

VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO DE TRES EDIFICIOS EN LA PARROQUIA EL VALE

Maza Bolívar Hernán

Universidad Técnica Particular de Loja,
Departamento de Ingeniería Civil, Loja –
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-0126-8511>

Barragán Yaguana Jonathan

Universidad Técnica Particular de Loja,
Departamento de Ingeniería Civil, Loja –
Ecuador

Maza Vivanco Daniela Stefanía

Universidad Técnica Particular de Loja,
Departamento de Ingeniería Civil, Loja –
Ecuador

<https://orcid.org/0009-0006-8669-944X>

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: En el presente trabajo se determinó la vulnerabilidad sísmica con una muestra de tres edificios pertenecientes a la parroquia El Valle del cantón Loja - Ecuador. Se inició con un levantamiento estructural rápido de las edificaciones. Para determinar el estado de los materiales se empleó el ensayo no destructivo de martillo rebote o esclerometría cuyos resultados serán corregidos y validados mediante el análisis de su dispersión, la edad, entre otros. En el estudio se introdujo un sismo de respuesta elaborado mediante datos sísmicos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de los últimos dos años incluyendo los más representativos. El análisis de los edificios se lo realiza en base a lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC – SE – 2015 bajo los factores que establece la misma. Las edificaciones analizadas se encuentran en estado de vulnerabilidad, debido en algunos casos a la irregularidad en planta, y a la edad de los materiales. Dada esta condición, es necesario concientizar a la población sobre el peligro y vulnerabilidad existente en el entorno en que vivimos y motivar a futuros ingenieros a tomar en cuenta esto para sus posteriores diseños de edificaciones.

Palabras clave: Análisis estructural, riesgo sísmico, ensayo no destructivo, magnitud de momento.

INTRODUCCIÓN

Ecuador país asentado en territorio del Cinturón de Fuego del Pacífico donde se libera la mayor cantidad de energía sísmica a nivel global (Theurer Moncayo et al., 2017). Ecuador considerado como de alto peligro sísmico donde se desconoce la vulnerabilidad de la mayoría de las edificaciones, por lo que es vital llenar este espacio. Según (Aguiar & Mieles Bravo, 2016) en Ecuador de las décadas de los 80, 90 y fin de siglo se construyeron edificios con normas antiguas, se consideraron

solamente cargas gravitacionales, mala calidad del concreto, mismos que asistieron a los sismos Pedernales 16 de Abril 2016, Bahía 1998. Según la (INEC, 2017; SNGR, 2016) el sismo de Pedernales del 16-A deja personas: 661 fallecidas, 12 desaparecidas, 6274 Heridas, 21 vías inhabilitadas, 10 506 edificaciones urbanas afectadas, 8 157 edificaciones rurales afectadas, 88 infraestructuras educativas con nivel de alto daño, 3344 millones de dólares en pérdidas económicas.

América Latina vive en amenaza sísmica constante, con un historial de sismos que predice el manifiesto de un gran sismo de alta magnitud, donde cabe una interrogante ¿estamos preparados para enfrentar un sismo de gran magnitud?, la respuesta es evidente y negativa (I. Ayala et al., 2011). Moncayo Theurer et al., (2017) sostienen que la activación sísmica en Ecuador se da cada 50 años donde los sismos oscilen en magnitud 8 en escala Richter, no obstante, las ocurrencias sísmicas de activación son 35 veces mayores a las ocurrencias del tiempo medio del siglo. Loja ciudad no dispone de microzonificación sísmica, lo mismo de un plan articulado para responder al manifiesto sísmico. En esta misma ciudad no se cuenta con estudios que generen datos que faciliten emprendimientos de investigaciones en la tendencia para dar respuesta preventiva a la intensidad sísmica.

En este contexto no se registran estudios que aporten a investigaciones relacionadas a reducir los impactos que deja el manifiesto sísmico en la ciudad de Loja. Se plantea investigar el estado de vulnerabilidad y riesgo sísmico de tres edificaciones de la parroquia El Valle en la ciudad de Loja-Ecuador. El objetivo de la investigación es conocer el estado de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones seleccionadas.

ANTECEDENTES

Para empezar, no se han registrado sismos

fuerzas con epicentro a nivel local, pero eventos cercanos han ocasionado cierto grado de afectación (ver tabla 1), la vulnerabilidad está presente.

Magnitud [MW]	Fecha	Lugar	Grado de afectación
7.5	26 de mayo del 2019	Amazonía Peruana	Se tienen reportes que fue sentido en Ecuador, Colombia Venezuela, Brasil. Se registran 2 fallecidos.
Magnitudes entre [3 - 4]	29 de mayo del 2019	Enjambre sísmico en Pichincha	No se registran víctimas ni daños.
7.8	16 de abril del 2016	Pedernales	Se registró un total de 663 fallecidos y Cuantiosos daños materiales.
8.8	27 de febrero del 2010	Mar Chileno, frente a las costas de la región de Ñuble.	Se registró un total de 525 fallecidos y cuantiosos daños materiales.

