



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2738>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

Seismic vulnerability of a building subject to the effects of the Girón geological fault

Vulnerabilidade sísmica de um edifício sujeito aos efeitos da falha geológica de Girón

Walter Vinicio Pando-Guamán ^I
wvpandog26@est.ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0072-635X>

Freddy Fernando Cañizares-Ortega ^{II}
fer.canizares.ortega@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3070-8734>

Correspondencia: wvpandog26@est.ucacue.edu.ec

***Recibido:** 29 de marzo del 2022 ***Aceptado:** 18 de abril de 2022 *** Publicado:** 16 de mayo de 2022

- I. Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Sismo Resistentes, Unidad Académica de Posgrados, Universidad Católica de Cuenca, Azuay, Ecuador.
- II. Profesor de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Sismo Resistentes, Unidad Académica de Posgrados, Universidad Católica de Cuenca, Azuay, Ecuador.

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

Resumen

En la presente investigación se evalúa la vulnerabilidad sísmica de una edificación de hormigón armado, misma que se elaboró en el año de 1983 y se encuentra ubicada próxima a una falla geológica. La metodología aplicada para esta evaluación, obedece a un proceso inicial de recopilación de información; tal como: detalles de la estructura o planos estructurales, resistencia de los materiales, cargas de servicio, etc. Seguidamente se establece un modelo estructural, lo más cercano a la realidad del edificio, en el que se establecen los parámetros sísmicos que van asociados a la ubicación de la estructura y consecuentemente a la falla geológica. El método empleado es el análisis estático no lineal o análisis pushover, cuyo objetivo es determinar el desempeño de la estructura frente a los diferentes niveles de amenaza sísmica. Finalmente, se obtienen los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, en donde se identifican las deficiencias de la estructura que impiden lograr el punto de desempeño esperado y se plantean propuestas para mejorar el comportamiento de la estructura frente a eventos sísmicos.

Palabras clave: Vulnerabilidad; Ductilidad; Niveles de amenaza; Niveles de desempeño.

Abstract

In the present investigation, the seismic vulnerability of a reinforced concrete building is evaluated, which was elaborated in the year 1983 and is located next to a geological fault. The methodology applied for this evaluation follows an initial information gathering process; such as: details of the structure or structural plans, strength of materials, service loads, etc. the location of the structure and consequently to the geological fault. The method used is the nonlinear static analysis or pushover analysis, whose objective is to determine the performance of the structure against the different levels of seismic hazard. Finally, the results of the seismic vulnerability evaluation were obtained, where the deficiencies of the structure that prevent achieving the expected performance point were identified and proposals were made to improve the structure's behavior against seismic events.

Keywords: Vulnerability; Ductility; Threat levels; Performance levels.

Resumo

Na presente investigação avalia-se a vulnerabilidade sísmica de um edifício de betão armado, construído em 1983 e localizado junto a uma falha geológica. A metodologia aplicada para esta

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

avaliação segue um processo inicial de coleta de informações; tais como: detalhes da estrutura ou plantas estruturais, resistência dos materiais, cargas de serviço, etc. Em seguida, é estabelecido um modelo estrutural, o mais próximo da realidade do edifício, no qual são estabelecidos os parâmetros sísmicos que estão associados à localização da estrutura e conseqüentemente à falha geológica. O método utilizado é a análise estática não linear ou análise pushover, cujo objetivo é determinar o desempenho da estrutura frente aos diferentes níveis de risco sísmico. Por fim, são obtidos os resultados da avaliação da vulnerabilidade sísmica, onde são identificadas as deficiências da estrutura que impedem atingir o ponto de desempenho esperado e são feitas propostas para melhorar o comportamento da estrutura frente a eventos sísmicos.

Palavras chave: Vulnerabilidade; Ductilidade; Níveis de Ameaça; Níveis de Desempenho.

Introducción

El análisis de la vulnerabilidad de las estructuras ha resultado ser indispensable en estudios de riesgo y mitigación de desastres originados por los sismos, estos se producen por el acomodamiento de las placas tectónicas, de tal forma que el suelo sufre día a día una transformación, es por ello que gran parte de las estructuras existentes, han estado propensas a experimentar daños estructurales y conseqüentemente provocar perjuicios en sus usuarios.

Se estima que anualmente se perciben unos 500000 movimientos de la tierra, de los cuales 100000 se sienten, pero alrededor de 100 ocasionan daño, esto indica el reporte (Como los terremotos han sacudido la tierra los últimos 15 años, 2016). Del mismo modo, en los últimos años el mundo ha sufrido una secuencia de eventos sísmicos con secuelas catastróficas, las cuales han funcionado como indicadores de las deficiencias que presentan las estructuras en nuestro país y en el mundo.

El Ecuador, al formar parte de los países que pertenecen al cinturón de fuego del pacífico, ha sufrido importantes eventos sísmicos, como fue el sismo ocurrido en Pedernales el 16 de abril del año 2016, el cual tuvo una magnitud de 7.8 Mw, este se percibió en varias provincias del Ecuador, incluyendo sectores de Colombia y Perú; ocasionando como resultado 670 personas fallecidas aproximadamente, 6274 personas heridas y varias estructuras colapsadas, generando pérdidas económicas cerca de los tres mil millones de dólares. (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016).

La zona austral del país, tiene un potencial riesgo sísmico, esto indica el proyecto P-BID 400 “Amenaza sísmica en el Austro, vulnerabilidad y riesgo sísmico en la ciudad de Cuenca”, dicho

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

proyecto fue llevado a cabo por la Red Sísmica del Austro, mismo que determinó como fuente sísmica crítica a la falla geológica de Girón para la ciudad de Cuenca y los cantones aledaños.

Se atribuye a la falla de Girón, el sismo de 1913 con una magnitud de 6.7 grados en la escala de Richter, causando muchos daños materiales y pérdida de vidas humanas en la zona. Se indica de otro movimiento telúrico ocurrido en 1856 de similar magnitud, sin embargo, no se tiene información técnica registrada. De igual manera en los años 1904 y 1907 se generaron sismos de 7 y 6.5 grados respectivamente en la zona Austral, donde la falla de Girón tiene influencia en zonas pobladas como Cuenca, Loja y Macas. (Jiménez, 2016)

La edificación al estar ubicada en una de las zonas anteriormente expuestas, a dado paso a la pregunta ¿Cuán preparada está la estructura para experimentar un evento sísmico?

