

# Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador

Cunalata, Fabiana<sup>1,\*</sup> ; Caiza, Pablo<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Programa de Maestría de Investigación en Ingeniería Civil mención Estructuras, Sangolquí, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Sangolquí, Ecuador

**Resumen:** Los estudios de vulnerabilidad sísmica constituyen una parte importante para la implementación de programas de mitigación de riesgo. El Ecuador, al ser un país en el que se presenta un riesgo sísmico alto, ha empezado a estudiar el grado de vulnerabilidad de las edificaciones existentes. En este artículo, se describen las diferentes metodologías empleadas en estos estudios como: la del proyecto South America Risk Assessment (SARA) para la ciudad de Quito; en tesis y trabajos académicos, las metodologías FEMA P-154, NEC-15 y FUNVISIS además de Benedetti-Petrini y FEMA 310. Posteriormente, se comparan los resultados obtenidos, enfocándose en primer lugar en las características comunes a todas ellas, luego en sus diferencias y su importancia relativa para considerar aspectos propios de las edificaciones en el Ecuador. Merecen especial atención los porcentajes de edificaciones vulnerables y que requieren una evaluación más detallada. Se concluye que las metodologías presentadas constituyen una alternativa útil para determinar aquellas edificaciones que no mostrarán un comportamiento aceptable ante un evento sísmico. Además, son complementarias unas de otras y, por tanto, se recomienda el uso de por lo menos tres de ellas: NEC-15, FEMA P-154 Y FUNVISIS.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad sísmica, proyecto SARA, NEC-15, FEMA P-154, FUNVISIS

## State of the Art of Seismic Vulnerability Studies in Ecuador

**Abstract:** Seismic vulnerability studies constitute an important part for the implementation of risk mitigation programs. In Ecuador, being a country in which there is a high seismic risk, studies have begun to be carried out to know the degree of vulnerability of existing buildings. This article describes the different methodologies used in these studies: that of the South America Risk Assessment (SARA) project for the city of Quito, in theses and academic papers, the methodologies FEMA P-154, NEC-15 and FUNVISIS also Benedetti-Petrini and FEMA 310. Subsequently, the results obtained are compared, focusing first on the common characteristics to all of them, and then on their differences and their relative importance. The percentages of vulnerable buildings that require a more detailed evaluation, deserve special attention. It is concluded that the methodologies presented constitute a useful alternative to determine those buildings that will not show an acceptable behavior in the event of a seismic event. In addition, these methodologies are complementary to each other and, therefore, the use of at least three of them is recommended: NEC-15, FEMA P-154 and FUNVISIS.

**Keywords:** Seismic vulnerability, SARA project, NEC-15, FEMA P-154, FUNVISIS

### 1. INTRODUCCIÓN

Parte de América Central y América de Sur son calificadas como las regiones que presentan gran actividad sísmica, razón por la cual se presentan con frecuencia sismos que alcanzan grandes magnitudes y han causado pérdidas de vidas humanas y daños materiales (Udías, 1998).

Una parte del territorio del actual Ecuador se encuentra dentro de la microplaca llamada “Bloque Andino” que pertenece a la placa Sudamericana, la cual está en interacción con las placas de Nazca, Cocos y Caribe. Por otro lado, en el sur del Ecuador, se tiene la interacción relativamente más sencilla entre la placa

Sudamericana y la de Nazca. La compleja tectónica descrita ha desarrollado un sistema de fallas que, combinado con la subducción que se presenta en la costa del país, constituyen las fuentes principales que generan movimientos sísmicos (Quinde & Reinoso, 2016).

Ecuador puede describirse como un país multiamenazas, en lo que se refiere a desastres naturales, es por esta razón que es una tarea de gran importancia el trabajar por optimizar la calidad de las edificaciones (Fernández et al., 2018). En los últimos 460 años, se han detectado en Ecuador un gran número de sismos de magnitud considerable (Cabezas, 2016) tanto en la capital, Quito, como en otros lugares del país.

\*fecunalata@espe.edu.ec

Recibido: 26/08/2021

Aceptado: 12/04/2022

Publicado en línea: 25/05/2022

10.33333/rp.vol50n1.06

CC 4.0

Si se considera los sismos de pequeña magnitud y aquellos que son detectados únicamente por los sismógrafos, la cantidad de sismos que se registran en el territorio ecuatoriano podrían sumar varios miles por año. Es así que, dentro de la gran cantidad de actividad sísmica, en el lapso de 1541 hasta el año 2007, han ocurrido en el país 37 sismos de intensidad mayor o igual a VIII en escala MSK (llamado así por las iniciales Medvedev – Sponheuer – Karnik) donde los daños que se registran son considerables; sin embargo, si se toma en cuenta los sismos de intensidad VI (en donde se presentan daños moderados) los registros sísmicos importantes sumarán 123. El primer sismo del que se tiene registro en el país, sucedió en el año de 1541 con epicentro ubicado en la provincia de Napo, dando inicio al catálogo sísmico en Ecuador (Rivadeneira et al., 2007). En la ciudad de Quito, de conformidad con los datos registrados desde el año de 1587, se dispone de información sobre diversos eventos sísmicos con gran capacidad de destrucción, que se presentaron por lo menos una vez por cada siglo a excepción del siglo XIX (Fernández et al., 1995). En 1698, un sismo afectó las provincias de Chimborazo, Tungurahua y otras del centro del país. Uno de los sismos históricos de gran intensidad, ocurrió en febrero del año 1797 en Riobamba convirtiéndose en el que mayores daños ha causado en el Ecuador resultando afectadas las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar y Pichincha (Rivadeneira et al., 2007). Las viviendas, en su mayoría de una y dos plantas con paredes de ladrillo, adobes de barro, bahareque y en pocos casos de piedra estaban recubiertas con un “empañetado” de barro con paja picada y enlucida con una capa de barro fino, sin embargo en las zonas rurales las técnicas constructivas eran deficientes, por lo que, ante el terremoto, las casas cayeron desde sus cimientos, algunos barrios fueron sepultados y todas las iglesias, conventos, edificios públicos, hospitales y escuelas se destruyeron por completo (Egred, 2000). En agosto de 1898, un terremoto en la ciudad de Ibarra provocó daños considerables en la ciudad y sus alrededores (Rivadeneira et al., 2007).