Tabla 1: Algunos registros sísmicos importantes para el presente estudio.

Fuente: Propia de los autores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la toma de datos a los edificios en cuestión el equipo utilizado consta de (Ver fig. 1):

- Esclerómetro
- Detector de metales
- Flexómetro.
- Hojas de cálculo
- Cinzel, martillo, entre otros.
- Datos del IGEPN (2019)



Figura 1: Arriba: detector de metales, abajo, esclerómetro. Propia de los autores

METODOLOGÍA

Parte de la investigación involucra determinar el sísmo de análisis, mismo que se desarrolla como un método probabilista zonificado, cuyo objetivo es la estimación de valores de peligrosidad de manera general y completa. En él se estiman las probabilidades de excedencia de movimientos debido a todos los posibles sísmos que puedan ocurrir en el área de influencia durante un tiempo dado. El estudio se inicia con la identificación de las fuentes sísmicas y la confección de un catálogo sísmico que contenga la mayor información disponible de eventos telúricos. Se aborda su proceso de homogenización, depuración y completitud.

Para contemplar la atenuación de ondas sísmicas se emplea modelos empíricos que incluyen tres regímenes tectónicos en Ecuador: Cortical, subducción interfase y subducción intraplaca. Para el análisis de las edificaciones se parte de su geometría, evaluación de la calidad de los materiales, el armado a fin de superponer la capacidad sísmica de las estructuras con el sísmo de análisis para la determinación de su

vulnerabilidad. La investigación consta de tres partes organizadas de la siguiente manera: recopilación de datos, evaluación rápida a edificaciones modelación de las estructuras y determinación de la vulnerabilidad.

Recopilación de datos

Se contó con el registro sísmico del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, paralelamente a ello se realizó una encuesta para determinar el grado de conocimiento acerca de riesgo sísmico en la ciudad de Loja. Se procede a colocar todo el catálogo sísmico del IGEPN a una escala común de magnitud de momento MW, a este proceso se lo conoce como homogenización y sirve para correlacionar las escalas, Mlv, Mw, etc. (Benito et al., 2010)

De acuerdo con la expresión (ecuación 1), queda:

$$Mw = 0.821 * ML + 0.8975 \text{ (Ecuación 2)}$$

De los 649 sismos homogenizados un 96.3% corresponden a magnitudes menores a 5.0, mientras que 3.54% ocupan un rango entre 5.0 a 7.0 y un 0.15% son mayores a 7.0 Mw. Otro proceso considerado es en base a la definición de regímenes tectónicos, en la (tabla 2) se establecen sus consideraciones.

Régimen	Profundidad [km]
Cortical	Menor a 75
Interfase	Entre 75 a 130
Intraplaca	Mayor a 130

Tabla 2: Consideraciones para definir regímenes tectónicos

Fuente: Propia de los autores

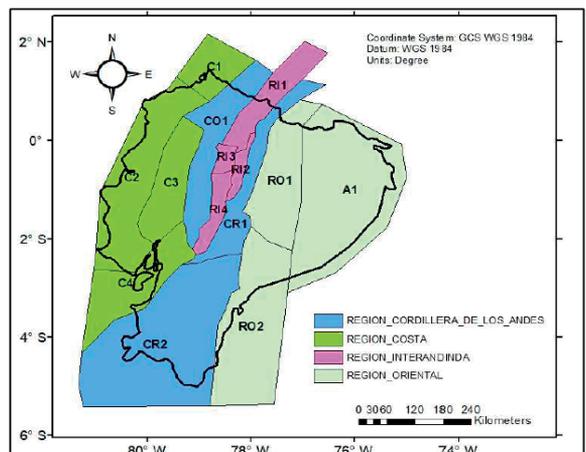
La ocurrencia la define la profundidad del evento como factor principal, entonces y de acuerdo con la (tabla 2), de los sismos analizados un 92.0% son superficiales, un 4.16% son interfase y solo un 3.85% son intraplaca. Las fuentes sísmicas son

caracterizadas en función principalmente de su régimen tectónico mediante zonas sismogénicas (Parra, 2016). De acuerdo con este estudio el régimen cortical se compone de 14 zonas sismogénicas (Tabla 3) (fig. 2), las mismas que para llegar a establecerlas considera fallas, geología, geometría de la subducción entre otros parámetros geológicos.