Antecedentes

La edificación en estudio; se encuentra ubicada en el centro cantonal de Santa Isabel, provincia del Azuay; en las coordenadas: X= 689789321.514, Y= 9636955365.809; a 5 km de la falla geológica de Girón. Esta edificación fue construida en el año 1983 y presenta las características que se indican a continuación:

Tabla 1: Características generales de la edificación.

Propiedad	Especificación
Número de niveles	3
Área de edificación	533.22 m ²
Materiales	Hormigón Armado
Losas	Nervada
Servicio	Oficinas

Fuente: Autor

Metodología

Situación actual:

En la recopilación de información; mediante inspecciones de sitio y datos obtenidos a partir de estudios, se evidenció que la edificación presenta fisuras en la mampostería y deflexiones en vigas.

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

La metodología aplicada a este estudio, se realiza mediante un método analítico detallado a partir de un modelo computacional, el cual inicia a partir de los siguientes datos:

- **Materiales:**

Tabla 2: Propiedades de los materiales de la edificación.

Material	Valor
Resistencia a la compresión del hormigón	$f'c = 190 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad del hormigón	$E_c = 218819.789 \text{ kg/cm}^2$
Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad del acero	$E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Autor

- **Geometría:**

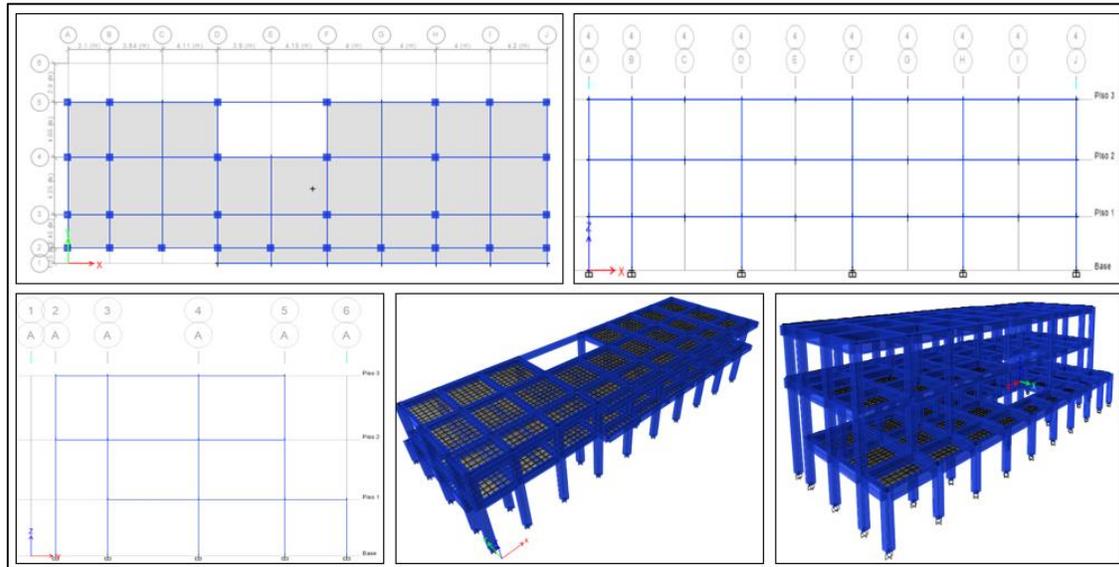


Figura 1: Vista en planta, elevación frontal, elevación lateral y vistas isométricas de la edificación.

Fuente: Autor

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

• **Cargas de diseño**

Tabla 3: Cargas de diseño. (Carga muerta y carga viva)

Descripción	Nomenclatura	Carga	
Peso propio de losa	P_H	292.8 kg/m ²	
Peso malla electrosoldada (R-84)	P_{ME}	1.32 kg/m ²	
Peso de piso y rasante	P_{PR}	80 kg/m ²	Carga Muerta
Peso de cielo raso	P_{CR}	20 kg/m ²	$C_M = 672.7 \text{ kg/m}^2$
Peso de instalaciones	P_I	10 kg/m ²	
Peso de mampostería	P_M	268.58 kg/m ²	
Carga de servicio (Oficinas)	C_V	240 kg/m ²	Carga Viva
Carga de cubierta	C_{VC}	70 kg/m ²	

Fuente: Autor

Método de cálculo

El objetivo de este análisis es determinar el desempeño de la edificación, para los diferentes niveles de amenaza sísmica. En esta se debe considerar, la ubicación de la estructura con respecto a las fallas geológicas y las características del suelo, puesto que; el daño que producen dichas amenazas, depende de la magnitud del sismo, dirección de la ruptura de falla y distancia a la fuente.

Tabla 4: Niveles de amenaza sísmica.

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de retorno T_r (años)	Tasa anual de excedencia ($1/T_r$)
1	Frecuente	50%	72	0.1389
2	Ocasional	20%	225	0.00444
3	Raro	10%	475	0.00211
4	Muy Raro	2%	2475	0.00040

Fuente: NEC-SE-DS; 2015

Los sismos se clasifican en función de los periodos de retorno y los niveles de peligro, es decir; se establece un espectro de aceleraciones, para cada nivel de amenaza. Como se indicó, se debe

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

establecer una relación entre la edificación y los efectos que causa la falla geológica de Girón que se encuentra cercana a la misma.

La falla de Girón está relacionada con la reactivación de fallas que formaron la cuenca intramontana Neógena de Santa Isabel. Esta se forma de escarpas pronunciadas orientadas al noroeste que tiene deslizamientos a sus lados. Otras características relacionadas con las fallas incluyen tres conjuntos continuos de facetas triangulares, convexidad del escarpe de la cuenca, sistemas de drenaje perturbados y pliegues de arrastre. (Winter et al., 1990).