En el año de 1900, empezaron a trabajar los primeros instrumentos de medición sísmica en el mundo, es por esta razón que se cuentan con registros a partir de esa fecha. El 31 de enero de 1906, un evento telúrico de magnitud  $M_w=8.8$  en escala Richter azotó las costas de Ecuador y Colombia; su epicentro fue aproximadamente a 18 km al noroeste de la ciudad de Esmeraldas causando además un tsunami que generó olas de hasta 5 metros de altura (Moncayo et al., 2017), pero se considera que el efecto sobre las casas fue pequeño en relación con su gran magnitud debido al tipo de construcción que predominaba en esa época que era madera dura y bien encajada (IGE EPN, 2011). El 2 de octubre de 1933, ocurrió un sismo de magnitud 6.9 con epicentro localizado frente a las costas de las poblaciones de Montañita y Olón acompañado de fuertes oscilaciones a nivel del mar y grandes olas (Moncayo et al., 2017), de los daños solo se indica que un cable submarino fue roto a 25 kilómetros al sur de Salinas (Espinoza, 1992). El 14 de mayo de 1942, un sismo sacudió a Manabí y a todo el Ecuador con una magnitud de 7.8 grados en escala Richter con una profundidad de 20 km cuyo epicentro estuvo localizado al oeste de la ciudad de Pedernales. En el año de 1944, un sismo importante de magnitud 6.7 con una profundidad de 20 km afectó nuevamente a Esmeraldas. Por otro lado, el 5 de agosto de 1949, el conocido como “terremoto

de Ambato” de magnitud 6.8, causó la destrucción total del cantón Pelileo y grandes pérdidas en Guano, Patate, Píllaro y Ambato en donde se presentó un daño considerable (Moncayo et al., 2017), en donde las casas en su mayoría eran de bahareque con piedra y adobe y en número menor, de mampostería de piedra con algunos elementos de hormigón, así como, edificaciones de piedra pishilata empleada en iglesias y edificios públicos, sin embargo muchas colapsaron debido a una ordenanza municipal que preservaba el aspecto de la casa pero que carecía de criterios técnicos elementales, además de que los encargados de la construcción incumplían los lineamientos básicos (Torres, 2017). Años después, el 12 de diciembre de 1953, a una profundidad de 20 km un fuerte sismo de magnitud 7.3 se produjo cerca de la frontera Ecuador-Perú, frente a la población de Tumbes. La capital fue afectada por un sismo el 11 de mayo de 1955, el mismo que tuvo una magnitud de 6.5 con una profundidad de 15 km. El 16 de enero de 1956 a una profundidad de 20 km tuvo lugar un evento sísmico de fuertes características con epicentro ubicado a 6 km al norte de la población de Tosagua y a 26 km de Bahía de Caráquez con una magnitud de 7.0 (Moncayo et al., 2017). El 5 de marzo de 1987, la capital fue afectada por un sismo fuerte, que provocó la muerte de aproximadamente 1000 personas fuera de los límites de la ciudad (Fernández et al., 1995). El 4 de agosto de 1998, un sismo de magnitud 7.2 afectó a Bahía de Caráquez con una profundidad de 33 km y cuyo epicentro se ubicó a 20 km al suroeste del sismo de 1956 (Moncayo et al., 2017).

La destrucción causada por el terremoto se pudo observar en las provincias de Esmeraldas, Santa Elena, Guayas, Los Ríos y parte de Santo Domingo de los Tsáchilas además de varias provincias de la región Sierra, en donde se registró una intensidad máxima de 4 dentro de la Escala Macrosísmica Europea (IG EPN, 2016).

Considerando lo sucedido en Pedernales en abril de 2016, se ha obtenido información útil a partir de edificaciones que colapsaron o que presentaron un grado de deterioro significativo, en donde se observó que varias estructuras fueron construidas sin ningún criterio estructural, así como también construcciones realizadas sin considerar normativas, carencia del control de un profesional durante la construcción y poca previsión de los daños estructurales que podrían darse ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud (Fernández et al., 2018).

El Ecuador al ser conocido como un país que está expuesto a un peligro sísmico permanente, involucra la exposición a ciertos eventos que pueden traer consigo la pérdida de vidas humanas, pérdidas materiales y económicas; por lo tanto es necesario tomar medidas que permitan reducir los efectos negativos de un evento sísmico, entre ellos, el efectuar estudios que permitan determinar el comportamiento probable de una estructura ante dichos eventos, para así poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo. Es necesario insistir que el Ecuador ha pasado por varios eventos sísmicos, con diferentes niveles de afectación, muchos de ellos han sido de gran intensidad y han causado daños considerables y víctimas fatales (Fernández et al., 1995).

Una de las causas trascendentales de daño en las estructuras inducidas por los sismos es el comportamiento poco adecuado de las edificaciones, razón por la cual es importante determinar el grado de vulnerabilidad que presentan de acuerdo a la configuración estructural de las mismas, para así investigar soluciones y mejorar su respuesta estructural ante la influencia de un sismo de mediana o gran intensidad (Fernández et al., 2018).

Los terremotos ocasionan considerables daños materiales que dejan a gran cantidad de personas damnificadas, además, de las víctimas mortales; lo cual indica que los programas de Evaluación de Riesgo Sísmico todavía no se han puesto en práctica con el fin de impedir o aminorar estas pérdidas, pese al adelanto que se tiene de ellos. La situación en mención predomina en la mayor parte de países en vías de desarrollo, por la carencia de recursos económicos asignados a la investigación y desarrollo de la tecnología, cuyo objetivo principal es promover los estudios de prevención y mitigación del riesgo sísmico. Por otra parte, y definitivamente, la razón de las pérdidas tanto humanas como económicas causadas por los terremotos es un comportamiento sísmico deficiente de las edificaciones, en donde en varias ocasiones se han llegado a colapsos parciales e incluso totales (Caballero, 2007).

Debido al historial sísmico del país y a las consecuencias que cada uno de ellos ha dejado en el territorio ecuatoriano, los expertos en el campo de la ingeniería estructural han visto la necesidad de realizar estudios de vulnerabilidad sísmica que permitan conocer el estado actual de las edificaciones existentes para así poder determinar su comportamiento ante un evento sísmico.

En este artículo, se describen los estudios realizados para la evaluación de vulnerabilidad sísmica en torno a la metodología presentada dentro del proyecto South America Risk Assessment (SARA), Federal Emergency Management Agency (FEMA P-154), Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) y Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). SARA permite asignar una taxonomía a cada estructura la cual depende de factores como el sistema resistente a carga lateral, material de paredes y techo, sistema de piso, ubicación, uso, condición del terreno; mientras que FEMA P-154 y NEC-15 califican a la estructura con un puntaje que permite ubicar a la estructura dentro de la categoría de alta, media y baja vulnerabilidad. FUNVISIS considera características similares a las de SARA, lo cual se utiliza para el cálculo de índices de riesgo.

Cada uno de los estudios que se menciona a continuación muestra los resultados de la aplicación de las metodologías mencionadas a edificaciones, determinando de este modo, su grado de vulnerabilidad.

