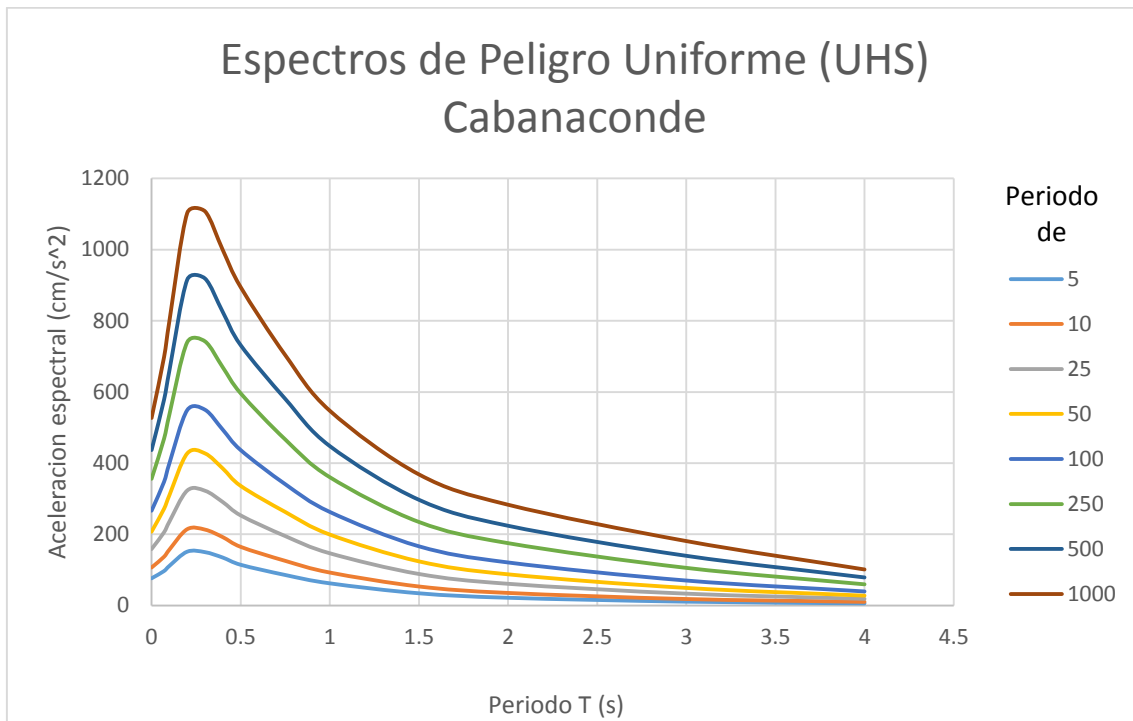


Figura 3.47 Espectros de peligro uniforme del distrito de Cabanaconde *para* $T_r = (5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 \text{ y } 1000)$

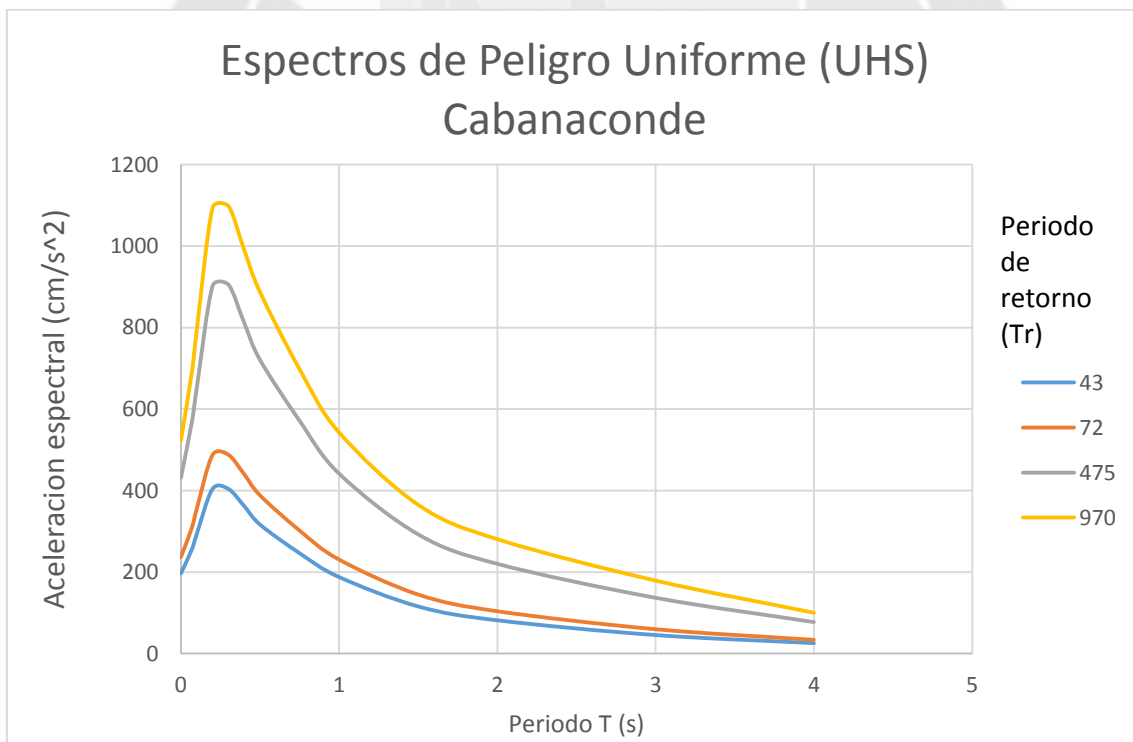


Figura 3.48 Espectros de peligro uniforme del distrito de Cabanaconde *para* $T_r = (43, 72, 475, \text{ y } 1000)$

No obstante se desea comparar valores del espectro de 475 años de periodo de retorno calculado con el espectro de 475 años de periodo de la norma E030.

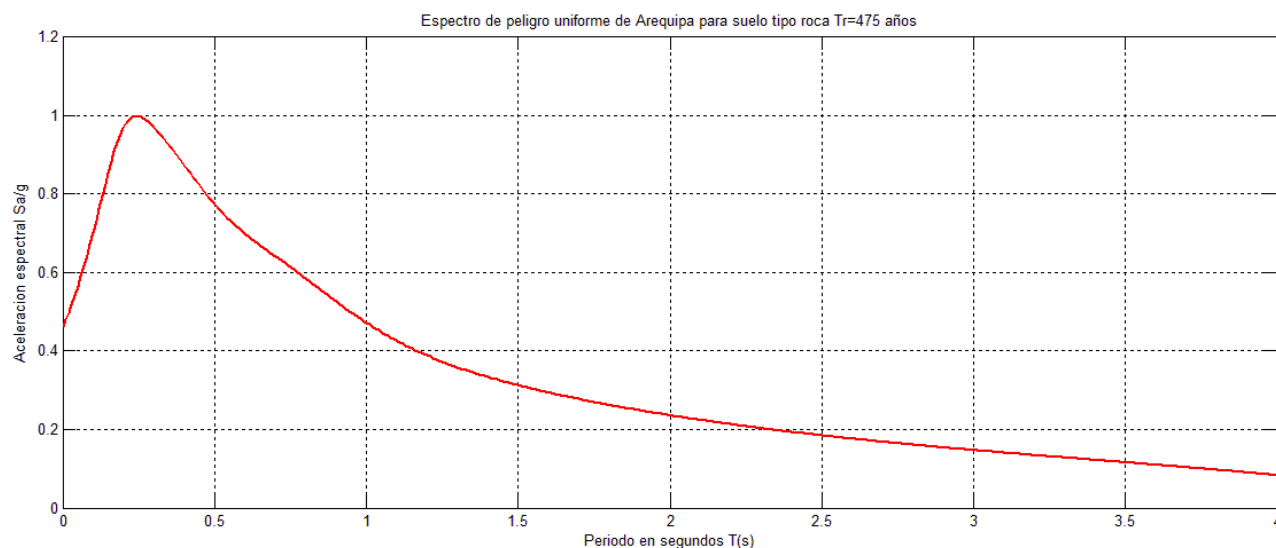


Figura 3.49 Espectro de peligro uniforme para Arequipa, suelo tipo roca, $T_r = 475$ años

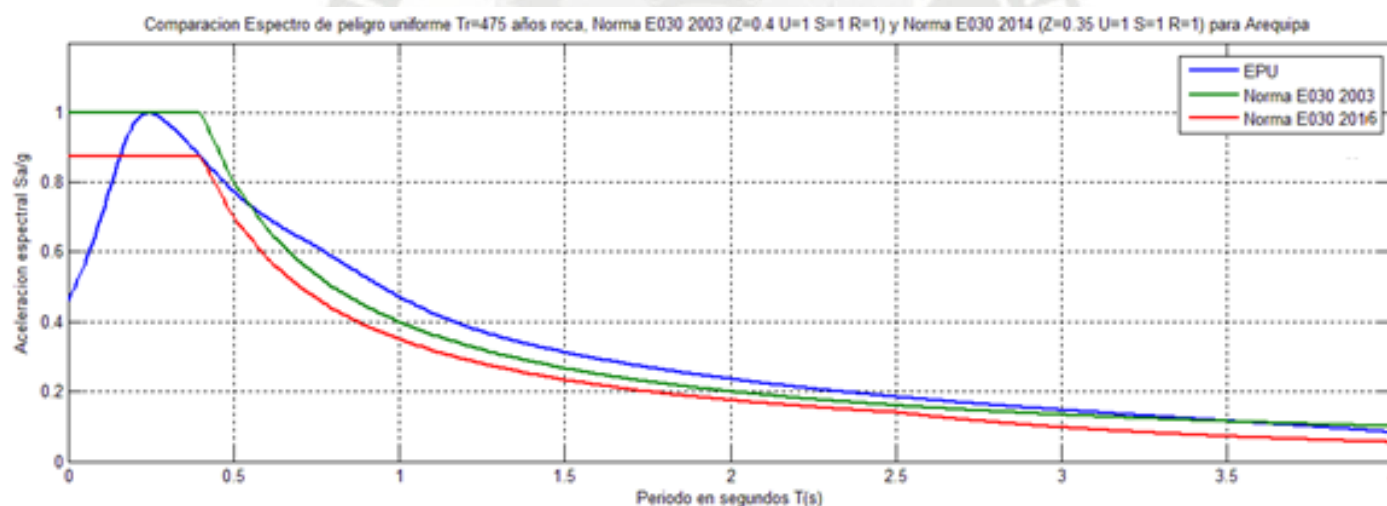


Figura 3.50 Espectro de peligro uniforme y espectro de diseño para normas del 2003 y 2016 para Arequipa, suelo tipo roca, $T_r = 475$ años

En la figura 3.48 se puede observar la diferencia en la forma del espectro de peligro uniforme y los espectros de diseño propuestos por las normas.

Observaciones

- Se observa que para periodos menores a aproximadamente 0.57s el espectro de peligro uniforme provee aceleraciones espectrales más pequeñas que los de la norma E030 del 2003, aunque logran igualarse para un periodo de 0.24s.
- Para periodos de más de aproximadamente 0.57s el espectro de peligro uniforme provee aceleraciones espectrales más grandes que los de la norma E030 del 2003.

- Ambos espectros (de peligro uniforme y E030-2003) tienen como punto máximo aproximadamente 1g.
- Para periodos de aproximadamente 0.14s el espectro de peligro uniforme es menor que la norma E030 del 2016 y para periodos más grandes es mayor aunque llegan a igualarse en 0.39s.

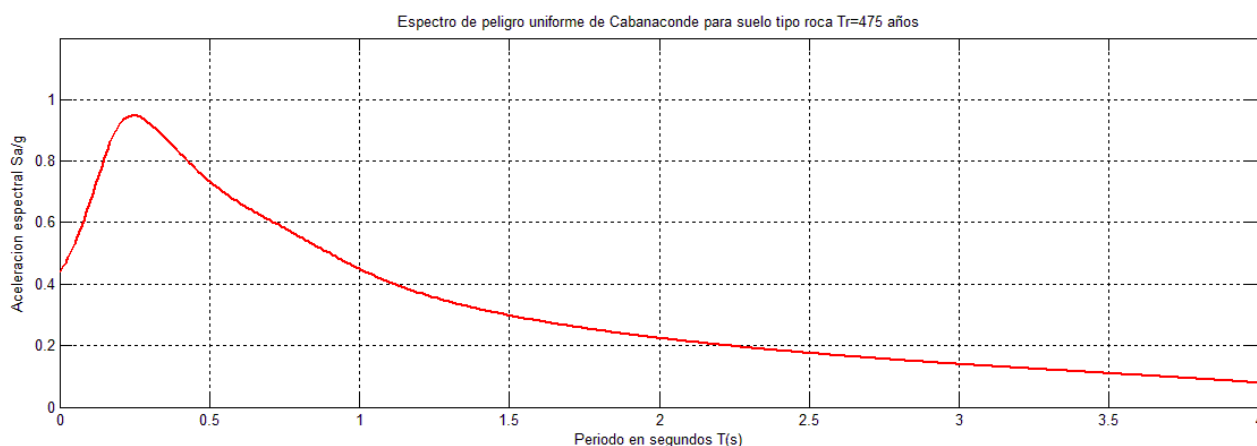


Figura 3.51 Espectro de peligro uniforme para Cabanaconde, suelo tipo roca, T=475 años

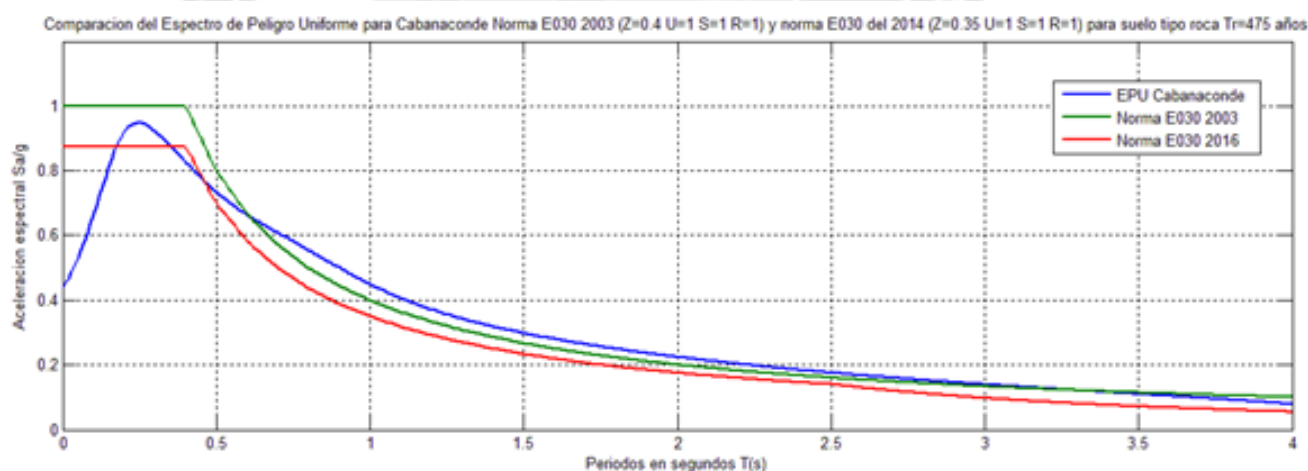


Figura 3.52 Espectro de peligro uniforme y espectro de diseño para normas del 2003 y 2016 para Cabanaconde, suelo tipo roca, T=475 años

Observaciones

- Se observa que para periodos menores a aproximadamente 0.61s el espectro de peligro uniforme provee aceleraciones espectrales más pequeñas que los de la norma E030 del 2003.
- Para periodos de más de aproximadamente 0.61s el espectro de peligro uniforme provee aceleraciones espectrales más grandes que los de la norma E030 del 2003 haciéndose más parecidas mientras aumenta el periodo.
- Para periodos de aproximadamente 0.17s el espectro de peligro uniforme es menor que la norma E030 del 2016 y para periodos más grandes es mayor menos en el rango de 0.35s a 0.46s, siendo casi iguales para periodos más grandes que 2s.

Capítulo 4

Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica de Cabanaconde

En este capítulo se muestran los datos recolectados en el distrito de Cabanaconde y se evalúa la vulnerabilidad sísmica haciendo uso de estos datos y de los resultados encontrados en el capítulo anterior de peligro sísmico.



4.1 Recolección de datos en Cabanaconde

Para recolectar los datos necesarios para la evaluación de vulnerabilidad sísmica se realizó una inspección en el pueblo de Cabanaconde, la visita fue realizada el 4 de septiembre del 2015 hasta el 6 del mismo mes. La delegación fue conformada por 4 personas.

4.1.1 Descripción del lugar

Cabanaconde es un pueblo relativamente pequeño, se puede recorrer a pie de extremo a extremo aproximadamente de 25 a 30 minutos, una distribución del pueblo se puede observar en el plano “L-2” que muestra el catastro del pueblo.

Algunas calles son de tierra otras y de piedra; tienen muy bajo tránsito vehicular, la vía principal desde la carretera de acceso hasta la plaza del pueblo es la más usada, las viviendas en su mayoría son de adobe y pircado (INDECI, 2015), estas viviendas se encuentran en un estado de conservación de medio a malo, según los pobladores estas se están reduciendo con el paso del tiempo ya que los pobladores prefieren construir en material noble debido a los sismos pasados.

El distrito de Cabanaconde está ubicado en la provincia de Caylloma en la región Arequipa, en el sur del Perú. Es uno de los 20 distritos de la provincia de Caylloma. Se sitúa a la margen izquierda del río Colca. Los pobladores se dedican en su mayoría a la agricultura y ganadería.

El distrito de Cabanaconde limita al Este con el distrito de Maca, al Norte con Choco, Tapay y Madrigal, al Oeste con Huambo y al Sur con Lluta.



Figura 4.1 Cabanaconde como el último pueblo en el recorrido del valle del Colca (Google Earth)

En la figura 4.1 se observa que Cabanaconde es el último pueblo en el recorrido del Valle del Colca mientras que en la figura 4.2 se muestra una foto panorámica del pueblo Cabanaconde.



Figura 4.2 Pueblo de Cabanaconde (Fuente <http://www.pachamamahome.com>)

4.1.2 Caracterización de las viviendas

Se observaron de 4 tipos principales de viviendas según el tipo predominante de material con la que fueron construidas:

1. Albañilería.
2. Adobe.
3. Pircado.
4. Adobe con pircado.

Se observó que la mayoría de viviendas presentaban una combinación de pircado desde el sobre cimientto y terminando en adobe a la altura del techo como se observa en la figura 4.3.



Figura 4.3 Vivienda de adobe y pircado.

En (INDECI, 2015) se realizaron 213 encuestas en 73 manzanas para conocer la situación de las viviendas en Cabanaconde, se muestran algunos resultados.

Tabla 4.1 Porcentaje de viviendas en Cabanaconde según su material de construcción (INDECI, 2015)

MATERIAL DE CONSTRUCCION	
Tipo	Porcentaje (%)
Adobe	56
Pircado con mortero	26
Pircado sin mortero	11
Material noble	7

Tabla 4.2 Porcentaje de viviendas en Cabanaconde según su antigüedad (INDECI, 2015)

ANTIGÜEDAD	
Edad	Porcentaje (%)
Mayor a 30	53
20 a 30	28
10 a 20	12
menor a 10	8

Según la tabla 4.1 las viviendas de adobe, las de pircado y las de adobe con pircado suman en total 93 por ciento del total de las viviendas, en contraste con el 7 por ciento restante para viviendas de material noble.

(INDECI, 2015) dice que las viviendas de albañilería confinada (material noble) no han sufrido daños en los anteriores sismos, además en este estudio se ha evaluado preliminarmente la vulnerabilidad alta de las viviendas de adobe y pircado, se decide evaluar con prioridad estas viviendas, y no hacer de objeto de este trabajo las viviendas de albañilería por no representar preliminarmente una alta vulnerabilidad para las condiciones presentadas, no obstante se ha tomado nota de su calidad constructiva por simple inspección.

4.1.2.1. Viviendas de albañilería confinada

Las viviendas de albañilería confinada, sobre todo en la parte de la plaza principal, según los pobladores aproximadamente hace unos 10 a 15 años las viviendas de adobe están siendo reemplazadas por viviendas de este tipo, la gran mayoría de las nuevas construcciones que se realizan son de material noble.

Observaciones

- Planificadas y construidas por maestros, sin la supervisión de un profesional de construcción.
- Tienen de 1 a 3 pisos en viviendas aunque son más comunes de 2 pisos y de 3 pisos a más en edificios destinados a alojamiento.
- Algunos materiales de construcción son transportados desde la ciudad de Arequipa, encontrándose agregados, ladrillos y acero comunes en la ciudad de Arequipa.
- Estas viviendas se planifican y construyen producto de la experiencia en construcción de maestros siguiendo reglas empíricas, algunas viviendas se construyen con planos prediseñados que se usan en varias viviendas con algunas modificaciones.

Se muestran las fotografías de 7 viviendas de albañilería confinada para observar las costumbres constructivas.



Figura 4.4 Vivienda de albañilería de 2 pisos



Figura 4.5 Vivienda de albañilería de 2 pisos revestida



Figura 4.6 Vivienda de albañilería de 2 pisos



Figura 4.7 Vivienda de albañilería de 1 piso



Figura 4.8 Vivienda de albañilería de 2 pisos



Figura 4.9 Vivienda de albañilería de 3 pisos



Figura 4.10 Vivienda de albañilería de 2 pisos

Ladrillo y acero

El ladrillo es mecanizado y artesanal, los ladrillos usados son en su mayoría los ladrillos pandereta, seguidos por los ladrillos King Kong, y el acero de Aceros Arequipa.



(a)

(b)

Figura 4.11 (a) Ladrillos pandereta y aceros de construcción de Aceros Arequipa (b) Ladrillos mecanizados King Kong del Diamante

Agregados

Los agregados son también traídos desde Arequipa, los menos costosos se pueden conseguir de pueblos cercanos.



(a)

(b)

Figura 4.12 (a) Agregado grueso de un tamaño aproximado de $\frac{1}{2}$ pulgada (b) Agregado grueso de un tamaño aproximado de 1 pulgada

Cemento

El cemento utilizado es el de Yura IP (puzolánico).



Figura 4.13 Cemento Yura IP



Figura 4.14 Vivienda en construcción

4.1.2.2. Viviendas de Adobe y pircado

Las viviendas de adobe y pircado que representan el 93 por ciento (INDECI, 2015) presentan características similares, las unidades de albañilería y la construcción de las viviendas fueron hechas por los pobladores.

Observaciones

- Las viviendas de adobe en su mayoría son de un piso pero también existen de dos pisos, siendo el segundo piso solo de almacén y no habitable.
- Las puertas y ventanas llevan dinteles de madera.
- Los techos son de paja o de calamina.
- Los techos pueden ser a una o dos aguas.
- Algunas viviendas colocan piedra en las esquinas a manera de una columna pero son pocas.
- Algunas viviendas usan piedra tallada para los marcos de las puertas.
- Los techos son de calamina o de paja con armazones de madera.
- Presentan rajaduras y desgaste por el tiempo.
- Se usan piedra y adobe, en la base se empieza con piedra y se llega hasta donde alcance el material.

En la figura 5.3.1 se muestran algunas grietas observadas en las viviendas, la más común en viviendas de adobe es la que se muestra en (a) que es una separación de los muros ortogonales, debido a la falta de confinamiento una grieta de este tipo también se puede observar en la figura 5.3.2.



Figura 4.15 Grietas ocasionadas por sismos en muros de viviendas de adobe

Para el estudio de las viviendas de adobe y pircado se hicieron encuestas y mediciones de varias viviendas de este tipo.



Figura 4.16 Grieta vertical en una vivienda de pircado y adobe.



Figura 4.17 Vivienda de adobe



Figura 4.18 Vivienda de adobe



Figura 4.19 Vivienda de adobe



Figura 4.20 Vivienda de adobe



Figura 4.21 Vivienda de adobe



Figura 4.22 Vivienda de pircado



Figura 4.23 Vivienda de pircado de 1 piso



Figura 4.24 Vivienda de adobe y pircado



Figura 4.25 Vivienda de adobe y pircado



Figura 4.26 Vivienda de adobe y pircado



Figura 4.27 Vivienda de adobe y pircado



Figura 4.28 Vivienda de adobe y pircado



Figura 4.29 Vivienda de adobe y pircado

Materiales de Construcción

Las viviendas de piedra o pircado están hechas principalmente de:

Aglomerante

- Barro

Techos

- Paja o calamina con armazones de madera.

Piedra

Las piedras usadas para construir los muros tienen diferentes tamaños en la figura 4.30 se da una idea del tamaño de estas, un segundo tipo de piedra extraída de cantera es tallada para ser usada en lugares importantes de la vivienda, como son las esquinas y los marcos de las puertas.

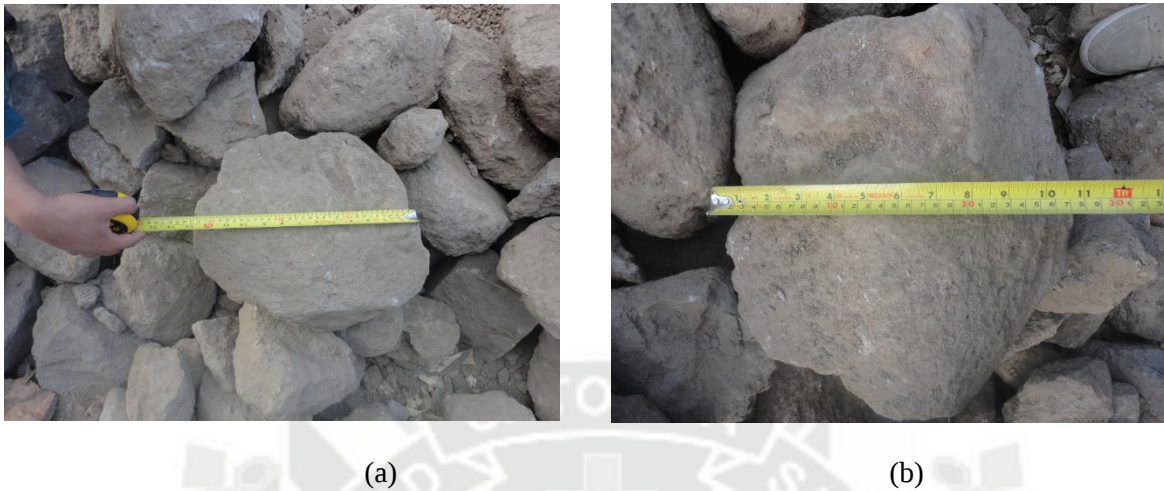


Figura 4.30 Piedras reconocidas en Cabanaconde con un diámetro aproximado de (a) 33 cm y (b) 27 cm

Las piedras usadas en las viviendas se provienen del mismo pueblo, se distinguen 3 tipos de piedra según el uso que se les dará.

- Piedras talladas, su uso es para las esquinas de las viviendas y para los marcos de puertas y ventanas.
- Piedras para muro, son las piedras más comunes encontradas.
- Piedras para cimentación.
- En la figura 4.31b se muestra una pared en construcción, en la cual se colocan las piedras una sobre otra relleno los espacios con barro, el barro esta hecho de tierra encontrada en el mismo pueblo.
- En la figura 4.31a se muestra parte de una vivienda en cuya esquina y marco de la puerta se puede ver la piedra tallada de diversos tamaños.

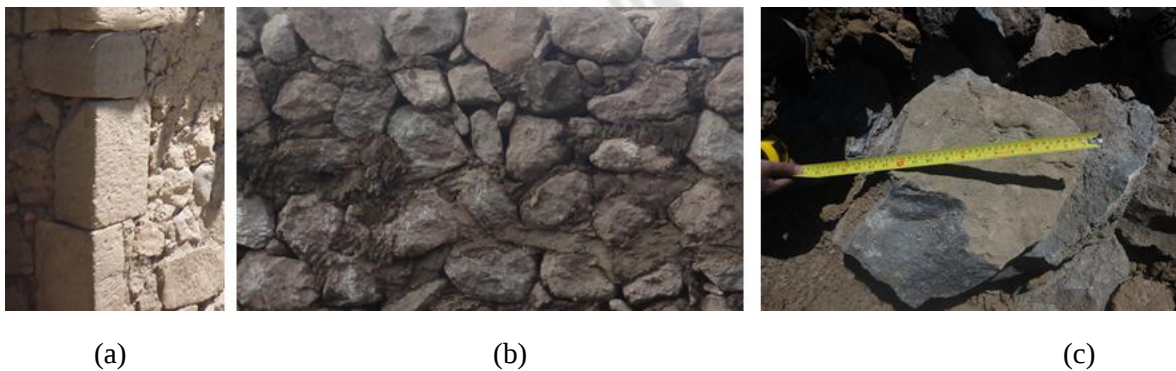


Figura 4.31 (a) Piedra tallada para esquinas y marcos, (b) Piedras para muro y (c) Piedras para cimentación

Unidades de adobe

Las unidades de adobe son preparadas por los mismos pobladores, estas según la historia del pueblo primero fueron como las que se observan a la derecha de la figura 5.2.32 y con el tiempo se prefirió producir adobes con el doble de volumen que son las que se observan a la izquierda, las medidas típicas se observan en el cuadro 5.2.1



Figura 4.32 A la izquierda unidades de adobes “Tipo 1” a la derecha adobes “Tipo 2” (se diferencian por el tamaño)

Las medidas típicas de una unidad de adobe halladas por medio de una medición se muestran a continuación.



Figura 4.33 Tomando medidas a las unidades de adobe

Tabla 4.3 Tamaños típicos de unidades de adobe

	Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)
Tipo 1	34	14	40
Tipo 2	17	14	40

Preparación de las unidades de adobe

1. Se afloja el terreno y se amontona la tierra
2. Se agrega agua y paja
3. Se pisa la mezcla
4. Se espera una noche a que remoje
5. Al día siguiente se llenan los moldes con las medidas del adobe, presionando al colocar el barro.
6. Se debe dejar aproximadamente un mes a secar



Figura 4.34 Arriba paja de cultivos abajo “pajaypuna”

Antiguamente se utilizaba pelo de caballo para la preparación de adobes, luego se cambió a “pajaypuna” y más actualmente se usa la paja de los cultivos.

Ensayos de compresión de pilas de albañilería

Se recolectaron muestras aleatorias de unidades de adobe, barro y paja para confeccionar pilas; se transportaron desde Cabanaconde hacia los laboratorios del programa de Ingeniería Civil en Arequipa.

En el laboratorio se elaboraron pilas de dos unidades debido a la altura máxima que podía entrar en la máquina de compresión para probetas.



Figura 4.35. Elaboración de pilas de adobe.

Se ensayaron 5 pilas



Figura 4.36 Traslado a la máquina de compresión.



Figura 4.37 Pila ensayada.

Los resultados se resumen en el siguiente cuadro

Tabla 4.4 Resultados de pruebas de pilas ensayadas en compresión

Ensayo	Fuerza	Área	Esfuerzo
N	kgf	cm ²	kgf/cm ²
1	1230	646	1.90402477
2	1050	646	1.625387
3	3310	1026	3.22612086
4	2100	1026	2.04678363
5	2109	1026	2.05555556
Normal	Promedio	2.17157436	kgf/cm ²
	Promedio	0.21303144	Mpa
Con factor de Corrección	Promedio	1.58524928	kgf/cm ²
	Promedio	0.15551295	Mpa

Estos valores son pequeños en comparación a los valores encontrados en otros estudios por lo que se puede decir que la calidad de la albañilería en Cabanaconde es muy mala en comparación a albañilerías de adobe en otras ciudades, se puede dar una razón de esto al ver que las viviendas en su mayoría tienen una edad considerable de más de 30 años (INDECI, 2015).

4.1.3 Levantamiento de las viviendas de Adobe y Pircado

Las viviendas más vulnerables del pueblo según (INDECI, 2015) son las viviendas de adobe y pircado, en esta sección se describen los resultados del levantamiento de 6 viviendas de adobe y pircado realizado.