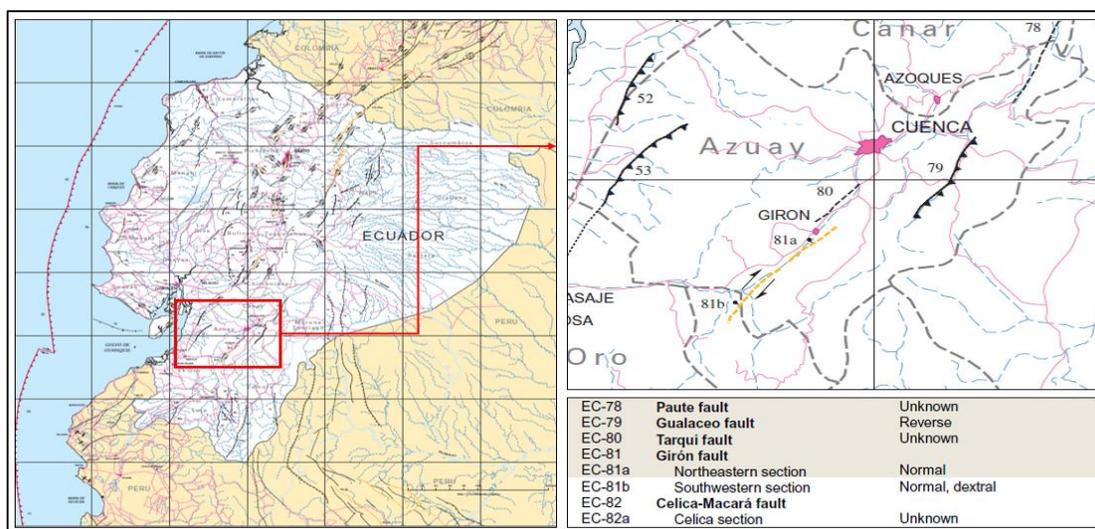


Figura 2: Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios del Ecuador y Regiones Oceánicas Adyacentes.

Fuente: Eguez et al., 2003

Según los mapas de fallas y pliegues cuaternarios del Ecuador, la falla se subdivide en dos secciones: EC – 81A (Sección NE) y EC – 81B (Sección SW). Debido a que la edificación a analizarse se encuentra ubicada en el centro cantonal de Santa Isabel, se considera la EC – 81A (Sección NE), esta es una falla de tipo “Normal” y tiene una longitud de 23.7 km y una tasa de deslizamientos de 0.2 – 1.0 mm/año. (Eguez et al., 2003).

Las fallas geológicas normales; son aquellas que se originan debido a fuerzas de tracción, formando planos a lo largo de los cuales, el bloque de techo se desliza hacia abajo en relación al otro. Este tipo de fallas tienden a inclinaciones de 60° aproximadamente, que a medida que se profundiza; estas tienden a disminuir, aunque existen fallas normales que pueden tener inclinaciones considerablemente menores, que se aproximan a la horizontal.

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

Los espectros de aceleraciones, tanto el de diseño como los espectros de demanda, se establecen en función de las curvas de peligro sísmico obtenidas para el cantón Santa Isabel. Estas curvas se obtuvieron a partir de un análisis probabilista en el que se toma en cuenta las diferentes incertidumbres y factores antes indicados.

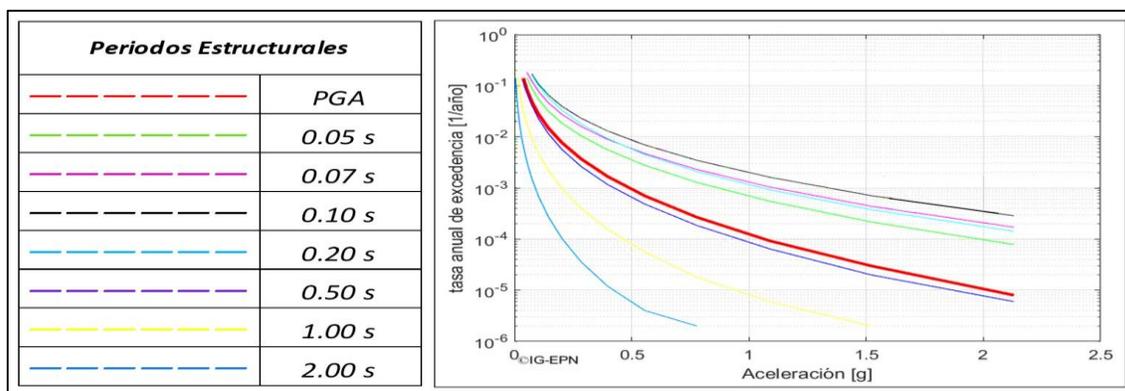


Figura 3: Curvas de peligro sísmico para el Cantón Santa Isabel, Provincia del Azuay.
Fuente: Beauval et al., 2018.

Tomando en cuenta, que el suelo de la edificación es de tipo D, se establecen los espectros de demanda con las aceleraciones que se indican en la tabla 5.

Tabla 5: Aceleraciones para los niveles de amenaza sísmica.

Frecuente		Ocasional		Raro		Muy Raro	
T(s)	Sa(g)	T(s)	Sa(g)	T(s)	Sa(g)	T(s)	Sa(g)
0.0000	0.06548	0.0000	0.0918	0.0000	0.1165	0.0000	0.2007
0.1033	0.16178	0.1033	0.2436	0.1033	0.3140	0.1033	0.5602
0.5680	0.16178	0.5680	0.2436	0.5680	0.3140	0.5680	0.5602
0.6000	0.16077	0.6000	0.2198	0.6000	0.3108	0.6000	0.5344
0.7000	0.13781	0.7000	0.1923	0.7000	0.2719	0.7000	0.4750
0.8000	0.12058	0.8000	0.1710	0.8000	0.2417	0.8000	0.4275
0.9000	0.10718	0.9000	0.1539	0.9000	0.2176	0.9000	0.3887
1.1000	0.08770	1.1000	0.1282	1.1000	0.1813	1.1000	0.3289
1.3000	0.07420	1.3000	0.1099	1.3000	0.1554	1.3000	0.2850
1.5000	0.06431	1.5000	0.0962	1.5000	0.1360	1.5000	0.2515
1.7000	0.05674	1.7000	0.0855	1.7000	0.1209	1.7000	0.2250
1.9000	0.05077	1.9000	0.0769	1.9000	0.1088	1.9000	0.2036
2.1000	0.04594	2.1000	0.0699	2.1000	0.0989	2.1000	0.1859

Fuente: Autor

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

Los espectros de demanda, son los que experimentará la estructura y consecuentemente nos permitirán evaluar los daños para cada uno de ellos, con la finalidad de verificar la capacidad de la estructura y obtener los niveles de desempeño, tales como: operacional, ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención al colapso.