## 2. VULNERABILIDAD SÍSMICA EN TORNO AL PROYECTO SARA

SARA constituye un proyecto que enfoca su trabajo en los temas de riesgo, exposición, vulnerabilidad física y socio-económica en América del Sur, en países como Chile, Venezuela, Colombia y Ecuador, proporcionando una

metodología para estimar el riesgo físico ante un sismo (Silva, 2017).

Este proyecto considera resultados de vulnerabilidad bajo tres niveles: regional, nacional y subnacional de los países que tienen un alto grado de afectación ante la ocurrencia de un evento sísmico. El modelo de exposición está subdividido en un modelo de exposición local que se centra en una ciudad específica y uno regional a nivel de país. La metodología propuesta por SARA para la obtención de estos modelos de exposición incluye la definición de clases de construcciones existentes en la región de estudio y la estimación de las fracciones de viviendas basándose en la información censal y esquemas de mapas, así como el número de edificios y los costos de reparación considerando valores de referencia (Silva, 2017).

En Ecuador, se trabajó en un modelo de exposición y uno de pérdidas estimadas con información basada en el Censo Poblacional del año 2010 efectuado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). Los materiales utilizados en la construcción de las edificaciones (mampostería, hormigón armado, adobe, madera, bahareque, caña) fueron definidos basándose en proyectos como, por ejemplo: PAGER, UN-HABITAT y WHE, y en tipologías constructivas. Dichas clasificaciones se indican en la Figura 1 (Silva, 2017):

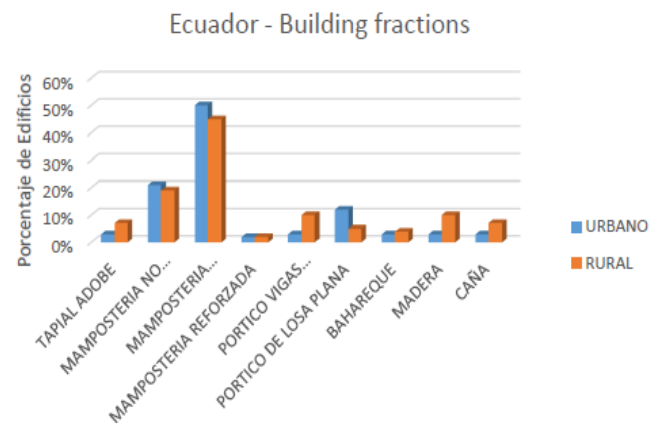
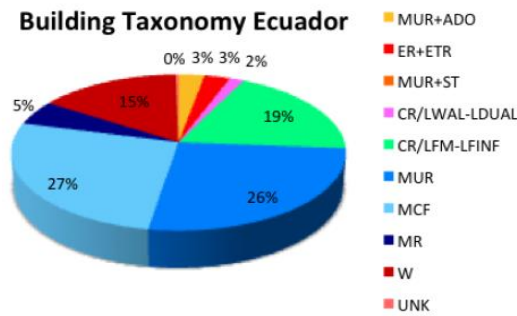


Figura 1. Tipologías constructivas  
Fuente: Silva (2017)

En el estudio realizado por el proyecto SARA en Ecuador, se mostró que existen cerca de 29 tipologías de viviendas (alrededor de 3748919 unidades de vivienda) entre las que predominan la mampostería confinada, mampostería no reforzada y estructuras aperticadas de concreto reforzado con el 27%, 26% y 19% respectivamente como se muestra en la Figura 2, de lo cual se puede deducir que las estructuras aperticadas corresponden a la tercera opción elegida por la población, por lo que puede suponerse que constituye una realidad que se repite en las ciudades más representativas del país (Silva, 2017).



**Figura 2.** Estadística de tipologías estructurales en Ecuador  
Fuente: Silva (2017)

A finales del año 2015, se inició un proceso de levantamiento de información de configuración geométrica estructural de la ciudad de Quito, de una muestra de 11556 edificaciones multifamiliares, por medio de un convenio con Global Earthquake Model (GEM) para emplear su metodología en el análisis de vulnerabilidad sísmica. Como primer paso, se realizó un análisis de zonificación de la ciudad basado en la información socio económica y un muestreo de las geometrías estructurales. Se clasificó así a la capital en zonas homogéneas, es decir con características semejantes. Allí se realizó la distribución para el muestreo, del número de edificaciones indicado como muestra representativa de las estructuras multifamiliares de hasta 4 pisos, que como ya se indicó, corresponde a 11556 edificaciones (Celi et al., 2016).

Para realizar el inventario geométrico-estructural se utilizó la aplicación desarrollada por GEM denominada Inventory data capture tools (IDCT do survey), cuyos parámetros más importantes son: el sistema resistente a carga lateral, materiales constitutivos estructurales y no estructurales, y georreferenciación. Como resultado, se identificaron 4 tipologías recurrentes en la muestra. La tipología 1, agrupó a edificaciones de un piso con techo de zinc, eternit o losa de hormigón. La tipología 2 comprende las edificaciones de dos a tres pisos que presentan irregularidad en planta tipo L y entrepisos de hormigón. La tipología 3 se refiere a edificaciones de dos a tres pisos con una planta rectangular con entrepisos de hormigón. Finalmente, la tipología 4 comprende estructuras de 4 a 6 pisos con planta rectangular y entrepisos de hormigón, éstas representan el 88% de la totalidad (Celi et al, 2016).

Para los modelos computacionales, se realizaron 114 modelaciones no lineales que fueron distribuidas en las 4 tipologías; mientras que, la representación no lineal se observó mediante 4 modelos matemáticos diferentes. Es así que, para la tipología 1, las curvas de capacidad se obtuvieron con el método de fibras; para la tipología 2, se utilizó el modelo de rigidez equivalente de muros; para la tipología 3, se representaron los mecanismos de disipación de energía por medio de plastificación concentrada y, para la tipología 4, se representa el comportamiento del pórtico como un ensamblaje de celdas celosía. Es decir, se utilizaron dos criterios diferentes de análisis para representar la plastificación de los elementos marco plano, esto es, plastificación concentrada y distribuida. Por otro lado, la representación del comportamiento no lineal-frágil de mampostería enmarcada y no enmarcada se basó en cuatro maneras de modelación sustentadas en: puntales de compresión axial con plastificación concentrada, elementos

tipo Shell no lineales a cortante, modelo celosía y modelo bi puntal no lineal- frágil (Panagiotou, 2012; Williams, 2013; Reinhorn et al, 1995; Crisafulli, 1997). Para obtener las curvas de capacidad se utilizó la técnica de Non linear PushOver (NSP), con ello se procedió a calcular el punto de desempeño teórico en donde los modelos alcanzaron la demanda sísmica teórica para 100 y 475 años de periodo retorno. Dicho estudio constituyó la primera fase del proyecto SARA denominada: “Capacity curves of structural tipologies, Project GEM-SARA” (Celi et al., 2016). Estos métodos se consideran los más importantes al momento de realizar un análisis estructural no lineal, puesto que permiten describir el comportamiento de los elementos no estructurales analizados en el estudio en mención.