4.1.3.1. Identificación de viviendas

Se escogieron 6 viviendas de adobe y pircado en los cuales los dueños estuvieran dispuestos a colaborar con el trabajo, en el siguiente cuadro se identifican las viviendas y sus propietarios.

Tabla 4.5 Propietarios de las viviendas evaluadas

Cod.	VIVIENDAS DE ADOBE Y PIRCADO
	Propietario
V-1	Cecilia Vargas Jimenez
V-2	Honora Tejada Jimenez
V-3	Liliana Lopez Jurco
V-4	Mari Delgado Lupaca
V-5	Melecio Coayla Condori
V-6	Sonia Jimenez Huamani

4.1.3.2. Descripción de las viviendas evaluadas

Se tomaron algunos datos en las viviendas evaluadas además de fotografías, los datos recolectados fueron:

- Propietario
- Dirección
- Material predominante (Adobe y pircado)
- Habitantes (Numero)
- Posición (Esquina o central)
- Antigüedad (Años)
- Estado de conservación (Bueno, malo o regular)
- Pendiente del terreno (Alta, media o baja)

VIVIENDAS EN EL DISTRITO DE CABANACONDE

Propietario	Cecilia Vargas Jimenez				
Material	Adobe		Código	V-1	
Habitantes	3	Antigüedad	40	Pisos	1
Daños	Rajadura				
Posición	Esquina	Conservación	Regular	Pendiente	Baja

Fotos





VIVIENDAS EN EL DISTRITO DE CABANACONDE

Propietario	Honora Tejada Jimenez						
Material	Adobe			Código	V- 2		
Habitantes	1	Antigüedad	20	Pisos	1	Daños	Techo
Posición	Intermedia	Conservación	Mala	Pendiente	Baja		
Fotos							





VIVIENDAS EN EL DISTRITO DE CABANACONDE

Propietario	Liliana Lopez Jurco					
Material	Adobe			Código	V-3	
Habitantes	3	Antigüedad	20	Pisos	1	Daños Techo
Posición	Intermedia	Conservación	Mala	Pendiente	Baja	

Fotos



VIVIENDAS EN EL DISTRITO DE CABANACONDE

Propietario	Mari Delgado Lupaca						
Material	Adobe			Codigo	V-4		
Habitantes	2	Antigüedad	43	Pisos	2	Daños	Rajadura
Posicion	Intermedia	Conservacion	Regular	Pendiente	Baja		
Fotos							





VIVIENDAS EN EL DISTRITO DE CABANACONDE

Propietario	Melecio Coayla Condori						
Material	Adobe			Codigo	V-5		
Habitantes	2	Antigüedad	30	Pisos	1	Daños	Rajadura
Posicion	Intermedia	Conservación	Mala	Pendiente	Baja		
Fotos							





VIVIENDAS EN EL DISTRITO DE CABANACONDE								
Propietario	Sonia Jimenez Huamani							
Material	Adobe			Código	V-6			
Habitantes	5	Antigüedad	-	Pisos	1	Daños		Rajadura
Posición	Esquina	Conservación	Mala	Pendiente	Media			
Fotos								





4.1.3.3 Planos de viviendas

Producto del levantamiento se dibujaron planos en formato A3 en los cuales se puede observar la distribución y geometría de las viviendas, estas se pueden encontrar en el Anexo C.



4.2 Datos para la evaluación de vulnerabilidad Sísmica

En esta sección se definen los datos necesarios para el cálculo de vulnerabilidad sísmica.

Según los procedimientos presentados en la sección 2.2 los pasos a seguir para la evaluación de vulnerabilidad sísmica son:

- Definición de la demanda.
- Definición de los estados límite o niveles de desempeño.
- Definición de modelos estructurales simplificados.

4.2.1 Definición de la demanda

La demanda ha sido definida en el capítulo 3 de la evaluación probabilística de peligro sísmico, se muestra a continuación:

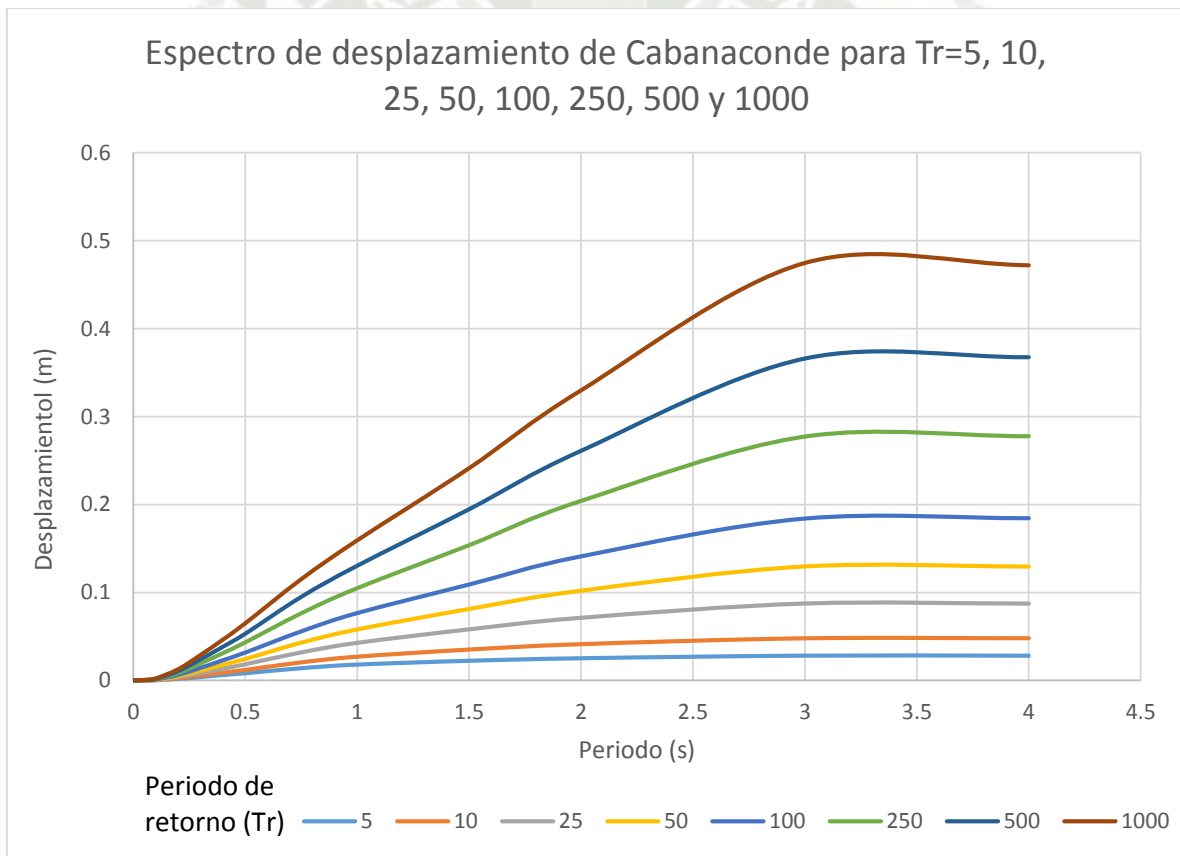


Figura 4.38 Espectros de desplazamiento del distrito de Cabanaconde para $T_r = (5, 10, 25, 50, 100, 250, 500$ y $1000)$

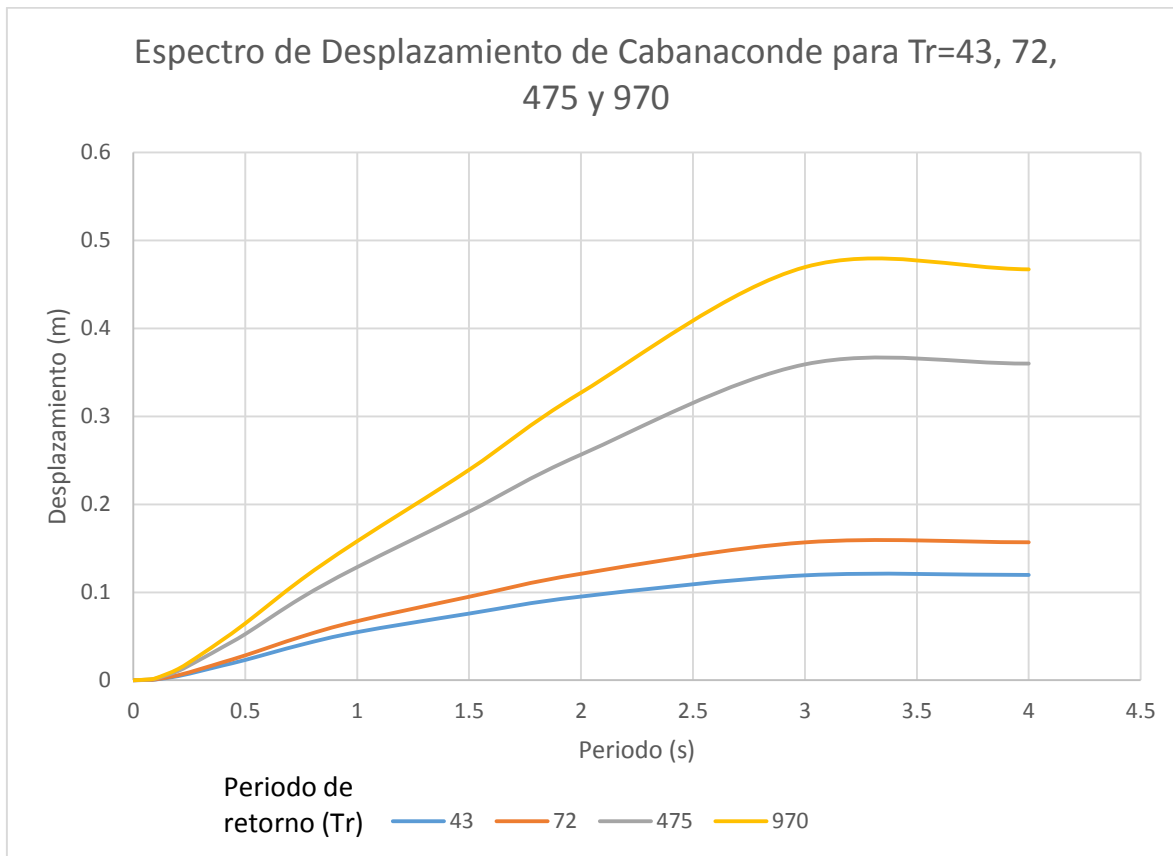


Figura 4.39 Espectros de desplazamiento distrito de Cabanaconde para $T_r = (43, 72, 475, \text{y } 1000)$

Los espectros mostrados corresponden a resultados de aceleraciones espectrales para 5 por ciento de amortiguamiento, Según (Tarque, 2008) los muros deben ser evaluados con espectros con fracciones de amortiguamiento diferentes correspondientes a la disminución de rigidez que espera cuando el muro pase al rango inelástico, el espectro debe reducirse por el siguiente factor:

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \quad (4.1)$$

Donde

η : Factor de reducción para los espectros.

ξ : Fracción de amortiguamiento.

Para cada estado limite “LS” corresponde una fracción de amortiguamiento diferente según la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Fracción de amortiguamiento para comportamiento en el plano (Tarque, 2008)

Estado Limite	Descripción	ζ (%)
LS-1	Operacional	10
LS-2	Funcional	10
LS-3	Seguridad vital	12
LS-4	Cerca al colapso	16

Tabla 4.7 Fracción de amortiguamiento para comportamiento fuera del plano

Estado Limite	Descripción	ζ (%)
LS-1	Operacional	5
LS-2	Funcional	5
LS-3	Seguridad vital	5
ULS	Cerca al colapso	5

4.2.2 Definición de estados límite o de desempeño

Las viviendas de Cabanaconde son de albañilería de adobe con partes de pircado, sin elementos de confinamiento (vigas y columnas) y sin diafragma rígido, la evaluación debe hacerse tomando en cuenta la individualidad de respuestas entre muros diferentes ya que estos tienen débiles conexiones entre sí.

En el trabajo desarrollado por (Tarque, 2008) se definen estados límite para el comportamiento de viviendas de adobe con demandas en el plano y también fuera del plano.

a) Comportamiento en el plano

Tabla 4.8 Estados límite para comportamiento con demandas en el plano

Estado Limite	Descripción	Deriva (%)
LS-1	Operacional	0.052
LS-2	Funcional	0.1
LS-3	Seguridad vital	0.26
LS-4	Cerca al colapso	0.52

b) Comportamiento fuera del plano

Para el comportamiento fuera del plano (Doherty et al, 2002) y (Griffith et al, 2003) han definido un comportamiento no lineal para muros con demandas fuera del plano como se muestra en la figura 4.2.1.

Tabla 4.9 Estados limite (Tarque, 2008) (modificado)

Estado Limite	Descripción	u	ζ (%)
LS-1	Operacional	$0.4 * \Delta_1$	5
LS-2	Funcional	$0.88^{**} \Delta_1$	5
LS-3	Seguridad vital	Δ_1	5
ULS	Perdida de estabilidad	$\phi * t$	5

4.2.3 Definición de modelos estructurales simplificados

En el plano

El sistema está basado en (Shibata y Sozen, 1976) que sirve para representar un sistema de varios grados de libertad en un sistema de uno, tomando en cuenta los muros y los techos descrito anteriormente se repasa brevemente a continuación.

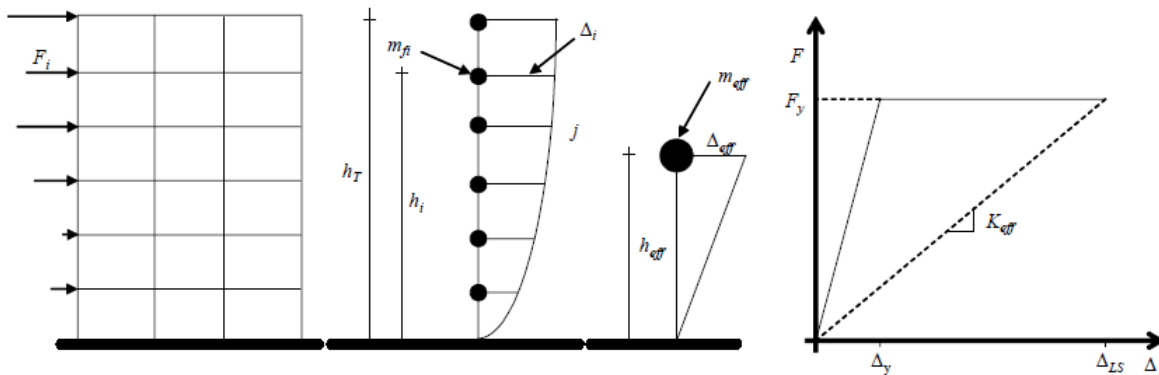


Figura 4.40 Modelos simplificado equivalente SDOF (Restrepo, 2003) (Repetido)

Donde la capacidad del sistema de varios grados de libertad se representa por un sistema equivalente, representado por un sistema de un grado de libertad SDOF con rigidez secante para representar la degradación de la rigidez en el rango inelástico.

El sistema de varios grados de libertad que es la fachada de un edificio que contiene muros columnas y losas representadas en la figura 4.42 por unas masas concentradas m_{fi} y una masa continua m_m debe ser reducido a un sistema de un solo grado de libertad mediante las ecuaciones mostradas en la sección 4.3.

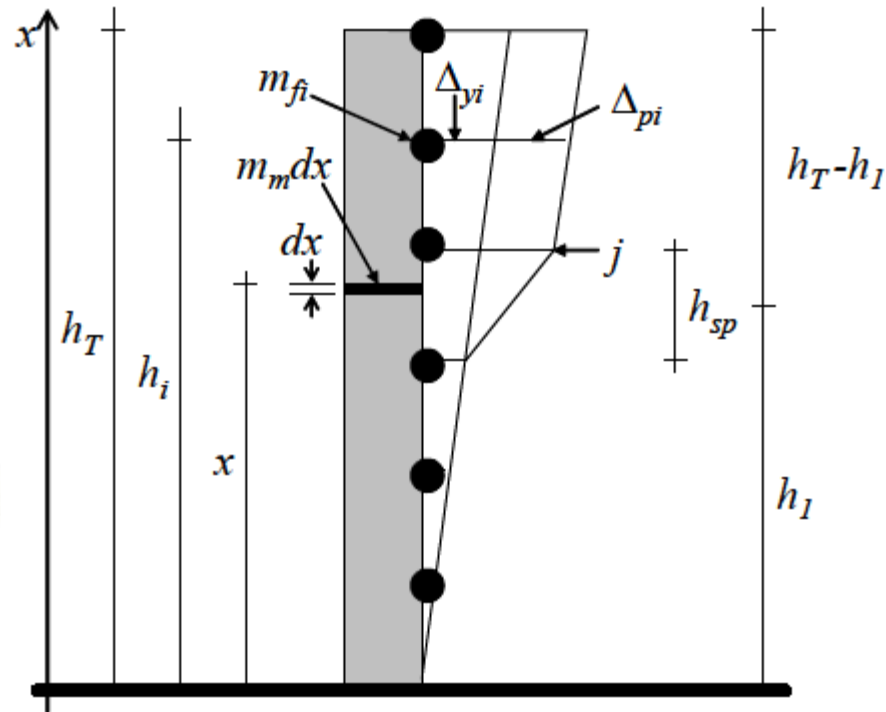


Figura 4.41 Modelo simplificado para la definición de k_2 (Restrepo, 2003) (Repetido)

Para calcular el comportamiento de un sistema de varios grados de libertad como uno solo se hace uso de factores presentados en la sección 2.2.2.1 la tabla 4.11 que es una repetición de la tabla 2.3 muestra los valores de estos factores para diferente número de pisos.

Tabla 4.11 (Repetición de la tabla 2.3) Valores de κ_1 y κ_2 para diferentes números de pisos (Restrepo, 2003)

Número de pisos n	κ_1	κ_2
1	0.79	0.967
2	0.718	0.95
3	0.698	0.918
4	0.689	0.916
5	0.684	0.9
6	0.681	0.881

Fuera del Plano

Para definir la capacidad resistente de un muro para un comportamiento fuera del plano se ha definido un modelo tri-lineal desarrollado por (Doherty et al, 2002) en el que los desplazamientos Δ_1 , Δ_2 y Δ_u definen el comportamiento fuera del plano de un muro, estos valores varían según el estado de conservación del mortero del muro en la base, y se considera que se tiene una resistencia al volteo del muro que depende de estos valores.

Donde Δ_1 se extrae de la tabla 4.10 y se define en la figura 4.40 como el valor límite del rango elástico del comportamiento de un muro para balanceo fuera del plano y $\phi = 0.8$ según (Tarque, 2008) que es un factor de reducción al límite de pérdida de estabilidad.

Tabla 4.10 Valores de Δ_1 y Δ_2 (Griffith et al, 2003)

Estado de degradación de la junta agrietada	$\Delta_1/\Delta_u(\%)$	$\Delta_2/\Delta_u(\%)$
Nuevo	6	28
Moderado	13	40
Severo	20	50

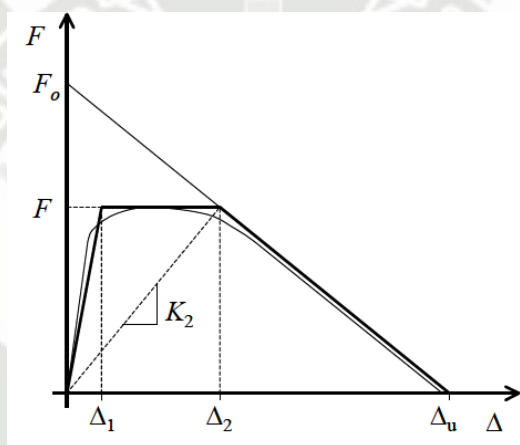


Figura 4.42 Modelo tri-lineal de comportamiento de un muro sometido a demandas fuera del plano (Tarque, 2008)

Se considera que el muro se balancea fuera del plano con el movimiento sísmico y que cae fuera de su plano si este sobrepasa un valor Δ que es igual al ancho del muro (Tarque, 2008).

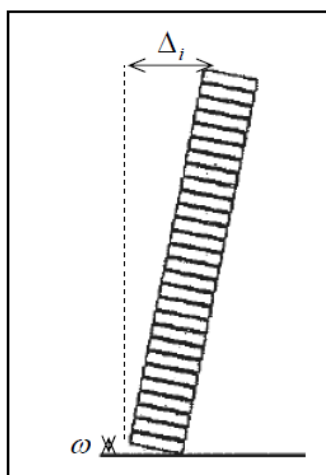


Figura 4.43 Balanceo y desplazamiento Δ del sistema (Restrepo, 2003)

4.3 Cálculo de la vulnerabilidad sísmica

Para el cálculo de capacidad de desplazamiento de muros, primero se recolectan todos los datos necesarios y encontrados de los planos del anexo 3 desarrollados por el presente trabajo, se hacen uso de las ecuaciones desarrolladas en la sección 2.2 y se dan los resultados de límites de desplazamiento para todos los muros de las 6 viviendas.

4.3.1 Identificación de muros y datos

Se calcula la vulnerabilidad en el plano y fuera del plano para todos los muros de las 6 viviendas en estudio las viviendas evaluadas son:

Tabla 4.15 Propietarios y código de viviendas para identificación.

Cod.	VIVIENDAS DE ADOBE Y PIRCADO
	Propietario
V1	Cecilia Vargas Jimenez
V2	Honora Tejada Jimenez
V3	Liliana Lopez Jurco
V4	Mari Delgado Lupaca
V5	Melecio Coayla Condori
V6	Sonia Jimenez Huamani

Cada muro es nombrado con x o y con el número de orden según corresponda para diferenciarlos, este nombramiento se nombra en las siguientes esquemas.

VIVIENDA	V-1	Numero de Muros	8
Esquema y nomenclatura			

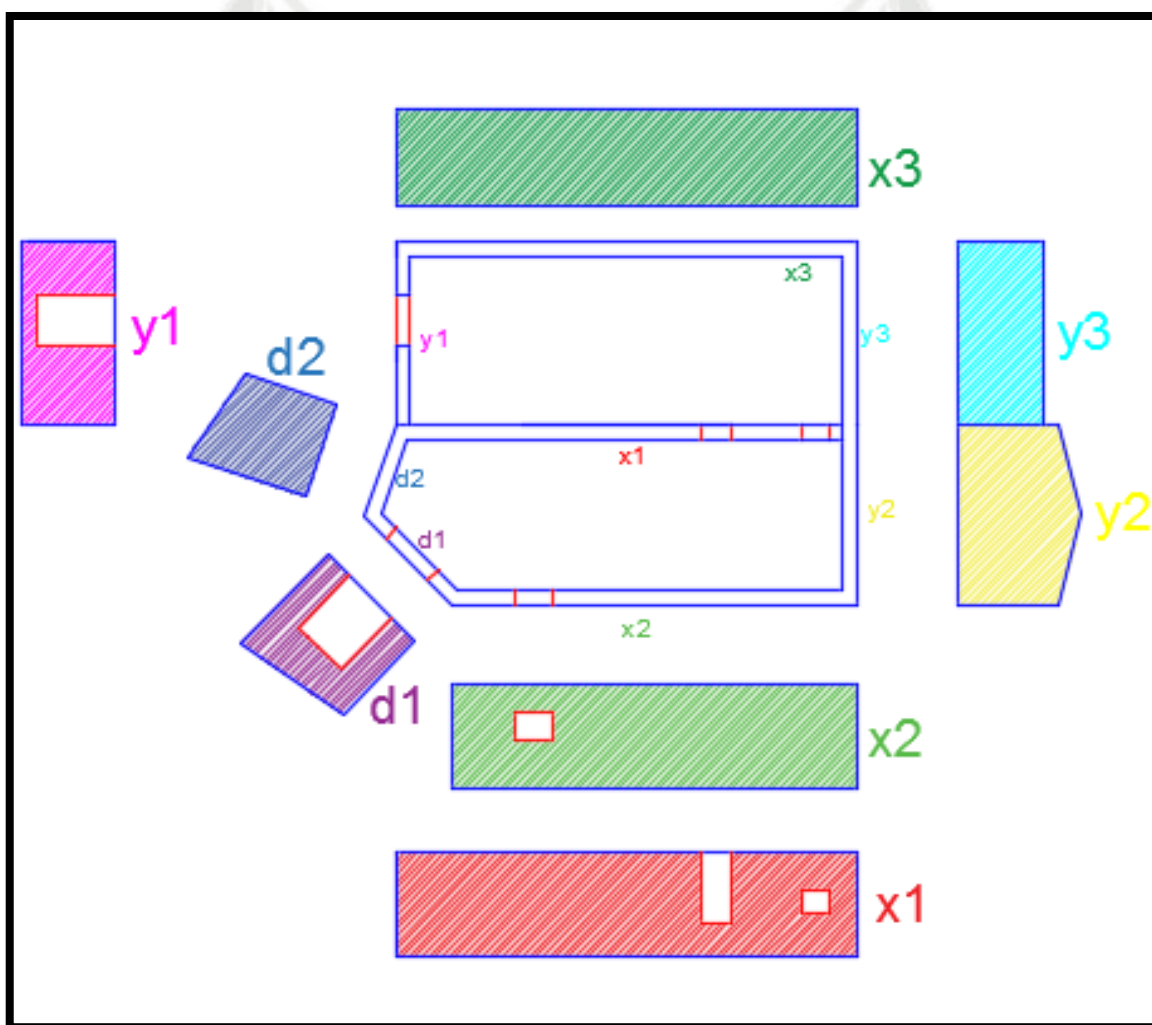


Figura 4.44 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-1

Medidas de los muros											
Nombre	Muros			Aberturas			Aguilón			Angulo	Portante
	Largo (m)	Alto (m)	Espesor (m)	Largo (m)	Alto (m)	Espesor (m)	Largo (m)	Alto (m)	Espesor (m)		
x-1	12,43	2,75	0,4	0,8	1,9	0,4					Si
				0,7	0,6	0,4					
x-2	10,92	2,75	0,4	1	0,7	0,4					Si
x-3	12,43	2,55	0,4								
y-1	4,85	2,55	0,4	1,35	2,15	0,4					
y-2	4,8	2,75	0,4				4,8	0,6	0,4		
y-3	4,85	2,3	0,4								
d1	3,5	2,75	0,4	1,6	1,95	0,4	3,5	0,61	0,4	135	Si
d2	2,6	2,6	0,4				2,6	0,75		72	Si

Variables para la evaluación de vulnerabilidad								
	x1	x2	x3	y1	y2	y3	d1	d2
T (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
L (m)	12,43	10,92	12,43	4,85	4,8	4,85	3,5	2,6
hs (m)	2,75	2,75	2,55	2,55	2,75	2,3	2,75	2,6
β	2	2	2	2	2	2	2	2
r	17	17	16	16	17	14	17	16
s (m)	0,13333	0,13333	0,13333	0,13333	0,13333	0,13333	0,13333	0,13333
b (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Qr (kg/m)	421,834	425,275	0	0	0	0	168,171	116,308

VIVIENDA	V-2	Numero de Muros	12
Esquema y nomenclatura			

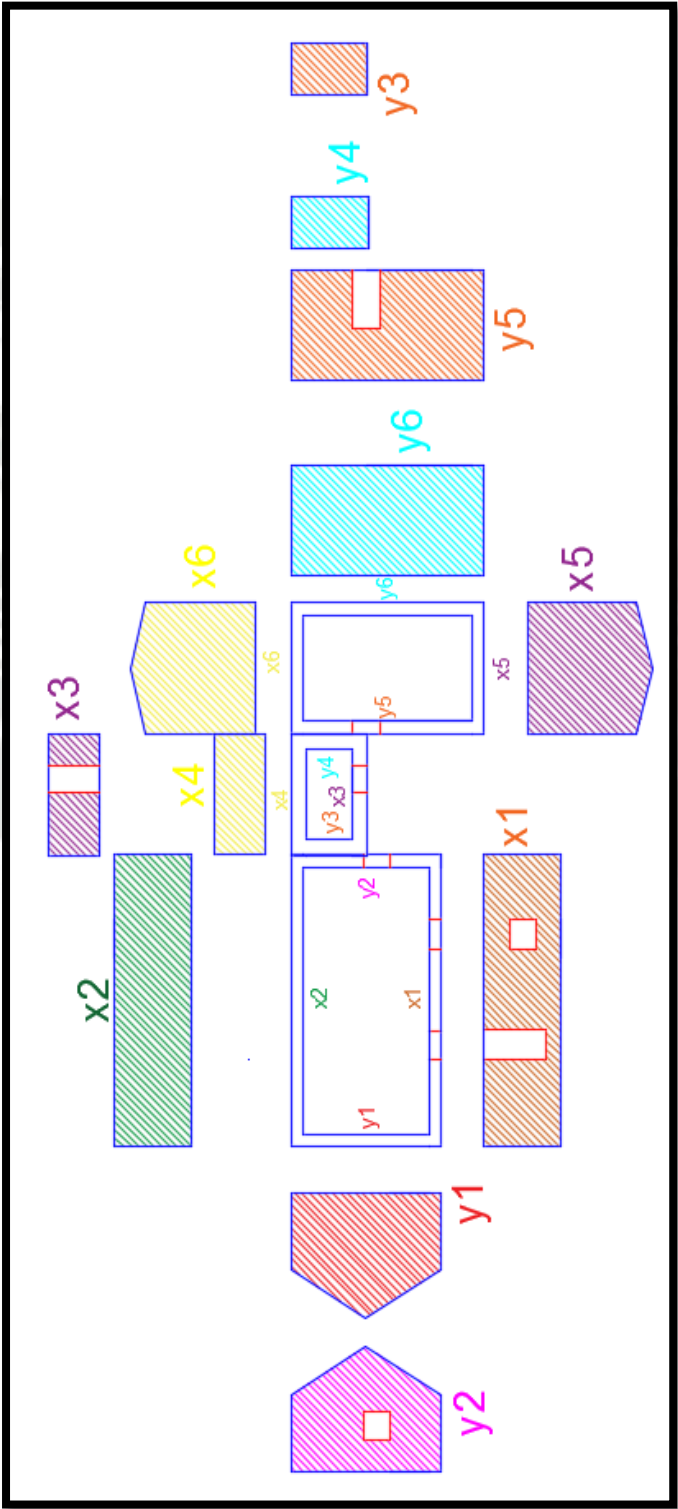


Figura 4.45 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-2

Medidas de los muros											
Nombre	Muros			Aberturas			Aguilón			Angulo	Portante
	Largo (m)	Alto (m)	Espesor (m)	Largo (m)	Alto (m)	Espesor (m)	Largo (m)	Alto (m)	Espesor (m)		
x-1	9,35	2,5	0,4	0,9	2,05	0,4					Si
				1	0,85	0,4					
x-2	9,35	2,5	0,4								Si
x-3	3,9	1,65	0,4	0,9	1,65	0,4					Si
x-4	3,9	1,65	0,4								Si
x-5	4,2	3,55	0,4				4,2	0,5	0,4		
x-6	4,2	3,55	0,4				4,2	0,5	0,4		
y-1	4,9	2,45					4,9	1,55	0,4		
y-2	4,9	2,45		0,9	0,9		4,9	1,55	0,4		
y-3	2,5	1,65									
y-4	2,5	1,65									
y-5	6,3	3,55		0,9	1,85						Si
y-6	6,3	3,55									Si

Variables para la evaluación de vulnerabilidad												
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	y1	y2	y3	y4	y5	y6
T (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
L (m)	9,35	9,35	3,9	3,9	4,2	4,2	4,9	4,9	2,5	2,5	6,3	6,3
hs (m)	2,5	2,5	1,65	1,65	3,55	3,55	2,45	2,45	1,65	1,65	3,55	3,55
β	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
r	15	15	10	10	21	21	15	15	10	10	21	21
s (m)	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333
b (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Qr (t/m)	440,86	440,86	224,77	224,77	0	0	0	0	0	0	654,29	654,29