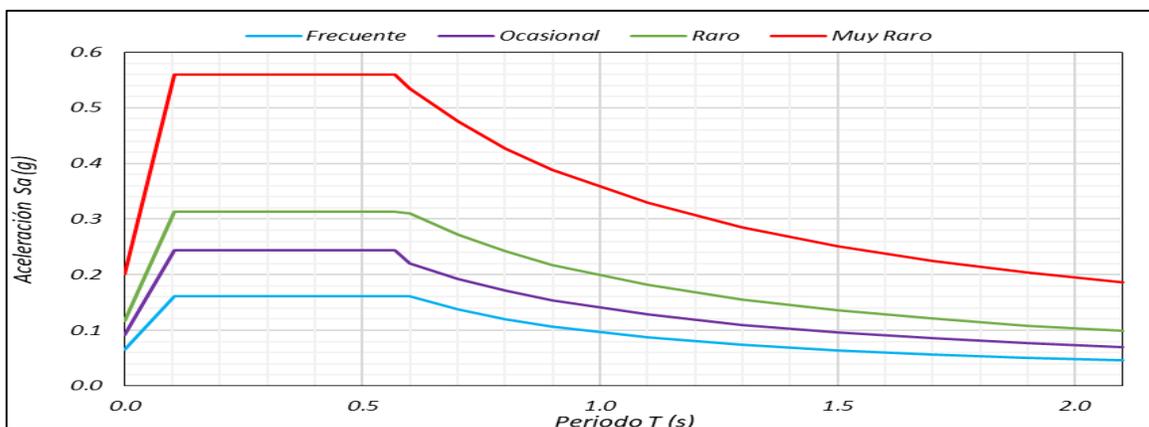


Figura 4: Espectros de demanda para los niveles de amenaza sísmica.
Fuente: Autor

El análisis estático no lineal se efectúa para la obtención del nivel de desempeño, este se aplica incorporando las características no lineales de la relación fuerza – deformación de los elementos, lo cual indica una ventaja con respecto al método de análisis estático lineal. Para el desarrollo del mismo, se aplican las rótulas plásticas en las vigas y en columnas, estas son mecanismos que cumplen la función de disipadores de energía.

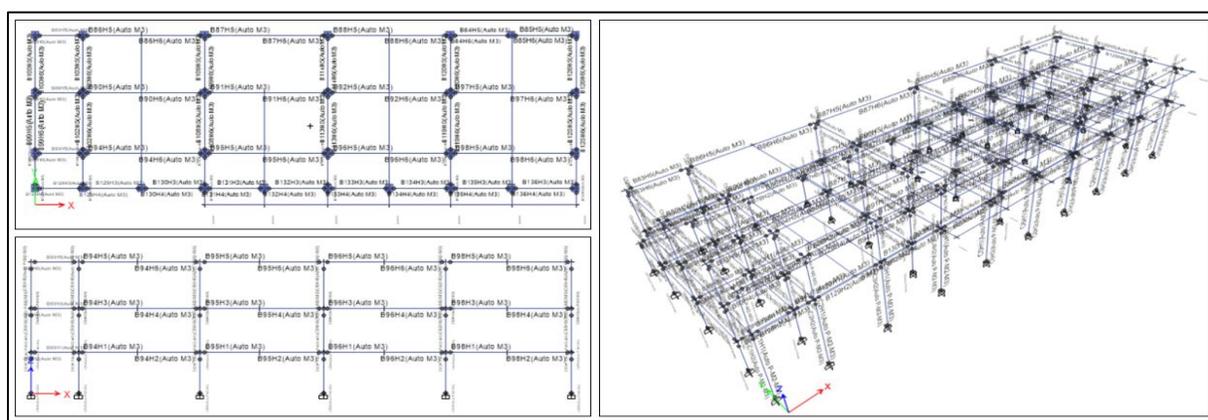


Figura 5: Rótulas plásticas aplicadas para el análisis pushover. (Planta, elevación, vista isométrica).
Fuente: Autor

Resultados

Uno de los primeros parámetros obtenidos, es el periodo de vibración de la estructura, el cual indica la Norma Ecuatoriana de la Construcción, que este no debe superar el 30% del valor del periodo fundamental.

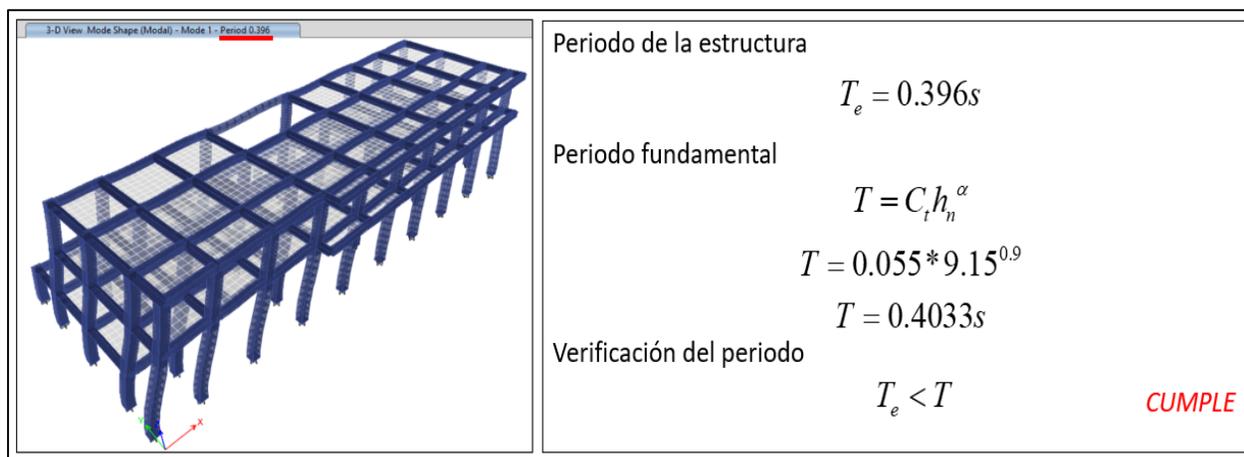


Figura 6: Verificación del periodo fundamental de la estructura.