En el estudio, se concluyó que, en todas las tipologías frente al escenario sísmico de 475 años de período de retorno, amplificado por un suelo tipo C, un porcentaje mayor al 80% tiene daños moderados y graves. Nótese que esto significa que, aunque no haya un colapso estructural, las pérdidas económicas pueden ser tan altas que son semejantes a las de la pérdida total (Celi et al., 2016).

El proyecto SARA consta de dos fases más, la segunda titulada “Fragility and Vulnerability Curves of Structural Typologies”, pretende incluir curvas de fragilidad para escenarios de peligrosidad sísmica que va desde el 2% de probabilidad de excedencia hasta el 92% con amplificación de los 5 tipos de suelo que se encuentran en la NEC15 por medio de métodos estáticos directos y correlación HAZUS. La fase 3 “Exposure Model of Structural Typologies” tratará a profundidad el costo de reposición (Celi et al, 2016).

Dentro de los lineamientos del proyecto SARA, se realizó otro estudio que consistió en un análisis de vulnerabilidad sísmica compuesto por un modelo de exposición y un mapa de vulnerabilidad de las construcciones existentes en el Distrito Metropolitano de Quito elaborado por la Fundación GEM y la Escuela Politécnica Nacional. Para ello, se realizaron levantamientos al 3% del total existente en la zona urbana, mediante la herramienta IDCT Direct Observation Survey desarrollada por GEM que es una aplicación de libre acceso que permite recolectar las características estructurales, el tipo de material, uso y ocupación de las construcciones a través de una inspección visual. Una vez realizados los levantamientos, se identificó un total de 135 tipologías, las cuales fueron filtradas y se redujeron a 17, que se indican en la Tabla 1 (Chicaiza, 2017).

**Tabla 1.** Tipologías estructurales encontradas

N°	Tipologías	Taxonomía GEM
1	Hormigón armado hecho en sitio con mampostería de relleno y losas planas macizas o alivianadas, no dúctil	CR+CIP/LFLSINF+DNO
2	Hormigón armado hecho en sitio con mampostería de relleno y losas planas macizas o alivianadas, dúctil	CR+CIP / LFLSINF + DUC
3	Hormigón armado hecho en sitio con sistema dual, pórticos y muros, dúctil/no dúctil	CR+CIP / LDUAL + DUC; CR+CIP / LDUAL + DNO
4	Hormigón armado hecho en sitio con postes y vigas, no dúctil	CR+CIP / LPB + DNO
5	Hormigón armado hecho en sitio con sistema híbrido, no dúctil	CR+CIP/LH+DNO
6	Hormigón armado hecho en sitio con mampostería de relleno con vigas descolgadas, dúctil	CR+CIP/LFINF+DUC
7	Hormigón armado hecho en sitio con mampostería de relleno con vigas descolgadas, no dúctil	CR+CIP/LFINF+DNO
8	Hormigón armado hecho en sitio con sistema de muros portantes, dúctil	CR+CIP/LWAL+DUC
9	Mampostería no reforzada con paredes de bloque hueco de cemento, no dúctil	MUR+CBH/LWAL + DNO
10	Mampostería no reforzada con paredes de bloque hueco de ladrillo, no dúctil	MUR+CLBRS/LWAL + DNO
11	Mampostería no reforzada con paredes de adobe, no dúctil.	MUR+ADO/LWAL+ DNO
12	Mampostería no reforzada con paredes de mampostería desconocida, no dúctil	MUR + MUN99 / LWAL + DNO
13	Acero	S + S99
14	Madera	W + W99
15	Tierra	E99 + ET99
16	Material desconocido, sistema de resistencia a carga lateral desconocida	MAT99+L99+DNO
17	Hormigón reforzamiento y tecnología desconocida	C99+CT99

Para realizar los levantamientos, se dividió a la parte urbana de Quito en 5 zonas homogéneas mediante el software ARCGIS con información obtenida del Plan de Uso y Ocupación del Suelo del Distrito Metropolitano de Quito (PUOS). En cada zona se identificó el uso del predio, la altura de construcción permitida y el nivel socioeconómico de sus habitantes. Para cada zona homogénea se elaboró un Mapping Scheme para la ciudad que consistió en tres matrices que agruparon las combinaciones de las características de los materiales de construcción y tipo de vivienda (datos del censo del año 2010) y el porcentaje de estructuras de cada una de las tipologías que se obtuvieron en los levantamientos (Chicaiza, 2017).

Es así, que se asignó una tipología estructural para las diferentes clases de vivienda que se identificaron en el censo de acuerdo al material de paredes exteriores, material de piso y material de techo; de esta manera fue posible relacionar las características presentes en el Censo de Población y Vivienda del año 2010 y la información obtenida una vez aplicadas las encuestas. Este procedimiento se realiza para las 5 zonas homogéneas por lo que, se recurre a un programa desarrollado en Matlab para realizar el cálculo del número de viviendas por

cada tipología estructural; el programa arroja una matriz de resultados por cada zona homogénea que incluye atributos como el código del sector censal, la tipología y el número de viviendas (Chicaiza, 2017).

Una parte importante del modelo de exposición fue el costo de reposición de las estructuras analizadas, para lo cual se recurrió a la opinión de un profesional experto en costos de la construcción, docente de la Escuela Politécnica Nacional, y a la metodología presentada en la ordenanza N° 0093 expedida por el Municipio de Quito, en cuyo contenido se indica el método de valoración de las construcciones. De este modo, se calculó el valor correspondiente al metro cuadrado de construcción según el tipo de estructura, rango de pisos, condición de propiedad y materiales de acabados exteriores, paredes, cubierta, marcos de ventanas, vidrios y puertas (Chicaiza, 2017).

Una vez construido el modelo de exposición, se procedió a determinar la vulnerabilidad de las edificaciones analizadas, para lo cual se utilizó la Tabla de Vulnerabilidad propuesta por la Escala Macrosísmica Europea, la cual propone seis clases de vulnerabilidad descendiente que va desde la A hasta la F. Las tipologías encontradas en cada zona homogénea sumaron 62 sin realizar distinción de altura y 88 cuando se considera el número de pisos, finalmente, luego de un filtrado se obtuvieron 24 tipologías sin número de pisos y se les asignó una clase de vulnerabilidad correspondiente, obteniendo que el 84% del total de edificaciones se clasifican dentro de la vulnerabilidad B, el 10% vulnerabilidad clase A, 4% clase C y el 2% clase D (Chicaiza, 2017).

