

# VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO DE TRES EDIFICIOS EN LA PARROQUIA EL VALLE

## VULNERABILITY AND SEISMIC RISK OF THREE BUILDINGS AT EL VALLE PARISH

Bolívar H. Maza (1); Jonathan F. Barragán (2); Daniela S. Maza (3)

(1) Ing. Civil, MSc, Prof., Universidad Técnica Particular de Loja, Facultad de Ingeniería Civil, Loja, Ecuador

(2) Ing. Civil, MSc, Prof, Universidad Técnica Particular de Loja, Facultad de Ingeniería Civil, Loja, Ecuador.

(3) Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Técnica Particular de Loja, Facultad de Ingeniería Civil, Loja, Ecuador

Dirección para correspondencia: bhmaza@utpl.edu.ec; (P) Presentador

**Área Temática:** Ingeniería Sísmica y Sismología.

### Resumen

En el presente documento se determinará la vulnerabilidad sísmica con una muestra de tres edificios pertenecientes a la parroquia El Valle del cantón Loja, Ecuador. Dicho trabajo 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. El trabajo se fundamenta en el modelo probabilístico.

*Palabras-clave: Análisis estructural, riesgo sísmico, ensayo no destructivo*

### Abstract

This document will determine the seismic vulnerability with a sample of three buildings belonging to the El Valle parish of the Loja canton, Ecuador. This work began with a rapid structural survey of the buildings. To determine the state of the materials, the non-destructive test of rebound hammer or sclerometry was used, whose results will be corrected and validated by analyzing their dispersion, age, among others. The study introduced a response earthquake elaborated using seismic data from the Geophysical Institute of the National Polytechnic School of the last two years, including the most representative. The analysis of the buildings is carried out based on the stipulations of the Ecuadorian Construction Standard NEC – SE – 2015 under the factors established by it. The buildings analyzed are in a state of vulnerability, due in some cases to the irregularity in the plan, and the age of the materials. Given this condition, it is necessary to raise awareness among the population about the danger and vulnerability existing in the environment in which we live. The work is based on the probabilistic model.

*Keywords: Structural analysis, seismic risk, non- destructive testing*

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el planeta ha sufrido cambios geológicos muy importantes, mismos en que intervienen las placas tectónicas y que han contribuido en la distribución geográfica actual, para ello se han requerido cantidades muy grandes de energía liberadas por su actividad ocasionando eventos sísmicos de gran magnitud, muchos de ellos destructivos. Existen lugares de alta peligrosidad sísmica, tal es el caso de Ecuador, pero se desconoce la vulnerabilidad de muchas edificaciones, por lo que es vital llenar este espacio. Parte de la investigación involucra determinar el sismo 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 sismos 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 empleó 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 sismo de análisis para la determinación de su vulnerabilidad.

## 2. ANTECEDENTES

Para empezar, no se han registrado sismos fuertes con epicentro a nivel local, pero eventos cercanos han ocasionado cierto grado de afectación (*ver tabla 1*), la vulnerabilidad está presente.

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

Magnitud [MW]	Fecha	Lugar	Grado de afectación
.75	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.

**Fuente:** Propia de los autores.

## 3. 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: detector de metales, abajo, esclerómetro. Propia de los autores

#### 4. METODOLOGÍA

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.

##### 4.1 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, Camacho, & Climent, 2010)

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

$$Mw = 0.821 * ML + 0.8975 \quad (\text{Ecuación 1})$$

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.

**Tabla 2:** Consideraciones para definir regímenes tectónicos

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

Fuente: Propia de los autores

La ocurrencia la define la profundidad del evento como factor principal, entonces. 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) (figura2), las mismas que para llegar a establecerlas considera fallas, geología, geometría de la subducción entre otros parámetros geológicos.

Tabla 3: Zonas sismogénicas.