VIVIENDA	V-3	Numero de Muros	8
Esquema y nomenclatura			

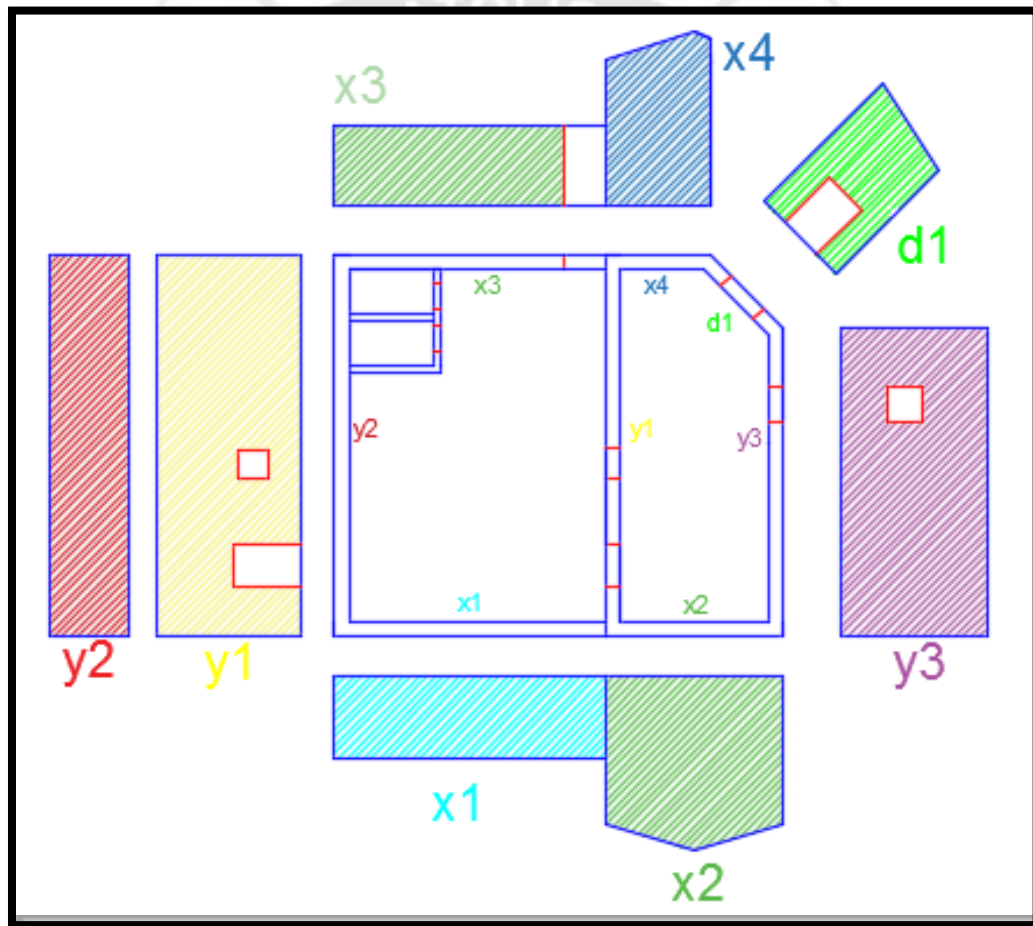


Figura 4.46 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-3

Medidas de los muros											
	Muros			Aberturas			Aguilón			Angulo	Portante
	Largo	Alto	Espesor	Largo	Alto	Espesor	Largo	Alto	Espesor		
x-1	7,5	2,2	0,4								
x-2	4,88	4	0,4				4,88	0,75	0,4		
x-3	7,5	2,2	0,4	1,15	2,2	0,4					
x-4	2,9	4	0,4				2,9	0,61	0,4		
y1	10,43	4	0,4	1,2	1,9	0,4					Si
				0,85	0,83	0,4					
y2	10,43	2,2	0,4								
y3	8,45	4	0,4	1	1	0,4					Si
d1	2,8	4	0,4	1,25	1,75	0,4	2,8	0,61	0,4	45	Si

Variables para la evaluación de vulnerabilidad								
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	d1
T (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
L (m)	7,5	4,88	7,5	2,9	10,43	10,43	8,45	2,8
hs (m)	2,2	4	2,2	4	4	2,2	2,2	4
β	2	2	2	2	2	2	2	2
r	13	24	13	24	24	13	13	24
s (m)	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333
b (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Qr (t/m)	0	0	0	0	439,21	0	430,51	210,21

VIVIENDA	V-4	Numero de Muros	9
Esquema y nomenclatura			

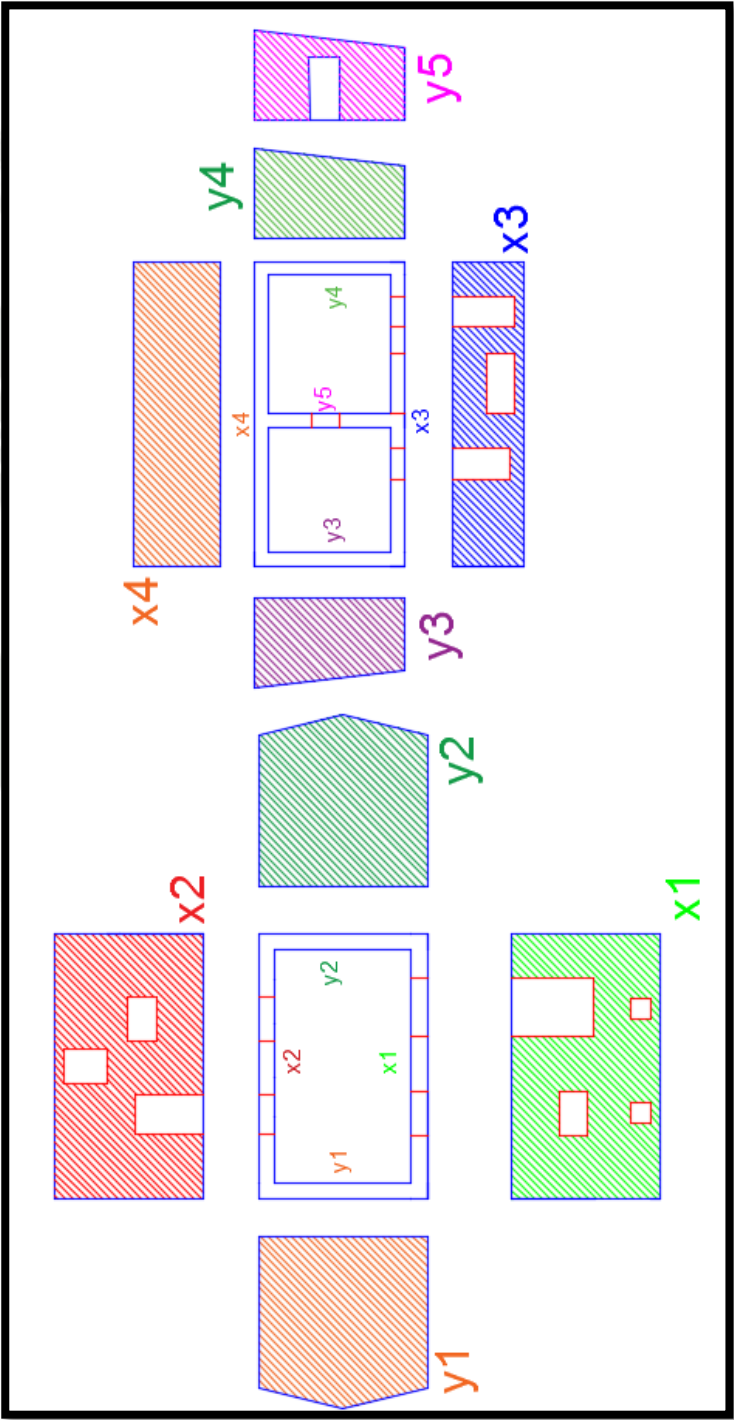


Figura 4.47 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-4

Medidas de los muros											
	Muros			Aberturas			Aguilon			Angulo	Portante
	Largo	Alto	Espesor	Largo	Alto	Espesor	Largo	Alto	Espesor		
x-1	7,75	4,4	0,4	1,7	2,4	0,4					Si
				1,3	0,85	0,4					
				0,6	0,6	0,4					
				0,6	0,6	0,4					
x-2	7,75	4,4	0,4	2	1,15	0,4					Si
				1,3	0,9	0,4					
				1	1,25	0,4					
x-3	8,87	2,1	0,4	0,95	1,7	0,4					Si
				0,85	1,85	0,4					
				1,75	0,84	0,4					
x-4	8,87	2,6	0,4								Si
y-1	5	4,4	0,4				5	0,6	0,4		
y-2	5	4,4	0,4				5	0,6	0,4		
y-3	4,45	2,06	0,4				4,45	0,54	0,4		
y-4	4,45	2,1	0,4				4,45	0,5	0,4		
y-5	4,45	2,1	0,4	0,88	1,8	0,4	4,45	0,5	0,4		

Variables para la evaluacion de vulnerabilidad									
	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	y5
T (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
L (m)	7,75	4,4	8,87	8,87	5	5	4,45	4,45	4,45
hs (m)	4,4	4,4	2,1	2,6	4,4	4,4	2,06	2,1	2,1
β	2	2	3	3	2	2	2	2	2
r	26	26	13	16	26	26	13	13	13
s (m)	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333
b (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Qr (t/m)	834,48	1469,8	400,38	400,38	0	0	0	0	0

VIVIENDA	V-5	Numero de Muros	9	
Esquema y nomenclatura				

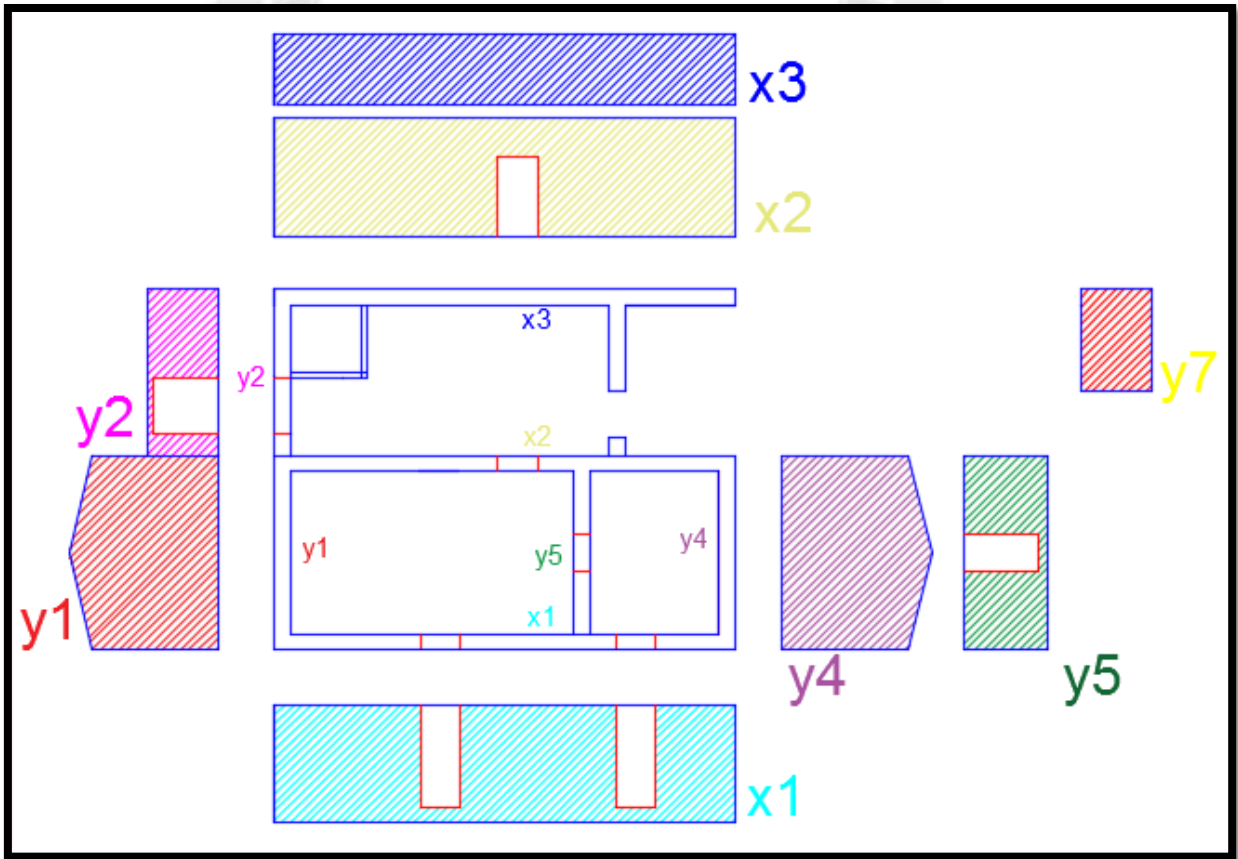


Figura 4.48 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-5

Medidas de los muros											
	Muros			Aberturas			Aguilon			Angulo	Portante
	Largo	Alto	Espesor	Largo	Alto	Espesor	Largo	Alto	Espesor		
x-1	11,7	3	0,4	1	2,6	0,4					Si
x-2	11,7	3	0,4								Si
x-3	11,7	1,8	0,4								
y-1	4,95	3,2	0,4				4,95	0,6	0,4		Si
y-2	4,25	1,8	0,4	1,45	1,65	0,4					
y-4	4,95	3,2	0,4	4,95	0,6	0,4	4,95	0,6	0,4		Si
y-5	4,95	2,15	0,4	0,95	1,9	0,4					
y-6	0,45	1,8	0,4								
y-7	2,6	1,8	0,4								

Variables para la evaluación de vulnerabilidad									
	x1	x2	x3	y1	y2	y4	y5	y6	y7
T (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
L (m)	11,7	11,7	11,7	4,95	4,25	4,95	4,95	0,45	2,6
hs (m)	3	3	1,8	3,2	3,2	3,2	2,15	1,8	1,8
β	3	4	2	2	2	2	2	2	2
r	18	18	11	19	19	19	13	11	11
s (m)	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333
b (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Qr (t/m)	445,38	445,38	0	0	0	0	0	0	0

VIVIENDA	V-6	Numero de Muros	6
Esquema y nomenclatura			

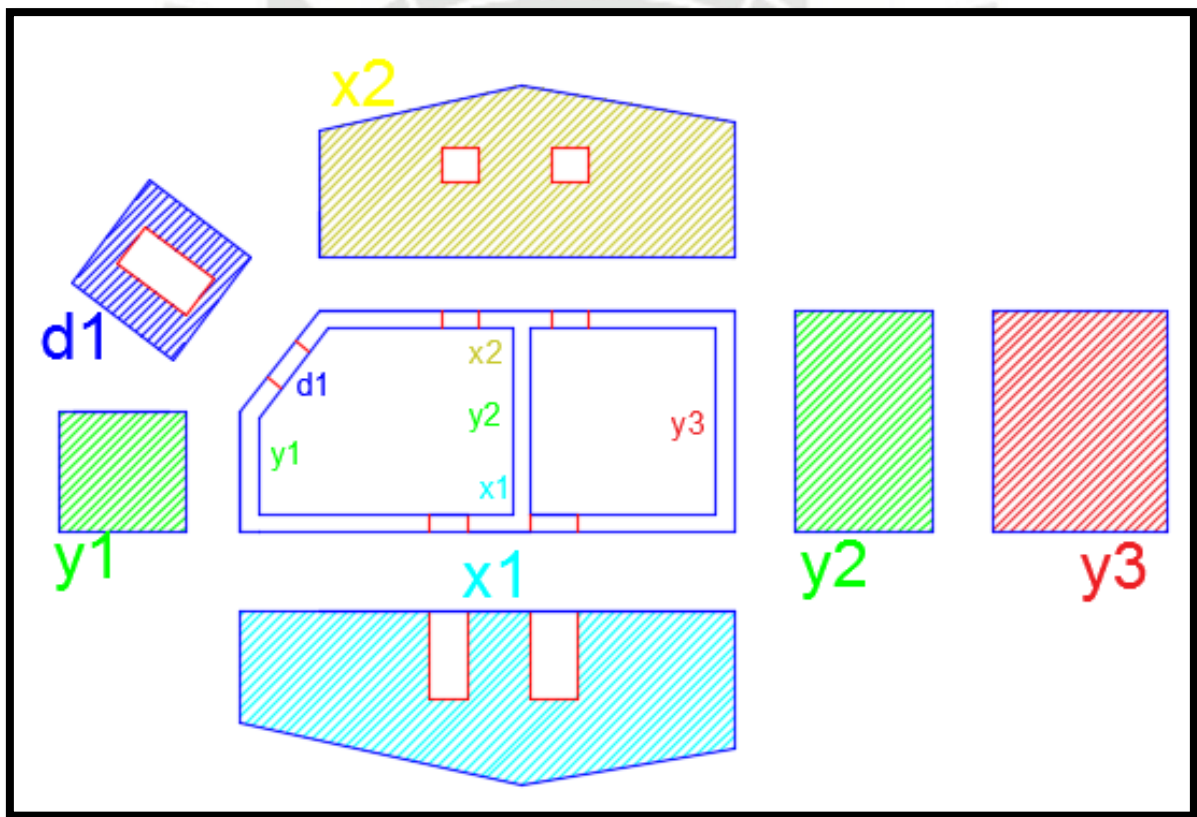


Figura 4.49 Esquema y nomenclatura de los muros para la vivienda V-6

Medidas de los muros											
	Muros			Aberturas			Aguilon			Angulo	Portante
	Largo	Alto	Espesor	Largo	Alto	Espesor	Largo	Alto	Espesor		
x-1	10,8	2,42	0,4	0,85	1,9	0,4	10,8	1,38	0,4		Si
				1	1,9	0,4					
x-2	9,1	2,8	0,4	0,8	0,75	0,4	9,1	1	0,4		Si
				0,8	0,75	0,4					
y-1	2,68	2,75	0,4								Si
y-2	4,9	3	0,4								Si
y-3	4,9	3,8	0,4								Si
d-1	2,8	2,8	0,4	1	1,88	0,4				53	Si

Variables para la evaluación de vulnerabilidad						
	x1	x2	y1	y2	y3	d1
T (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
L (m)	10,8	9,1	2,68	4,9	4,9	2,8
hs (m)	2,42	2,8	2,75	3	3,8	2,8
β	3	3	2	2	2	2
r	15	17	17	18	23	17
s (m)	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333	0,1333
b (m)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Qr (t/m)	340,83	387,49	219,63	220,41	0	187,07

4.3.2 Procedimiento de cálculo

Se resumen por conveniencia las ecuaciones presentadas en la teoría de la sección 2.2 en las tablas 4.12 4.13 y 4.14.

Tabla 4.12 Formulas para el cálculo de comportamiento en el plano de un muro.

FORMULAS	
Ec (a)	$\Delta_y = k_1 \cdot h_T \cdot \delta_y$
Ec (b)	$\Delta_p = k_2 \cdot (\delta_{LS} - \delta_y) \cdot h_{sp}$
Ec (c)	$\Delta_{LS} = \Delta_y + \Delta_p$
Ec (x)	$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}}$
Ec (d)	$\mu_{LS} = \frac{\Delta_{LS}}{\Delta_y}$
Ec (e)	$T_y = 0.090 \cdot H^{3/4}$
Ec (f)	$T_{LS} = T_y \sqrt{\mu_{LS}}$

Donde

Δ_y : Desplazamiento de cedencia.

Δ_p : Desplazamiento plástico.

Δ_{LS} : Desplazamiento del estado limite.

δ_y : Deriva de cedencia.

δ_{LS} : Deriva del estado limite.

μ_{LS} : Ductilidad del estado límite.

k_1 : Factor.

k_2 : Factor.

h_T : Altura total del edificio.

h_{sp} : Altura total del piso.

H : Altura de la estructura.

T_y : Periodo de cedencia.

T_{LS} : Periodo degradado en el estado límite.

η : Factor de reducción para los espectros.

ξ : Fracción de amortiguamiento.

Tabla 4.13 Formulas para el cálculo de comportamiento fuera del plano de un muro.

ECUACIONES	
(a) $\rho_2 = \Delta_2 / \Delta_u$	(e) $F_o = \lambda \tilde{W}$
(b) $\Delta_{LSu} = \phi \cdot \Delta_u$	(f) $F = F_o \left(1 - \frac{\Delta_2}{\Delta_u} \right)$
(c) $T_{LSi} = \left(\frac{4\pi^2 \Delta_1}{\lambda g (1 - \rho_2)} \right)^{1/2}$	(g) $\Delta u = \phi \cdot t$
(d) $T_{LSu} = \left(\frac{4\pi^2 \cdot \Delta_{LSu} \cdot \rho_2}{\lambda \phi g (1 - \rho_2)} \right)^{1/2}$	

Donde

ρ_2 : Factor de conservación.

Δ_1 : Factor de conservación tabla 4.10.

Δ_2 : Factor de conservación tabla 4.10.

Δ_{LSu} : Desplazamiento del estado último.

Δ_u : Desplazamiento último.

T_{LSi} : Periodo del estado limite i.

T_{LSu} : Periodo del estado limite último.

F_o : Fuerza resistente al balanceo.

F : Fuerza.

λ : Factor de Resistencia del mecanismo.

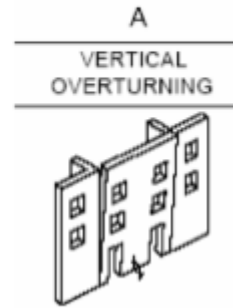
ϕ : Factor de fricción.

t : Espesor del muro.

g : Aceleración de la gravedad.

Tabla 4.14 Formulas para el cálculo del mecanismo A de volteo.

ECUACIONES	
(a)	$\lambda = \frac{\frac{T^2 L}{2} + \beta \cdot \Omega_{pef} \frac{h_s}{3} \mu \cdot s \cdot b \frac{(r+1)}{2} + \frac{K_r L T}{2}}{h_s \left(\frac{TL}{2} + K_r L \right)}$
(b)	$K_r = \frac{Q_r}{\gamma_m h_s}$
(c)	$\Omega_{pef} = 1.0 - 0.185 \frac{L}{h_s} \geq 0$



Donde

T : Espesor de la pared.

L : Longitud de la pared.

β : Numero de bordes y paredes perpendiculares internas.

Ω_{pef} : Factor parcial de eficiencia

h_s : Altura de la pared.

s : Longitud de escalonamiento.

b : Espesor de las unidades.

r : Numero de hiladas

K_r : Sobrecarga.

Q_r : Carga por metro encima del muro.

γ_m : Peso específico de la albañilería.

Pasos para el cálculo

En el plano

1. Se ingresan las derivas presentados en la tabla 4.8 para cada estado límite.
2. Se ingresan los valores de k_1 y k_2 de la tabla 4.11, se ingresa la altura de la vivienda h_T y h_{sp} .
3. Se calcula el valor de Δ_y mediante la ecuación (a) de la tabla 4.11.
4. Se calcula el valor de Δ_p mediante la ecuación (b) para cada estado limite según su deriva de la tabla 4.11.
5. Se calcula el valor de Δ_{LS} mediante la ecuación (c) para cada estado límite de la tabla 4.11.
6. Se calcula el valor de μ_{LS} mediante la ecuación (d) para cada estado limit de la tabla 4.11.

7. Se calcula el valor de T_y mediante la ecuación (e) para cada estado límite de la tabla 4.11.
8. Se calcula el valor de T_{LS} mediante la ecuación (f) para cada estado límite de la tabla 4.11.
9. Se comparan los valores de Δ_{LS} con los valores del espectro de desplazamientos correspondiente a su periodo T_{LS} , si el desplazamiento Δ_{LS} que es la capacidad es menor que la demanda S_d entonces el límite a sido excedido y de lo contrario no.

Fuera del plano

1. Se reúnen los datos necesarios estos son: $T, L, h_s, \beta, r, s, b, Q_r, \gamma_m, \mu, \phi, g, n, \Delta_1$ y Δ_2 .
2. Escogemos Δ_1 y Δ_2 de la tabla 4.10.
3. Se calcula ρ_2 con la ecuación (a).
4. Se calcula Δ_{LSu} con la ecuación (b) de la tabla 4.12.
5. Se calcula Δ para los estados todos los estados límite con la tabla 4.9.
6. Se calcula Ω_{pef} y K_r con las ecuaciones (b) y (c) y λ para el mecanismo A con la ecuación (a) de la tabla 4.13.
7. Se calcula T_{LSi} para cada estado límite con la ecuación (c) de la tabla 4.12.
8. Se calcula T_{LSu} con la ecuación (d) de la tabla 4.12.
9. Se comparan el desplazamiento Δ y Δ_{LSu} que son las capacidades de desplazamiento para cada estado límite y para el estado último, y se comparan con las demandas de desplazamiento obtenidas de los espectros de desplazamiento y evaluados en los periodos T_{LSi} y T_{LSu} .

4.3.3 Calculo

Para el cálculo de comportamiento en el plano de todos los muros se usan las derivas de la tabla 4.8 y para fuera del plano de la tabla 4.9 estos son

Tabla 4.15 Formulas para el cálculo del mecanismo A de volteo.

En el plano		Fuera del Plano	
Estado Limite	Deriva (%)	Estado Limite	Δ
LS-1	0.052	LS-1	$0.4 * \Delta_1$
LS-2	0.1	LS-2	$0.88 * \Delta_1$
LS-3	0.26	LS-3	Δ_1
LS-4	0.52	ULS	$\emptyset * t$

Se escoge k_1 y k_2 de la tabla 4.11 para un piso entonces $k_1 = 0.8$ y $k_2 = 0.95$

Se calcularon en total 52 muros de las 6 viviendas, este cálculo realizado en Excel genera una gran cantidad de resultados, en seguida se muestra el ejemplo de cálculo de un solo muro para luego mostrar solamente el resultado de los 52 muros.

Estos datos son los mismos para todos los muros, desde aquí se muestra el cálculo resumido del muro X1 de la vivienda V-1 para mostrar la secuencia de cálculos.

Para el muro X1 de la vivienda V-1 los datos son los siguientes

Tabla 4.16 Datos resumidos para la evaluación de la capacidad del muro X1 de la vivienda V-1

1. DATOS				
EN EL PLANO		FUERA DEL PLANO		
h_{sp}	2,75 m	T	0,4	m
h_T	2,75 m	L	12,43	m
		hs	2,75	m
		β	2	
		r	17	
		s	0,1333	m
		b	0,4	m
		Qr	421,83	kg/m
		γm	1800	kg/m ³
		μ	0,8	
		ϕ	0,8	
		g	9,81	m/s ²
		n	1	
		Δ_1/Δ_u	16,5	%
		Δ_2/Δ_u	45	%

Los cálculos para este muro y cada estado limite son:

Comportamiento en el plano

Tabla 4.17 Valores calculados capacidad del muro X1 de la vivienda V-1 para comportamiento fuera del plano

	Ec (a)	Ec (b)	Ec (c)	Ec (d)	Ec (e)	Ec (f)
LS	Δy (m)	Δp (m)	ΔLS (m)		Ty (s)	TLS (s)
LS-1	0.00114	0.0000	0.001144	1.00	0.192	0.192
LS-2	0.00114	0.0013	0.002398	2.10	0.192	0.278
LS-3	0.00114	0.0054	0.006578	5.75	0.192	0.461
LS-4	0.00114	0.0122	0.013371	11.69	0.192	0.657

*Comportamiento fuera del plano***Tabla 4.18** Cálculo de factores de resistencia para el muro X1 de la vivienda V-1 para comportamiento fuera del plano

CALCULOS		
Δ_1	0.0528	m
Δ_2	0.144	m
ρ_2	0.45	
Δu	0.32	m
Δ_{LSu}	0.256	
λ	Mecanismo A	0.136

Ec (a)**Ec (g)****Tabla 4.19** Cálculo de los desplazamientos límite para comportamiento fuera del plano del muro X1 de la vivienda V-1

	Desplazamiento en el tope	Ancho de grieta en la base	Periodo	Fracción de Amortiguamiento
Estado Limite	Δ (m)	w (m)	T(s) Ec (c) y (d)	ζ (%)
LS-1	0.0199	0.0029	1.688	5
LS-2	0.0469	0.0068	1.688	5
LS-3	0.0528	0.0077	1.688	5
Ultimate LS	0.256	0.0372	2.788	5

4.4 Resultados

El resultado de la evaluación de vulnerabilidad sísmica son los desplazamientos máximos para cada estado límite para comportamiento en el plano y fuera del plano, a continuación se muestran los resultados obtenidos del cálculo para todos los muros de las 6 viviendas.

Tabla 4.20 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-1

V-1		Desplazamiento encontrado para cada estado límite (m)							
		x1	x2	x3	y1	y2	y3	d1	d2
EN EL PLANO	LS-1	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0011	0.0011
	LS-2	0.0024	0.0024	0.0022	0.0022	0.0024	0.0020	0.0024	0.0023
	LS-3	0.0066	0.0066	0.0061	0.0061	0.0066	0.0055	0.0066	0.0062
	LS-4	0.0134	0.0134	0.0124	0.0124	0.0134	0.0112	0.0134	0.0126
FUERA DEL PLANO	LS-1	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199
	LS-2	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469
	LS-3	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528
	Ult. LS	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560

Tabla 4.21 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-2

V-2		Desplazamiento encontrado para cada estado límite (m)											
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	y1	y2	y3	y4	y5	y6
EN EL PLANO	LS-1	0.1789	0.1789	0.1310	0.1310	0.2328	0.2328	0.1762	0.1762	0.1310	0.1310	0.2328	0.2328
	LS-2	0.2591	0.2591	0.1897	0.1897	0.3370	0.3370	0.2552	0.2552	0.1897	0.1897	0.3370	0.3370
	LS-3	0.4291	0.4291	0.3142	0.3142	0.5581	0.5581	0.4226	0.4226	0.3142	0.3142	0.5581	0.5581
	LS-4	0.6117	0.6117	0.4479	0.4479	0.7957	0.7957	0.6025	0.6025	0.4479	0.4479	0.7957	0.7957
FUERA DEL PLANO	LS-1	1.5594	1.5594	1.1522	1.1522	0.9783	0.9783	1.1172	1.1172	0.9089	0.9089	1.3764	1.3764
	LS-2	1.5594	1.5594	1.1522	1.1522	0.9783	0.9783	1.1172	1.1172	0.9089	0.9089	1.3764	1.3764
	LS-3	1.5594	1.5594	1.1522	1.1522	0.9783	0.9783	1.1172	1.1172	0.9089	0.9089	1.3764	1.3764
	Ult. LS	2.5753	2.5753	1.9027	1.9027	1.6157	1.6157	1.8449	1.8449	1.5011	1.5011	2.2731	2.2731

Tabla 4.22 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-3

V-3		Desplazamiento encontrado para cada estado límite (m)							
		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	d1
EN EL PLANO	LS-1	0.0009	0.0017	0.0009	0.0017	0.0017	0.0009	0.0009	0.0017
	LS-2	0.0019	0.0035	0.0019	0.0035	0.0035	0.0019	0.0019	0.0035
	LS-3	0.0053	0.0096	0.0053	0.0096	0.0096	0.0053	0.0053	0.0096
	LS-4	0.0107	0.0194	0.0107	0.0194	0.0194	0.0107	0.0107	0.0194
FUERA DEL PLANO	LS-1	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199
	LS-2	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469
	LS-3	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528
	Ult. LS	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560

Tabla 4.23 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-4

V-4		Desplazamiento encontrado para cada estado límite (m)								
		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	y5
EN EL PLANO	LS-1	0.0018	0.0018	0.0009	0.0011	0.0018	0.0018	0.0009	0.0009	0.0009
	LS-2	0.0038	0.0038	0.0018	0.0023	0.0038	0.0038	0.0018	0.0018	0.0018
	LS-3	0.0105	0.0105	0.0050	0.0062	0.0105	0.0105	0.0049	0.0050	0.0050
	LS-4	0.0214	0.0214	0.0102	0.0126	0.0214	0.0214	0.0100	0.0102	0.0102
FUERA DEL PLANO	LS-1	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199
	LS-2	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469
	LS-3	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528
	Ult. LS	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560

Tabla 4.24 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-5

V-5		Desplazamiento encontrado para cada estado límite (m)								
		x1	x2	x3	y1	y2	y4	y5	y6	y7
EN EL PLANO	LS-1	0.0012	0.0012	0.0007	0.0013	0.0013	0.0013	0.0009	0.0007	0.0007
	LS-2	0.0026	0.0026	0.0016	0.0028	0.0028	0.0028	0.0019	0.0016	0.0016
	LS-3	0.0072	0.0072	0.0043	0.0077	0.0077	0.0077	0.0051	0.0043	0.0043
	LS-4	0.0146	0.0146	0.0088	0.0156	0.0156	0.0156	0.0105	0.0088	0.0088
FUERA DEL PLANO	LS-1	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199
	LS-2	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469
	LS-3	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528
	Ult. LS	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560

Tabla 4.25 Desplazamientos máximos de los estados límite para los muros de la vivienda V-6

V-6		Desplazamiento encontrado para cada estado limite (m)					
		x1	x2	y1	y2	y3	d1
EN EL PLANO	LS-1	0.0010	0.0012	0.0011	0.0012	0.0016	0.0012
	LS-2	0.0021	0.0024	0.0024	0.0026	0.0033	0.0024
	LS-3	0.0058	0.0067	0.0066	0.0072	0.0091	0.0067
	LS-4	0.0118	0.0136	0.0134	0.0146	0.0185	0.0136
FUERA DEL PLANO	LS-1	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199	0.0199
	LS-2	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469
	LS-3	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528	0.0528
	Ult. LS	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560	0.2560

Adicionalmente se ha calculado los periodos estructurales de los muros cuando lleguen a los estados límite mostrados, a continuación se muestran los periodos calculados para todos los muros de las 6 viviendas.