Fuente: Autor

La participación modal de masas se determinó mediante la aplicación de un total de 9 modos de vibración, es decir; 3 por cada nivel, de tal forma que se cumpla la condición; de que todos los modos de vibrar involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura.

Tabla 6: Coeficientes de participación modal.

Case	Modo	Periodo	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
Modal	1	0.396	0.6882	0.0533	0.0829	0.6882	0.0533	0.0829
Modal	2	0.378	0.079	0.6781	0.0304	0.7673	0.7314	0.1133
Modal	3	0.312	0.0262	0.0649	0.6712	0.7934	0.7963	0.7845
Modal	4	0.111	0.0146	0.1256	0.016	0.808	0.922	0.8005
Modal	5	0.111	0.1331	0.011	0.002	0.9412	0.933	0.8025
Modal	6	0.094	0.0018	0.0122	0.14	0.943	0.9452	0.9425
Modal	7	0.066	0.0002	0.0508	0.0045	0.9431	0.9961	0.947
Modal	8	0.065	0.056	0.0006	0.0006	0.9992	0.9967	0.9476
Modal	9	0.056	0.0007	0.0032	0.0523	0.9999	0.9999	0.9998

Fuente: Autor

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

Las derivas de piso se muestran mayores en la dirección Y, puesto que; la geometría de la edificación presenta menor inercia en esta dirección, sin embargo; estas derivas son menores a las máximas admisibles de 0.02 para estructuras de hormigón armado, por lo que se determina que la edificación cumple satisfactoriamente a este requerimiento.

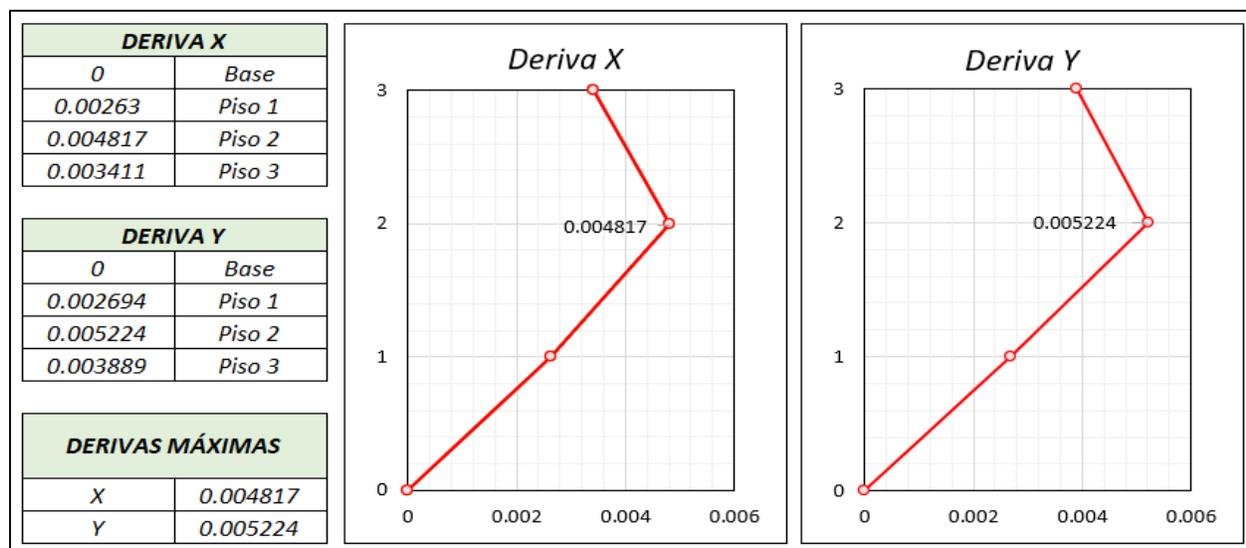


Figura 7: Deriva de piso en sentido X y sentido Y de la estructura.

Fuente: Autor

Las vigas que conforman el sistema estructural, presentan las características que se muestran en la figura 8, cubriendo luces de hasta 8.2 metros, estas son de gran importancia, puesto que; en estas se deben formar las rótulas plásticas para disipar la energía de un evento sísmico.

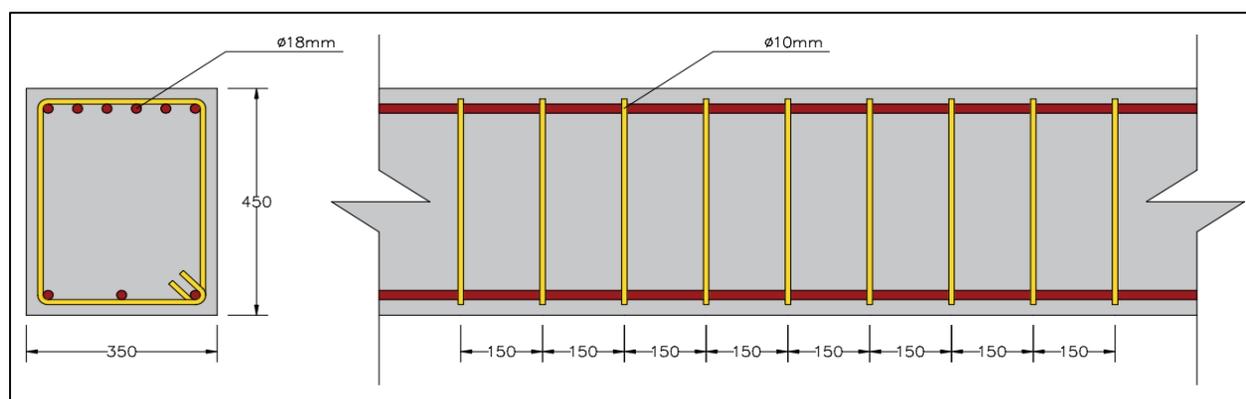


Figura 8: Distribución de acero de refuerzo en vigas de hormigón armado.