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

Fuente: Parra 2016

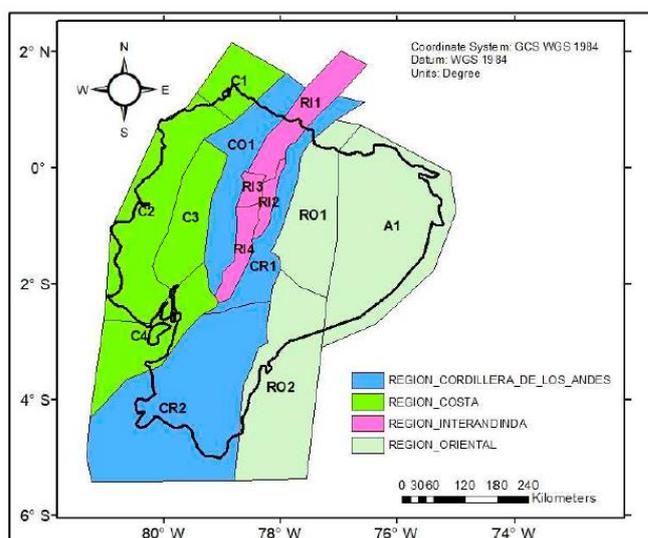


Figura 2: Mapa de zonas sismogénicas en régimen cortical. (Barragán, 2018).

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).

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

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

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 (figura 3) indica la peligrosidad sísmica en roca en el país para un periodo de retorno de 475 años, el efecto local del suelo se considera posteriormente.

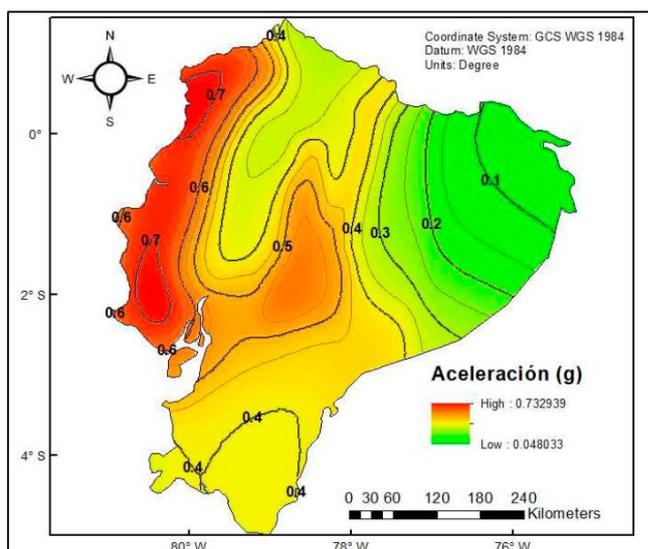


Figura 3: Mapa de peligrosidad sísmica en roca,  $tr=975$ . Barragán 2018.

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 Cuartán 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:  $360 < Vs30 < 760$  [m/s].

## 4.2 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 flexómetro de precisión, 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 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, 1986) (Ver tabla 5).

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

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

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

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

### 4.3 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 Guailas (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.

### 4.4 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, no obstante se decide 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 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 (Ayala, 2012). La tipología incluye también la altura de los edificios, distinguiendo entre Low, Mid y High Raise, tal como indica la (tabla 6).

Tabla 6: Clasificación Hazus en función de la altura

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

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 C1M, se tienen:

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

Tipo	Dy (cm)	Ay (g)	Du (cm)	Au (g)
C1M – Mid	1.47	0.1	17.55	0.31

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.

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

Tipología	Ligero		Moderado		Extenso		Completo	
	Sd (cm)	β	Sd (cm)	β	Sd (cm)	β	Sd (cm)	β
C1M –	3.	0	6.6	0	17.	0	45.	0.
Mid	81	.7	04	.7	78	.7	72	89

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.