Régimen	Zona Sismogénica	Magnitud Máxima Observada (Mw)
Cortical	C1	5.6
	C2	8.3
	C3	5.8
	C4	7.5
	CO1	7.2
	CR1	7.3
	CR2	5
	RI1	6.4
	RI2	7.6
	RI3	7.4
	RI4	7.1
	RO1	6.8
	RO2	7.2
	A1	5.3

Tabla 3: Zonas sismogénicas.

Fuente: Parra 2016



Anexo A.2.1 - Zonas sismogénicas - Régimen cortical (Parra-2016)

Figura 2: Mapa de zonas sismogénicas en régimen cortical. (Barragán, 2018).

Debido a la carencia de registros acelerométricos, el Ecuador no posee un modelo propio de atenuación de Ondas Sísmicas, por lo que se opta por utilizar un modelo global siempre y cuando las condiciones tectónicas se asemejen entre zona de aplicación y zona del modelo (Zhao, 2006). Para el presente se optó por utilizar el modelo de Zhao et al., el alcance del modelo se define por algunas variables de entrada (ver tabla 4).

País de origen	Límite de aplicación	Régimen Aplicable	Magnitud	Magnitud	Distancia	Distancia
			Mínima [Mw]	Máxima [Mw]	mínima [Km]	Máxima [Km]
Japón	Mundial	Cortical Interfase Intraplaca	5	8.4	0	300

Tabla 4: Alcance del modelo de Zhao de acuerdo con las variables de entrada

Fuente: Propia de los autores

Para la estimación de la peligrosidad sísmica, se empleó el programa CRISIS 2014 – 1.0, que es un software libre desarrollado por la UNAM (Barragán, 2018). Se consideró un período de exposición de las estructuras de 50 años. La fig. 3 indica la peligrosidad sísmica en roca en el país para un PGA de 475 años, el efecto local del suelo se considera posteriormente.

El efecto local es determinado por las características topográficas y litológicas de la zona de estudio. Estas propiedades influyen sobre las ondas incidentes sobre la base rocosa, lo que conlleva a cambios considerables tanto en las amplitudes como en las frecuencias del movimiento. (Barragán, 2018). El factor de sitio es añadido posteriormente en el cálculo mediante coeficientes de amplificación propias del suelo. Una de las metodologías más generales para clasificar los suelos es el Vs30, que es el valor promedio de la velocidad de las ondas de cizalla en los primeros 30 metros de terreno (G. Castillo, 2011). El trabajo de Castillo Guartán clasifica al suelo de la ciudad de Loja como tipo C. El tipo C corresponde a un tipo de suelo muy denso y roca suave cuya susceptibilidad de amplificación de acuerdo con NEHRP *National Earthquake Hazards Reduction Program*, por sus siglas en inglés, es moderada: $360 < Vs_{30} < 760$ [m/s].

EVALUACIÓN RÁPIDA DE LAS EDIFICACIONES

La toma de datos de las tres estructuras corresponde a su geometría y materiales que la componen. Para la geometría se realizaron mediciones con cinta de columnas, ejes, alturas de entrepiso, vigas peraltadas, no peraltadas y espesores de losa. Las cargas se asignaron en función del peso propio de las estructuras. Las sobrecargas permanentes y de servicio se definieron de acuerdo a los acabados, mampostería y al uso de las edificaciones de acuerdo con la NEC – SE – 2015.

Para los materiales se estimó la resistencia a la compresión del hormigón mediante el ensayo esclerométrico no destructivo de martillo rebote, considerar que los resultados arrojados por el equipo se ven afectados principalmente por condiciones de carbonatación misma de la edad y factores tales como el ambiente, humedad superficial, en función de esto, se determina un factor

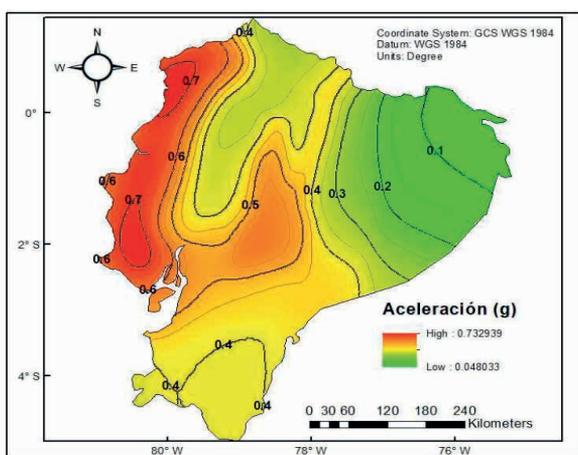


Figura 30 - Mapa de peligrosidad sísmica en roca para PGA (Tr = 475 años).