Fuente: Autor

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

En el análisis de las vigas, se determinó que estas presentan varias deficiencias en los estados límites de resistencia y condiciones de servicio. La revisión ejecutada a estas vigas, es a flexión y corte, en la cual se determinó que la sección transversal de la viga resulta insuficiente para el momento que experimenta.

Tabla 7: Verificación a flexión de vigas de hormigón armado.

Parámetro	Unidad	Real	Requerido	Referencia	
Peralte de la viga (hv)	cm	45.00	55.00	(ACI 318S-19; Tabla 9.3.1.1)	No Cumple
Ancho de la viga (b)	cm	35.00	35.00	(ACI 318S-19; Tabla 9.3.1.1)	No Cumple
Recubrimiento del concreto al acero de refuerzo (rv)	cm	2.10	2.10	(ACI 318S-19; Tabla 20.5.1.3.1)	Cumple
Área de acero de refuerzo superior a momento (As sup)	cm ²	15.27	14.67	(ACI 318S-19; 9.6.1.2)	Cumple
Área de acero de refuerzo inferior a momento (As inf)	cm ²	7.63	7.33	(ACI 318S-19; 9.6.1.2)	Cumple
Espaciamiento mínimo de acero superior a momento (S sup)	cm	3.60	3.60	(ACI 318S-19; 25.2.1)	Cumple
Espaciamiento mínimo de acero inferior a momento (S inf)	cm	11.70	11.70	(ACI 318S-19; 25.2.1)	Cumple
Momento resistente de la viga (Mr)	tn-m	20.70	26.47	(ACI 318S-19; 9.5.1.1)	No Cumple

Fuente: Autor

Tabla 8: Verificación a corte de vigas de hormigón armado.

Parámetro	Unidad	Real	Referencia	
Área de acero a cortante (Av)	cm ²	1.57	(ACI 318S-19; Tabla 9.3.1.1)	Cumple
Separación de estribos (S estr)	cm	10.00	(ACI 318S-19; Tabla 9.3.1.1)	Cumple

Fuente: Autor

En el caso de las columnas, estas presentan una sección transversal de 55x55 cm y un diámetro de acero de refuerzo como se indica en la figura 9. Estas cumplen con todos los requerimientos de diseño, por ende; resultan ser adecuadas para la edificación.

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

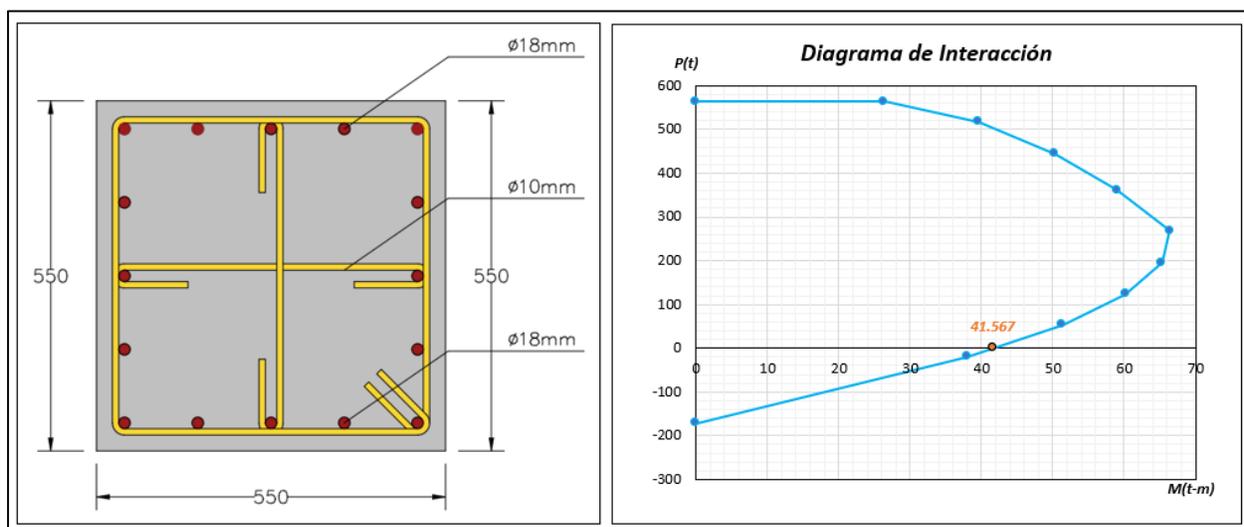


Figura 9: Sección transversal y diagrama de interacción de la columna de hormigón armado.

Fuente: Autor

En la evaluación de las columnas se obtuvo el punto de desempeño y se determinó que estas son de alta ductilidad; como se muestra en la figura 10. Además; se verificó los nudos de tal forma que se cumpla el criterio nudo fuerte - viga débil; puesto que, este es el parámetro mas importante de la estructura y se comprueba que este cumple satisfactoriamente y no se existe nudo débil.