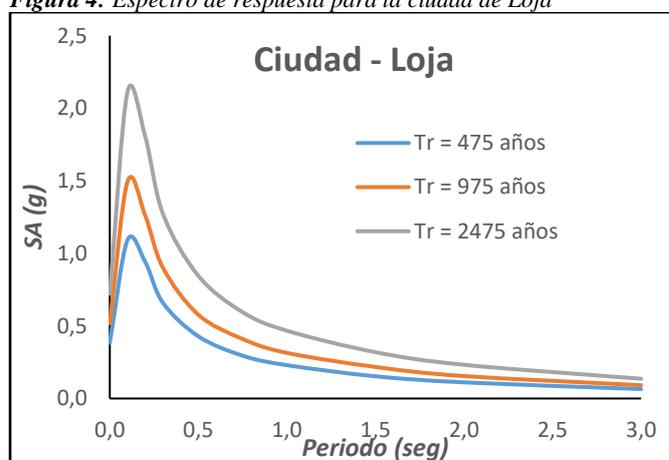
La valoración del riesgo se la realiza en base al artículo de (Lopez, Coronel, & Rojas, 2014).

## 5. RESULTADOS

### Recopilación 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.

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).

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

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

Fuente: Propia de los autores.

## Modelación de las estructuras

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

Tabla 10: Resultados de la modelación y sus consideraciones.

CONSIDERACIONES		Edificio 1	Edificio de Biología "Q"	Edificio CADIL	
Geometría	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 (Losas 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 $f_y$	420 Mpa	420 Mpa	420 Mpa	
Cargas	Sobrecarga Permanente	300	300	300	
	Sobrecarga de servicio	Aulas	Oficinas	Aulas y Vivienda unifamiliar	
		Entrepiso = 200	Entrepiso = 240	Entrepiso = 200	
		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			

**Maza Bolívar, Barragán Jonathan, Maza Daniela**

Factor de Zona sísmica	0.25 [Zona II]		
<b>Período fundamental de vibración</b>	0.515	0.515 [s]	0.629 [s]
<b>Fa=</b>	1.30	1.30	1.3
<b>Fd=</b>	1.28	1.28	1.28
<b>Fs=</b>	0.94	0.94	0.94
<b>To=</b>	0.09	0.09	0.092553846
<b>Tc=</b>	0.51	0.51	0.509046154
<b>Sa=</b>	0.80	0.797	0.652
<b>Reducción de resistencia sísmica</b>	8		
<b>Irregularidad en Planta <math>\Phi_p</math></b>	0.9	1	1
<b>Irregularidad en elevación <math>\Phi_e</math></b>	1	1	1
<b>Coeficiente sísmico Basal x e y</b>	0.1439	0.1295	0.1295
<b>Sismo de análisis</b>	TR = 975		

*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 empotrado – empotrado. 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).

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

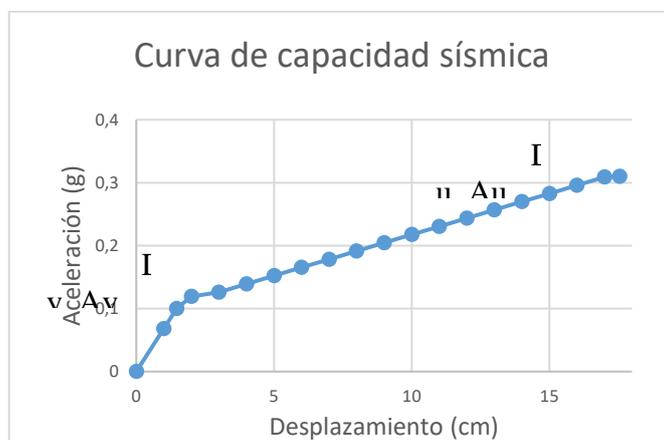
	Edificio 1	Edificio de Biología "Q"	Edificio CADIL
<b>Esfuerzo admisible [Ton/m<sup>2</sup>]</b>	23	23	24
<b>Tipología de cimentación escogida</b>	Zapata aislada Rectangular*	Zapata aislada Rectangular	Zapata aislada Rectangular

*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 CIM. Barragán 2018.*

Dy y Ay, corresponden al límite de fluencia nominal, es en este punto donde inician los daños estructurales.

Du y Au, es el límite de seguridad estructural.