Tabla 4.26 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-1

V-1		Periodo encontrado para cada estado limite (s)							
		x1	x2	x3	y1	y2	y3	d1	d2
EN EL PLANO	LS-1	0.1922	0.1920	0.1816	0.1816	0.1922	0.1681	0.1922	0.1843
	LS-2	0.2783	0.2780	0.2629	0.2629	0.2783	0.2434	0.2783	0.2668
	LS-3	0.4609	0.4610	0.4355	0.4355	0.4609	0.4031	0.4609	0.4419
	LS-4	0.6571	0.6570	0.6209	0.6209	0.6571	0.5746	0.6571	0.6300
FUERA DEL PLANO	LS-1	1.6882	1.6300	1.5236	1.1015	1.0886	1.1199	1.0165	0.8949
	LS-2	1.6882	1.6300	1.5236	1.1015	1.0886	1.1199	1.0165	0.8949
	LS-3	1.6882	1.6300	1.5236	1.1015	1.0886	1.1199	1.0165	0.8949
	Ult. LS	2.7880	2.6920	2.5162	1.8191	1.7977	1.8494	1.6787	1.4779

Tabla 4.27 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-2

V-2		Periodo encontrado para cada estado limite (s)											
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	y1	y2	y3	y4	y5	y6
EN EL PLANO	LS-1	0.1789	0.1789	0.1310	0.1310	0.2328	0.2328	0.1762	0.1762	0.1310	0.1310	0.2328	0.2328
	LS-2	0.2591	0.2591	0.1897	0.1897	0.3370	0.3370	0.2552	0.2552	0.1897	0.1897	0.3370	0.3370
	LS-3	0.4291	0.4291	0.3142	0.3142	0.5581	0.5581	0.4226	0.4226	0.3142	0.3142	0.5581	0.5581
	LS-4	0.6117	0.6117	0.4479	0.4479	0.7957	0.7957	0.6025	0.6025	0.4479	0.4479	0.7957	0.7957
FUERA DEL PLANO	LS-1	1.5594	1.5594	1.1522	1.1522	0.9783	0.9783	1.1172	1.1172	0.9089	0.9089	1.3764	1.3764
	LS-2	1.5594	1.5594	1.1522	1.1522	0.9783	0.9783	1.1172	1.1172	0.9089	0.9089	1.3764	1.3764
	LS-3	1.5594	1.5594	1.1522	1.1522	0.9783	0.9783	1.1172	1.1172	0.9089	0.9089	1.3764	1.3764
	Ult. LS	2.5753	2.5753	1.9027	1.9027	1.6157	1.6157	1.8449	1.8449	1.5011	1.5011	2.2731	2.2731

Tabla 4.28 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-3

V-3		Periodo encontrado para cada estado limite (s)							
		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	d1
EN EL PLANO	LS-1	0.1626	0.2546	0.1626	0.2546	0.2546	0.1626	0.1626	0.2546
	LS-2	0.2354	0.3686	0.2354	0.3686	0.3686	0.2354	0.2354	0.3686
	LS-3	0.3898	0.6104	0.3898	0.6104	0.6104	0.3898	0.3898	0.6104
	LS-4	0.5558	0.8703	0.5558	0.8703	0.8703	0.5558	0.5558	0.8703
FUERA DEL PLANO	LS-1	1.2937	1.0056	1.2937	0.7826	1.5741	1.4128	1.4992	0.8190
	LS-2	1.2937	1.0056	1.2937	0.7826	1.5741	1.4128	1.4992	0.8190
	LS-3	1.2937	1.0056	1.2937	0.7826	1.5741	1.4128	1.4992	0.8190
	Ult. LS	2.1364	1.6606	2.1364	1.2924	2.5995	2.3332	2.4758	1.3526

Tabla 4.29 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-4

V-4		Periodo encontrado para cada estado limite (s)								
		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	y5
EN EL PLANO	LS-1	0.2734	0.2734	0.1570	0.1843	0.2734	0.2734	0.1548	0.1570	0.1570
	LS-2	0.3959	0.3959	0.2273	0.2668	0.3959	0.3959	0.2241	0.2273	0.2273
	LS-3	0.6556	0.6556	0.3765	0.4419	0.6556	0.6556	0.3711	0.3765	0.3765
	LS-4	0.9347	0.9347	0.5367	0.6300	0.9347	0.9347	0.5291	0.5367	0.5367
FUERA DEL PLANO	LS-1	1.4466	1.2345	1.4587	1.4505	0.9900	0.9900	1.0845	1.0878	1.0878
	LS-2	1.4466	1.2345	1.4587	1.4505	0.9900	0.9900	1.0845	1.0878	1.0878
	LS-3	1.4466	1.2345	1.4587	1.4505	0.9900	0.9900	1.0845	1.0878	1.0878
	Ult. LS	2.3890	2.0387	2.4090	2.3955	1.6349	1.6349	1.7910	1.7964	1.7964

Tabla 4.30 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-5

V-5		Periodo encontrado para cada estado limite (s)								
		x1	x2	x3	y1	y2	y4	y5	y6	y7
EN EL PLANO	LS-1	0.2052	0.2052	0.1399	0.2153	0.2153	0.2153	0.1598	0.1399	0.1399
	LS-2	0.2970	0.2970	0.2025	0.3118	0.3118	0.3118	0.2314	0.2025	0.2025
	LS-3	0.4919	0.4919	0.3354	0.5163	0.5163	0.5163	0.3832	0.3354	0.3354
	LS-4	0.7014	0.7014	0.4781	0.7361	0.7361	0.7361	0.5463	0.4781	0.4781
FUERA DEL PLANO	LS-1	1.6155	1.5568	1.3646	1.0818	1.0117	1.0818	1.1320	0.4362	0.9137
	LS-2	1.6155	1.5568	1.3646	1.0818	1.0117	1.0818	1.1320	0.4362	0.9137
	LS-3	1.6155	1.5568	1.3646	1.0818	1.0117	1.0818	1.1320	0.4362	0.9137
	Ult. LS	2.6680	2.5709	2.2536	1.7866	1.6708	1.7866	1.8694	0.7203	1.5090

Tabla 4.31 Periodos de los estados límite para los muros de la vivienda V-6

V-6		Periodo encontrado para cada estado limite (s)					
		x1	x2	y1	y2	y3	d1
EN EL PLANO	LS-1	0.1746	0.1948	0.1922	0.2052	0.2450	0.1948
	LS-2	0.2528	0.2820	0.2783	0.2970	0.3546	0.2820
	LS-3	0.4187	0.4671	0.4609	0.4919	0.5874	0.4671
	LS-4	0.5970	0.6660	0.6571	0.7014	0.8374	0.6660
FUERA DEL PLANO	LS-1	1.5450	1.4498	0.9238	1.1708	1.0212	0.9308
	LS-2	1.5450	1.4498	0.9238	1.1708	1.0212	0.9308
	LS-3	1.5450	1.4498	0.9238	1.1708	1.0212	0.9308
	Ult. LS	2.5514	2.3943	1.5256	1.9335	1.6864	1.5371

Capítulo 5

Comportamiento de muros frente a sismos

En este capítulo se compara la demanda y la capacidad encontradas en los capítulos 3 y 4 respectivamente, para observar el comportamiento que tienen los miembros de estructurales de las viviendas estudiadas.



5.1 Cálculo del comportamiento de muros

Es necesario comparar la demanda y la capacidad de desplazamiento para todos los muros de las 6 viviendas y así conocer su comportamiento y el riesgo el cual presentan, se decide usar sismos con diferentes periodos de retorno en un orden creciente desde 5 a 1000 años para ver el comportamiento presentado.

La demanda son los espectros de peligro uniforme encontrados en el capítulo 3 y mostrados en la figura 3.51 y 3.52.

La capacidad son los desplazamientos máximos y periodos encontrados en el capítulo 4 y mostrados en las tablas 4.20 a 4.31.

Para llevar a cabo esta comparación en el presente trabajo se propone el siguiente procedimiento

5.1.1 Procedimiento para comparar el comportamiento de muros

Para explicar mejor el procedimiento se muestra la comparación demanda-capacidad del muro X1 de la vivienda V-1.

1. DATOS

Se repiten los datos ingresados anteriormente para hallar la capacidad en el plano y fuera del plano del muro, estos datos son:

Tabla 5.1 Datos para la evaluación de capacidad de desplazamiento

1. DATOS				
EN EL PLANO		FUERA DEL PLANO		
h_{sp}	2,75 m	T	0,4	m
h_T	2,75 m	L	12,43	m
		hs	2,75	m
		β	2	
		r	17	
		s	0,1333	m
		b	0,4	m
		Qr	421,83	kg/m
		γm	1800	kg/m ³
		μ	0,8	
		ϕ	0,8	
		g	9,81	m/s ²
		n	1	
		Δ_1/Δ_u	16,5	%
		Δ_2/Δ_u	45	%

2. CAPACIDAD

Se muestra la capacidad encontrada en el capítulo 4 junto con la fracción de amortiguamiento y el factor de reducción de espectro, definidos anteriormente para cada estado limite.

Tabla 5.2 Capacidad de desplazamiento del muro X1 de la vivienda V-1

2. CAPACIDAD					
LS		TLS (s)	ΔLS (m)	ζ (%)	η
EN EL PLANO (Procedimiento a)	LS-1	0,192	0,0011	10	0,76376
	LS-2	0,278	0,0024	10	0,76376
	LS-3	0,461	0,0066	12	0,70711
	LS-4	0,657	0,0134	16	0,62361
FUERA DEL PLANO (Procedimiento b)	LS-1	1,688	0,0199	5	1
	LS-2	1,688	0,0469	5	1
	LS-3	1,688	0,0528	5	1
	Ult. LS	2,788	0,2560	5	1

3. DEMANDA Sd (m)

Se extrae la demanda de desplazamientos de los espectros de peligro uniforme convertidos a desplazamientos mostrados en las figuras 4.38 y 4.39.

Cada estado limite tiene un periodo propio calculado en el capítulo 4 se usan estos periodos para calcular el desplazamiento de los espectros de desplazamiento, para conocer el comportamiento de estos muros para diferentes sismos se usan espectros con diferente periodo de retorno.

Tabla 5.3 Demanda de desplazamiento para los periodos TLS para el muro X1 de la vivienda V-1

		3. DEMANDA Sd (m)												
	LS	TLS (s)	Periodos de Retorno											
			5	10	25	50	100	250	500	1000	43	72	475	970
EN EL PLANO	LS-1	0,1922	0,0012	0,0017	0,0026	0,0035	0,0045	0,0060	0,0074	0,0090	0,0033	0,0040	0,0073	0,0089
	LS-2	0,2783	0,0026	0,0037	0,0056	0,0074	0,0096	0,0129	0,0160	0,0193	0,0070	0,0085	0,0158	0,0191
	LS-3	0,4609	0,0053	0,0076	0,0117	0,0155	0,0200	0,0273	0,0335	0,0408	0,0146	0,0178	0,0330	0,0405
	LS-4	0,6571	0,0075	0,0109	0,0168	0,0226	0,0293	0,0401	0,0496	0,0603	0,0212	0,0260	0,0489	0,0598
FUERA DEL PLANO	LS-1	1,6882	0,0237	0,0375	0,0632	0,0894	0,1209	0,1728	0,2196	0,2742	0,0832	0,1049	0,2160	0,2717
	LS-2	1,6882	0,0237	0,0375	0,0632	0,0894	0,1209	0,1728	0,2196	0,2742	0,0832	0,1049	0,2160	0,2717
	LS-3	1,6882	0,0237	0,0375	0,0632	0,0894	0,1209	0,1728	0,2196	0,2742	0,0832	0,1049	0,2160	0,2717
	Ult. LS	2,7880	0,0280	0,0469	0,0852	0,1258	0,1782	0,2667	0,3498	0,4523	0,1161	0,1517	0,3432	0,4475

4. RELACION CAPACIDAD/DEMANDA

Se compara la demanda con la capacidad de los espectros con una relación capacidad/demanda que da un número mayor de 1 si es que la capacidad es mayor lo cual quiere decir que el estado límite en el cual se está evaluando la capacidad no es excedida y un valor menor de 1 si es que la demanda es mayor que la capacidad de desplazamiento.

Tabla 5.4 Relación de Capacidad/demanda para el muro X1 de la vivienda V-1

4. RELACION CAPACIDAD/DEMANDA													
LS		Periodos de Retorno											
		5	10	25	50	100	250	500	1000	43	72	475	970
EN EL PLANO	LS-1	0,93	0,66	0,44	0,33	0,26	0,19	0,15	0,13	0,35	0,29	0,16	0,13
	LS-2	0,92	0,65	0,43	0,32	0,25	0,19	0,15	0,12	0,34	0,28	0,15	0,13
	LS-3	1,23	0,86	0,56	0,43	0,33	0,24	0,20	0,16	0,45	0,37	0,20	0,16
	LS-4	1,79	1,23	0,80	0,59	0,46	0,33	0,27	0,22	0,63	0,51	0,27	0,22
FUERA DEL PLANO	LS-1	0,84	0,53	0,32	0,22	0,16	0,12	0,09	0,07	0,24	0,19	0,09	0,07
	LS-2	1,98	1,25	0,74	0,52	0,39	0,27	0,21	0,17	0,56	0,45	0,22	0,17
	LS-3	2,23	1,41	0,84	0,59	0,44	0,31	0,24	0,19	0,63	0,50	0,24	0,19
	Ult. LS	9,14	5,46	3,00	2,03	1,44	0,96	0,73	0,57	2,21	1,69	0,75	0,57

5. ¿LA CAPACIDAD RESISTE LA DEMANDA?

Con la anterior tabla se pone un “SI” si es que la capacidad es mayor y “NO” si es excedida por la demanda.

Tabla 5.5 Prueba para demostrar si la capacidad es excedida por la demanda del muro X1 de la vivienda V-1

5. ¿LA CAPACIDAD RESISTE LA DEMANDA?													
LS		Periodos de Retorno											
		5	10	25	50	100	250	500	1000	43	72	475	970
EN EL PLANO	LS-1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	LS-2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	LS-3	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	LS-4	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FUERA DEL PLANO	LS-1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	LS-2	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	LS-3	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	Ult. LS	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO

6. VERIFICACION DE COLAPSO

En el caso que los muros se excedan todos los estados límite se verifica si estos colapsan.

Para el comportamiento en el plano se verifican las derivas demandadas por el estado limite 4 y si estas son mayores que 1% entonces el muro colapsa.

Para el comportamiento fuera del plano se verifican la demanda de desplazamientos Ult Ls, si este desplazamiento es mayor que 0.8 veces el espesor del muro entonces el muro colapsa.

Tabla 5.6 Prueba de colapso para el muro X1 de la vivienda V-1

5. VERIFICACION DE COLAPSO													
DERIVAS MAXIMAS (%) PARA VERIFICAR EL COLAPSO EN EL COMPORTAMIENTO EN EL PLANO													
EN EL PLANO	Tr	5	10	25	50	100	250	500	1000	43	72	475	970
	LS-4	0,29	0,43	0,65	0,87	1,13	1,54	1,91	2,32	0,82	1,00	1,88	2,30
	¿Colapso?	no	no	no	no	colapso	colapso	colapso	colapso	no	colapso	colapso	colapso
DEMANDAS (cm) PARA VERIFICAR EL COLAPSO EN EL COMPORTAMIENTO FUERA DEL PLANO													
FUERA DEL PLANO	Tr	5	10	25	50	100	250	500	1000	43	72	475	970
	Ult. LS	2,801	4,692	8,520	12,581	17,815	26,666	34,981	45,225	11,607	15,170	34,318	44,747
	¿Colapso?	no	no	no	no	no	no	colapso	colapso	no	no	colapso	colapso

7. RESULTADOS

Según donde la capacidad es mayor que la demanda se define un intervalo de estados limite en el cual se encontraría el muro en el caso de presentarse un sismo de periodo de retorno T_r

Los intervalos posibles son

Tabla 5.7 Intervalos posibles

Intervalos posibles	
EN EL PLANO	< LS1
	LS1 - LS2
	LS2 - LS3
	LS3 - LS4
	>LS4
	Colapso
FUERA DEL PLANO	<LS-1
	LS-1 - LS-2
	LS-2 - LS-3
	LS3 - Ult. Ls
	>Ult. LS
	Colapso

Para cada sismo evaluado el muro se comporta de una manera que depende el intervalo de estados limite donde este para comportamiento en el plano y fuera del plano.

Tabla 5.8 Intervalos donde se encuentran el muro para diferentes sismos con periodo de retorno T_r para el muro X1 de la vivienda V-1

6. RESULTADOS		
Estados del muro frente a varios sismos		
T_r	En el plano	Fuera del plano
5	LS2 - LS3	LS-1 - LS-2
10	LS3 - LS4	LS-1 - LS-2
25	>LS4	LS3 - Ult. Ls
50	>LS4	LS3 - Ult. Ls
100	colapso	LS3 - Ult. Ls
250	colapso	>Ult. LS
500	colapso	colapso
1000	colapso	colapso
43	>LS4	LS3 - Ult. Ls

72	colapso	LS3 - Ult. Ls
475	colapso	colapso
970	colapso	colapso

Se realizó este cálculo para todos los muros de las 6 viviendas y a continuación se muestran solo los resultados.

5.2 Resultados

Se muestran los intervalos de estados límite alcanzados por todos los muros para sismos con periodo de retorno T_r y para comportamiento en el plano y fuera del plano.



Tabla 5.9 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-1 para varios sismos con periodo de retorno T_r

V1		COMPORTAMIENTO DE MUROS ANTE SISMOS DE DIFERENTE T_r							
	T_r	x1	x2	x3	y1	y2	y3	d1	d2
En el plano	5	LS2 - LS3	LS2 - LS3	LS2 - LS3	LS2 - LS3	LS2 - LS3	< LS1	LS2 - LS3	LS2 - LS3
	10	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4
	25	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	50	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	100	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	250	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	500	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	1000	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	43	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	72	colapso	colapso	>LS4	>LS4	colapso	>LS4	colapso	colapso
	475	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	970	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
Fuera del plano	5	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1
	10	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2
	25	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-2 - LS-3	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2
	50	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-2 - LS-3
	100	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	250	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	500	colapso	colapso	colapso	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	1000	colapso	colapso	colapso	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls
	43	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-2 - LS-3
	72	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	475	colapso	colapso	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	970	colapso	colapso	colapso	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls

Tabla 5.10 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-2 para varios sismos con periodo de retorno Tr

V2		COMPORTAMIENTO DE MUROS ANTE SISMOS DE DIFERENTE Tr											
	Tr	$x1$	$x2$	$x3$	$x4$	$x5$	$x6$	$y1$	$y2$	$y3$	$y4$	$y5$	$y6$
En el plano	5	LS2 - LS3	LS2 - LS3	< LS1	< LS1	LS2 - LS3	LS2 - LS3	< LS1	< LS1	< LS1	< LS1	LS2 - LS3	LS2 - LS3
	10	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4
	25	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	50	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	100	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	250	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	500	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	1000	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	43	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	72	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	475	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	970	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
Fuera del plano	5	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2
	10	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2
	25	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-2 - LS-3	LS-2 - LS-3	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	50	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	100	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	250	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	500	colapso	colapso	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	>Ult. LS	>Ult. LS
	1000	colapso	colapso	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	colapso	colapso
	43	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-2 - LS-3	LS-2 - LS-3	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	72	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	475	colapso	colapso	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	>Ult. LS	>Ult. LS
	970	colapso	colapso	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	colapso	colapso

Tabla 5.11 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-3 para varios sismos con periodo de retorno T_r

V3		COMPORTAMIENTO DE MUROS ANTE SISMOS DE DIFERENTE T_r							
	T_r	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2	y_3	d_1
En el plano	5	< LS1	LS2 - LS3	< LS1	LS2 - LS3	LS2 - LS3	< LS1	< LS1	LS2 - LS3
	10	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4
	25	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	50	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	100	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	250	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	500	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	1000	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	43	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	72	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	475	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	970	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
Fuera del plano	5	LS-1 - LS-2	<LS-1	LS-1 - LS-2	<LS-1	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	<LS-1
	10	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2
	25	LS-2 - LS-3	LS-1 - LS-2	LS-2 - LS-3	LS-1 - LS-2	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2
	50	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-2 - LS-3
	100	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	250	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	500	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	colapso	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls
	1000	colapso	>Ult. LS	colapso	LS3 - Ult. Ls	colapso	colapso	colapso	LS3 - Ult. Ls
	43	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2
	72	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-2 - LS-3	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	475	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	colapso	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls
	970	colapso	>Ult. LS	colapso	LS3 - Ult. Ls	colapso	colapso	colapso	LS3 - Ult. Ls

Tabla 5.12 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-4 para varios sismos con periodo de retorno T_r

V4		COMPORTAMIENTO DE MUROS ANTE SISMOS DE DIFERENTE T_r								
	T_r	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	y4	y5
En el plano	5	LS2 - LS3	LS2 - LS3	< LS1	< LS1	LS2 - LS3	LS2 - LS3	< LS1	< LS1	< LS1
	10	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS2 - LS3	< LS1	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS2 - LS3	LS2 - LS3	LS2 - LS3
	25	>LS4	>LS4	>LS4	LS3 - LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	50	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	100	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	250	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	500	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	1000	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	43	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	72	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	475	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	970	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
Fuera del plano	5	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1
	10	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2
	25	LS-2 - LS-3	LS-1 - LS-2	LS-2 - LS-3	LS-2 - LS-3	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2
	50	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-2 - LS-3	LS-2 - LS-3	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	100	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	250	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	500	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	1000	colapso	>Ult. LS	colapso	colapso	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	43	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-2 - LS-3	LS-2 - LS-3	LS-2 - LS-3	LS-2 - LS-3	LS-2 - LS-3
	72	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	475	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	970	colapso	>Ult. LS	colapso	colapso	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls

Tabla 5.13 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-5 para varios sismos con periodo de retorno T_r

V5		COMPORTAMIENTO DE MUROS ANTE SISMOS DE DIFERENTE T_r								
	T_r	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_4	y_5	y_6	y_7
En el plano	5	LS2 - LS3	LS2 - LS3	< LS1	LS2 - LS3	LS2 - LS3	LS2 - LS3	< LS1	< LS1	< LS1
	10	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4
	25	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	50	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	100	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	250	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	500	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	1000	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	43	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	72	colapso	colapso	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	475	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	970	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
Fuera del plano	5	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1	<LS-1
	10	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	<LS-1	LS-1 - LS-2
	25	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-2 - LS-3	<LS-1	LS-1 - LS-2
	50	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS3 - Ult. Ls
	100	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS3 - Ult. Ls
	250	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS3 - Ult. Ls
	500	colapso	colapso	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS3 - Ult. Ls
	1000	colapso	colapso	colapso	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	43	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	<LS-1	LS-2 - LS-3
	72	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS3 - Ult. Ls
	475	colapso	colapso	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS3 - Ult. Ls
	970	colapso	colapso	colapso	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	>Ult. LS	LS-2 - LS-3	LS3 - Ult. Ls

Tabla 5.14 Estado limite alcanzado por los muros de la vivienda V-6 para varios sismos con periodo de retorno T_r

V6		COMPORTAMIENTO DE MUROS ANTE SISMOS DE DIFERENTE T_r					
	T_r	x_1	x_2	y_1	y_2	y_3	d_1
En el plano	5	< LS1	LS2 - LS3	LS2 - LS3	LS2 - LS3	LS2 - LS3	LS2 - LS3
	10	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4	LS3 - LS4
	25	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	50	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	100	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	250	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	500	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	1000	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	43	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4	>LS4
	72	>LS4	colapso	colapso	colapso	>LS4	colapso
	475	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
	970	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso	colapso
Fuera del plano	5	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	<LS-1	LS-1 - LS-2	<LS-1	<LS-1
	10	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2
	25	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-1 - LS-2	LS-2 - LS-3	LS-1 - LS-2	LS-1 - LS-2
	50	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	100	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	250	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	500	colapso	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	1000	colapso	colapso	LS3 - Ult. Ls	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls
	43	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-2 - LS-3	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS-2 - LS-3
	72	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	475	colapso	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls	LS3 - Ult. Ls
	970	colapso	colapso	LS3 - Ult. Ls	>Ult. LS	>Ult. LS	LS3 - Ult. Ls

5.3 Resumen de resultados

Para resumir los resultados se cuentan cuantos muros (del total de viviendas) llegaron al intervalo entre estado limite LS correspondientes:

Tabla 5.15 Numero de muros que están en el intervalo de estados limite contando todas las viviendas

NUMERO DE ESTADOS LIMITE ALCANZADOS DEL TOTAL DE VIVIENDAS						
Tr	< LS1	LS1 - LS2	LS2 - LS3	LS3 - LS4	>LS4	colapso
5	21	0	31	0	0	0
10	1	0	4	47	0	0
25	0	0	0	1	51	0
50	0	0	0	0	52	0
100	0	0	0	0	9	43
250	0	0	0	0	0	52
500	0	0	0	0	0	52
1000	0	0	0	0	0	52
43	0	0	0	0	52	0
72	0	0	0	0	41	11
475	0	0	0	0	0	52
970	0	0	0	0	0	52
5	34	18	0	0	0	0
10	1	51	0	0	0	0
25	1	26	10	15	0	0
50	0	2	4	46	0	0
100	0	1	0	51	0	0
250	0	1	0	48	3	0
500	0	1	0	31	11	9
1000	0	0	0	14	18	20
43	1	2	11	38	0	0
72	0	1	1	50	0	0
475	0	1	0	31	12	8
970	0	0	1	13	18	20

En la tabla 5.16 se muestran estos resultados en términos de porcentajes.

Tabla 5.16 Porcentaje de muros que están en el intervalo de estados limite contando todas las viviendas

PORCENTAJE DE ESTADOS LIMITE ALCANZADOS DEL TOTAL DE VIVIENDAS						
Tr	< LS1	LS1 - LS2	LS2 - LS3	LS3 - LS4	>LS4	colapso
5	40,4	0,0	59,6	0,0	0,0	0,0
10	1,9	0,0	7,7	90,4	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	1,9	98,1	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
100	0,0	0,0	0,0	0,0	17,3	82,7
250	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
43	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
72	0,0	0,0	0,0	0,0	78,8	21,2
475	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
970	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
	<LS-1	LS-1 - LS-2	LS-2 - LS-3	LS3 - Ult. Ls	>Ult. LS	colapso
5	65,4	34,6	0,0	0,0	0,0	0,0
10	1,9	98,1	0,0	0,0	0,0	0,0
25	1,9	50,0	19,2	28,8	0,0	0,0
50	0,0	3,8	7,7	88,5	0,0	0,0
100	0,0	1,9	0,0	98,1	0,0	0,0
250	0,0	1,9	0,0	92,3	5,8	0,0
500	0,0	1,9	0,0	59,6	21,2	17,3
1000	0,0	0,0	0,0	26,9	34,6	38,5
43	1,9	3,8	21,2	73,1	0,0	0,0
72	0,0	1,9	1,9	96,2	0,0	0,0
475	0,0	1,9	0,0	59,6	23,1	15,4
970	0,0	0,0	1,9	25,0	34,6	38,5

Se puede resumir esta información en una gráfica de barras, esta se muestra en la figura 5.1 y 5.2.

En la figura 5.1 se puede observar los datos de la tabla 5.16 en forma gráfica, donde se puede observar gráficamente los porcentajes de muros que se comportan similarmente.

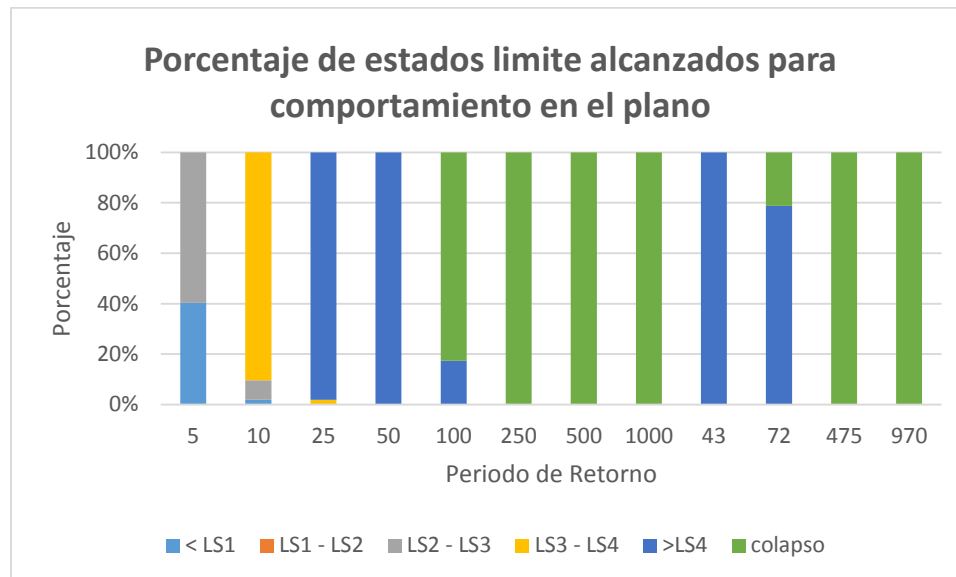


Figura 5.1 Grafica de barras que representa el porcentaje de muros que alcanzaron el estado limite “LS” para comportamiento en el plano

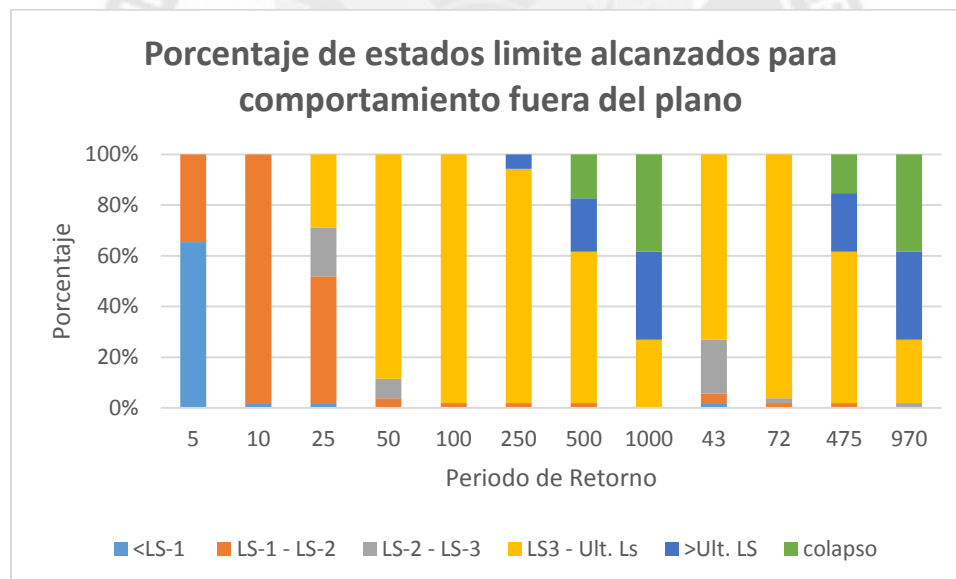


Figura 5.2 Grafica de barras que representa el porcentaje de muros que alcanzaron el estado limite “LS” para comportamiento fuera del plano

5.4 Interpretación de resultados

Para interpretar los resultados en la tabla 5.17 y 5.18 se describen los estados de daño esperados para cada rango de estados límite calculado.