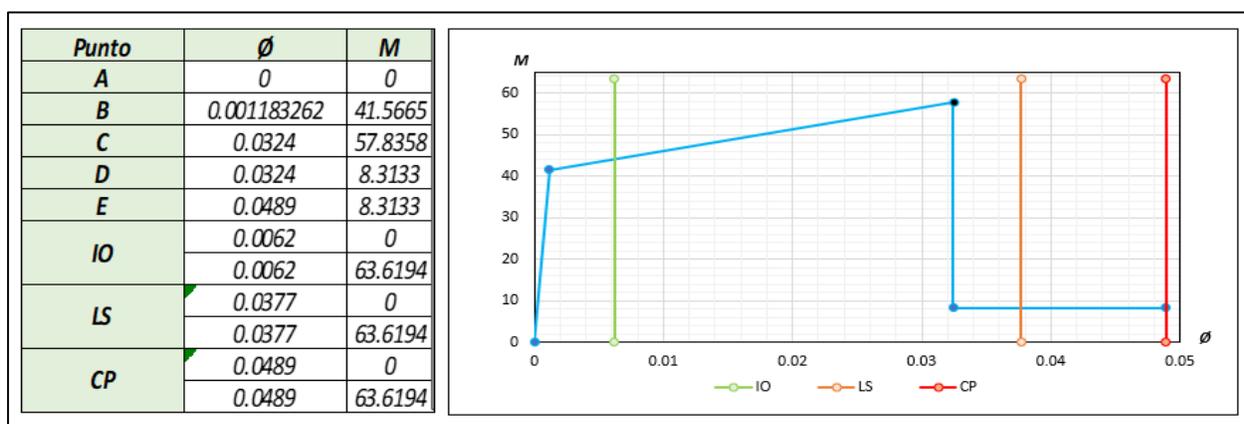


Figura 10: Diagrama momento – rotación de columnas de hormigón armado.

Fuente: Autor

El resultado de este análisis es la curva de capacidad o curva pushover, que representa la relación existente entre el cortante basal y el desplazamiento en el nivel superior de la estructura. A partir de

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

la evaluación, se determina que la estructura es deficiente frente a los diferentes niveles de amenaza sísmica, de tal forma que la estructura frente a un sismo “raro”, llega al colapso.

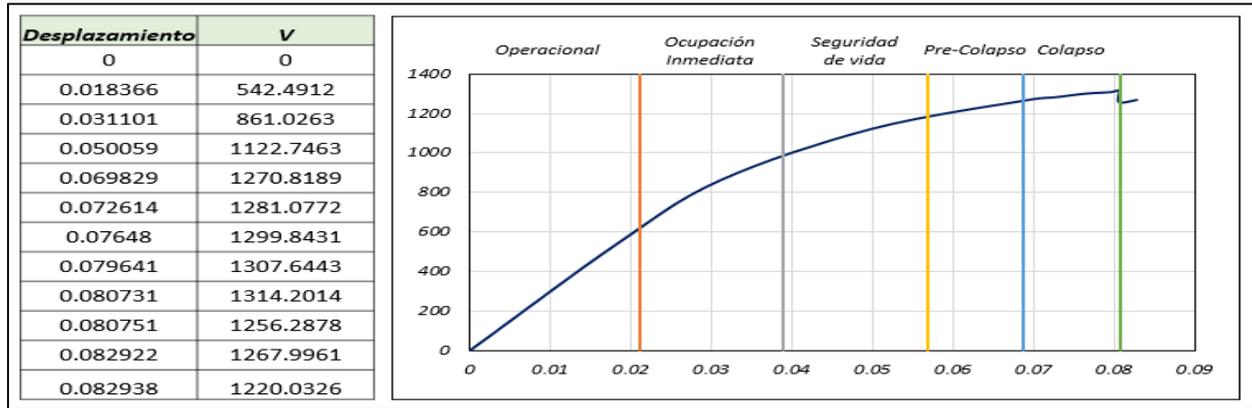


Figura 11: Curva Pushover o curva de capacidad de la estructura de hormigón armado.

Fuente: Autor

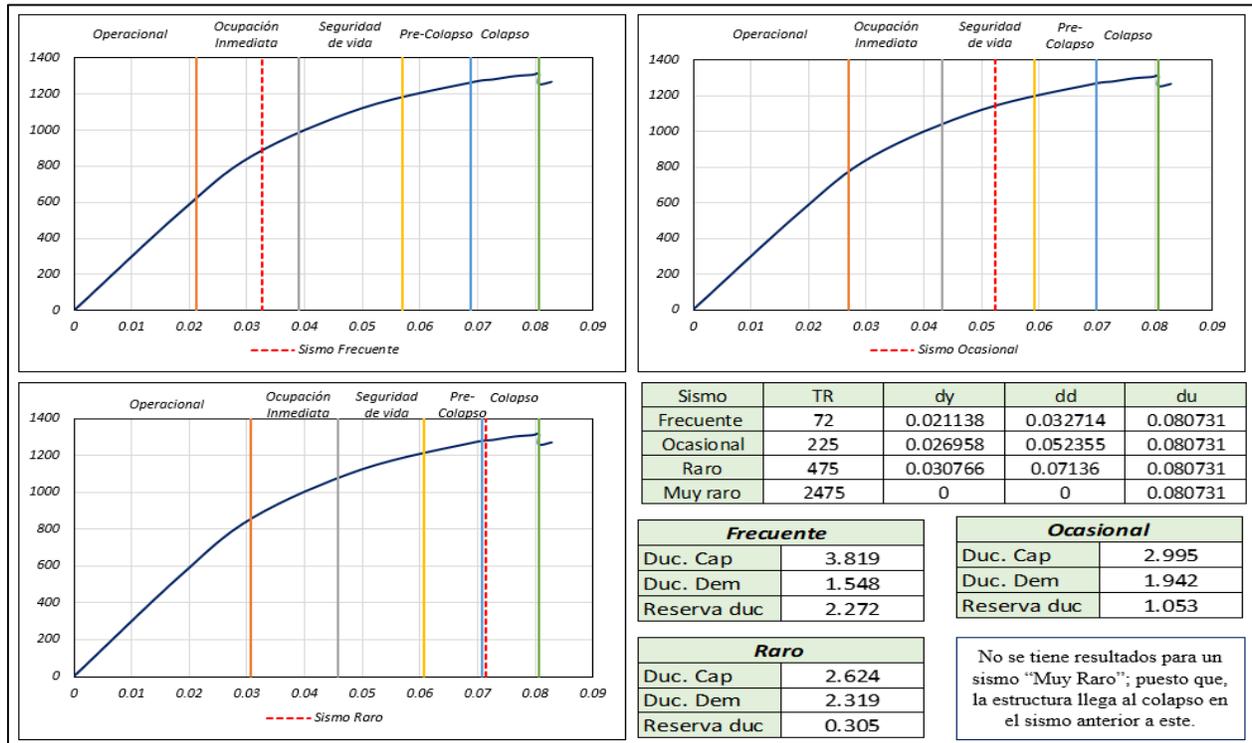


Figura 12: Punto de desempeño para los niveles de amenaza sísmica.