### 3. VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADA EN SARA CON ENFOQUE A REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

En torno al proyecto SARA y a la ciudad de Quito se han realizado otros estudios que determinan vulnerabilidad sísmica centrándose solamente en estructuras apertadas informales de hormigón armado de 2 y 3 pisos de altura y considerando dos de las cuatro tipologías presentadas en (Celi et al., 2016). Es así, que fue planteado un formato que permite evaluar la vulnerabilidad de las viviendas considerando información para análisis rápidos de vulnerabilidad como el formato presentado por el Centro Nacional de Prevención de desastres en México (CENAPRED) y el ATC-20 Rapid Evaluation Safety Assessment Form (ATC 20-2 Rapid Evaluation Safety Assessment Form, 2005) incluyendo el análisis de costo de reposición. El formato propuesto se basa en un “check list” que evalúa el sistema estructural y vulnerabilidad en una escala del 1 al 5, siendo el 1 “poco vulnerable” y 5 “altamente vulnerable”; con el fin de proponer soluciones de reforzamiento estructural para cada vivienda evaluada según el puntaje final obtenido; es decir que, una puntuación elevada (igual o mayor a 20 puntos) requerirá una combinación de reforzamientos, ya sea encamisado de columnas combinado con CFRP o enchapado de paredes con encamisado de columnas entre otros (Silva, 2017).



**Tabla 2.** Reforzamiento sugerido según el puntaje obtenido

Puntaje obtenido de evaluación	Reforzamiento sugerido
20-25	Muro de hormigón + encamisado de columna
15-19	Encamisado de columnas + Enchapado + CFRP
10-14	Encamisado de columnas + Enchapado de paredes + CFRP
Menor a 10	Enchapado de paredes + CFRP

La Tabla 2 muestra el tipo de reforzamiento según el puntaje de evaluación obtenido en el formulario propuesto por Silva (2017); es importante señalar que el muro de hormigón deberá tener un espesor de 5 a 7 cm y se armará con malla electrosoldada. Para los puntajes de 10 a 14 y menor a 10, el CFRP se deberá colocar en las zonas donde se requiera refuerzo ya sea en vigas, columnas o losas (Silva, 2017).

Se analizaron en total diez edificaciones residenciales de dos y tres pisos, cada una de ellas fue modelada en los programas comerciales ETABS y SAFE (Computers and Structures Inc. CSI Spain, s.f.). Para la resistencia a la compresión del hormigón, se consideró un valor de 180 kg/cm<sup>2</sup>, un perfil de suelo tipo D y acelerogramas sintéticos en ETABS generados a partir de acelerogramas de tres estaciones (APED, AMNT, APO1) con el fin de realizar un análisis ante un sismo de características similares al ocurrido en abril de 2016. Para columnas y vigas se consideraron inercias agrietadas de 0.8 y 0.5 respectivamente; finalmente, se asume un valor de 12 T/m<sup>2</sup> para el esfuerzo admisible del suelo y así obtener el coeficiente de balasto. Una vez modeladas las estructuras, se realizó un análisis lineal elástico para estudiar parámetros como derivas de piso y torsión en planta, obteniéndose torsión en modo 1 y 2 para dos de las viviendas analizadas, sin torsión en planta para otras dos, una presenta torsión en modo 2 y las restantes presentan torsión en modo 1; lo cual indica que solo una de las diez viviendas analizadas cumple con los requerimientos de la NEC 2015 (Silva, 2017).

Adicionalmente, todas las estructuras modeladas se sometieron a un análisis no lineal estático (pushover) con el fin de explicar su comportamiento en el rango no lineal por medio de la curva de capacidad y otros parámetros como la comparación entre el cortante de fluencia y el cortante de diseño (Silva, 2017).

Para presentar los resultados, se agruparon las estructuras de dos y tres pisos; encontrándose, que para las estructuras de tres pisos el valor de cortante de fluencia es menor que el cortante de diseño, lo que indica que las estructuras analizadas no pueden resistir las cargas mínimas especificadas en la NEC 2015. Los espectros de capacidad obtenidos de cada modelo, están por debajo del espectro de demanda de la NEC y el punto de desempeño no interseca los dos espectros; al analizar los resultados de los desplazamientos y aceleraciones espectrales se concluye que puede esperarse un daño considerable en las estructuras analizadas, además de un valor alto de deriva (Silva, 2017).

Para las estructuras de dos pisos, se realizó el mismo análisis que para las de tres pisos, en donde tres de sus cinco modelos presentan una falla frágil, puesto que llegan a la fluencia sin resistir las fuerzas de diseño, mientras que los dos modelos restantes muestran un comportamiento dúctil al presentarse la

fluencia luego de resistir la fuerza cortante de diseño; sin embargo, al analizar los desplazamientos y aceleraciones espectrales se concluye que se espera un daño considerable para estas viviendas. Así también, considerando los registros de Manta, Pedernales y Portoviejo se realizó un análisis no lineal dinámico y se obtuvieron las gráficas tiempo versus desplazamiento para varios nudos con el fin de poder calcular la irregularidad torsional según se indica en la Norma Ecuatoriana de la Construcción; estos resultados se compararon con los obtenidos por medio del análisis lineal elástico, encontrándose que son similares en un 70% en lo que se refiere a la magnitud de los resultados (Silva, 2017).

Por medio del software comercial SAFE (Computers and Structures Inc. CSI Spain, s.f.), se realizó la modelación de la cimentación de todas viviendas (zapatas aisladas), una vez concluido el análisis se determinó que la cimentación existente no es suficiente, debido a que las zapatas superan la presión admisible de suelo; por lo tanto, se concluye que es necesario realizar un reforzamiento estructural que permita dar solución a los problemas de presión y punzonamiento (Silva, 2017).

Aplicando el formato de evaluación rápida descrita en párrafos anteriores, se asignó el puntaje de evaluación a cada vivienda, el cual se encuentra entre 10 a 13 puntos que corresponden a una vulnerabilidad media y una propuesta de reforzamiento que consiste en encamisado más un enchapado mampostería y un refuerzo de CFRP que puede ser opcional; todo esto permitirá eliminar el comportamiento frágil que presentan las estructuras ante el análisis estático no lineal (Silva, 2017).