Tabla 5.17 Estado de daño esperado para comportamiento en el plano (Tarque, 2008)

Edificio casi sin daños	$\text{Demand} < \text{LSI}$
Pocas grietas diagonales, edificio utilizable	$\text{LSI} < \text{Demand} < \text{LS2}$
Edificio muy dañado, pero todavía reparable. Comienzo de grietas horizontales	$\text{LS2} < \text{Demand} < \text{LS3}$
Los edificios no colapsados, pero con graves daños. Continuación de grietas horizontales. Corte de bloques de adobe	$\text{LS3} < \text{Demand} < \text{LS4}$
Edificios colapsados	$\text{Demand} > \text{LS4}$

Tabla 5.18 Estado de daño esperado para comportamiento fuera del plano (Tarque, 2008)
(Adaptado)

El comienzo y el incremento de grietas verticales en los bordes de paredes perpendiculares, que pueden conducir a la separación de ellos.	$\text{Demand} < \text{LSI}$
	$\text{LSI} < \text{Demand} < \text{LS2}$
	$\text{LS2} < \text{Demand} < \text{LS3}$
	$\text{LS3} < \text{Demand} < \text{Ult Ls.}$
Volteo	$\text{Demand} > \text{Ult Ls.}$

En el plano

Para un sismo frecuente $T_r = 43$

Todos los muros se hallan en inminente colapso o colapso.

Para un sismo ocasional $T_r = 72$

El 78.18% de los muros se halla en inminente colapso o colapsado y el 21.2% de muros se halla ya colapsado.

Para un sismo raro $T_r = 475$

Todos los muros colapsan.

Para un sismo muy raro $T_r = 970$

Todos los muros colapsan.

Observaciones

Se nota que aun con sismos muy pequeños es decir con 43 años de periodo de retorno todos los muros estarían en un inminente colapso o colapsados lo que quiere decir que los muros de albañilería de adobe sin reforzar siempre sufren de tener un inminente colapso aun para sismos muy leves.

Fuera del plano

Para un sismo frecuente $T_r = 43$

El 1.9% de muros no pasan el estado LS1, el 3.8% no ha pasado el estado LS2, el 21.2% no ha pasado el estado limite LS3, entonces estos porcentajes anteriores sumados son 26.9% solo presentarían grietas verticales de separación en los bordes y el 73.1% de muros estaría en inminente colapso o colapsado.

Para un sismo ocasional $T_r = 72$

El 3.8% de muros no ha alcanzado el estado limite LS3 es decir estos presentan separaciones por grietas verticales en los bordes, pero el 96.2% de muros se encuentran cerca al colapso o colapsados.

Para un sismo raro $T_r = 475$

El 1.9% de muros no llega al estado LS2 lo que quiere decir que este porcentaje de muros presenta algún nivel de separación con grietas verticales en los bordes, el resto de muros está cerca al colapso o colapsados y el 15.4% de muros esta indefectiblemente colapsado.

Para un sismo muy raro $T_r = 970$

El 1.9% de muros no alcanza el estado LS3 lo que quiere decir que estos se han separado parcialmente con grietas verticales en los bordes, el resto de muros está cerca al colapso o colapsados y el 38.5% esta indefectiblemente colapsado.

Observaciones

Para el sismo más frecuente la mayoría de muros está cerca al colapso o ha colapsado lo cual quiere decir también como en el comportamiento en el plano del muro que fuera del plano también se evidencia un alto riesgo, para sismos débiles aún es posible que la mayoría de muros colapse y para sismos más fuertes se espera colapso total.

Capítulo 6

Conclusiones

- Se ha calculado el peligro sísmico probabilístico (espectros de peligro uniforme) para las coordenadas de la ciudad de Arequipa y el distrito de Cabanaconde para varios periodos de retorno $T_r = 43, 72, 475, 970, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500$ y 1000.
- Se ha mostrado que las aceleraciones espectrales encontradas en Arequipa y Cabanaconde mediante el método de evaluación probabilista de peligro sísmico (espectro de peligro sísmico) difieren de las aceleraciones espectrales encontradas mediante la norma E030 del 2003 y E030 del 2016 (espectros de diseño elástico) en ciertos rangos pero encontrándose una gran similitud después de la meseta del espectro elástico de la norma, la similitud es mucha.
- El cálculo de espectros de peligro sísmico no requiere de mucho procedimiento, el programa CRISIS 2007 está listo para una vez ingresados los datos, proporcionar espectros de peligro uniforme para cualquier parte del mapa el territorio peruano en este caso y para cualquier periodo de retorno.
- Los espectros de peligro uniforme hallados con el programa CRISIS 2007 resultan de apoyo en el cálculo de desempeño de viviendas, ya que con el método probabilístico se pueden obtener resultados para sismos con diferente periodo de retorno.
- Se ha realizado el levantamiento de 6 viviendas del distrito de Cabanaconde, realizando planos con medidas reales de los esquemas de estas viviendas, tomando fotografías para más una completa descripción.
- De las viviendas evaluadas, para los muros, por comportamiento con sismo en dirección del plano, en un sismo frecuente $T_r = 43$, Todos los muros se hallan en inminente colapso o colapso. Para un sismo ocasional $T_r = 72$, El 78.18% de los muros se halla en inminente colapso o colapsado y el 21.2% de muros se halla ya colapsado. Para un sismo raro $T_r = 475$ Todos los muros colapsan, para un sismo muy raro $T_r = 970$ todos los muros colapsan. Se nota que aun con sismos muy pequeños es decir con 43 años de periodo de retorno todos los muros estarían en un inminente colapso o colapsados lo que quiere decir que los muros de albañilería de adobe sin reforzar siempre sufren de tener un inminente colapso aun para sismos muy leves.
- De las viviendas evaluadas, para los muros por comportamiento fuera del plano, para un sismo frecuente $T_r = 43$ El 1.9% de muros no pasan el estado LS1, el 3.8% no ha pasado el estado LS2, el 21.2% no ha pasado el estado limite LS3, entonces estos porcentajes anteriores sumados son 26.9% solo presentarían grietas verticales de separación en los bordes y el 73.1% de muros estaría en inminente colapso o colapsado. Para un sismo ocasional $T_r = 72$ El 3.8% de muros no ha alcanzado el estado limite LS3 es decir estos presentan separaciones por grietas verticales en los bordes, pero el 96.2% de muros se encuentran cerca al colapso o colapsados. Para un sismo raro $T_r = 475$, el 1.9% de muros no llega al estado LS2 lo que quiere decir que este porcentaje de muros presenta algún nivel de separación con grietas verticales en los bordes, el resto de muros está cerca al colapso o colapsados y el 15.4% de muros esta indefectiblemente colapsado. Para un sismo muy raro $T_r = 970$, el 1.9% de muros no alcanza el estado LS3 lo que quiere decir que estos se han separado parcialmente con grietas verticales en los bordes, el resto de muros está cerca al colapso o colapsados y el 38.5% esta indefectiblemente colapsado. Para el sismo más frecuente la mayoría de muros

está cerca al colapso o ha colapsado lo cual quiere decir también como en el comportamiento en el plano del muro que fuera del plano también se evidencia un alto riesgo, para sismos débiles aún es posible que la mayoría de muros colapse y para sismos más fuertes se espera colapso total.

- Las viviendas de adobe y pircado en Cabanaconde serán reemplazadas por material noble en el futuro como ya lo están siendo, pero es necesario informar a la población del correcto uso de unidades de albañilería, ya que se observó alta presencia de ladrillo tubular en muros portantes.
- Se observó un mal estado de conservación de las viviendas de adobe y pircado en Cabanaconde observado por las grietas ocasionadas por anteriores sismos y el desgaste de las unidades de albañilería de adobe debido a la humedad esto hace que las viviendas sean aún más propensas a fallar en futuros sismos



Recomendaciones

- Se recomienda a los habitantes del pueblo Cabanaconde que en la medida de lo posible, puedan cumplir las regulaciones de las normas sismo resistente E030 y de albañilería E070 y de adobe E080, involucrando un profesional calificado en la construcción de la vivienda.
- Al Estado Peruano, proponer alguna ayuda para el financiamiento de la construcción de nuevas viviendas en material noble o refuerzo de las viviendas existentes esta zona de riesgo alto.
- Al Estado Peruano, promover la investigación en todas las áreas involucradas en la reducción del riesgo sísmico ya que se ha evidenciado un alto riesgo en esta zona.
- A las universidades, promover la investigación y algunos trabajos de prácticas en favor de la población en estas zonas de alto riesgo.
- Se propone que los alumnos de la U.C.S.M. pueda atender la demanda de diseños antisísmicos para personas con bajos recursos con la supervisión de sus maestros.
- Se propone que los alumnos de la U.C.S.M. puedan compartir su conocimiento en buenas técnicas constructivas a las personas de bajos recursos bajo la supervisión de sus maestros.
- Se recomienda para futuros esfuerzos como mitigación del riesgo, que se eduque a la población en principios de construcción con albañilería confinada, sobre todo en escoger bien los materiales y buenas prácticas de construcción ya que de esto dependerá el futuro comportamiento de las viviendas cuando las de adobe y pircado vayan reduciéndose en número.

ANEXO A

Ejemplo de uso de CRISIS 2007

A.1 Ejemplo del uso del programa CRISIS 2007

A.1.1. Introducción

El programa CRISIS 2007 pertenece a la familia de programas de código abierto de CAPRA, este programa sirve para realizar un análisis de amenaza sísmica y de tsunamis usando el método probabilista y fue desarrollado en el instituto de ingeniería de la UNAM por M. Ordaz, A. Aguilar y J. Arboleda.



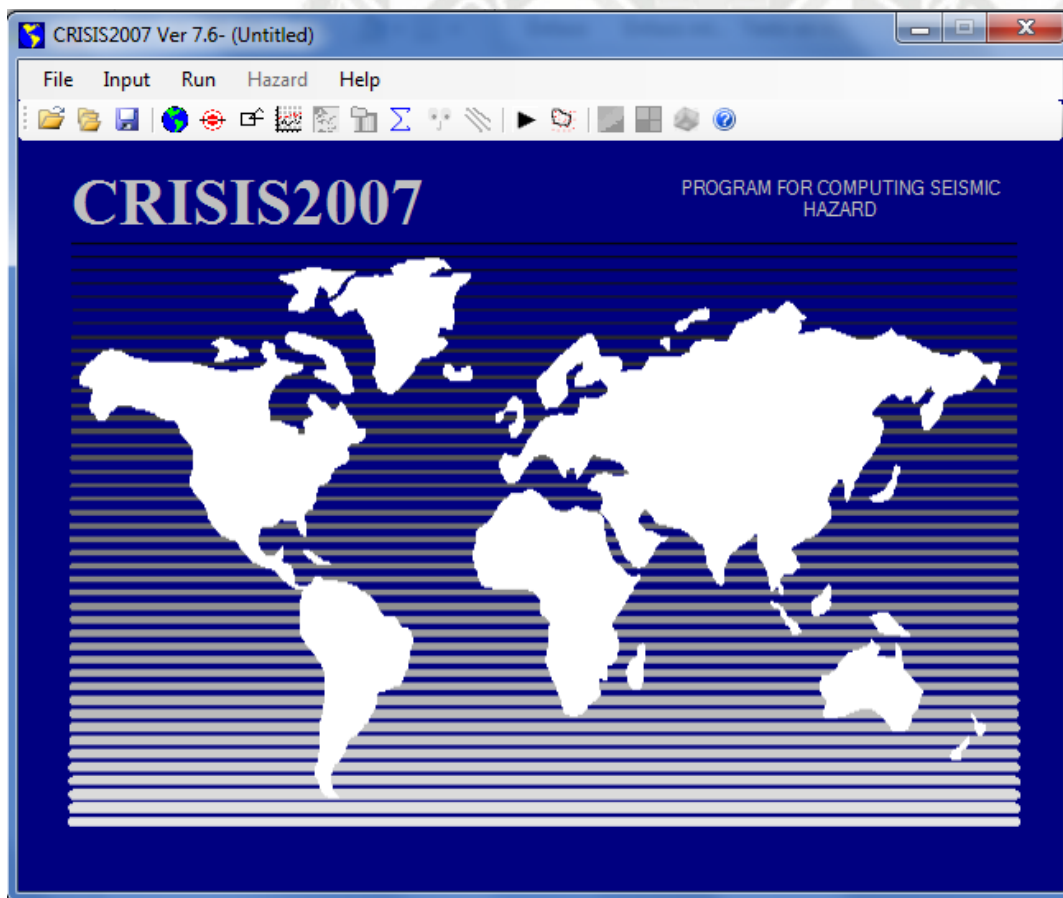
The screenshot shows the CAPRA website with the following content:

- CAPRA** Probabilistic Risk Assessment Program
- Language: English | Español
- Navigation: Inicio | Acerca de | Proyectos de Ingeniería Sísmica | Software | Biblioteca
- Description: CAPRA es una iniciativa que busca fortalecer la capacidad institucional en evaluación del riesgo de desastres con el fin último de integrar información de riesgo en políticas y programas de desarrollo.
- CRISIS 2007 section:
 - Home » Software » CRISIS 2007
 - Images of the software interface and a disaster scene.
 - Text: CRISIS 2007 es el módulo de cálculo de amenaza sísmica y por tsunamis de CAPRA. Permite la definición completa de un modelo de amenaza probabilista, la evaluación de amenaza uniforme, y el cálculo de escenarios compatibles con CAPRA. Fue desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, por M. Ordaz, A. Aguilar y J. Arboleda.
 - Text: En esta página podrá descargar el instalador del software y hacer los comentarios que desee sobre su experiencia de uso.
- Installation section:
 - INSTALACIÓN
 - Módulo de amenaza sísmica CRISIS2007 (Tamaño: 13.9Mb)
 - Requiere Microsoft® Windows® XP SP3 o superior.
 - Image of the CRISIS2007 installer.
 - CRISIS2007.zip (Size: 13.92 MB)
 - DOWNLOAD
 - Source Code: CRISIS 2007.ZIP
- Filter by section:
 - FILTRA POR
 - TOODOS
 - NEWSLETTER
 - DOCUMENTOS PUBLICADOS
 - DOCUMENTOS DE TRABAJO
 - PROJECT HIGHLIGHTS
- Other Software section:
 - OTROS SOFTWARE
 - ERV-HUBICÁN
 - ERV-DESPLAZAMIENTO
 - VISOR DE MAPAS - CAPRA WWJ
 - ERV-VOLCÁN
 - ERV-VOLCÁN REPARILUSAD
 - ERV-REINUNDACIÓN
 - ERV-LLUVIA
 - CAPRA-GIS

FUENTE:
[HTTP://WWW.ECAPRA.ORG/ES/CRISIS-2007](http://www.ecapra.org/es/CRISIS-2007)



La versión del programa es la que se muestra en la figura.



Se muestra la pantalla principal del programa CRISIS 2007

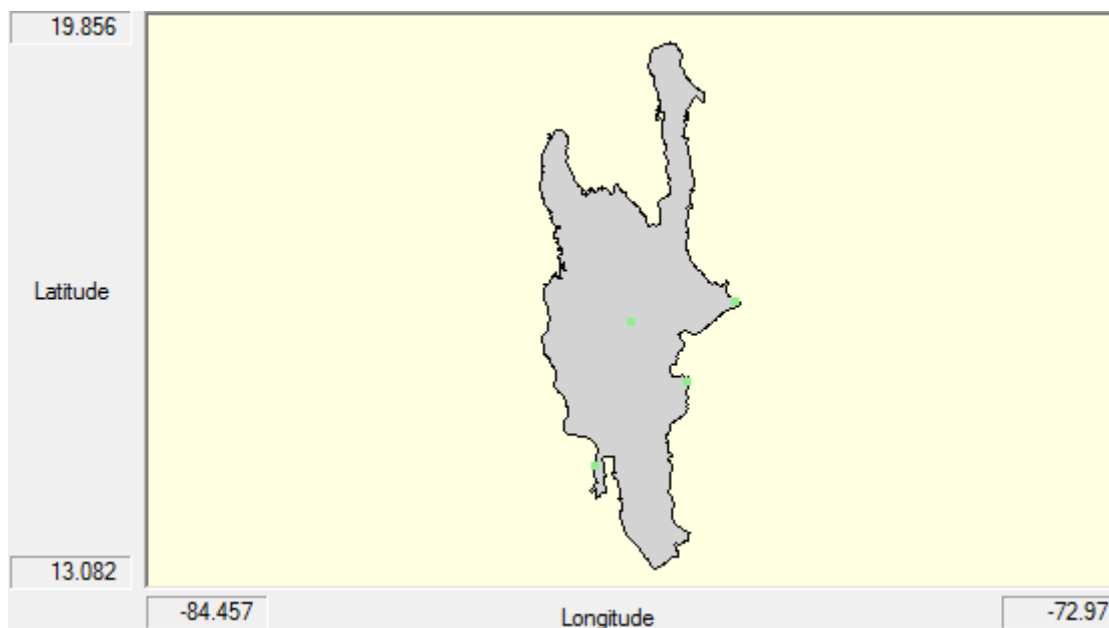
A.1.2. Ejemplo 1

El siguiente ejemplo ha sido extraído de la página oficial de CAPRA cuyo enlace es:

<http://www.ecapra.org/es/crisis2007-tutorial-isla-capra-datos-para-la-evaluaci%C3%B3n-de-la-amenaza-s%C3%ADsmica>

A.1.2.1. Descripción de las características del lugar en estudio:

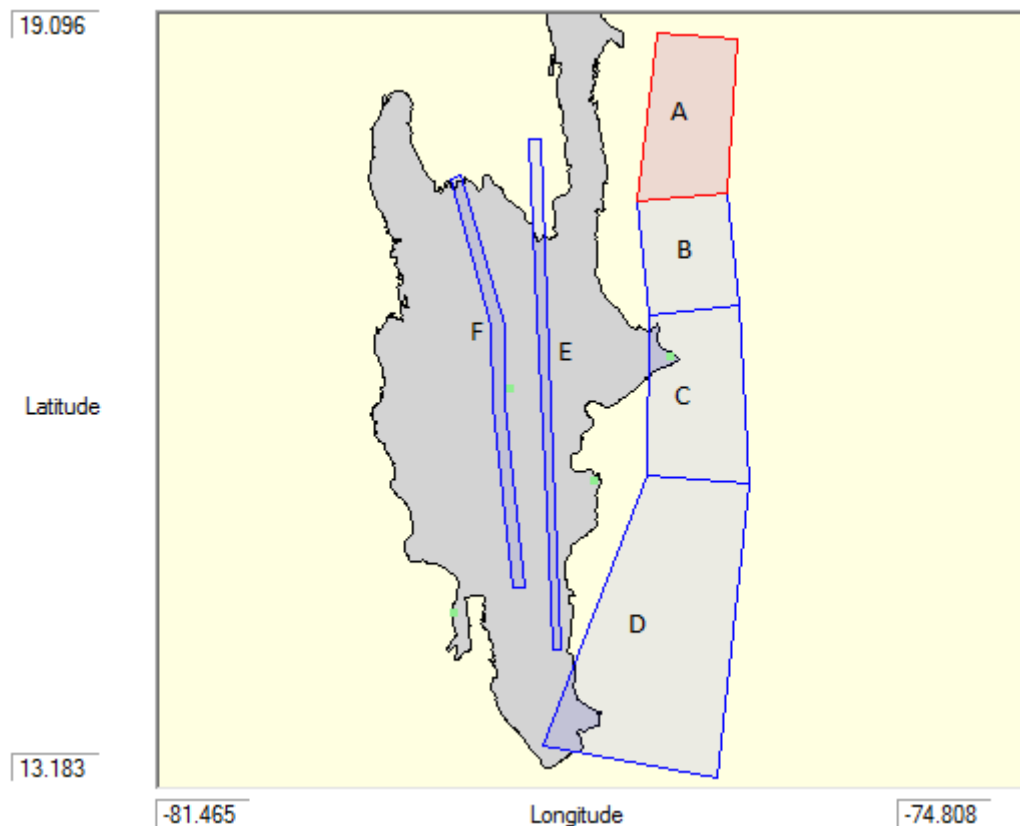
1. El lugar denominado “IslaCapra” es un lugar ficticio delimitado como sigue y con coordenadas:



2. El análisis de amenaza sísmica se hará tomando en cuenta cuatro ciudades que se encuentran marcadas en la imagen como puntos verdes y cuyas coordenadas son

Ciudad	Longitud	Latitud
A	-79.23	14.57
B	-78.17	15.57
C	-78.81	16.25
D	-77.61	16.5

3. Se han definido 6 fuentes sismogénicas que se muestran a continuación



Cuyas coordenadas son:

Fuente	Punto	Latitud	Longitud	Profundidad	Fuente	Punto	Latitud	Longitud	Profundidad
				(km)					(km)
A	1	-77.10	18.92	5	E	1	-78.58	18.15	5
A	2	-77.70	18.96	50	E	2	-78.68	18.15	55
A	3	-77.86	17.69	50	E	3	-78.61	16.83	55
A	4	-77.18	17.75	5	E	4	-78.54	15.36	55
B	1	-77.18	17.75	5	E	5	-78.49	14.28	55
B	2	-77.86	17.69	50	E	6	-78.43	14.29	5
B	3	-77.76	16.82	50	E	7	-78.49	15.74	5
B	4	-77.08	16.90	5	E	8	-78.55	17.33	5
C	1	-77.08	16.90	5	F	1	-79.27	17.85	5
C	2	-77.76	16.82	50	F	2	-78.96	16.74	5
C	3	-77.78	15.61	50	F	3	-78.95	16.13	5
C	4	-77.00	15.55	5	F	4	-78.79	14.76	5
D	1	-77.00	15.55	5	F	5	-78.71	14.76	60
D	2	-77.78	15.61	50	F	6	-78.86	16.15	60
D	3	-78.57	13.56	50	F	7	-78.86	16.75	60
D	4	-77.25	13.32	5	F	8	-79.19	17.88	60

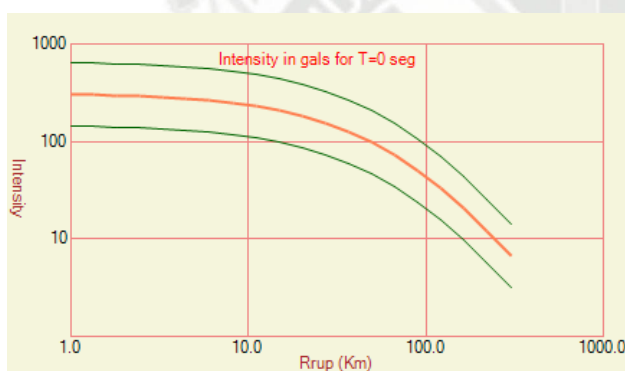
- También se define los parámetros sísmicos de cada fuente identificada según la Ley de Gutenberg Richter que se muestran a continuación:

Fuente	M_o	λ_o	β	$CV \beta$	M_u
A	4	3.35	1.12	0.08	8.5
B	4	3.69	1.45	0.08	8.6
C	4	8.58	1.27	0.05	8.9
D	4	16.4	1.29	0.04	8.9
E	4	1.56	2.02	0.12	7.6
F	4	2.65	1.47	0.09	8

Los parámetros son hallados de una regresión de datos del catálogo de ocurrencia de sismos.

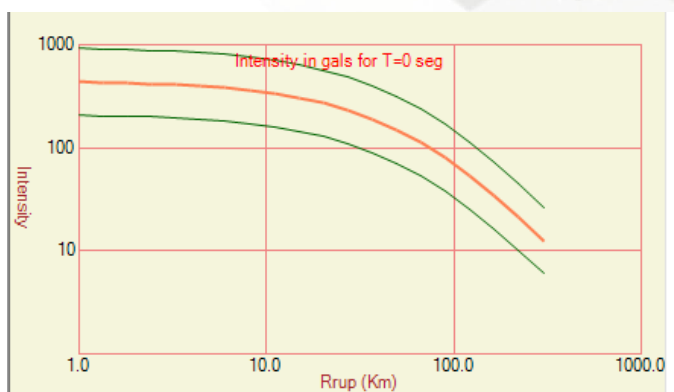
5. Las leyes de atenuación escogidas para el ejemplo son:

- “Youngs et al (1997)” para fuentes de subducción y tipo de suelo roca.



Aceleración en (gals) VS Distancia en (km)

“Youngs et al (1997)” Para fuentes de interplaca y tipo de suelo roca.

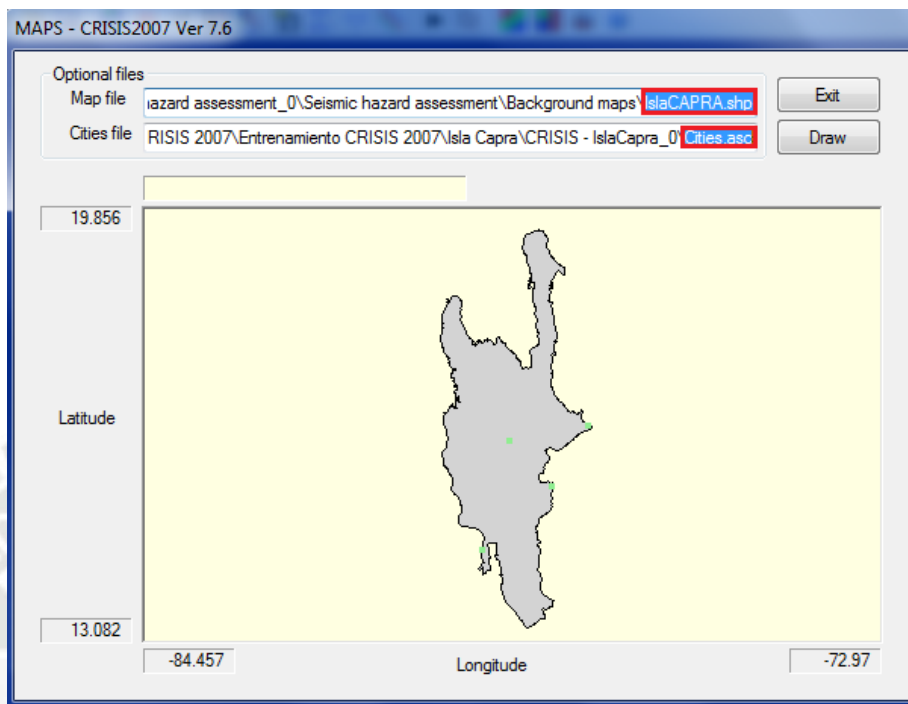


Aceleración en (gals) VS Distancia en (km)

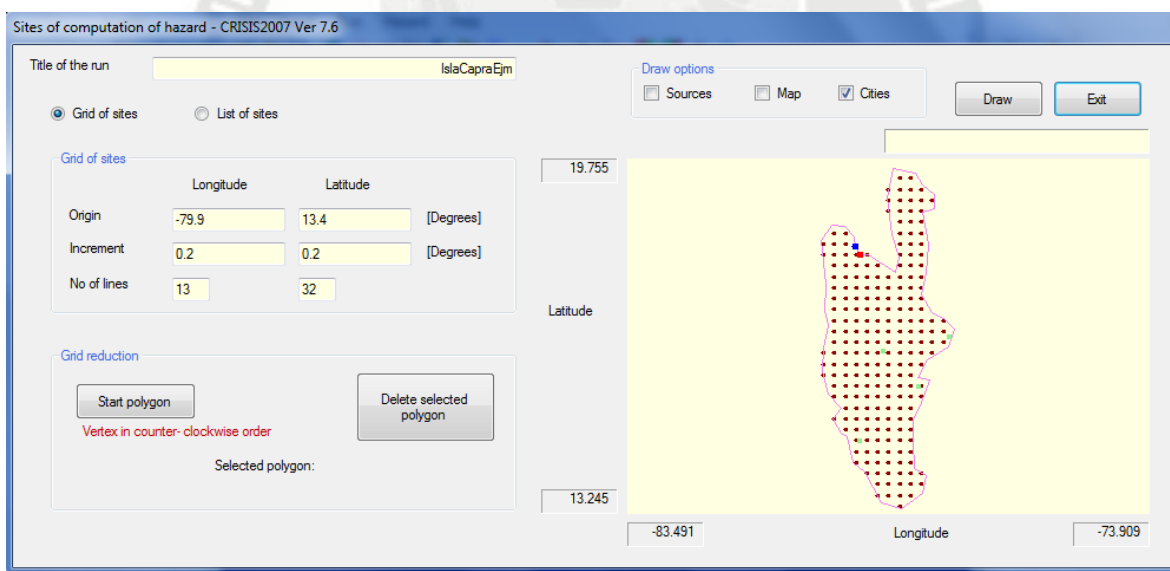
A.1.2.2 Datos de entrada

Para desarrollar un análisis de peligro probabilístico el programa CRISIS 2007 requiere los siguientes datos:

1. Mapa de la zona de estudio en formato .shp y coordenadas de las ciudades donde se evaluara la amenaza sísmica en formato .asc



2. Delimitación de la zona de estudio por medio de coordenadas.



3. Geometría de las fuentes sismogénicas

GEOMETRY OF THE SEISMIC SOURCES - CRISIS2007 Ver 7.6

Add Delete Rename Total sources 6 Active source 1

Draw options: ☐ Trian ☐ Grid ☒ Cities ☒ Map

Sources to draw: ☒ Active ☐ Selection ☐ Range Start End Draw

Name: Fuente A

Source type: ☒ Area ☐ Fault ☐ Point ☒ Source is alive

Vertex in counter-clockwise order (area source)

Vertex 4 Export SHP Import SHP

Longitude	Latitude	Depth
-77.104688	18.918617	5
-77.700688	18.955617	50
-77.859688	17.690617	50
-77.176688	17.749617	5

Rupture radius (km)

$R = K1 * \exp(K2 * M)$

K1 0.003809 K2 1.1513 Choose

Long-Lat plane Several planes

Latitude 19.065 14.471

Longitude -80.753 -75.582

4. Parámetros de sismicidad de cada una de las fuentes sismogénicas

SEISMICITY - CRISIS2007 Ver 7.6

Source number 1 of 6 total sources

Source name: Fuente A

Occurrence model: ☒ G-R ☐ Characteristic

Draw options: ☒ Active ☐ All ☒ Map

Longitude -78.1175 Latitude 17.697381

G-R Characteristic

Threshold magnitude (M0) 4

Lambda(M0) 3.35

Expected value of Beta 1.12

Coefficient of variation of Beta 0.08

Parameters defining Mu:

Untruncated expected value 8.5

Untruncated standard deviation 0.2

Lower limit (M1) 8.3

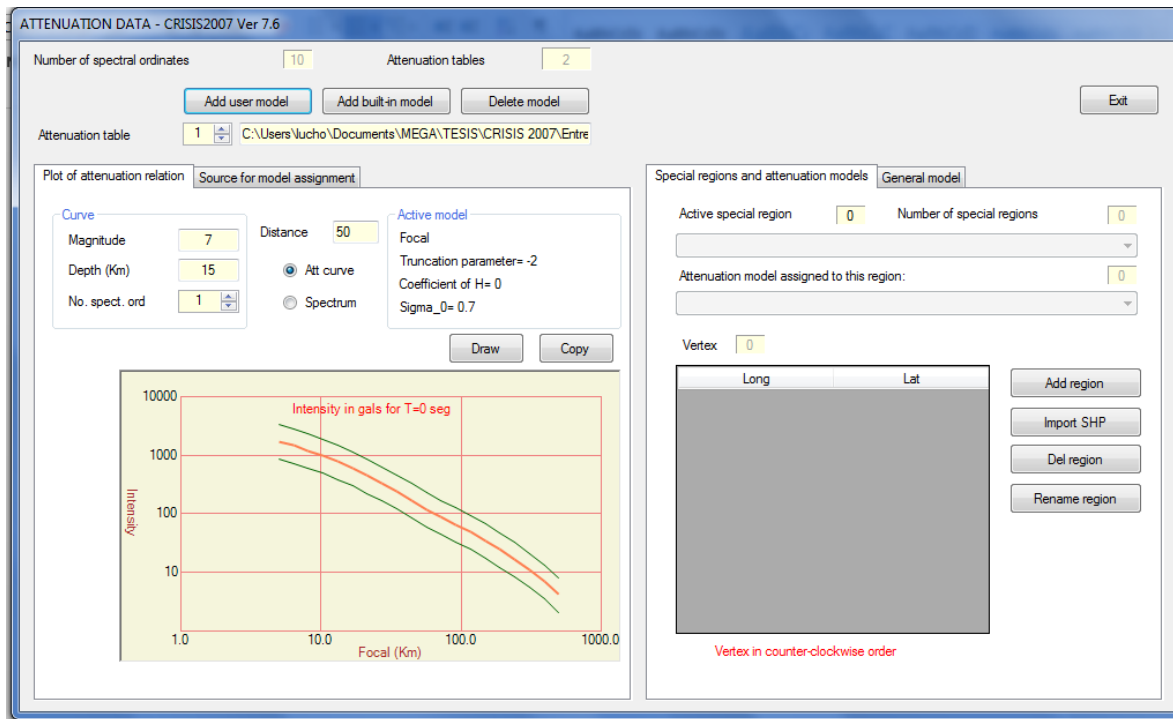
Upper limit (M2) 8.7

Moment and slip rates

Recompute Moment rate = 6.61E+26 dyne-cm/year Slip rate = 5.49E+02 mm/year

View summary Exit

5. Leyes de atenuación que pueden ser escogidos de la base de datos de CRISIS 2007



6. Insertar las ordenadas espectrales

INTENSITIES FOR EACH SPECTRAL ORDINATE - CRISIS2007 Ver 7.6

Spectral ordinates

Total number of spectral ordinates: 10

Actual spectral ordinate: 1

Structural period of actual spectral ordinate: 0

Lower limit of intensity level: 1

Upper limit of intensity level: 2000

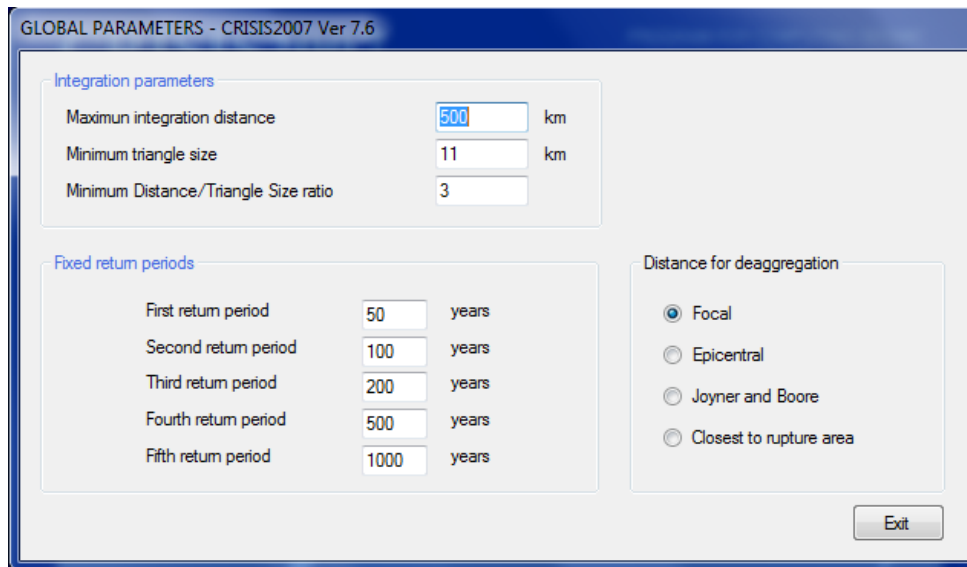
Units: gals

Number of levels of intensity for which seismic hazard will be computed: 20

Exit

Se ingresan las ordenadas o puntos de interés de periodos en este caso se ingresan 10 ordenadas con periodos 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.3, 0.5, 1, 2, 3 y 4 y se pide resultados que estén en el rango de 1 a 2000 gals.