Fuente: Autor

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

Conclusiones

- La edificación se encuentra vulnerable, puesto que; se ha demostrado que la edificación presenta los siguientes niveles de desempeño: para un Sismo Frecuente está en ocupación inmediata (IO), para un Sismo Ocasional está en Seguridad de Vida (LS) y para un Sismo Raro la estructura está propensa al colapso.
- Al ocurrir un evento sísmico ocasional, la estructura experimenta daños considerables y no será habitable, sin embargo; este es mucho menor al sismo de diseño.
- El diseño de la edificación, no considera parámetros sismorresistentes ni las características propias del sitio, esto se ha demostrado con esta evaluación y la FEMA 154 lo confirma, puesto que esta indica que toda estructura construida antes de 1985 no es sismorresistente.
- Las patologías que más afectan a una edificación son tales como: piso blando, piso flexible, torsión, exceso de derivas, martilleo, nudo débil, columna débil – viga fuerte, entre otros; sin embargo, estas no se evidencian en la estructura a excepción de la deficiencia en vigas y se concluye que es posible un reforzamiento estructural.
- Las vigas de hormigón armado resultan ser flexibles e incumplen con los límites de resistencia y condiciones de servicio, llegando a experimentar deflexiones considerables bajo cargas de gravedad y al colapso al experimentar un evento sísmico. El acero de refuerzo en las vigas es satisfactorio, sin embargo; el peralte es menor al mínimo requerido.

Recomendaciones

- Ejecutar un reforzamiento estructural en las vigas, con ángulos de acero estructural con la finalidad de no aumentar considerablemente el peralte y así evitar que se incumpla el criterio columna fuerte – viga débil.
- Mantener las cargas de servicio de la estructura y evitar aumentar la carga muerta generada por los contenidos.
- Reforzar la estructura hasta cumplir con los objetivos del diseño por desempeño, de tal forma que la estructura resulte rígida, estable y resistente.
- Modelar la estructura considerando parámetros propios del sitio, tales como: tipo de suelo, zona sísmica, entre otros y no con los propuestos en las normas establecidas para cada región, siempre y cuando estas resulten ser desfavorables.

Referencias

1. ACI-318S. (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318S-19) and commentary (ACI 318SR-19). ACI 318-19.
2. ASCE-41-17. (2017). ASCE standard, ASCE/SEI, 41-17, seismic evaluation and retrofit of existing buildings. Virginia, Estados Unidos: American Society of Civil Engineers.
3. ASCE/SEI, 7-17. (2017). ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
4. ATC-40. (1996). ATC 40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1. California, Estados Unidos: Applied Technology Council.
5. Ávila Cabrera, F. M., (2020). Identificación de fallas geológicas en la vía Girón - Pasaje (Azuay) y sus problemas geotécnicos. Universidad Central Del Ecuador, Quito, Ecuador.
6. Beauval C, Yepes H, Bakun WH, Egred J, Alvarado A, Singaicho J (2010) Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587-1996). *Geophysical Journal International* 181:1613-1633. doi: 10.1111/j.1365-246X.20100459.x
7. Beauval C, Yepes H, Palacios P, Segovia M, Alvarado A, Font Y, Aguilar J, Troncoso L, Vaca S (2013) An earthquake catalog for seismic hazard assessment in Ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America* 103:773-786. doi: 10.1785/0120120270
8. Barbat, A.H., Pujades, L.G., & Lantada, N. (2008). Seismic damage evaluation in urban areas using the capacity spectrum method: Application to Barcelona. *Soli Dynamics and Earthquake Engineering*
9. Cabrera, E., & Andrade, I. (2021). Estudio de vulnerabilidad ante solicitaciones sísmicas del edificio de aula de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay (EVASS – CCTT). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
10. Cañizares, O. (2017). Selección de ecuaciones de atenuación (GMPEs) compatibles con el sistema de fallas de Quito.
11. Celi, C., Pantoja, J. C., Sosa, D., & Ayala, C. (2018). Vulnerabilidad Sísmica de Quito Ecuador, Fase I: Curvas de Capacidad de las Tipologías Estructurales, Proyecto GEM-SARA. 40
12. Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M. N., Costa, C., Dart, R. L., & Bradley, L. A. (2003). Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions. *US Geological Survey Open-File Report*, 3, 289.

Vulnerabilidad sísmica de una edificación sujeta a los efectos de la falla geológica de Girón

13. Estudio revela vulnerabilidad de Cuenca ante un terremoto. (2010). El Universo. <https://www.eluniverso.com/2010/03/15/1/1447/estudio-revela-vulnerabilidad-cuenca-ante-un-terremoto.html/>
14. Econoticias.com (05 de Julio de 2010). Falla geológica provocó gran deslave en provincia ecuatoriana. Recuperado el 05 de octubre de 2017 de: <https://www.ecoticias.com/eco-america/28904/Falla-geologica-provoco-grandeslave-en-provincia-ecuatoriana>
15. Jiménez J., Red Sísmica del Austro (10 de Julio del 2016). Zona sísmica del Austro. Recuperado el 24 de Septiembre de 2019 de: <https://ide.ucuenca.edu.ec/>
16. MIDUVI. (2016). Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 (1ra. Edición)
17. NEC-SE-HM. (2015). NEC-SE-AC: Estructuras de Hormigón Armado. (Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Ed.). 2014.
18. NEC-SE-AC. (2015). NEC-SE-AC: Estructuras de Acero. (Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Ed.). 2014.
19. NEC-SE-CG. (2015). NEC-SE-CG: Cargas no sísmicas. (M. Dirección de Comunicación Social, Ed.). 2014.
20. NEC-SE-DS. (2015). NEC-SE-DS: Peligro Sísmico. (M. Dirección de Comunicación Social, Ed.). 2014.
21. Winter, T., Iglesias, R., y Lavenu, A., 1990, Presencia de un sistema de fallas activas en el sur del Ecuador: Bol. Geol. Ecuat., v. 1, no. 1, p. 53-67.