Figura 3: Mapa de peligrosidad sísmica en roca, tr=975. Barragán 2018.

de que modifica la resistencia última del hormigón. (Gomez, 1986). La profundidad de carbonatación se calculó según la (Ecuación 2), teniendo en cuenta K que es un número cualitativo en función de los factores mencionados donde 10 es un hormigón ideal y 0.1 es la peor condición posible. T es la edad de la edificación en años. (Web, s.f.) El factor de corrección se lo puede asignar en base al estudio de Gómez (Ver tabla 5).

$$C = K \sqrt{T} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Factor de influencia de la profundidad de carbonatación	
Profundidad de carbonatación C [cm]	Factor de corrección
1.5	0.91
2	0.87
2.5	0.84
3	0.81
3.5	0.78
4	0.75
4.5	0.71
5	0.68
6 o mayor	0.62

Tabla 5: Factor de corrección en función de la profundidad de carbonatación C.

Fuente: Patología, rehabilitación y construcción. Web de información.

MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Para la modelación se utilizó el programa ETABS 2016, bajo la licencia estudiantil otorgada por un año. Se tomaron en cuenta los datos proporcionados por la evaluación rápida, el sismo de análisis y el factor de sitio. Además, debido a la falta de planos estructurales se realizó una reconstrucción de los mismos en función de los datos. La cimentación por su parte, al no tener datos directos, se sugieren algunas tipologías en base a los resultados de la modelación, que se explican más adelante.

Existen dos parámetros adoptados para el presente estudio: la capacidad admisible del suelo y el tipo de cimentación. La capacidad admisible se adopta en base a la investigación de Castillo Guallas (2014), el mismo que mediante análisis de capacidad portante del suelo adopta una zonificación geotécnica para cada punto de interés en la ciudad de Loja (D. Castillo, 2014). Con respecto al tipo de cimentación, se sugiere analizar una tipología determinada en base a los resultados de la modelación.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD, PELIGROSIDAD SÍSMICA Y RIESGO SÍSMICO.

Es la cuantificación del daño que se espera sufra un grupo de estructuras sometidas a una sacudida del suelo a determinada intensidad, lo idóneo para conocerla es por medio del análisis no lineal Push-Over, pero debido a la poca experiencia en el Ecuador, se sugiere utilizar el modelo de Hazus el cual propone una metodología para la caracterización de la vulnerabilidad (Hazus, 2003), considera:

- Material de la edificación
- Altura de las edificaciones

El trabajo de Dina Ayala et al. (2012) caracteriza el tipo de material que en correspondencia con el presente análisis la tipología que más se asemeja de los edificios es un C1 (Estructura de hormigón armado dúctil, con y sin relleno (D. D. Ayala, 2012). La tipología incluye también la altura de los edificios, distinguiendo entre Low, Mid y High Raise, tal como indica la (tabla 6).

Tipología Constructiva	Etiqueta	Altura	
		Nombre	Nro. Plantas
C1	C1L	Low - Rise	1 - 3
	C1M	Mid - Rise	4 - 7
	C1H	High - Rise	> 8

Tabla 6: Clasificación Hazus en función de la altura

Fuente: Propia de los autores

El modelo de Hazus incluye valores que definen las curvas de capacidad sísmica (Ver tabla 7). Bajo la tipología correspondiente para los tres edificios CIM, se tienen:

Tipo	Dy (cm)	Ay (g)	Du (cm)	Au (g)
CIM - Mid	1.47	0.1	17.55	0.31

Tabla 7: Parámetros de curva de capacidad para la tipología en estudio

Fuente: Propia de los autores. Notación: Dy - Desplazamiento en el punto de fluencia, Ay - aceleración en el punto de fluencia, Du - Desplazamiento último, Au - Aceleración última.

Hazus también propone valores que definen las curvas de fragilidad (ver tabla 8) de acuerdo con la subclasificación de las tipologías constructivas y su etiquetado.

Tipología	Ligero		Moderado		Extenso		Completo	
	Sd (cm)	β	Sd (cm)	β	Sd (cm)	β	Sd (cm)	β
CIM - Mid	3.81	0.7	6.604	0.7	17.78	0.7	45.72	0.89

Tabla 8: Parámetros de curva de fragilidad para la tipología en estudio

Fuente: Propia de los autores.

Por su parte la peligrosidad sísmica para la presente investigación corresponde a la probabilidad de que para un determinado período de tiempo el sismo de análisis sea superado. Involucrando única y directamente los dos conceptos antes mencionados vulnerabilidad y peligrosidad, entonces se habla de riesgo sísmico (Barragán, 2018), definido por la expresión:

$$R = P * V \quad (\text{Ecuación 3})$$

Siendo P y V, Peligrosidad y vulnerabilidad respectivamente. No se consideran costos de reparación. La valoración del riesgo se la realiza en base al artículo de (Lopez et al., 2014).