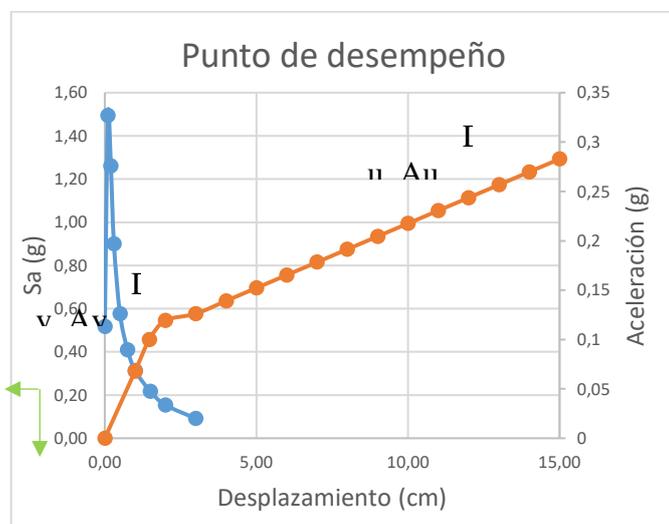


Figura 6: Punto de desempeño. Los autores.

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 los mismos. (ver tabla 12).

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

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

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.

Tabla 13: Asignación de vulnerabilidad.

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

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.).

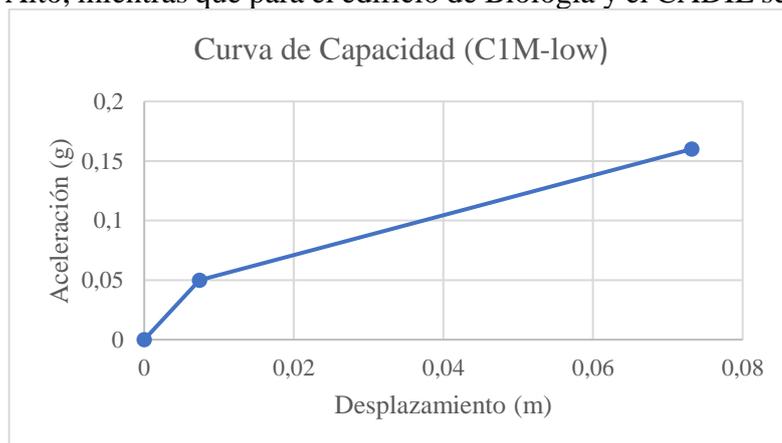
El riesgo sísmico se presenta para cada uno de los edificios (ver tabla 14), de la ecuación 3 se tiene entonces:

**Tabla 14:** Asignación de vulnerabilidad.

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

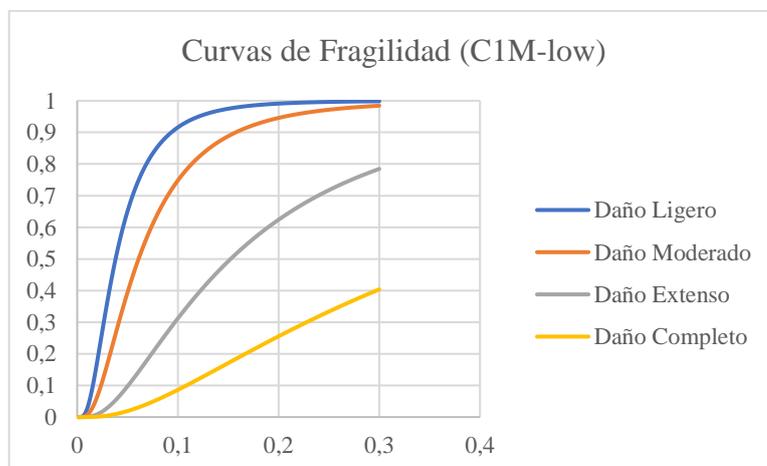
Fuente: Propia de los autores.

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.