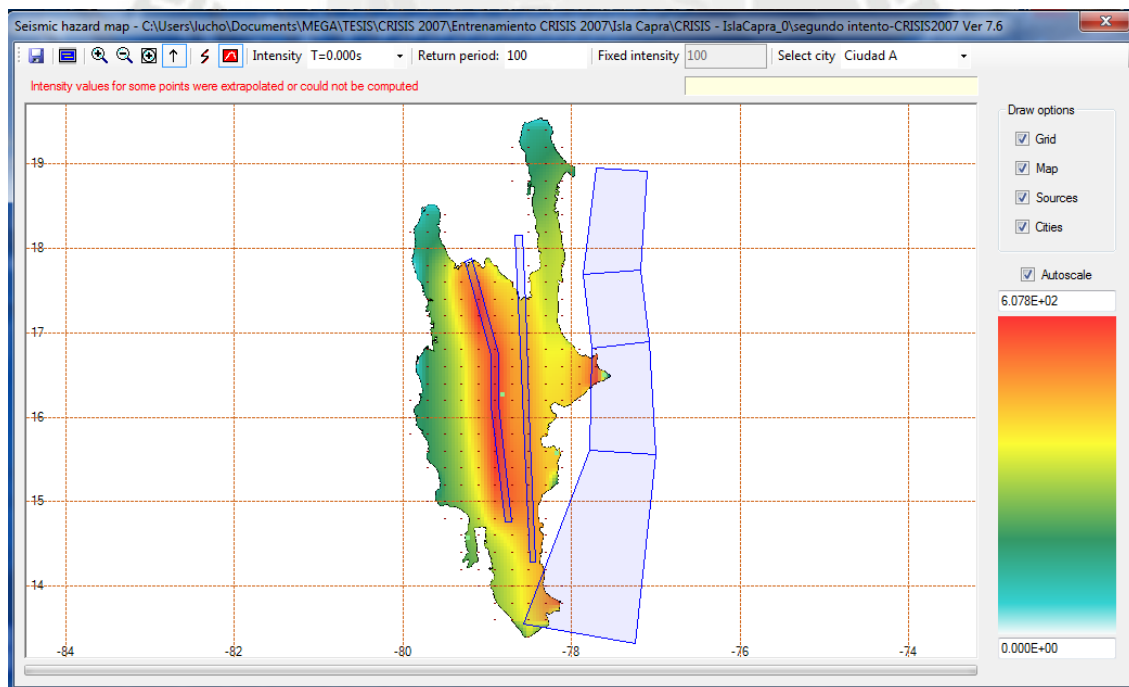
7. Insertar parámetros globales



Se escoge la distancia de influencia, el tamaño de la triangulación para la interpolación de datos y los periodos de retorno para los cuales se desea calcular el peligro

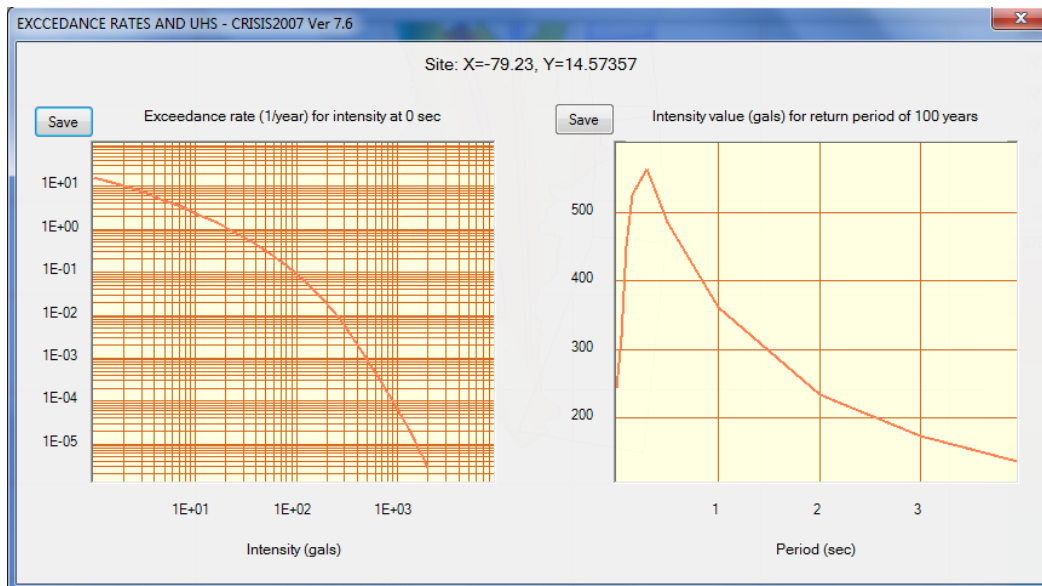
A.1.2.2 Datos de Salida

1. Mapas de amenaza para distintos periodos, periodos de retorno, e intensidades de aceleración pico del suelo que se muestran en colores según su valor.



Se muestra la intensidad de aceleración pico del suelo de 100 gals, para un periodo de 0 y un periodo de retorno de 100 años.

2. Curva de probabilidad de excedencia vs aceleración pico del suelo y espectro de peligro uniforme para cada ciudad en estudio es decir A, B, C y D.



*Se muestra la
curva de
peligro y
espectro de
peligro
uniforme para
la ciudad
"A" para un
periodo de
retorno de 100
años*

ANEXO B

Ejemplo numérico de análisis de peligro sísmico probabilista

En este anexo se desarrolla un ejemplo numérico encontrado en la investigación “An overview of selected seismic hazard analysis methodologies” de los autores Russell A. Green y William J. Hall con el fin de comprender mejor la mecánica y principios que sigue el programa CRISIS 2007

B.1. Introducción

El análisis de peligro sísmico probabilista,

Para la presente sección es necesario resaltar los siguientes significados:

$P(PGA > acc | EQ: R_j, M_i)$: Probabilidad de que la aceleración PGA sea mayor que acc con la condición de que ocurra un sismo EQ tal que se produzca a una distancia R y tenga una magnitud M .

$P(PGA > acc | EQ)$: Probabilidad de que la aceleración PGA sea mayor que acc con la condición de que ocurra un sismo EQ (para cualquier distancia R y magnitud M).

$P(PGA > acc)$: Probabilidad de que la aceleración PGA sea mayor que acc .

Todas las aceleraciones están en 1/g

B.2 Datos del problema

Se tienen dos fuentes sismogénicas la primera una tipo línea y la segunda tipo área, estas se muestran en la figura B.1

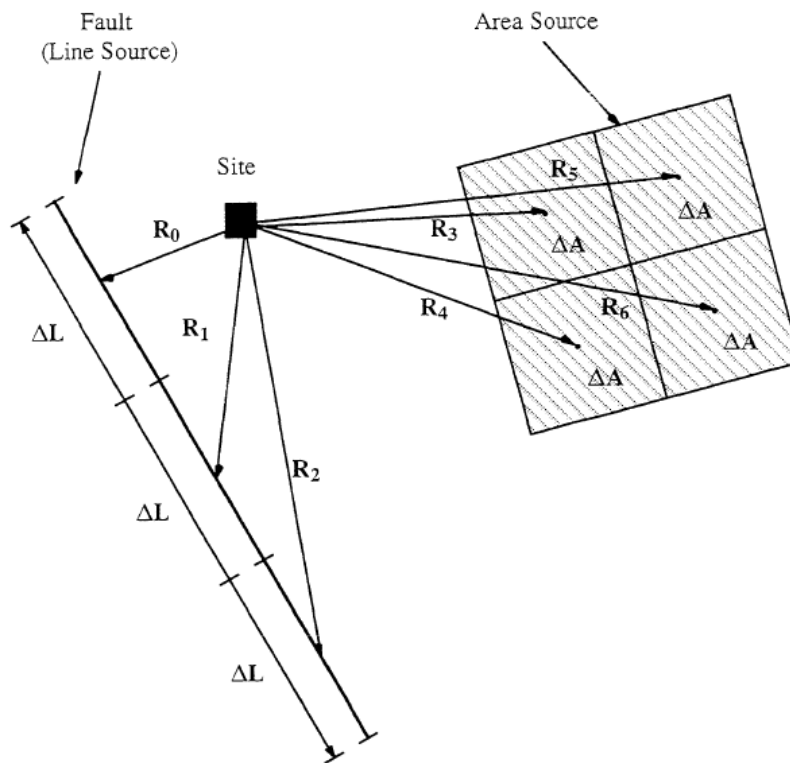


Figura B.1 Esquema del problema se muestran las dos fuentes, las divisiones para su estudio y la distancia a cada división (Green y Hall, 1994)

Fuente 1	
Tipo	Línea
Longitud	30km
n	3 elementos
ΔL	10 km
R_0	15km
R_1	18km
R_2	24km
m_{max}	7.5
m_0	5

Fuente 2	
Tipo	Área
Área	400 km ²
n	4 elementos
ΔL	100 km ²
R_3	22 km
R_4	28 km
R_5	32 km
R_6	37 km
m_{max}	6.5
m_0	5

La sismicidad de la fuente 1 y 2 están definidas por la ley de Gutenberg Richter correspondiente estas se muestran a continuación:

$$\ln(N1) = 1.29 - 1.32 * M$$

$$\ln(N2) = -5.89 - 0.95 * M$$

B.3 Procedimiento

B.3.1 Paso 1 Identificación de fuentes

Primera fuente

Fuente tipo línea, de longitud 30 km es dividida en 3 segmentos de igual longitud de 10 km, se toman distancias desde el sitio en estudio señalado como “site” a los centros geométricos de cada subfuente dividida siendo las siguientes distancias los resultados.

$$R_0 = 15km, R_1 = 18km \text{ y } R_2 = 24km.$$

Segunda fuente

Fuente tipo área, de área 400 km² es dividida en 4 áreas más pequeñas cada una de 100 km², se toman distancias desde el sitio en estudio a los centros geométricos de cada subfuente $R_3 = 22km$, $R_4 = 28km$, $R_5 = 32km$ y $R_6 = 37km$.

Cada segmento y parte de área derivadas de las fuentes tiene las mismas características sísmicas que las otras subfuentes y de la fuente en la que se encuentran, entonces la probabilidad de que un sismo ocurra en alguna parte de ellos es igual a:

$$\frac{1}{n \text{ de particiones o derivaciones}}$$

Es decir para una fuente tipo línea dividida en 3 segmentos, la probabilidad de que un sismo ocurra en el primer segmento es 1/3 y es la misma para los otros segmentos.

Esto se puede representar matemáticamente si tomamos en cuenta que estas probabilidades se obtienen también de la función de probabilidad, o en su defecto de la integración de la función densidad de probabilidad, para este caso se hace una simplificación tomando como una aproximación de esta integración áreas rectangulares cuyo ancho es igual a ΔR y altura es igual a la ordenada de la función densidad de probabilidad.

Entonces las áreas rectangulares o aproximaciones de probabilidad son:

$$f(R) * \Delta R = \frac{1}{3} \text{ Para la fuente tipo línea}$$

$$f(R) * \Delta R = \frac{1}{4} \text{ Para la fuente tipo área}$$

B.3.2 Paso 2 Relaciones de recurrencia, distribución de magnitudes y tasa promedio de ocurrencia

B.3.2.1. Relaciones de recurrencia

La recurrencia de terremotos se representa por la ley de Gutenberg Richter

$$\log(N) = a - b * M$$

Donde:

M : Magnitud.

N : Tasa esperada de número de terremotos para magnitudes iguales o mayores a M .

a y b : Constantes de la fuente.

La ecuación se puede definir también como

$$N = e^{a1-b1*M}$$

		Fuente	
		1	2
Parámetro	a	1.29	-5.89
	b	1.32	0.95

Para la primera fuente

$$N1 = e^{a1-b1*M}$$

$$N1 = e^{1.29-1.32*M}$$

$$N1(M) := No(M, a1, b1)$$

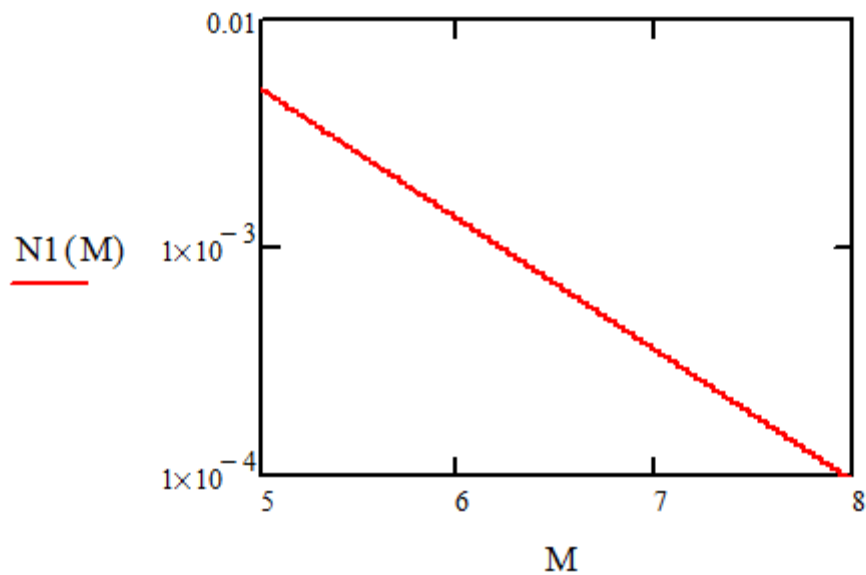


Figura B.2 Ley de Gutenberg Richter para la primera fuente (Green y Hall, 1994)

Para la segunda fuente

$$N2 = e^{a2-b2*M}$$

$$N2 = e^{-5.89-0.95*M}$$

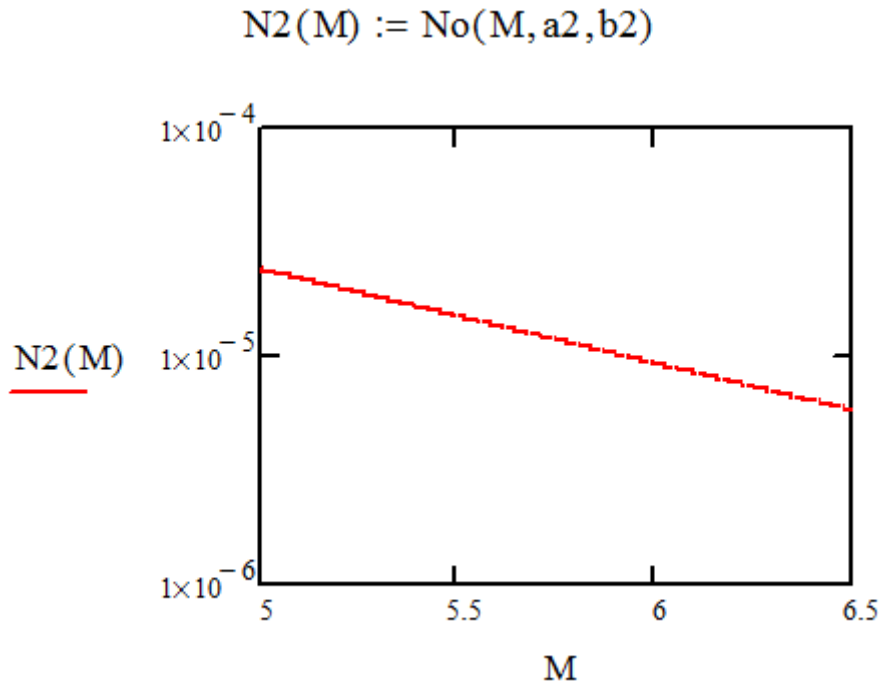


Figura B.3 Ley de Gutenberg Richter para la segunda fuente (Green y Hall, 1994)

B.3.2.2. función de distribución de magnitud

El uso de la ecuación de Gutenberg Richter para representar el comportamiento sísmico de una fuente conlleva a que las magnitudes M se distribuyan exponencialmente.

Los siguientes límites se disponen para las magnitudes:

- Magnitud mínima M_o o M_{min} : la magnitud mínima de interés para la ingeniería, es decir la que puede producir alguna demanda significativa en las estructuras.
- Magnitud máxima M_{max} : Es la magnitud máxima esperada para la fuente.

La función densidad de distribución de probabilidades para magnitudes M con una distribución exponencial es:

$$f(M) = \frac{1}{1 - e^{-\beta*(m_{max}-m_o)}} * \beta * e^{-\beta*(M-m_o)}$$

Donde se nota que la función depende de (Magnitud M , La magnitud máxima M_{max} y la magnitud mínima m_o) es decir la función se puede denotar también como

$$f(M, M_{min}, M_{max}, \beta) := \frac{1}{1 - e^{-\beta(M_{max}-M_{min})}} * \beta * e^{-\beta(M-M_{min})}$$

Para la primera fuente

β_1	1.32
M_{min}	5
M_{max}	7.5

La función densidad de probabilidad se define

$$f(M) = \frac{1}{1 - e^{-1.32*(7.5-5)}} * 1.32 * e^{-1.32*(M-5)}$$

La función densidad de probabilidad se muestra

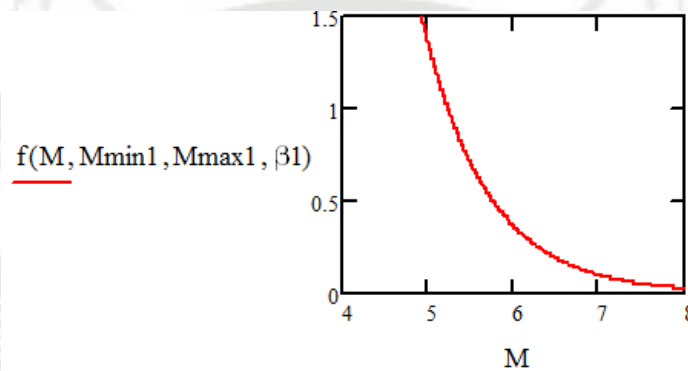


Figura B.4 Función de densidad de probabilidad para las magnitudes $M_{min1} = 5$, $M_{max} = 7.5$ y $\beta_1 = 1.32$

Se definen intervalos con $\Delta M = 0.5$ para hallar la probabilidad de ocurrencia en cada intervalo para las magnitudes en el rango entre M_{min} y M_{max} , luego se evalúa la función de densidad de probabilidad en el medio de cada intervalo para luego multiplicarlo por el ancho ΔM de cada intervalo como una aproximación a el área debajo de la curva que representa la probabilidad de ocurrencia de un sismo de magnitud entre los rangos respectivos.

Fuente 1					
M_{min}		5			
M_{max}		7.5			
Límites de magnitud					
Inferior	Δ	Superior	M Media	$f(M\ Media)$	$F(M\ Media)$
5	0.5	5.5	5.25	0.985	0.493
5.5	0.5	6	5.75	0.509	0.255
6	0.5	6.5	6.25	0.263	0.132
6.5	0.5	7	6.75	0.136	0.068
7	0.5	7.5	7.25	0.07	0.035

Esto se puede entender mejor en la siguiente figura, donde se muestran los resultados de evaluar la función de densidad de probabilidad en el medio de los rangos dispuestos y como el rectángulo hallado al multiplicar ese valor por el ancho del intervalo, da una aproximación razonable del área debajo de la curva.

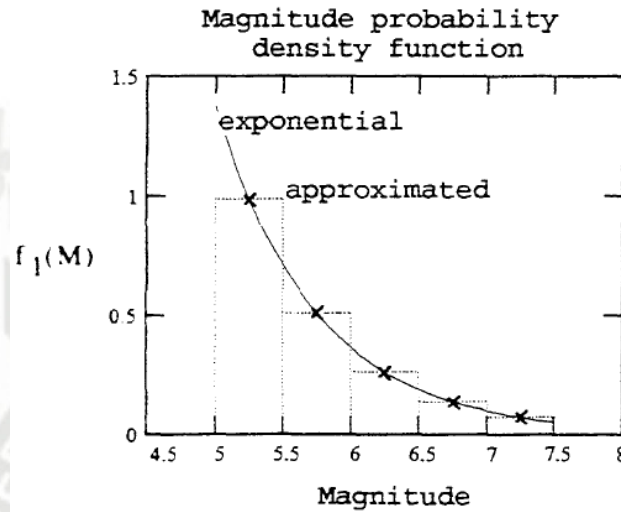


Figura B.5 Función de densidad de probabilidad para las magnitudes $M_{min1} = 5$, $M_{max} = 7.5$ y $\beta_1 = 1.32$ en la cual se muestran los rectángulos que aproximan el área bajo la curva (Green y Hall, 1994)

Para la segunda fuente

β_2	0.95
M_{min}	5
M_{max}	6.5

La función densidad de probabilidad se define

$$f(M) = \frac{1}{1 - e^{-0.95*(6.5-5)}} * 0.95 * e^{-0.95*(M-5)}$$

La función densidad de probabilidad se muestra

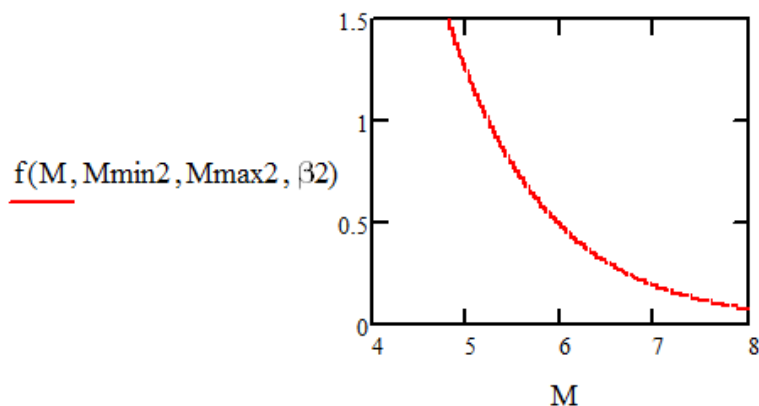


Figura B.6 Función de densidad de probabilidad para las magnitudes $M_{min1} = 5$, $M_{max} = 6.5$ y $\beta_1 = 0.95$

Se sigue el mismo procedimiento realizado en la fuente 1 para encontrar las probabilidades de ocurrencia.

Fuente 2					
M_{min}		5			
M_{max}		6.5			
Límites de magnitud					
Inferior	Δ	Superior	M Media	$f(M Media)$	$F(M Media)$
5	0.5	5.5	5.25	0.986	0.493
5.5	0.5	6	5.75	0.613	0.3065
6	0.5	6.5	6.25	0.381	0.1905

B.3.2.3. Tasa promedio de ocurrencia

La tasa promedio de ocurrencia por año, con las magnitudes de interés ($5 < M < 7.5$) para la línea entera de 30 km es

Para la primera fuente

$$v = (N(M_o) - N(M_{max})) * L$$

$$v = (4.942 * 10^{-3} - 1.823 * 10^{-4}) * 30$$

$$v = 0.143$$

Para la segunda fuente

$$v = (N(M_o) - N(M_{max})) * A$$

$$v = (2.394 * 10^{-5} - 5.758 * 10^{-6}) * 30$$

$$v = 7.273 * 10^{-3}$$

B.3.3 Paso 3 Estimación del movimiento del suelo

Para estimar el movimiento del suelo, aceleración pico del terreno (PGA), se ha escogido la ley de atenuación de:

The Boore, Joyner and Fumal (1993)

$$Media PGA = 10^{-0.038 + 0.216 * (M - 6) - 0.777 * \log((R^2 + 30.03)^{\frac{1}{2}})}$$

$$\sigma_{\log(PGA)} = 0.205$$

Entonces hallamos Media PGA para los radios propuestos y las magnitudes usadas.