RESULTADOS

RECOPIACIÓN DE DATOS

Luego de realizar el proceso de homogenización, determinar su ocurrencia del catálogo sísmico, se trabaja bajo el régimen cortical, ya que su ocurrencia es del 92.0% y son los más peligrosos por su superficialidad. El sismo resultante para la ciudad de Loja, corresponde a un emplazamiento genérico del tipo roca (Ver figura 4), el efecto local del suelo se ve más adelante. El Tr de estudio es de 975 años.

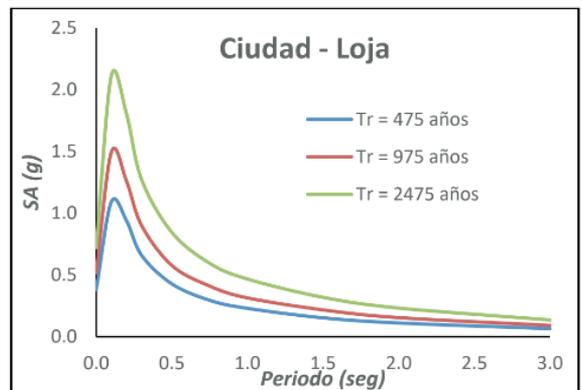


Figura 4: Espectro de respuesta para la ciudad de Loja

Fuente: Propia de los autores.

EVALUACIÓN RÁPIDA DE LAS EDIFICACIONES

Las geometrías se corroboraron en base a los planos arquitectónicos facilitados por las instituciones pertinentes. No se tuvo acceso a los planos estructurales, por lo que ciertos parámetros como el armado de las edificaciones se tomaron en base a los rangos establecidos por la normativa, por ejemplo, para el acero de refuerzo se parte de una cuantía mínima de acuerdo a las especificaciones (ACI, 2014). Las secciones utilizadas (Ver anexo 1 Planos), se utilizaron para la posterior modelación. En cuanto a los materiales, el ensayo de esclerometría (ver anexo 2 ensayos y anexo 3 fotos) arrojó los siguientes resultados para las tres edificaciones (ver tabla 9).

Nombre del edificio	Edad [años]	Profundidad de carbonatación [cm]	f'c Promedio [MPa]
Edificio 1 de la UTPL	35	2.53	23.00
Edificio de Biología UTPL	20	2.24	25.00
CADIL, Parroquia el Valle	7	1.06	25.00

Tabla 9: Informe de resultados esclerométricos para los tres edificios analizados

Fuente: Propia de los autores.

MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

La (tabla 10) presenta las variables de la modelación.

CONSIDERACIONES	Edificio 1	Edificio de Biología "Q"	Edificio CADIL		
Sección de columnas	35x75 cm	40x40	25x30		
Secciones de vigas	Viga peraltada mayor	Extremos Sección inicial 35x100 cm Sección final 35x65 cm Luz = 3.4 m	-	-	
		Luz en medio Sección inicial 35x65 cm Sección final 35x65 cm Luz = 3.4 m	-	-	
	Viga de borde peraltada	Sección inicial 35x70 cm Sección final 35x40 cm Luz = 3.4 m	-	-	
		Viga	35x40 cm	30x55 cm	25x30 cm
	Losas	Viga de borde	30x40 cm	-	-
		Entrepiso (Losa nervada)	e = 30 cm	e = 30 cm	e = 20 cm
	Escaleras	-	-	e = 20 cm	
Alturas de entrepiso	3.0 m	3.0 m	2.7 m		
Luz máxima	9.4 m	7.5 m	5.9 m		
Cuantía Definida	0.015	2.4%	3.4%		
Materiales	Resistencia a la Compresión f'c	23 MPa	25 MPa	25 MPa	
	Acero de refuerzo fy	420 MPa	420 MPa	420 MPa	

	Sobrecarga Permanente	300	300	300
Cargas		Aulas	Oficinas	Aulas y Vivienda unifamiliar
		Entrepiso = 200	Entrepiso = 240	Entrepiso = 200
	Sobrecarga de servicio	Techo = 100	Techo = 100	Techo = 100
		Pasillos [Segunda a tercera planta alta] = 400	–	–
		Pasillos [Primera planta alta] = 480	–	–
Modelo	Diafragmas rígidos	Relacionan nudos de entrepiso		
	Masa del edificio	Considera la masa del edificio		
	Patrones de carga	Muerta, Viva, Sismo Estático en X e Y, Sismo dinámico en X e Y		
	Combinaciones de carga	Consideradas las 14 combinaciones de carga posibles para estructuras de hormigón armado.		
Sismo	Perfil de suelo para la ciudad de Loja	Tipo C		
	Factor de Zona sísmica	0.25 [Zona II]		
	Período fundamental de vibración	0.515	0.515 [s]	0.629 [s]
		1.30	1.30	1.3
		1.28	1.28	1.28
		0.94	0.94	0.94
		0.09	0.09	0.092553846
		0.51	0.51	0.509046154
		0.80	0.797	0.652
	Reducción de resistencia sísmica	8		
	Irregularidad en Planta Φ_p	0.9	1	1
	Irregularidad en elevación Φ_e	1	1	1
	Coefficiente sísmico Basal x e y	0.1439	0.1295	0.1295
	Sismo de análisis	TR = 975		