Todos los estudios presentados constituyen un aporte significativo puesto que muestran de una forma clara la manera de aplicar la metodología, de tal modo que se pueda replicar el procedimiento en otras ciudades del país. Por un lado, se indican los avances investigativos en la ciudad de Quito dentro del proyecto South America Risk Assessment (SARA), mientras que por otra parte, se muestra el proceso para construir un modelo de exposición que, si bien es cierto es un proceso largo y que requiere de experiencia por parte del investigador, resulta de mucha utilidad para conocer las principales características estructurales de las edificaciones de una ciudad además de establecer el costo de reposición ante la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico. Global Earthquake Model (GEM) proporciona la aplicación IDCT do survey de manejo sencillo que permite recopilar toda la información.

Otra de las investigaciones realizadas mediante la metodología SARA (Silva, 2017), analiza un número menor de edificaciones y crea un formulario propio que califica a la estructura y determina su grado de vulnerabilidad, además de sugerir una alternativa de reforzamiento para cada vivienda analizada y finalmente define un manual para realizar estos reforzamientos, lo cual resulta de gran utilidad para realizar evaluaciones rápidas puesto que, mediante el puntaje obtenido por la estructura sugiere un tipo de reforzamiento que se puede aplicar.

### 3. VULNERABILIDAD SÍSMICA SEGÚN OTRAS METODOLOGÍAS

El procedimiento de detección visual rápida conocida también por sus siglas en inglés como RVS constituye un método desarrollado para identificar, inventariar y examinar los edificios que son potencialmente peligrosos (punto de vista sísmico). En caso de ser considerados como peligrosos, estos edificios deberán evaluarse por un profesional con especialidad en diseño sísmico. El procedimiento RVS usa una metodología de estudio “de acera” de un edificio y un formulario de recolección de datos que es llenada por la persona que realiza la evaluación con base en la observación visual del edificio desde el exterior y si es posible, desde el interior. El formulario consta de dos páginas con espacio para incluir la información de identificación del edificio como su uso y tamaño, una fotografía, bocetos y datos relacionados con el comportamiento sísmico; con los datos recogidos se calcula una puntuación que muestra un indicio del comportamiento sísmico esperado del edificio (FEMA P-154, 2015).

Esta metodología se ha aplicado para varios estudios en el Ecuador y comparada con otros métodos, se ha realizado la evaluación de edificaciones públicas individuales con el fin de identificar su nivel de vulnerabilidad, este es el caso de la evaluación del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la Universidad Central del Ecuador utilizando las metodologías FEMA 154, FEMA 310 y el método italiano denominado: Bendetti-Petrini. Para ello, se realizó una vista preliminar al sitio para identificar datos generales y particulares de la edificación como el año de inicio de la construcción, número de plantas, ocupación, descripción de los bloques que la conforman entre otros. Así también se recopiló información de elementos estructurales (sección, armadura longitudinal y transversal), además de identificar las patologías presentes en la estructura ya sea causadas por defectos, daños o deterioro. Para determinar el período de vibración ambiental, se utilizó un equipo que funciona como un acelerómetro-velocímetro de tres componentes ortogonales MEMS de rango +- 4g con una frecuencia de respuesta DC-45 HZ y amortiguamiento crítico de 0.7. De esta manera, se pudo obtener las gráficas: velocidad versus número de pulsaciones y amplitud versus frecuencia en las direcciones norte y este para cada bloque (Cueva, 2017).

Aplicando la metodología FEMA P-154, se alcanzaron puntajes de 2.3 y 1.8 que corresponden a media y alta vulnerabilidad, respectivamente. Por otro lado, para el método FEMA 310, se requirió de recopilación de información general, es decir, información del sistema estructural y no estructural, ocupación del edificio y tipo de suelo. El nivel de desempeño elegido corresponde a ocupación inmediata y una región de sismicidad alta, así, se procede a aplicar las listas de verificación indicando si cada parámetro cumple, no cumple o no aplica. Una vez aplicadas las listas de verificación, se procedió con el nivel 1 de evaluación que implicó la modelación de la estructura con el programa SAP2000, incluyendo el cálculo de la fuerza sísmica según FEMA 310 y la distribución del cortante basal. Para el nivel 2, se aplicó el análisis estático lineal obteniéndose los mismos resultados que para el análisis nivel 1 (Cueva, 2017).

Para la aplicación del método italiano (Benedetti-Petrini), se determinó la organización del sistema resistente considerando criterios relacionados con: calidad de la mampostería, área de ventanas, relación altura-espesor y relación área de columnas ancho de mampostería adyacente, asignándose la clase C para el parámetro de organización del sistema resistente; en cuanto a la calidad del sistema resistente se consideró la calidad del hormigón, morteros y mano de obra, y se escogió para este parámetro la clase B. En lo que se refiere a la resistencia convencional, se asigna la clase A, así como también a la posición del edificio y cimentación considerando la dureza del terreno, la presencia de muros de contención en uno de los bloques y la ausencia de fisuras por hundimientos o asentamientos. De la misma manera, ocurre con las losas cuya clase asignada es A, la configuración en planta y elevación corresponde a las clases A y B respectivamente, así se evalúan otros parámetros que permiten calcular el índice de vulnerabilidad de cada bloque, de lo cual se obtiene que para todos los bloques analizados se tiene una vulnerabilidad media (Cueva, 2017).

Del mismo modo, los estudios de vulnerabilidad sísmica se han realizado para viviendas unifamiliares aplicando el método de inspección visual del FEMA P-154 para una zona urbana residencial ubicada en la parroquia Anconcito del cantón Salinas en la provincia de Santa Elena, por considerarla una zona vulnerable en el perfil costanero del Ecuador. Se encontró que las viviendas en el sector presentan características estructurales similares a las edificaciones que colapsaron en el sismo de abril de 2016, así como también la utilización de distintos materiales para elementos constructivos en una misma vivienda, así existen: viviendas de estructura de hormigón, madera, estructuras mixtas, albañilería sin confinar, viviendas de caña de 1 a 4 pisos. Las estructuras en mención se clasificaron de conformidad con los sistemas estructurales propuestos en el Manual FEMA P-154, se utilizó el formulario de muy alta sismicidad para obtener el índice de vulnerabilidad “S” de 40 viviendas de la zona 3 (según el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Salinas); obteniéndose que el mayor porcentaje son usadas únicamente para viviendas y un 28% para vivienda y comercio. El 70% realizó un aumento luego de su construcción y la totalidad de las viviendas fueron construidas en un suelo tipo E antes de que la actual normativa se encuentre vigente, lo cual indica que las edificaciones no fueron realizadas bajo criterios técnicos actualizados y que las viviendas se encuentran expuestas a gran peligro (Vargas et al., 2018).