Para la primera fuente

PGA Aceleración pico del suelo Según ley de atenuación		Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	0.073	0.065	0.052
	5.75	0.094	0.083	0.067
	6.25	0.121	0.106	0.086
	6.75	0.155	0.136	0.11
	7.25	0.198	0.174	0.142

Para la segunda fuente

PGA Aceleración pico del suelo		Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	0.056	0.047	0.042	0.038
	5.75	0.072	0.06	0.054	0.049
	6.25	0.092	0.077	0.069	0.062

Dada la ocurrencia de un sismo, la probabilidad de que en el sitio la media de la aceleración pico del terreno o PGA se exceda la aceleración acc de interés necesita ser determinada para cada combinación de magnitud discretizada y distancia para cada subfuente identificada.

$$P(PGA > acc \mid EQ: R_j, M_i)$$

Definimos las aceleraciones de interés a ser excedidas como:

acc	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65
------------	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------

Función densidad de distribución normal

$$FDDDN = \left(\frac{1}{\sigma * \sqrt{2 * \pi}} \right) * e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{u - \mu}{\sigma} \right)^2}$$

Función de distribución normal para encontrar la probabilidad de que una aceleración sea menor o igual que una aceleración X

$$P(PGA < X \mid EQ: R_j, M_i) = \int_{-\infty}^X FDDDN du$$

Pero a nosotros nos interesa la probabilidad de que la PGA sea mayor que las aceleraciones de interés acc entonces

$$P(PGA > acc \mid EQ: R_j, M_i) = 1 - P(PGA < X \mid EQ: R_j, M_i)$$

Entonces es necesario encontrar $P(PGA > acc \mid EQ: R_j, M_i)$ para cada combinación de sismo definida por una magnitud M_i y un radio R_j

Para la primera fuente

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.05	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	0.791	0.705	0.539
	5.75	0.909	0.857	0.734
	6.25	0.969	0.945	0.875
	6.75	0.992	0.983	0.953
	7.25	0.998	0.996	0.986

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.1	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	0.255	0.177	0.085
	5.75	0.448	0.344	0.199
	6.25	0.654	0.55	0.376
	6.75	0.822	0.743	0.583
	7.25	0.926	0.881	0.769

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.15	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	0.065	0.037	0.013
	5.75	0.161	0.104	0.044
	6.25	0.321	0.232	0.12
	6.75	0.525	0.418	0.258
	7.25	0.722	0.626	0.451

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.2	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	0.017	$8.271 \cdot 10^{-3}$	$2.262 \cdot 10^{-3}$
	5.75	0.055	0.031	0.01
	6.25	0.142	0.09	0.037
	6.75	0.292	0.207	0.104
	7.25	0.492	0.386	0.232

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.25	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	$4.668 \cdot 10^{-3}$	$2.056 \cdot 10^{-3}$	$4.633 \cdot 10^{-4}$
	5.75	0.019	$9.574 \cdot 10^{-3}$	$2.676 \cdot 10^{-3}$
	6.25	0.061	0.035	0.012
	6.75	0.154	0.099	0.042
	7.25	0.311	0.223	0.114

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.3	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	$1.414 \cdot 10^{-3}$	$5.655 \cdot 10^{-4}$	$1.086 \cdot 10^{-4}$
	5.75	$6.967 \cdot 10^{-3}$	$3.177 \cdot 10^{-3}$	$7.587 \cdot 10^{-4}$
	6.25	0.027	0.014	$4.091 \cdot 10^{-3}$
	6.75	0.08	0.047	0.017
	7.25	0.19	0.125	0.056

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.35	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	$4.626 \cdot 10^{-4}$	$1.703 \cdot 10^{-4}$	$2.852 \cdot 10^{-5}$
	5.75	$2.672 \cdot 10^{-3}$	$1.124 \cdot 10^{-3}$	$2.345 \cdot 10^{-4}$
	6.25	0.012	$5.725 \cdot 10^{-3}$	$1.484 \cdot 10^{-3}$
	6.75	0.042	0.023	$7.258 \cdot 10^{-3}$
	7.25	0.114	0.07	0.028

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.4	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	$1.621 \cdot 10^{-4}$	$5.55 \cdot 10^{-5}$	$8.252 \cdot 10^{-6}$
	5.75	$1.076 \cdot 10^{-3}$	$4.214 \cdot 10^{-4}$	$7.817 \cdot 10^{-5}$
	6.25	$5.518 \cdot 10^{-3}$	$2.465 \cdot 10^{-3}$	$5.691 \cdot 10^{-4}$
	6.75	0.022	0.011	$3.195 \cdot 10^{-3}$
	7.25	0.068	0.039	0.014

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.45	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	$6.034 \cdot 10^{-5}$	$1.938 \cdot 10^{-5}$	$2.593 \cdot 10^{-6}$
	5.75	$4.535 \cdot 10^{-4}$	$1.667 \cdot 10^{-4}$	$2.785 \cdot 10^{-5}$
	6.25	$2.627 \cdot 10^{-3}$	$1.103 \cdot 10^{-3}$	$2.296 \cdot 10^{-4}$
	6.75	0.012	$5.635 \cdot 10^{-3}$	$1.457 \cdot 10^{-3}$
	7.25	0.041	0.022	$7.147 \cdot 10^{-3}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.5	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	$2.371 \cdot 10^{-5}$	$7.192 \cdot 10^{-6}$	$8.75 \cdot 10^{-7}$
	5.75	$1.992 \cdot 10^{-4}$	$6.918 \cdot 10^{-5}$	$1.052 \cdot 10^{-5}$
	6.25	$1.288 \cdot 10^{-3}$	$5.113 \cdot 10^{-4}$	$9.701 \cdot 10^{-5}$
	6.75	$6.433 \cdot 10^{-3}$	$2.913 \cdot 10^{-3}$	$6.875 \cdot 10^{-4}$
	7.25	0.025	0.013	$3.759 \cdot 10^{-3}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.55	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	$9.779 \cdot 10^{-6}$	$2.815 \cdot 10^{-6}$	$3.142 \cdot 10^{-7}$
	5.75	$9.09 \cdot 10^{-5}$	$2.998 \cdot 10^{-5}$	$4.186 \cdot 10^{-6}$
	6.25	$6.495 \cdot 10^{-4}$	$2.45 \cdot 10^{-4}$	$4.272 \cdot 10^{-5}$
	6.75	$3.579 \cdot 10^{-3}$	$1.541 \cdot 10^{-3}$	$3.348 \cdot 10^{-4}$
	7.25	0.015	$7.497 \cdot 10^{-3}$	$2.021 \cdot 10^{-3}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.6	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	$4.21 \cdot 10^{-6}$	$1.155 \cdot 10^{-6}$	$1.192 \cdot 10^{-7}$
	5.75	$4.294 \cdot 10^{-5}$	$1.35 \cdot 10^{-5}$	$1.744 \cdot 10^{-6}$
	6.25	$3.363 \cdot 10^{-4}$	$1.21 \cdot 10^{-4}$	$1.953 \cdot 10^{-5}$
	6.75	$2.028 \cdot 10^{-3}$	$8.342 \cdot 10^{-4}$	$1.678 \cdot 10^{-4}$
	7.25	$9.465 \cdot 10^{-3}$	$4.437 \cdot 10^{-3}$	$1.109 \cdot 10^{-3}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)				
acc	0.65	Radios en km		
		15	18	24
Magnitudes	5.25	$1.884 \cdot 10^{-6}$	$4.947 \cdot 10^{-7}$	$4.747 \cdot 10^{-8}$
	5.75	$2.093 \cdot 10^{-5}$	$6.301 \cdot 10^{-6}$	$7.572 \cdot 10^{-7}$
	6.25	$1.784 \cdot 10^{-4}$	$6.15 \cdot 10^{-5}$	$9.24 \cdot 10^{-6}$
	6.75	$1.17 \cdot 10^{-3}$	$4.611 \cdot 10^{-4}$	$8.644 \cdot 10^{-5}$
	7.25	$5.927 \cdot 10^{-3}$	$2.665 \cdot 10^{-3}$	$6.215 \cdot 10^{-4}$

Para la segunda fuente

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.05	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	0.592	0.442	0.36	0.277
	5.75	0.776	0.649	0.567	0.474
	6.25	0.901	0.818	0.757	0.678

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.1	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	0.108	0.053	0.034	0.02
	5.75	0.239	0.139	0.097	0.063
	6.25	0.428	0.288	0.22	0.157

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.15	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	0.018	$6.707 \cdot 10^{-3}$	$3.624 \cdot 10^{-3}$	$1.76 \cdot 10^{-3}$
	5.75	0.059	0.026	0.015	$8.391 \cdot 10^{-3}$
	6.25	0.149	0.078	0.051	0.031

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.2	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	$3.429 \cdot 10^{-3}$	$1.028 \cdot 10^{-3}$	$4.927 \cdot 10^{-4}$	$2.096 \cdot 10^{-4}$
	5.75	0.015	$5.307 \cdot 10^{-3}$	$2.821 \cdot 10^{-3}$	$1.346 \cdot 10^{-3}$
	6.25	0.049	0.021	0.013	$6.679 \cdot 10^{-3}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.25	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	$7.456 \cdot 10^{-4}$	$1.892 \cdot 10^{-4}$	$8.248 \cdot 10^{-5}$	$3.161 \cdot 10^{-5}$
	5.75	$4.03 \cdot 10^{-3}$	$1.231 \cdot 10^{-3}$	$5.964 \cdot 10^{-4}$	$2.567 \cdot 10^{-4}$
	6.25	0.017	$6.191 \cdot 10^{-3}$	$3.326 \cdot 10^{-3}$	$1.605 \cdot 10^{-3}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.3	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	$1.836 \cdot 10^{-4}$	$4.057 \cdot 10^{-5}$	$1.636 \cdot 10^{-5}$	$5.754 \cdot 10^{-6}$
	5.75	$1.199 \cdot 10^{-3}$	$3.199 \cdot 10^{-4}$	$1.435 \cdot 10^{-4}$	$5.672 \cdot 10^{-5}$
	6.25	$6.054 \cdot 10^{-3}$	$1.943 \cdot 10^{-3}$	$9.676 \cdot 10^{-4}$	$4.295 \cdot 10^{-4}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.35	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	$5.029 \cdot 10^{-5}$	$9.881 \cdot 10^{-6}$	$3.728 \cdot 10^{-6}$	$1.219 \cdot 10^{-6}$
	5.75	$3.864 \cdot 10^{-4}$	$9.174 \cdot 10^{-5}$	$3.852 \cdot 10^{-5}$	$1.417 \cdot 10^{-5}$
	6.25	$2.287 \cdot 10^{-3}$	$6.547 \cdot 10^{-4}$	$3.056 \cdot 10^{-4}$	$1.263 \cdot 10^{-4}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.4	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	$1.509 \cdot 10^{-5}$	$2.676 \cdot 10^{-6}$	$9.531 \cdot 10^{-7}$	$2.924 \cdot 10^{-7}$
	5.75	$1.336 \cdot 10^{-4}$	$2.865 \cdot 10^{-5}$	$1.136 \cdot 10^{-5}$	$3.923 \cdot 10^{-6}$
	6.25	$9.091 \cdot 10^{-4}$	$2.354 \cdot 10^{-4}$	$1.039 \cdot 10^{-4}$	$4.032 \cdot 10^{-5}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.45	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	$4.898 \cdot 10^{-6}$	$7.934 \cdot 10^{-7}$	$2.684 \cdot 10^{-7}$	$7.785 \cdot 10^{-8}$
	5.75	$4.914 \cdot 10^{-5}$	$9.636 \cdot 10^{-6}$	$3.632 \cdot 10^{-6}$	$1.186 \cdot 10^{-6}$
	6.25	$3.786 \cdot 10^{-4}$	$8.972 \cdot 10^{-5}$	$3.764 \cdot 10^{-5}$	$1.382 \cdot 10^{-5}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.5	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	$1.702 \cdot 10^{-6}$	$2.541 \cdot 10^{-7}$	$8.212 \cdot 10^{-8}$	$2.264 \cdot 10^{-8}$
	5.75	$1.911 \cdot 10^{-5}$	$3.456 \cdot 10^{-6}$	$1.245 \cdot 10^{-6}$	$3.865 \cdot 10^{-7}$
	6.25	$1.646 \cdot 10^{-4}$	$3.601 \cdot 10^{-5}$	$1.444 \cdot 10^{-5}$	$5.045 \cdot 10^{-6}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.55	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	$6.275 \cdot 10^{-7}$	$8.703 \cdot 10^{-8}$	$2.698 \cdot 10^{-8}$	$7.106 \cdot 10^{-9}$
	5.75	$7.805 \cdot 10^{-6}$	$1.312 \cdot 10^{-6}$	$4.532 \cdot 10^{-7}$	$1.345 \cdot 10^{-7}$
	6.25	$7.439 \cdot 10^{-5}$	$1.513 \cdot 10^{-5}$	$5.823 \cdot 10^{-6}$	$1.945 \cdot 10^{-6}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.6	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	$2.439 \cdot 10^{-7}$	$3.161 \cdot 10^{-8}$	$9.433 \cdot 10^{-9}$	$2.383 \cdot 10^{-9}$
	5.75	$3.33 \cdot 10^{-6}$	$5.235 \cdot 10^{-7}$	$1.741 \cdot 10^{-7}$	$4.956 \cdot 10^{-8}$
	6.25	$3.483 \cdot 10^{-5}$	$6.63 \cdot 10^{-6}$	$2.457 \cdot 10^{-6}$	$7.875 \cdot 10^{-7}$

Probabilidad de excedencia ($PGA > acc$)					
acc	0.65	Radios en km			
		22	28	32	37
Magnitudes	5.25	$9.93 \cdot 10^{-8}$	$1.209 \cdot 10^{-8}$	$3.485 \cdot 10^{-9}$	$8.47 \cdot 10^{-10}$
	5.75	$1.478 \cdot 10^{-6}$	$2.184 \cdot 10^{-7}$	$7.016 \cdot 10^{-8}$	$1.922 \cdot 10^{-8}$
	6.25	$1.684 \cdot 10^{-5}$	$3.015 \cdot 10^{-6}$	$1.079 \cdot 10^{-6}$	$3.329 \cdot 10^{-7}$

B.3.4 Paso 4 Desarrollo de la curva de peligro

Anteriormente se ha tomado en cuenta la probabilidad de que si es que ocurre un sismo una aceleración PGA exceda una aceleración de interés acc para varias combinaciones de magnitud M y distancias R , ahora se toma en cuenta la probabilidad de que ocurra un sismo en el futuro.

La ocurrencia de un terremoto se asume con una distribución de Poisson

La curva de Gutenberg Richter es usada en este paso para determinar la tasa promedio de ocurrencia de sismos con magnitudes entre m_o y m_{max}

Una curva de peligro combina toda la información en una sola gráfica. La distribución de distancia y magnitud y la probabilidad de que ocurra un sismo para una fuente se combina para producir una expresión de la probabilidad de que dada la ocurrencia de un evento sísmico con una magnitud de interés en cualquier lugar en la K esima fuente, la aceleración pico del terreno PGA excederá una aceleración de interés acc o

$$P_k(PGA > acc|EQ_k) = \iint P(PGA > acc|EQ_k: M, R) * f(M) * f(R) * dM * dR$$

$$P(PGA > acc|EQ) = \sum_R \sum_M P(PGA > acc|EQ: M, R) * f(M) * f(R) * \Delta M * \Delta R$$

$$P(PGA > acc|EQ) = \sum_R \sum_M P(PGA > acc|EQ: M, R) * f(M) * \Delta M * f(R) * \Delta R$$

Entonces $f(R) * \Delta R$ representa la probabilidad de que un sismo ocurra en una subfuente resultado de la partición.

Para cualquier subfuente de la primera fuente

$$f(R) * \Delta R = \frac{1}{3}$$

Dado que la fuente está dividida en 3 partes iguales en las que un sismo podría ocurrir en cualquiera de ellas.

Para cualquier subfuente de la segunda fuente

$$f(R) * \Delta R = \frac{1}{4}$$

Dado que la fuente está dividida en 4 partes iguales en las que un sismo podría ocurrir en cualquiera de ellas.

Para la primera fuente

Para $acc = 0.05$

1. Anteriormente se halló $\Delta M * f(M)$ para los intervalos escogidos

Intervalo		M Media	$\Delta M * f(M)$
Inferior	Superior		
5	5.5	5.25	0.493
5.5	6	5.75	0.255
6	6.5	6.25	0.132
6.5	7	6.75	0.068
7	7.5	7.25	0.035

$\Delta M * f(M)$ Significa la probabilidad que si ocurre un sismo esta tenga una magnitud que este dentro de los intervalos correspondientes.

2. Además para cualquier intervalo de magnitud en la primera fuente se halló $f(R) * \Delta R$ que describe la probabilidad de que de ocurrir un sismo este lo haría en una subfuente cualquiera.

$$f(R) * \Delta R = \frac{1}{3}$$

3. También se halló $P(PGA > acc|EQ: M, R)$, que significa la probabilidad de que si ocurriese un sismo este tendría una magnitud igual o mayor que acc

$$P(PGA > acc|EQ: M, R)$$

$acc = 0.05$	15	18	24
5.25	0.791	0.705	0.539
5.75	0.909	0.857	0.734
6.25	0.969	0.945	0.875
6.75	0.992	0.983	0.953
7.25	0.998	0.996	0.986

Al usar la formula

$$P(PGA > acc|EQ) = \sum_R \sum_M P(PGA > acc|EQ: M, R) * f(M) * \Delta M * f(R) * \Delta R$$

$$P(PGA > acc|EQ) = 0.771$$

Entonces la probabilidad de que si ocurriese un sismo este exceda $acc = 0.05$ es 0.771 tomando en cuenta todas las posibles combinaciones de magnitud y distancias de las subfuentes; para la primera fuente.

Un resumen de resultados para todas las aceleraciones acc escogidas se muestra:

$P(PGA > acc EQ)$		
acc	Fuente	
	1	2
0.05	0.77	0.546
0.1	0.317	0.12
0.15	0.123	0.027
0.2	0.051	6.78E-03
0.25	0.023	1.93E-03
0.3	0.011	6.10E-04
0.35	5.40E-03	2.10E-04
0.4	2.80E-03	7.74E-05
0.45	1.50E-03	3.04E-05
0.5	8.27E-04	1.26E-05
0.55	4.68E-04	5.48E-06
0.6	2.71E-04	2.48E-06
0.65	1.61E-04	1.17E-06

Se selecciona un modelo de predicción para expresar la probabilidad de ocurrencia para futuros eventos sísmicos

$$P(n, t) = \frac{(v * t)^n * e^{-v*t}}{n!}$$

Donde $P(n, t)$ es la probabilidad de tener exactamente n eventos en un periodo de tiempo t en el futuro, y v es la tasa promedio de ocurrencia.

Esta expresión se reduce a $P(0,1) = e^{-v}$ para la probabilidad de que ningún evento ocurra en un periodo de un año. Entonces la probabilidad de que por lo menos un evento ocurra en el año es

$$p = 1 - e^{-v}$$

Cuando esta expresión es combinada con la probabilidad de que en el lugar se exceda una aceleración de interés (dada la ocurrencia de un sismo), la probabilidad anual de que en el sitio la aceleración PGA exceda una aceleración de interés acc resultante de la ocurrencia d un sismo en la fuente K – $esima$ fuente

$$P_k(PGA > acc) = 1 - e^{(-v*p)_k}$$

$$P(PGA > acc) = 1 - e^{-v*t*p(a)}$$

$$\text{Donde } p(a) = P(PGA > acc \mid EQ)$$

Entonces para la primera fuente $v = 0.143$ y para la segunda $v = 7.273 * 10^{-3}$ y $t = 1$ año

Entonces

$P(PGA > acc)$ en un año		
acc	Fuente	
	1	2
0.05	0.104	3.96E-03
0.1	0.044	8.72E-04
0.15	0.017	1.95E-04
0.2	7.27E-03	4.93E-05
0.25	3.26E-03	1.41E-05
0.3	1.55E-03	4.44E-06
0.35	7.70E-04	1.52E-06
0.4	3.99E-04	5.63E-07
0.45	2.14E-04	2.21E-07
0.5	1.18E-04	9.17E-08
0.55	6.69E-05	3.98E-08
0.6	3.88E-05	1.80E-08
0.65	2.29E-05	8.48E-09

Para la primera fuente la curva de peligro sísmico es

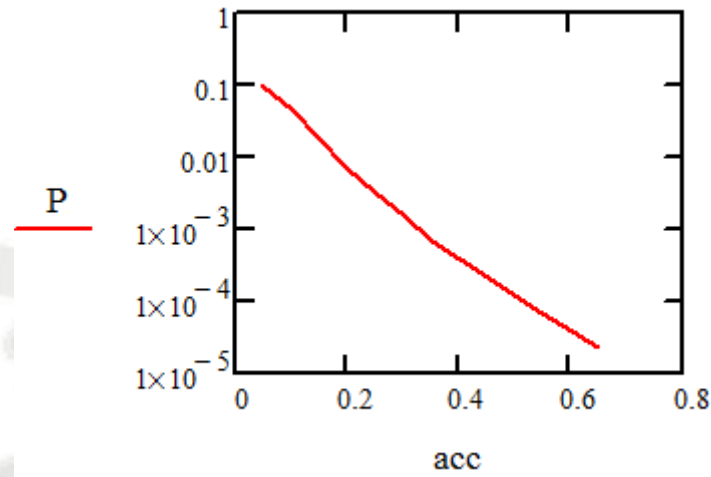


Figura B.7 Curva de peligro sísmico anual para la primera fuente aceleración acc VS $P(PGA > acc)$

Para la segunda fuente la curva de peligro sísmico es

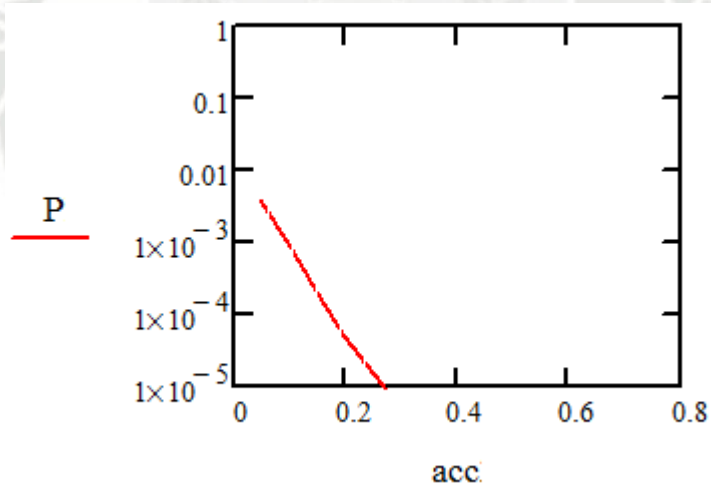


Figura B.8 Curva de peligro sísmico anual para la segunda fuente aceleración acc VS $P(PGA > acc)$

Estos resultados separados de las dos fuentes sísmicas deben combinarse para obtener solo una curva de peligro sísmico con la siguiente expresión:

$$P(PGA > acc) = 1 - \prod_k (PGA < acc)_k$$

Entonces para $acc = 0.05$ para las dos fuentes las probabilidades se combinan de la siguiente manera:

$$P(PGA > acc) = 1 - (1 - P(PGA > acc)_1) * (1 - P(PGA > acc)_2)$$

$$P(PGA > acc) = 1 - (1 - 0.104) * (1 - 0.004)$$

$$P(PGA > acc) = 1 - (0.896) * (0.996)$$

$$P(PGA > acc) = 1 - 0.892$$

$$P(PGA > acc) = 0.108$$

Seguidamente se muestran los resultados

<i>acc</i>	<i>P(PGA > acc)</i>
0.05	0.108
0.1	0.045
0.15	0.018
0.2	7.32E-03
0.25	3.27E-03
0.3	1.55E-03
0.35	7.72E-04
0.4	4.00E-04
0.45	2.14E-04
0.5	1.18E-04
0.55	6.69E-05
0.6	3.88E-05
0.65	2.29E-05

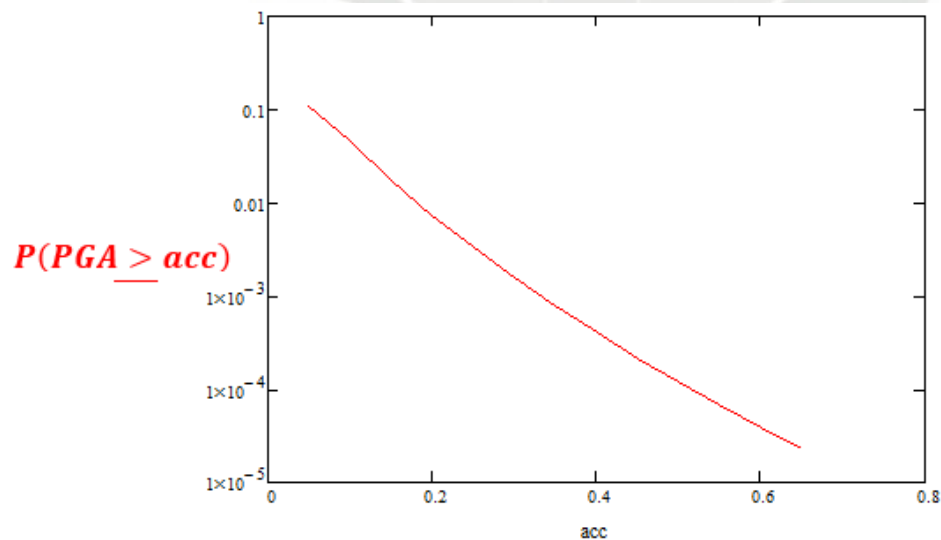
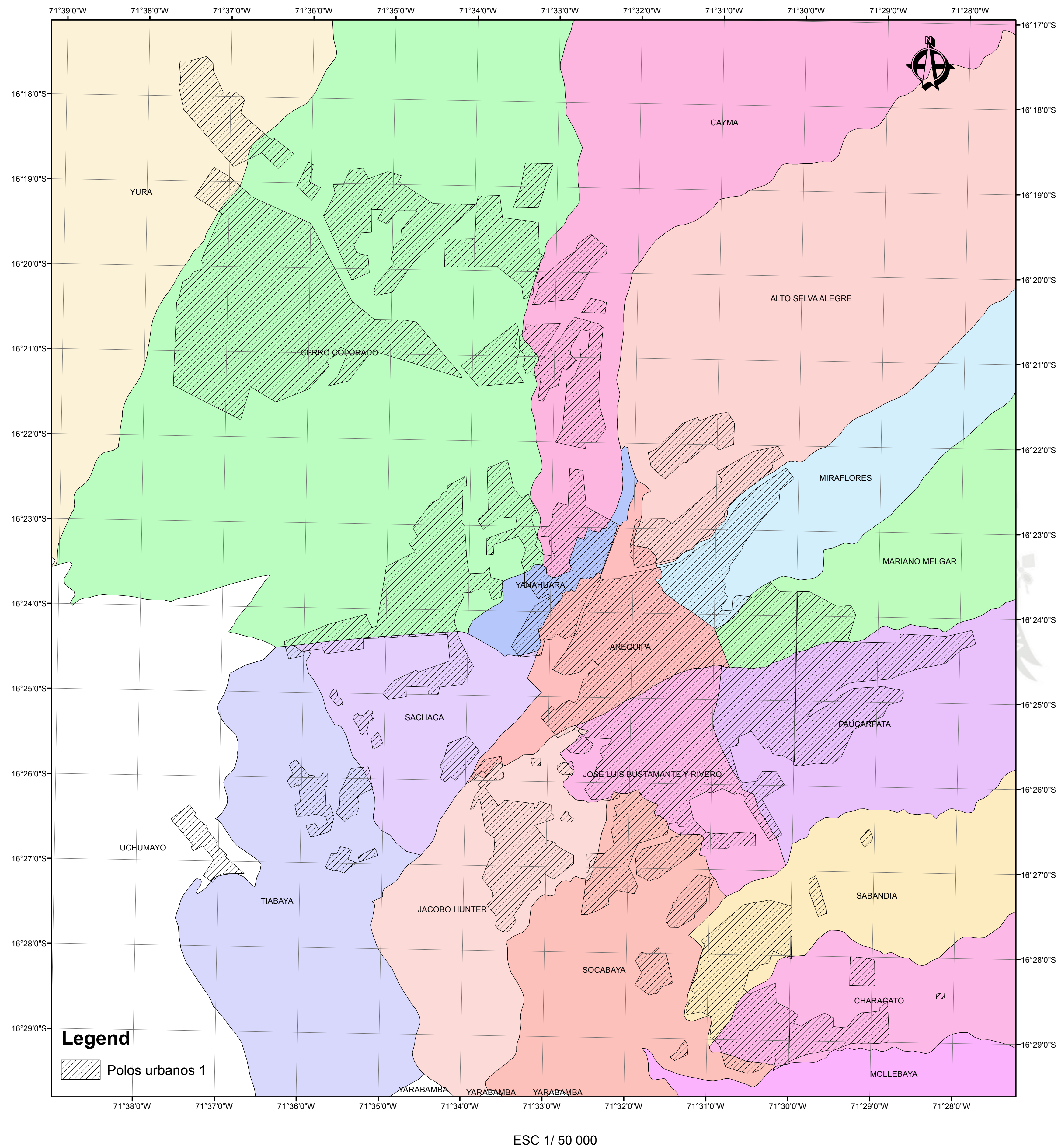


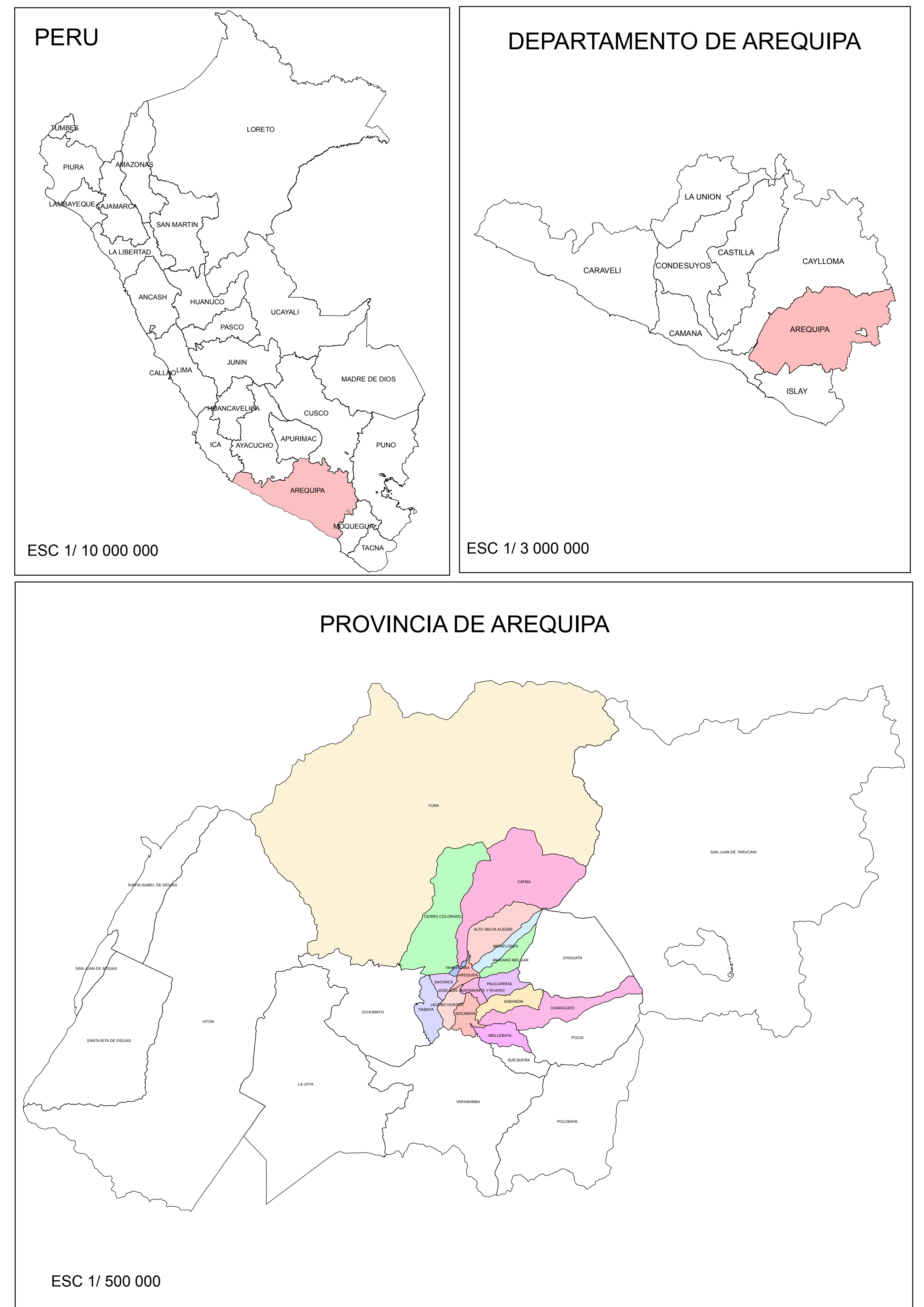
Figura B.9 Curva de peligro sísmico anual para la primera y segunda fuentes combinadas
aceleración *acc* VS $P(PGA > acc)$