Tabla 10: Resultados de la modelación y sus consideraciones.

Fuente: Propia de los autores.

Para la cuantificación del daño se debería considerar el efecto del suelo – estructura, no obstante, la capacidad admisible y la cimentación de cada edificación no es el alcance en la presente investigación, ya que el análisis considera apoyos empotrados – empotrados. Sin embargo, en base a los resultados de las modelaciones (Carga axial, momentos, sismo estático y dinámico en X e Y) y al estudio de Castillo Guailas (2014), se propone analizar en base a la (tabla 11).

	Edificio 1	Edificio de Biología “Q”	Edificio CADIL
Esfuerzo admisible [Ton/m²]	23	23	24
Tipología de cimentación escogida	Zapata aislada Rectangular*	Zapata aislada Rectangular	Zapata aislada Rectangular

Tabla 11: Q admisible del suelo y tipologías de cimentación adoptados.

Fuente: Propia de los autores.

En el caso del edificio 1, debido a la irregularidad en planta que presenta la diferencia de momentos en las dos direcciones es muy amplia, sugiriendo una zapata corrida

paralela al lado más corto, por lo que en el presente estudio se analiza una zapata rectangular con una proporción entre lados no mayor a 2:1 para los tres edificios.

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

De acuerdo con el tipo de edificación catalogado por Hazus 2003, la curva de capacidad sísmica (ver figura 5) se corresponde:

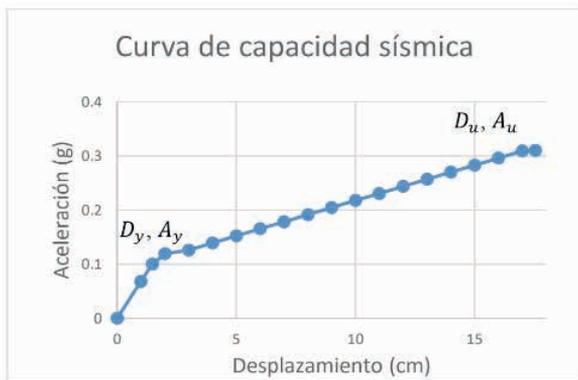


Figura 5: Curva de capacidad C1M. Barragán (2018).

D_y y A_y , corresponden al límite de fluencia nominal, es en este punto donde inician los daños estructurales. D_u y A_u , es el límite de seguridad estructural.

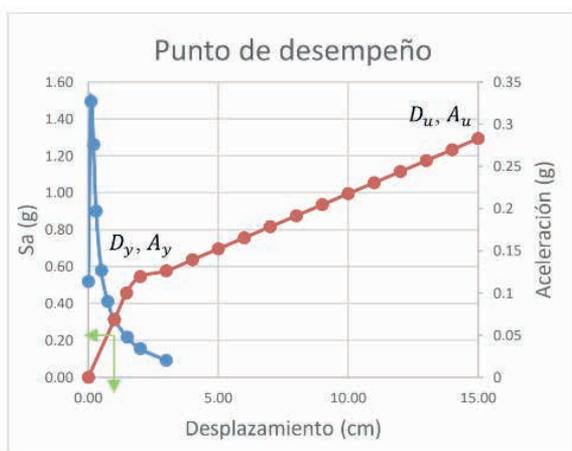


Figura 6: Punto de desempeño. Los autores.

Como se observa en el gráfico, el punto de desempeño se encuentra antes de los

límites de fluencia nominal, por lo que las estructuras soportarán el sismo de análisis sin que las mismas colapsen ni presenten daños estructurales irreversibles. Se asigna un peso para el factor vulnerabilidad de las estructuras mismo que considera el uso y el resultado de las reacciones en la base de cada edificación, debido a la incertidumbre del diseño real de la cimentación de estos. (ver tabla 12).