En cuanto a las tipologías encontradas, el 40% corresponde al pórtico de hormigón albañilería no reforzada, el 30% a una combinación de pórtico de madera ligera de uno o más pisos y de albañilería no reforzada y el 30% restante se reparte entre las edificaciones de madera, hormigón, estructura metálica y sus combinaciones. En lo que se refiere a patologías estructurales, en el 83% de las edificaciones puede darse un posible golpeteo entre edificios, puesto que la mayor parte de ellas se encuentran adosadas en los linderos laterales y el 2% se encuentra en riesgo de caída entre edificios adyacentes ya que están construidos a un mismo nivel de piso o no existen edificaciones de mayor altura a los lados. De todas las viviendas analizadas, un 75% muestra daño importante o deterioro en su sistema estructural; así también el valor “S” es

menor a dos lo que indica que las viviendas son vulnerables y que requieren una evaluación con mayor detalle (Vargas et al., 2018).

La metodología FEMA P-154 se ha utilizado junto con otros métodos para evaluaciones de vulnerabilidad sísmica y riesgo sísmico, como el propuesto por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), en donde se evaluaron 50 edificaciones típicas en la isla Isabela en Galápagos. Para la recolección de datos se utilizaron 3 formatos: el nivel 1 y 2 de la metodología FEMA y un nivel 1 del método FUNVISIS, que ayudaron a recoger información agrupada en: información básica que contiene identificación y dirección, año de diseño y/o construcción, esquema en planta y elevación, configuración estructural, detalles no estructurales, irregularidades, amenazas geotécnicas, estado de mantenimiento, construcción formal o informal, fotografías y uso y número de ocupantes; se realizó un formato adaptado del formulario FUNVISIS con cuya información se calcularon los índices de amenaza, vulnerabilidad y priorización (Vargas et al., 2018).

Para la metodología FEMA P-154, se utilizó el formulario de nivel 1 y de nivel 2 el cual recogerá datos estructurales adicionales que afectan al riesgo y proporciona un ajuste de los modificadores de puntaje. Así también fue realizada una equivalencia con la Norma Ecuatoriana de la Construcción mediante el uso del espectro elástico de diseño horizontal de aceleraciones y, según la altura de las edificaciones y el tipo de suelo, se obtuvo la aceleración espectral de respuesta en periodo corto y se estableció que la sismicidad de la región es moderada alta. Se encontraron 5 tipologías estructurales de acuerdo con esta metodología que son: C3 (pórtico con tabique de mampostería de relleno), C1 (pórtico de concreto resistente a momento), W1 (pórtico de madera ligera para vivienda unifamiliar), RM1 (mampostería reforzada con piso rígido) y URM (mampostería no reforzada) (Vargas et al., 2018).

Una vez evaluada la muestra de edificaciones, se obtuvo que según la metodología FEMA el 52% de las edificaciones requiere una evaluación más detallada, se identificó, además que en algunos casos los resultados difieren entre la metodología FEMA y FUNVISIS puesto que la metodología venezolana considera parámetros adicionales y castiga varias irregularidades mientras que FEMA toma en cuenta únicamente dos modificadores al puntaje básico. Según los resultados de la metodología FUNVISIS, el 34% de las edificaciones evaluadas tiene una vulnerabilidad muy elevada, el 28% elevada y el 34% media alta y alrededor del 72% de las estructuras evaluadas corresponde a rangos de riesgo elevados y muy elevados. Por lo tanto, se concluye que en el Ecuador es posible aplicar ambas metodologías para inspeccionar y evaluar vulnerabilidad sísmica y riesgo, mediante la adaptación de dos formatos de recolección de datos que permiten recolectar información de las características estructurales y no estructurales de las edificaciones analizadas (Vargas et al., 2018).

### 3. CONCLUSIONES

Los trabajos aquí presentados constituyen una parte de los estudios realizados en Ecuador sobre vulnerabilidad sísmica a partir de inspección visual de estructuras utilizando la metodología presentada en el proyecto SARA, la metodología FEMA y la metodología propuesta por FUNVISIS. Una de ellas, el proyecto SARA, que se sigue desarrollando hasta la actualidad en la ciudad de Quito, proporciona una metodología innovadora para describir una edificación considerando sus características estructurales más importantes y la presenta a manera de código que, una vez que el usuario se familiarice con la taxonomía de GEM, podrá identificar la edificación y enmarcarla dentro de una tipología pudiendo así determinar el número de tipologías presentes dentro de una ciudad. Sin embargo, la construcción del modelo de exposición requiere contar con información que puede obtenerse de censos y bases de datos catastrales, que es recomendable que sean actualizados puesto que, de este parámetro depende en gran medida la precisión del modelo levantado.

FEMA y FUNVISIS proporcionan formularios que resultan útiles para realizar una inspección visual rápida y tener un indicio de las patologías presentes en una estructura, que si bien es cierto, se requerirá una evaluación más detallada con el estudio de planos y el uso de equipos que permitan analizar de una mejor manera el comportamiento de una estructura, con lo que se podrá determinar al menos el número de viviendas más vulnerables y con esta información se pueda empezar a trabajar en planes de reforzamiento estructural y mitigación de riesgo.

Las metodologías analizadas constituyen una alternativa útil para una evaluación preliminar de vulnerabilidad, considerando que tanto FEMA P-154, NEC-15, FUNVISIS y la aplicación IDCT do survey consideran los mismos parámetros como: el año de construcción, fechas de remodelaciones y patologías presentes en la estructura; sin embargo la aplicación mencionada, recopila más características como material de piso y techo, además del material predominante en la estructura; de acuerdo con los datos ingresados se obtiene la taxonomía correspondiente. FEMA P-154 y NEC-15 utilizan puntajes básicos de acuerdo a la tipología estructurales, estos se modifican de acuerdo a los datos ingresados en el formulario y se obtiene un puntaje final que califica a la estructura como alta, media o baja vulnerabilidad. Finalmente, FUNVISIS utiliza la información recopilada para el cálculo de índices de riesgo que ubican a la estructura en estas mismas categorías de vulnerabilidad. Por lo tanto, cada una de las metodologías presentadas son complementarias puesto que cada una incluye información relevante acerca de la estructura lo cual resulta útil al momento de determinar su grado de vulnerabilidad mediante una inspección visual.

El Ecuador, al ser calificado como un país multiamenazas, está expuesto a sufrir las consecuencias de eventos sísmicos, por lo cual se hace necesario la realización de estudios de vulnerabilidad sísmica que permitan conocer la situación actual de las edificaciones existentes con el fin de ubicarlas en un nivel de vulnerabilidad y proponer planes de reforzamiento



para aquellas estructuras que lo requieran y de este modo, alcanzar un comportamiento aceptable ante un evento sísmico.