ANEXO C Planos

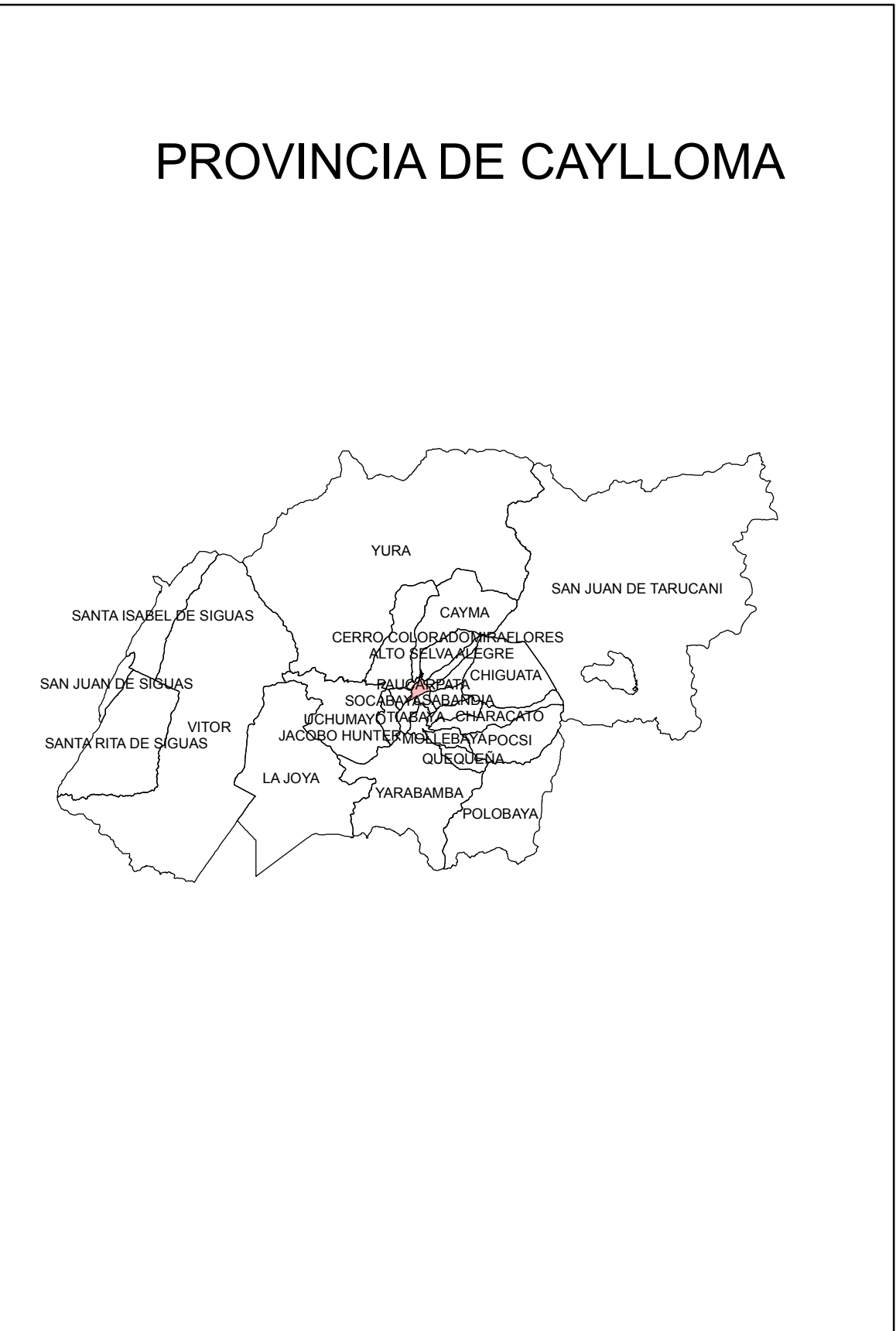
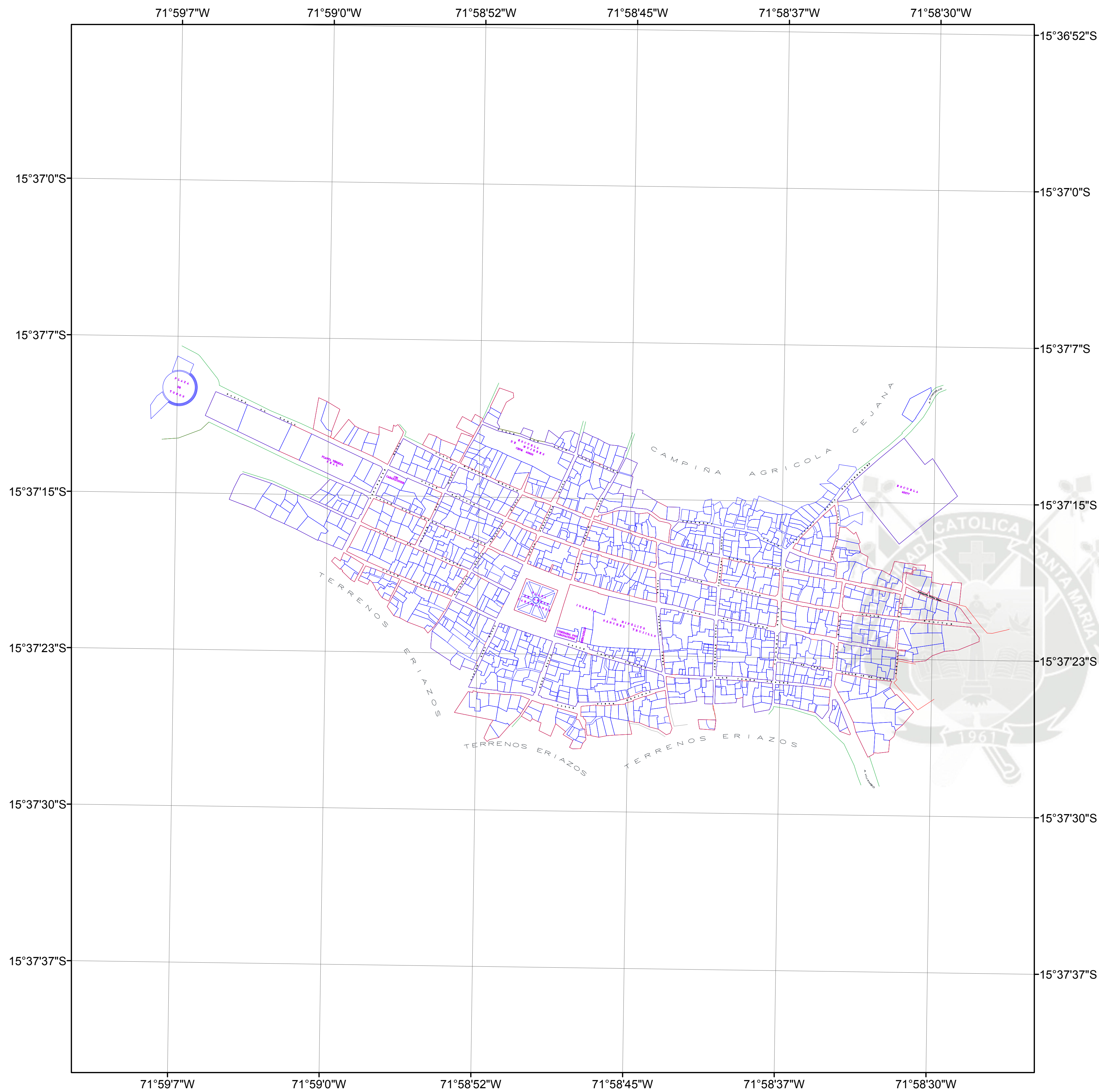




PLANO DE UBICACION DEL AREA QUE DELIMITA EL PROYECTO 1
(AREAS URBANIZADAS CENTRICAS DE LA PROVINCIA DE AREQUIPA)

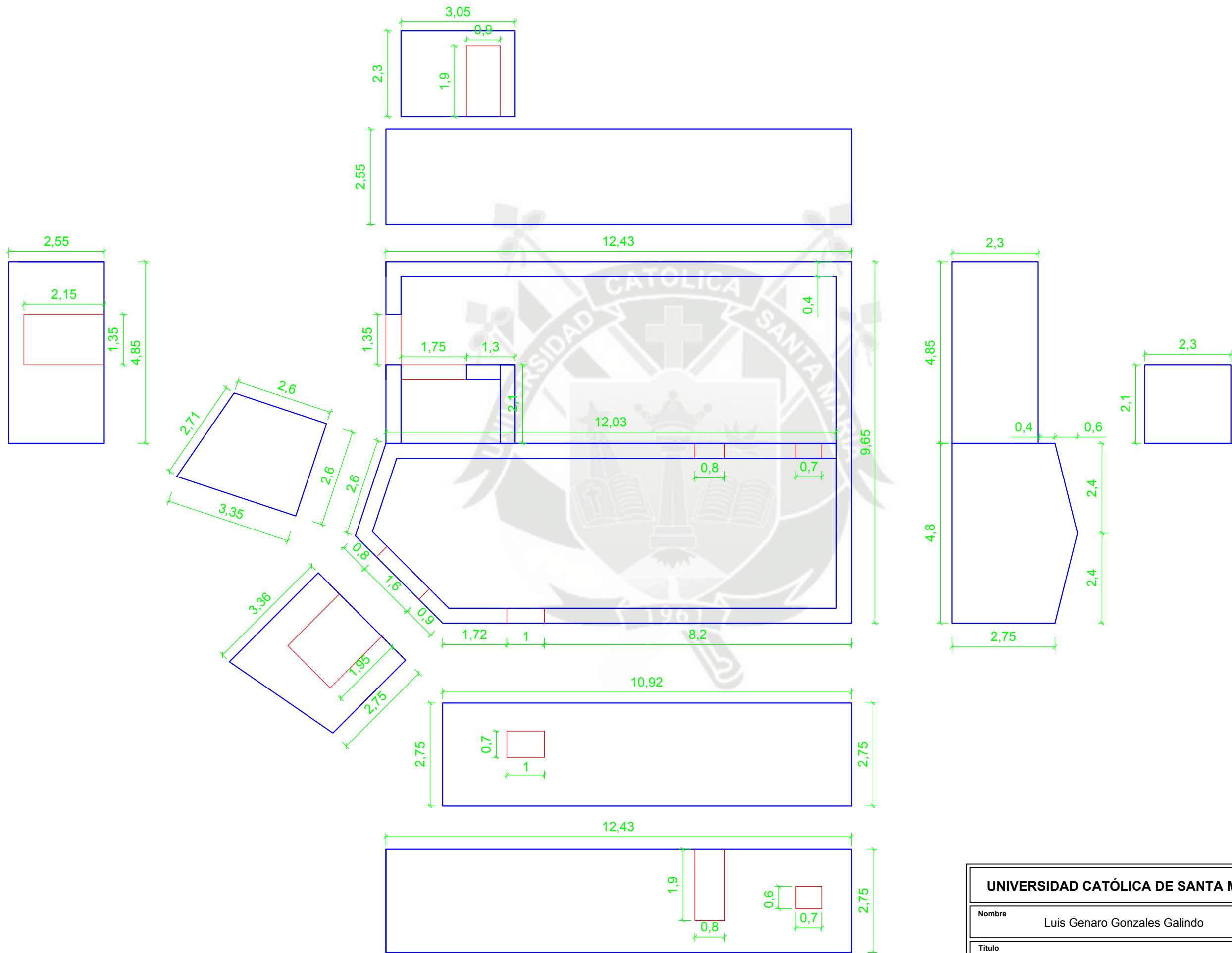


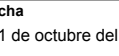
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		
Nombre	Luis Genaro Gonzales Galindo	
Título	Lugar de estudio en la provincia de Arequipa	
Documento	Ubicación de estudio ciudad de Arequipa	
Fecha	05 de Julio del 2016	Escala INDICADA
Lamina	1	

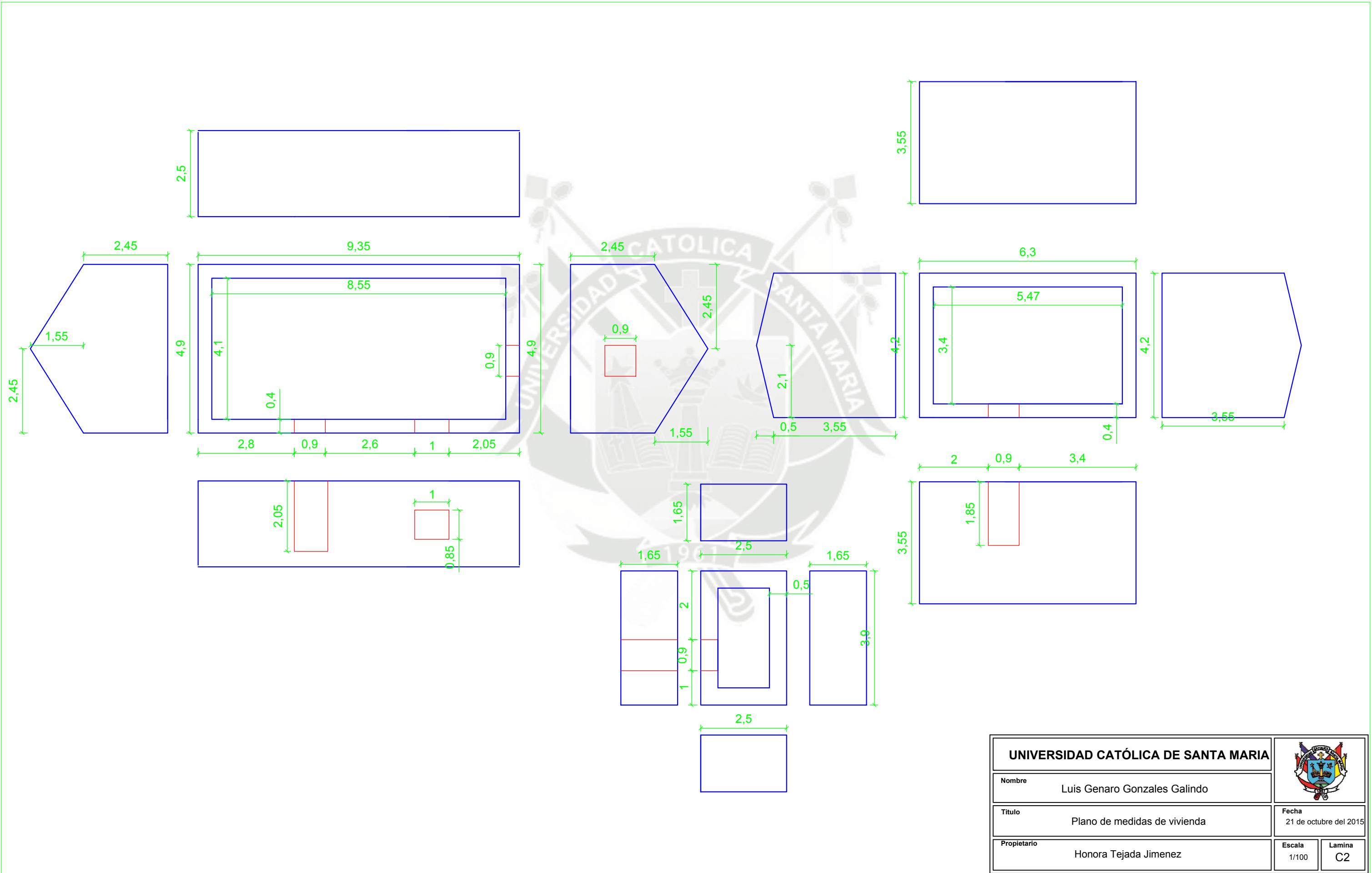


PLANO DE UBICACION DEL AREA DEL PROYECTO EN EL DISTRITO DE CABANACONDE

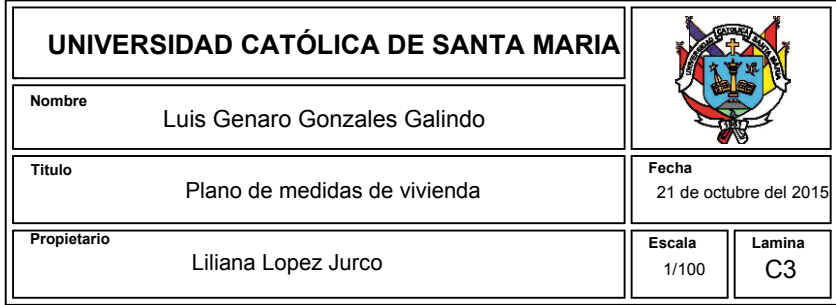
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA				
Nombre	Luis Genaro Gonzales Galindo		Fecha	05 de Julio del 206
Titulo	Lugar de estudio en el distrito de Cabanaconde		Escala	Lamina
Documento	Evaluación de vulnerabilidad en el distrito de Cabanaconde		INDICADA	2

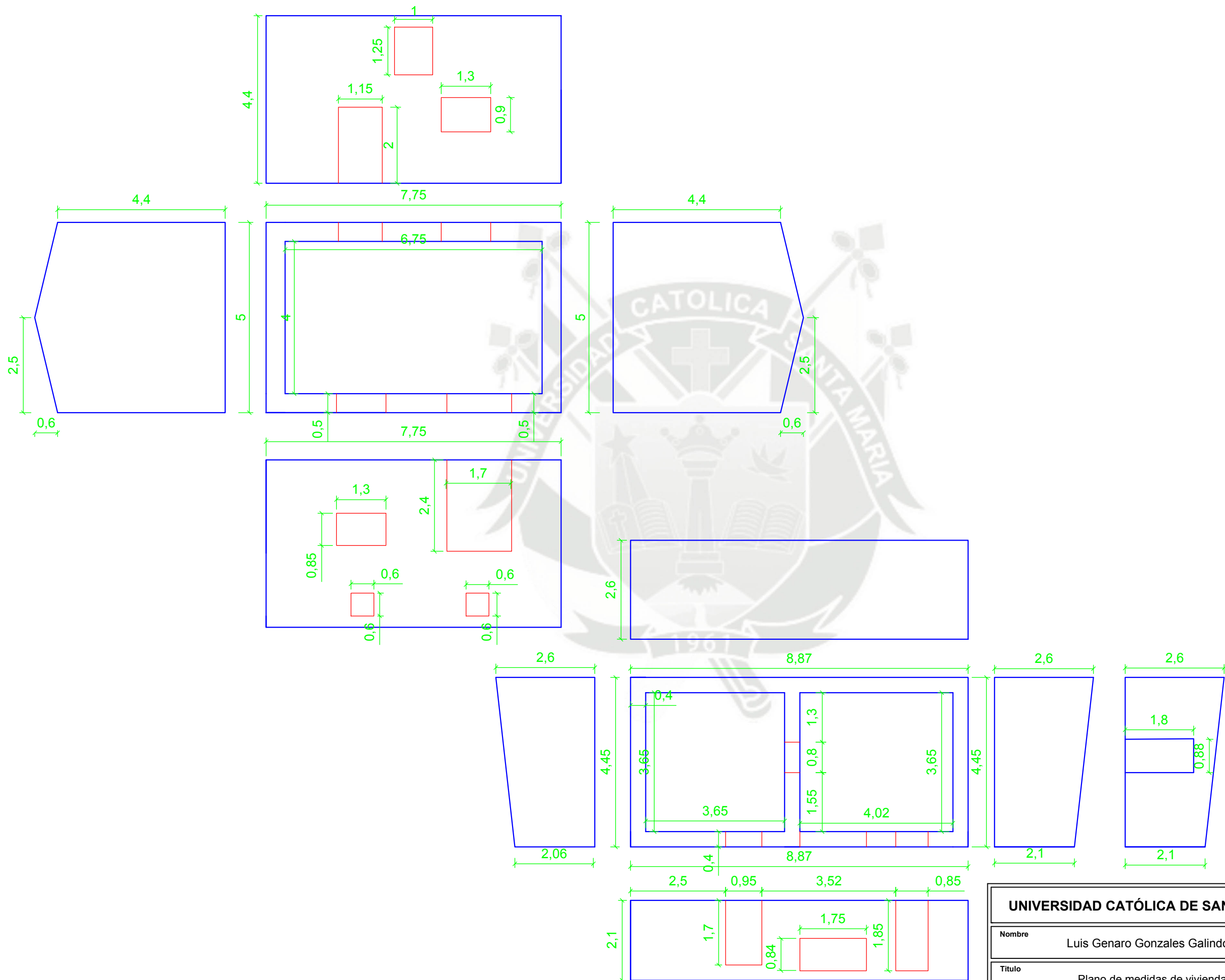


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA			
Nombre	Luis Genaro Gonzales Galindo		
Título	Plano de medidas de vivienda		
Propietario	Cecilia Vargas Jimenez	Fecha	21 de octubre del 2015
		Escala	Lamina
		1/100	C1

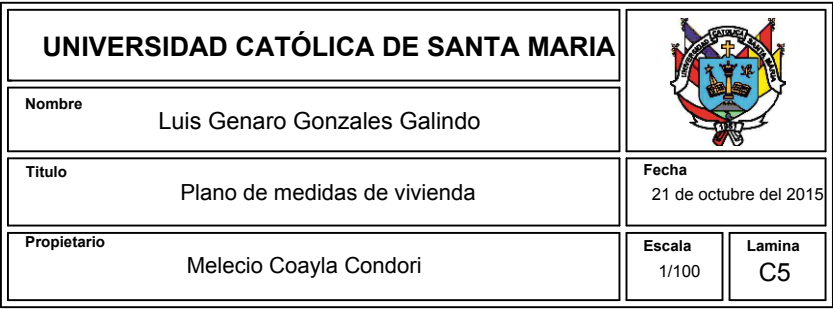


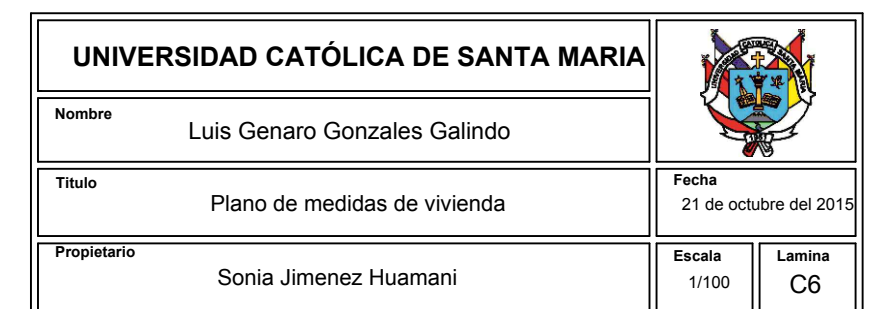
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA				
Nombre	Luis Genaro Gonzales Galindo		Fecha	21 de octubre del 2015
Título	Plano de medidas de vivienda		Escala	1/100
Propietario	Honora Tejada Jimenez		Lamina	C2





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA				
Nombre	Luis Genaro Gonzales Galindo		Fecha	21 de octubre del 2015
Título	Plano de medidas de vivienda		Escala	1/100
Propietario	Mari Delgado Lupaca		Lamina	C4





BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar Z. y Alva J. (1991) **“Microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa”**.
2. Ahmed A. (2010) **“A Proposal of Design Spectrum Based on Uniform Hazard Spectral Format Using 4th Generation Seismic Hazard Maps of Canada for CHBDC”** A Thesis in The Department of Building, Civil and Environmental Engineering Concordia University Montreal, Quebec, Canada
3. Alva J. y. Castillo J. (1993) **“Peligro sísmico en el Perú”** Cismid UNI.
4. Alva J. y. Escalaya M. (2003) **“Actualización de los Parámetros sismológicos en la Evaluación del peligro Sísmico en el Perú”** Cismid UNI.
5. Baker J. (2008) **“An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard a Primer”**.
6. Bates R. y Jackson J. eds. (1980) **“Glossary of geology”**
7. Bernal I. y Tavera H. (2002) **“Geodinámica sismicidad y energía sísmica en el Perú”**
8. Bernal y Tavera (2002) **“Geodinamica, simicidad y energía sísmica en el Peru”**
9. Bolaños A. y Monroy O. (2004) **“Espectros de peligro sísmico uniforme”** Tesis de maestría PUCP
10. Boore, D.; Joyner, W.; y Fumal, T. (1993), **“Estimation of Response and Peak Accelerations from Western North American Earthquakes”**, an Interim Report. USGS O.F. Report 93-509.
11. Calvi G.M., Pinho R., Magenes G., Bommer J.J. , Restrepo-Vélez L.F. and Crowley H. (2006) **“Development of seismic vulnerability assessment Methodologies over the past 30 years”**
12. Calvi, G.M. (1999) **“A Displacement-Based Approach for Vulnerability Evaluation of Classes of Buildings”**. *Journal on Earthquake Engineering*.
13. Cano L. , Monsalve H. , Agudelo J. , Upegui F. y Diego Jaramillo J. **“Metodología Para La Evaluación Del Riesgo Sísmico De Pequeñas Y Medianas Ciudades. Estudio De Caso: Zona Centro De La Ciudad De Armenia – Colombia”**
14. Casaverde, L. y Vargas, J. (1980), **“Zonificación Sísmica del Perú”**, II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Organización de Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
15. Chaponán K. (2005) **“Vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas en las zonas norte y centro de la ciudad Arequipa”** Tesis UCSM
16. Chávez J. (2006), **“Leyes de Atenuación para Aceleraciones Espectrales en el Perú”**, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
17. Chopra A. (2014) **“Dinámica de estructuras”** Cuarta edición, Pearson Educación, México
18. Cismid (2011) **“Evaluación del peligro sísmico en el distrito de san juan de Lurigancho”** Convenio específico de cooperación interinstitucional entre el ministerio de vivienda, construcción y saneamiento y la universidad nacional de ingeniería “Estudio de micro zonificación sísmica y vulnerabilidad en la ciudad de Lima”
19. Conrad C. (2013) **“Lecture 19: Seismic wave propagation”** University of Hawaii
20. Conrad C. **“Lecture 19 seismic wave propagation”** University of Hawaii.
21. Cornell A. (1968) **“Engineering Seismic risk analysis”** Bulletin of the Seismological Society of America
22. Crowley, H. and Pinho, R. (2004). **“Period-Height Relationship for Existing European Reinforced Concrete Buildings”**, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 8, No. 1, pp. 93-119.

23. Crowley, H. and Pinho, R. (2006). **“Simplified Equations for Estimating the Period of Vibration of Existing Buildings”**, Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, Paper No. 1122 (on CD).
24. D' Ayala D. y Speranza E. **“Definition of Collapse Mechanisms and Seismic Vulnerability of Historic Masonry Buildings”**
25. Dahle, A.; Climent, A.; Taylor, W; Bungum, H.; Santos, P.; Ciudad Real, M.; Lindholm, C.: Strauch, W. y Segura, F. (1995), **“New Spectral Strong Motion Attenuation Models for Central America”**. Proc. Fifth Intl. Conf. On seismic Zonation. Nice, October 1995.
26. De La Cruz I. (2012) **“Peligro sísmico probabilístico y espectro uniforme en la región de Ancash”**.
27. Doherty, K.T., Griffith, M.C., Lam, N. and Wilson, J. (2002). **“Displacement-Based Seismic Analysis for Out-of-Plane Bending of Unreinforced Masonry Walls”**, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 31, No. 4, pp. 833-850.
28. Dorbath, D., Cisteras A. y Dorbath C. (1990) **“Assesment of the size of large and great historical earthquakes in Peru”**
29. EMS-98 (2009) **“Escala macrosísmica europea 1998”**
30. Farfan E., Diaz H., Kosaca R. (2001) **“Geología y estratigrafía del cuaternario y zonificación geotécnica-sísmica del área urbana de Arequipa”**, UNSA-CEREN.
31. Field E. (2005) **“Probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) A primer”**
32. Gamarra C. (2009) **“Nuevas fuentes sismo génicas para la evaluación del peligro sísmico y generación de espectros de peligro uniforme en el Perú”**.
33. Garcia A., Pozos A., Hanping H., Gomez R. (2012) **“Estimación de peligro sísmico debido a sismos interplaca e inslab y sus implicaciones en el diseño sísmico”**.
34. Giner J. et al **“Riesgo sísmico, tipos de fallas”** Recurso educativo UNAM
35. Green R., Hall W. (1994) **“An Overview Of Selected Seismic Hazard Analysis Methodologies”**.
36. Griffith, M.C., Magenes, G., Melis, G. and Picchi, L. (2003). **“Evaluation of Out-of-Plane Stability of Unreinforced Masonry Walls Subjected to Seismic Excitation”**, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 141-169.
37. Herraiz M. (1997) **“Conceptos básicos de sismología para ingenieros”** Libro Primera edición.
38. Idriss, I. (1985), **“Evaluating Seismic Risk in Engineering Practice”**, XI International Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, USA, Vol I.
39. INDECI (2015) **“Estimación del escenario de riesgo por sismos del distrito de Cabanaconde y el anexo de Pinchollo, para implementar medidas de preparación en la gestión de riesgos de desastres”**
40. Instituto Nacional De Defensa Civil INDECI (2015) **“Estimación del escenario de riesgo por sismos del distrito de Cabanaconde y el anexo de Pinchollo, para implementar medidas de preparación en la gestión de riesgos de desastres”**
41. López, D. y Olarte, J. **“Evaluación estadística de la sismicidad en la región Sur-occidental del Perú”**.
42. Machare (2003) **“Database and Map of Quaternary Faults and Folds in Perú and its Offshore Region”** U.S. Geological Survey
43. Mcguire R. (2004) **“Deterministic VS Probabilistic earthquake hazard analysis”**

44. Mejia V. (2005) **“Vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas en las zonas oeste y noreste de la ciudad Arequipa”** Tesis UCSM
45. Modena, C., Lourenço, P.B. and Roca, P. (editors) (2005). **“Structural Analysis of Historical Constructions – Possibilities of Numerical and Experimental Techniques”**, Taylor and Francis, London, U.K.
46. Monroy J. (2005) **“Vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas en las zona sur la ciudad Arequipa”** Tesis UCSM
47. NZSEE. (2002). **“Assessment and Improvement of the Structural Performance of Buildings in Earthquake”**. Recommendations of an NZSEE Study Group on Earthquake Risk Buildings Prepared for the Building Industry Authority.
48. Paulay, T., and Priestley, M.J.N. [1992]. **“Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Structures”**, John Wiley & Sons, New York.
49. Pinho, R., Bommer, J.J. and Glaister, S. (2002). **“A Simplified Approach to Displacement-Based Earthquake Loss Estimation Analysis”**, Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, U.K., Paper No. 738 (on CD).
50. Pomachagua O. (2000) **“Características generales de la tectónica y Sismicidad de Perú”** Revista de Trabajos de Investigación. CNDG – Biblioteca
51. Restrepo L. (2003) **“A simplified mechanics – based procedure for the seismic risk assessment of unreinforced masonry buildings”**
52. Restrepo-Velez L. [2004] **“Seismic Risk of Unreinforced Masonry Buildings”**, *Doctoral Thesis*, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School). University of Pavia, Pavia, Italy.
53. Restrepo-Vélez, L.F. (2005). **“A Simplified Mechanics-Based Procedure for the Seismic Risk Assessment of Unreinforced Masonry Buildings”**, PhD Thesis, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School), Pavia, Italy.
54. Restrepo-Vélez, L.F. and Magenes, G. (2004). **“Simplified Procedure for the Seismic Risk Assessment of Unreinforced Masonry Buildings”**, Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, Paper No. 2561 (on CD).
55. Sadigh K. Chang C. Egan J. Makdisi F. Youngs R. (1997) **“Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data”** Seismological Research Letters Volume 68, Number 1 January/February
56. Sadigh, K.; Chang, C.-Y.; Egan, J.A.; Makdisi, M; Youngs, R.R. (1997), **“Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data”**, Seismological Research Letters, Volume 68, Number 1, January/February 1997.
57. Sarria A. (1995) **“Ingeniería Sísmica”** Libro Segunda edición.
58. Schmidt, V.; Dahle, A. y Bungum, H. (1997): **“Costa Rican Spectral Strong Motion Attenuation”**. NORSAR Technical Report (RONDICA Project), Kjeller, Noruega.
59. Silgado (1978) **“Historia de los sismos más notables del Perú”** Boletín N°3 Serie C. Geodinamica e Ingeniería Geologica
60. Silva N., Tesis **“Caracterización y determinación del peligro sísmico en la región metropolitana”**, Universidad de Chile.
61. Tarque S. (2008) **“Seismic risk assessment of adobe dwellings”**
62. Tavera H. (2001) **“Fuentes sismogénicas y tipos de sismos en el Perú”** Revista del Capítulo de Ingeniería Geológica N°xx, Sociedad Geológica del Perú, Págs. 39-41

63. Tavera H. (2013) **“Zonificación sísmica-Geotécnica del distrito de Sachaca – Arequipa (comportamiento dinámico del suelo)”**, Instituto Geofísico del Perú y Municipalidad distrital de Sachaca.
64. Tavera H. (2014) **“Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú”**
65. Tavera H. y Buforn E. (1998) **“Sismicidad y sismo tectónica del Perú”**
66. UPM y ONEV (2012) **“Evaluación de la peligrosidad y el Riesgo sísmico en Haití y aplicación al Diseño sismorresistente”**.
67. Wang Z. (2006) **“Understanding seismic hazard and risk assessments: an example in the new Madrid seismic zone of the central united states”**
68. Young R., Chiou S., Silva W. y Humphrey J. (1997) **“Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes”** Seismological Research Letters Volume 68, Number 1 January/February
69. Youngs, R. R., Chiou. S. J., Silva, W. J. and Humprey, J. R. (1997), **“Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes”**, Seismological Research Letters, Vol. 68.
70. Zamudio Y. (2007) **“El Peligro Sísmico en el Dpto. de Arequipa”**.
71. Zeballos A. (2005) **“Vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas en las zonas norte y centro de la ciudad Arequipa”** Tesis UCSM

Fuentes de información gratuita

1. Global Earthquake Model (**GEM**) pagina web:
<http://www.globalquakemodel.org/>
2. Instituto Geofísico del Perú (**IGP**) página web:
<http://www.igp.gob.pe/portal/>
3. Sociedad Mexicana de Ingeniera página web:
<http://www.smis.org.mx/>
4. International Seismological Center (**ICS**) página web:
<http://www.isc.ac.uk/>
5. Sitio web de consultas de curvas de peligro uniforme en el Perú (**SENCICO**):
<http://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=331>
6. Sitio web de descarga del programa CRISIS 2007 para la evaluación de peligro sísmico probabilístico, pagina web:
<http://www.ecapra.org/es/>
7. Página de publicaciones de Hernando Tavera Director de sismología en IGP
<http://www.igp.gob.pe/hernando.tavera/>