Uso del edificio	Institución educativa	Oficinas	Vivienda y aulas	Peso
Edificio 1	x			80
Edificio de Biología "Q"		x		60
Edificio CADIL			x	60
Relación de momentos M_x y M_y más críticos en la base				
			Momento mayor/momento menor	Peso
Edificio 1			20 a 1	90
Edificio de Biología "Q"			1 a 1	20
Edificio CADIL			1.2 a 1	22

Tabla 12: Asignación de pesos para el factor de vulnerabilidad.

Fuente: Propia de los autores.

El peso general del punto de desempeño es de 60 porque se encuentra a un 0.6 del punto de fluencia en donde comienza el daño estructural.

Índice de vulnerabilidad	
	Factor
Edificio 1	76.67
Edificio de Biología "Q"	46.67
Edificio CADIL	47.33

Tabla 13: Asignación de vulnerabilidad.

Fuente: Propia de los autores.

Para la peligrosidad se considera un período de exposición de 50 años, por lo que la probabilidad de que el sismo de análisis sea superado es del 0.2% anual lo que significa

una baja peligrosidad sísmica (Universidad de Alicante, n.d.). El riesgo sísmico se presenta para cada uno de los edificios (ver tabla 14), de la ecuación 3 se tiene entonces:

	Índice de riesgo	
	Factor Vulnerabilidad	Riesgo asociado a la peligrosidad
Edificio 1	76.67	15.3
Edificio de Biología "Q"	46.67	9.3
Edificio CADIL	47.33	10.0

Tabla 14: Asignación de vulnerabilidad.

Fuente: Propia de los autores.

De acuerdo con el trabajo de López (2014), el índice de riesgo se sitúa al Edificio 1 como Medio Alto, mientras que para el edificio de Biología y el CADIL se valora un riesgo Medio Bajo.

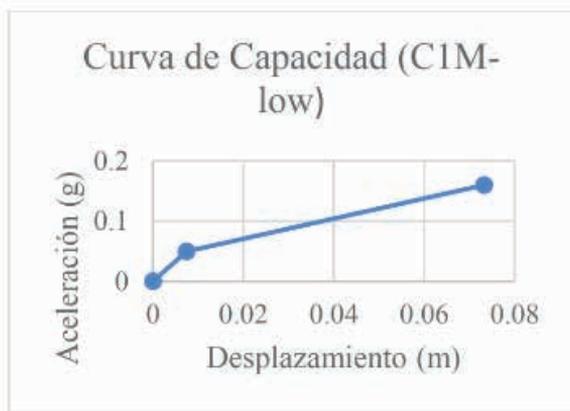


Figura 7: Curva de capacidad

Fuente los autores

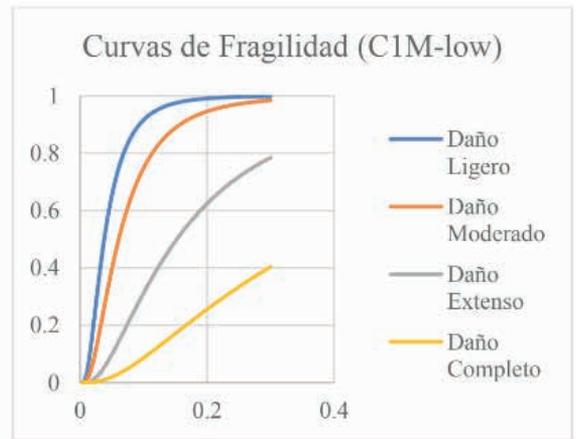


Figura 8: Curvas de fragilidad

Fuente: Los autores

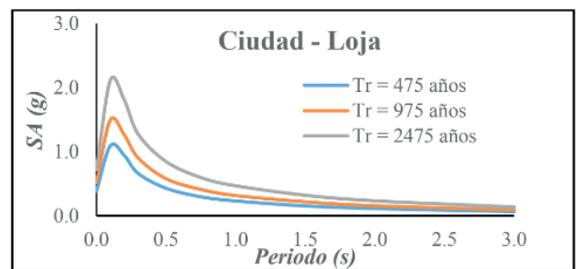


Figura 9: Espectro de respuesta sísmica para la ciudad de Loja Fuente: Los autores

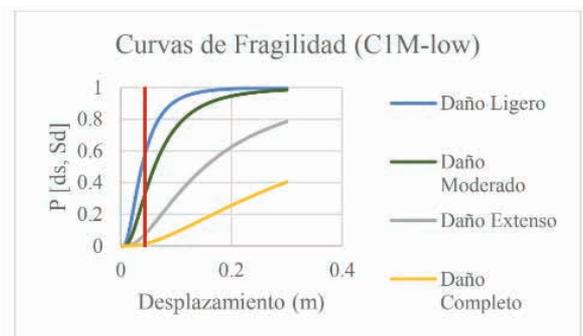


Figura 10: Curvas de fragilidad, muestran el tipo de daño para cada escenario sísmico

Fuente: Los autores

- Periodo Efectivo (T_e) = 0.77 segundos
- Aceleración espectral (S_a) = 0.29 g
- Desplazamiento espectral (S_d) = 0.043 m
- Desplazamiento global corregido (δ)

= 0.044 m

- Porcentajes de daño:

Daño Nulo	Daño Ligero	Daño Moderado	Daño Extenso	Daño Completo
0.25%	58.06%	32.90%	7.41%	1.38%

Tabla 15: Tipos de daño.