## REFERENCIAS

- Ayala C., Almazán J. (2015). *Modelo Celosía No-lineal para muros de albañilería armada de bloque con relleno parcial*. XI Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica, paper N° 195. DOI:10.13140/RG.2.1.2985.2885
- ATC 20-2 Rapid Evaluation Safety Assessment Form. (2005). *ATC-20 Building Safety Evaluation Forms and Placards*. Obtenido de <https://www.atcouncil.org/pdfs/rapid.pdf>
- Caballero, A. (15 de Julio de 2007). *Determinación de la Vulnerabilidad Sísmica por medio del Método del Índice de Vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el Centro Histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del Sistema de Información Geográfica*. [Tesis Maestría]. Sincelejo: Universidad del Norte.
- Cabezas, J. (17 de Agosto de 2016). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Edificio de la Facultad de Comunicación Social, de la Universidad Central del Ecuador, utilizando la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-RE, 2015)*. [Tesis ingeniería] Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Celi, C., Pantoja, J., Ayala, C., & Sosa, D. (2016). *Capacity Curves of Structural Typologies of Quito - Ecuador, Project GEM* -. Revista PUCE, 41-79.
- Chicaiza, M. (Junio de 2017). *Modelo de Exposición y Mapa de Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*. [Tesis Ingeniería]. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Computers and Structures Inc. CSI Spain. (s.f.). *ETABS*. Obtenido de <https://www.csiespana.com/software/5/etabs#>
- Computers and Structures Inc. CSI Spain. (s.f.). *SAFE*. Obtenido de <https://www.csiespana.com/software/8/safe#>
- Crisafulli F.J. (1997) *Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills*. [PhD Thesis]. University of Canterbury, New Zealand.
- Cueva, C. (2 de Marzo de 2017). *Vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la UCE con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE-RE 2015)*. [Tesis Ingeniería]. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Egred, J. (2000). *El Terremoto de Riobamba Tomo 2*. Riobamba: Ediciones Abya-Yala.
- Espinoza, J. (1992). *Terremotos Tsunamigénicos en el Ecuador*. Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR Ecuador 7(1), 21-28.
- FEMA P-154. (Enero de 2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation*, third edition.
- FEMA P-155. (Enero de 2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*, third edition.
- Fernández, I., Gómez, A., Carchipulla, N., Bonucci, Y., & Pavón, M. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de 97 edificaciones de la "Comuna Santa Clara de San Millán"*, Quito. EÍDOS UTE Revista.
- Fernández, J., Valverde, J., & Yepes, H. (1995). *Proyecto para el manejo del Riesgo Sísmico de Quito*. Quito.
- IG EPN. (4 de Mayo de 2016). Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de: *Observaciones del sismo del 16 de abril de 2016 de magnitud mw 7.8. Intensidades y aceleraciones*: <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016>
- IG EPN Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. (s.f.). Obtenido de Descarga de registros acelerográficos: <https://www.igepn.edu.ec/registros-acelerograficos/formulario-registros-acelerograficos>
- IG EPN. (31 de Enero de 2011). Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de: *¿A 105 años del terremoto y tsunami de Esmeraldas, está Ecuador preparado para un viento similar?*: <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/344-a-105-a%C3%B1os-del-terremoto-y-tsunami-de-esmeraldas-%C2%BFest%C3%A1-ecuador-preparado-para-otro-evento-as%C3%AD?>
- Moncayo, 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, 55-64.
- OPENQUAKE. (s.f.). SARA Wiki. Obtenido de <https://sara.openquake.org/risk>
- Panagiotou, M., (2012). Nonlinear cyclic truss Model for reinforced Concrete Walls. *ACI Structural Journal. Technical Paper*: 109(2), 205–214.
- Quinde, P., & Reinoso, E. (Abril de 2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Revista de Ingeniería Sísmica*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.mx>
- Reinhorn A.M, Madan A., Valles R.E., Reichmann Y., Mander J.B. (1995). *Modeling of masonry infill panels for structural analysis*.
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremotos en Ecuador*. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Silva, J. (Junio de 2017). *Guía de Reforzamiento para estructuras informales aperticadas según estudio de vulnerabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito*. [Tesis Ingeniería]. Sangolquí, Pichincha, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Smyrou E., Blandon C.A., Antoniou S., Pinho R., Crisafulli F. (2011). Implementation and verification of a masonry panel model for nonlinear dynamic analysis of infilled RC frames. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9, 1519–1534. DOI 10.1007/s10518-011-9262-6.
- Torres, J. (2017). *Estado central, gobierno local y población ambateña en la reconstrucción de la urbe tras el terremoto del 5 de agosto de 1949*. [Tesis Maestría]. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Andina Simón Bolívar.

- Udías, A. (1998). *Introducción: sismicidad y sismotectónica de América Central y Sur*. Física de la Tierra, 11-17.
- Vargas, M., Arroyo, J., & Vizconde, A. (2018). Vulnerabilidad sísmica de viviendas unifamiliares existentes de una Zona Urbano- Residencial en Anconito, Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 3(ICCE2018), 10-15. <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3issICCE2018.2018pp10-16p>.
- Vizconde, A., & Delgado, R. (2018). Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones existentes en la Isla Isabela, Galápagos. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 3, 102-109.
- Williams, S.A., (2013). *Numerical Analysis of Reinforced Masonry Shear Walls Using the Nonlinear Truss Approach*. Thesis Master of Science in Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.

## BIOGRAFÍAS



**Fabiana Elizabeth Cunalata Vásquez**, Ingeniera Civil graduada como mejor estudiante en la Universidad Técnica de Ambato. Egresada del programa de Maestría en Investigación en Ingeniería Civil mención Estructuras de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Con amplia experiencia en Seguimiento y

Control de Construcciones, desempeñándose actualmente como investigadora en el área de Estructuras enfocado en Vulnerabilidad Sísmica, además de ser miembro consultor en el comité de actualización de la Norma Ecuatoriana de la Construcción en los capítulos de peligro sísmico y reforzamiento estructural. Manteniendo una preparación continua en pro de impulsar el interés en el área sísmica dentro del país.



**Pablo Enrique Caiza Sánchez**, PhD en Ingeniería Civil en la Universidad de Illinois en Urbana- Champaign en el año 2012. Siendo primer becario Fulbright y luego Asistente de Investigación, siendo además Asistente de Docencia en varios cursos de estructuras. Previamente obtuvo su M.Sc. en Estructuras en la Escuela

Politécnica Nacional de Quito, fue el mejor graduado de Ingeniería Civil en la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE). También realizó cursos de posgrado en la Middle Tennessee State University en los Estados Unidos de Norteamérica, y en la Fachhochschule Hildesheim-Holzminden en Alemania. Actualmente trabaja en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.