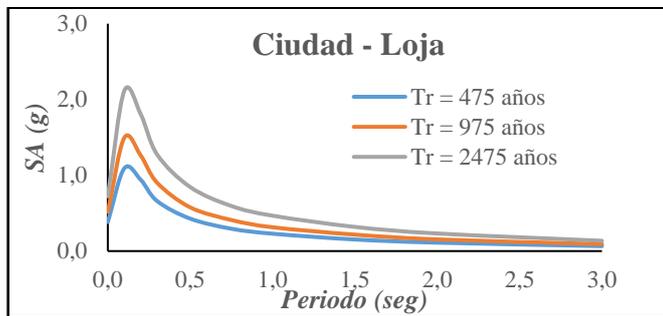
**Figura 7:** Curva de capacidad

Fuente: Los autores

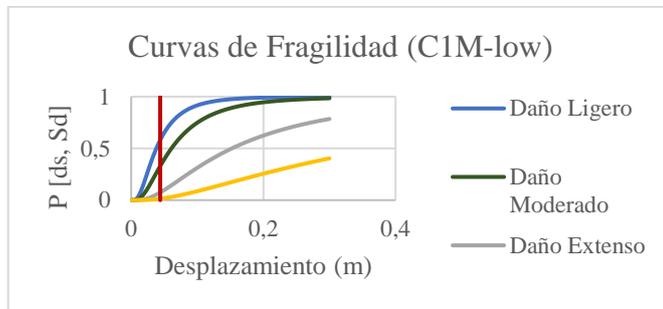


**Figura 8:** Curva de fragilidad

Fuente: Los autores



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



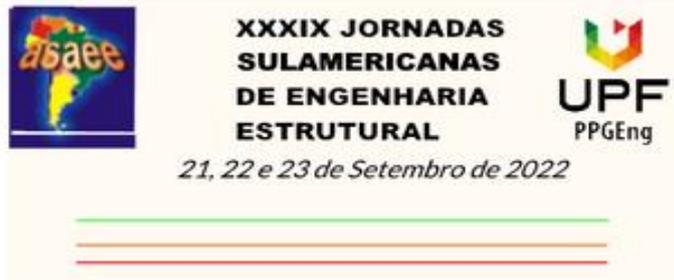
**Figura 10:** Curva de fragilidad, muestran el tipo de daño para cada escenario sísmico  
Fuente: Los autores

- Período Efectivo ( $T_e$ ) = **0.77 segundos**
- Aceleración espectral ( $S_a$ ) = **0.29 g**
- Desplazamiento espectral ( $S_d$ ) = **0.043 m**
- Desplazamiento global corregido ( $\delta$ ) = **0.044 m**
- Porcentajes de daño:

**Tabla 15:** Tipos de daño

<b>Daño Nulo</b>	<b>Daño Ligero</b>	<b>Daño Moderado</b>	<b>Daño Extenso</b>	<b>Daño Completo</b>
0.25%	58.06%	32.90%	7.41%	1.38%

Fuente: Los autores



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Dentro del catálogo sísmico analizado la mayoría de 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 de esto último, 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.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI. (2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. In ACI (Ed.), *American Concrete Institute* (p. 10).
- Ayala, D. D. (2012). *Providing building vulnerability data and analytical fragility functions for PAGER*. Retrieved from [http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/pager/EERI\\_PAGER\\_PHASEIV\\_FINAL\\_REPORT\\_060112.pdf](http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/pager/EERI_PAGER_PHASEIV_FINAL_REPORT_060112.pdf)
- 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*. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/270896965\\_Amenaza\\_Sismica\\_en\\_America\\_Central](https://www.researchgate.net/publication/270896965_Amenaza_Sismica_en_America_Central)
- 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). Retrieved



from [http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/9352/3/Castillo\\_Guailas\\_Diego\\_Fernando.pdf](http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/9352/3/Castillo_Guailas_Diego_Fernando.pdf)

- 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). Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/822>
- Gomez, G. (1986). Determinación del Índice Esclerométrico en Hormigones: Factores que lo afectan. *Ingeniería e Investigación*, (16), 7. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeniv/article/view/21576>
- Hazus. (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model*. Retrieved from <https://www.hSDL.org/?abstract&did=701264>
- Lopez, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014, December). *Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existente*. 8. Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652014000400010](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652014000400010)
- 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). Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/2465>
- Universidad de Alicante. (n.d.). Peligrosidad Sísmica. Retrieved from <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. Retrieved from <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/96/3/898/146759/attenuation-relations-of-strong-ground-motion-in?redirectedFrom=fulltext>