Fuente: los autores

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Dentro del catálogo sísmico analizado la mayoría de los sismos ocurren en régimen cortical, mismos que por su cercanía a la superficie deduce que el factor vulnerabilidad presenta mayor alcance.
- Los índices de vulnerabilidad arrojan resultados más precisos si se utilizase un método no lineal para encontrar el punto de desempeño tal es el caso del Push Over, que es una metodología poco estudiada en el Ecuador, en base a ello resulta conveniente plantear una línea de investigación futura que involucre el análisis estático no lineal.
- Dentro de este estudio, las principales variables de entrada en la modelación que influyen en la determinación del estado de vulnerabilidad y riesgo de las edificaciones son la edad, las irregularidades en planta y elevación, el uso de la estructura y los materiales empleados.
- Si se considera la configuración estructural, misma que influye en diferencias muy grandes en los momentos de la base, entonces para el Edificio 1 se sugiere una tipología de cimentación de zapata corrida. La verificación no es objeto de este estudio por lo que, ante la incertidumbre, el Edificio 1 es el más vulnerable.

- Referente al análisis de la peligrosidad sísmica, el espectro de respuesta obtenido guarda concordancia con los últimos estudios realizados al respecto. (Barragán 2018, Parra 2016, Aguiar 2013, Castillo 2013).

- Se obtiene resultados del espectro de respuesta con valores de aceleración mayores a los que se especifica en el Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) del año 2015, código vigente en el país.

- Los resultados del análisis de riesgo sísmico del Edificio 1 de la UTPL, muestra un nivel de daño leve para la estructura, donde los elementos estructurales sufrirán daños despreciables y los elementos no estructurales daños leves.

REFERENCIAS

- ACI. (2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. In ACI (Ed.), *American Concrete Institute* (p. 10).
- Aguiar, R., & Miele Bravo, Y. (2016). *Análisis de los edificios que colapsaron en Portoviejo durante el terremoto del 16 de abril de 2016 Analysis of buildings that collapsed of Portoviejo during the earthquake of 16 april 2016*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15108.12161>
- Ayala, D. D. (2012). *Providing building vulnerability data and analytical fragility functions for PAGER*.
- Ayala, I., Delgado, A., & Ferrer, C. (2011). Universidad de los andes. *Revista Geográfica Venezolana*, 16(3), 3–4.
- Barragán, J. (2018). *PELIGROSIDAD SÍSMICA EN ECUADOR Y RIESGO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE LOJA*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Benito, B., Camacho, E., & Climent, Á. (2010). *Amenaza Sísmica en América Central*. (Primera, p. 370).
- Castillo, D. (2014). *Análisis de la información de geomecánica de suelos para la elaboración de una propuesta de mapa de zonificación geotécnica para la ciudad de Loja*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Castillo, G. (2011). *Zonificación sísmica de la Cuenca de Loja (Ecuador), a partir de datos litológicos y medidas de ruido ambiental*. Universidad de Granada España.
- Gomez, G. (1986). Determinación del Índice Esclerométrico en Hormigones: Factores que lo afectan. *Ingeniería e Investigación*, 16, 7.
- Hazus. (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model*. United States. Federal Emergency Management Agency.
- INEC. (2017). *Reconstruyendo las cifras luego del sismo*. 1, 228.
- Lopez, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014, December). *Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existente*. 8.
- Moncayo Theurer, M., Velasco, G., Mora, C., Montenegro, M., & Cordova, J. (2017). Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. *Ingeniería*, 21(2), 55–64. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46753192005>
- Parra, H. (2016). *Desarrollos metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el Ecuador Continental y estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Quito*. Universidad Politécnica de Madrid.
- SNGR. (2016). *SITUACIÓN GENERAL DESDE CRISIS SÍSMICA 16 DE ABRIL*. 2016, 15.
- Theurer Moncayo, M., Velasco, G., Mora, C., & Montenegro. (2017). Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. *Ingeniería*, 21(2), 55–64.
- Universidad de Alicante. (n.d.). *Peligrosidad Sísmica*. <https://web.ua.es/es/urs/peligrosidad/peligrosidad-sismica.html>
- Zhao, J. (2006). Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96.