

ANALYSIS OF PHYSICAL VULNERABILITY TO SEISMIC EVENTS.
ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA FREnte A EVENTOS SÍSMICOS.

Autores:

Ing. Mónica Acosta Bailón
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Correo: macosta5004@utm.edu.ec
ORCID DEL AUTOR: <https://orcid.org/0000-0002-7022-0485>

Dr. Santiago Quiroz Fernández, PhD
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Correo: santiago.quiroz@utm.edu.ec
ORCID DEL AUTOR: <https://orcid.org/0000-0002-2962-0583>

Fechas de:
Recepción: 11-NOV-2021 Aceptación: 24-NOV-2021 Publicación: 15-DIC-2021
ORCID DE LA REVISTA <https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>
<http://www.mqrinvestigar.com/>

RESUMEN

Ecuador, al encontrarse ubicado dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico y considerando que se localiza en el borde de la zona de subducción, donde convergen la placa de Nazca y la placa Sudamericana, constantemente ocurren terremotos, ocasionados por sismos mayores a 6.2Mw los que han puesto en muy alta vulnerabilidad a las regiones continentales y han ocasionado pérdidas económicas y de vidas humanas, como el terremoto ocurrido el 16 de abril 2016, en las provincias de Manabí y Esmeraldas. En ese sentido, el presente trabajo de investigación, basado en enfoque metodológico de revisión bibliográfico documental, analiza los factores de vulnerabilidad física existentes. La vulnerabilidad física en las edificaciones, estudia los riesgos sísmicos, analiza los fenómenos de origen sísmico, realiza una sistematización de la teoría de expansión de los fondos oceánicos, revisa la reducción de la vulnerabilidad estructural en edificaciones, evalúa la vulnerabilidad física y define las categorías de peligro o amenaza sísmica.

Palabras clave: vulnerabilidad física; vulnerabilidad sísmica; terremoto; riesgos sísmicos; estudio morfológico.

ABSTRACT

Ecuador, being located within the Pacific Belt of Fire and being located at the edge of the subduction zone, where the Nazca plate and the South American plate converge, earthquakes constantly occur, caused by earthquakes greater than 6.2Mw which have put in very high vulnerability to the continental regions and have caused economic and human losses, such as the earthquake that occurred on April 16, 2016, in the provinces of Manabí and Esmeraldas. In this sense, the present research work, based on a methodological approach of literature review, analyzes existing physical vulnerability factors, physical vulnerability in buildings, studies seismic risks, analyses seismic phenomena, systematizes the theory of ocean floor expansion, reviews the reduction of structural vulnerability in buildings, evaluates physical vulnerability and defines the categories of seismic hazard or threat.

Keywords: physical vulnerability; seismic vulnerability; earthquake; seismic risk; morphological study.

INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la humanidad el ser humano se ha enfrentado a grandes desastres naturales. En los últimos años se ha dado origen a estudios y teorías de cómo hacer frente a las grandes amenazas identificando las debilidades más evidentes. Los terremotos ocupan el tercer lugar de los desastres naturales y en términos del número de víctimas mortales ocasionadas, pues cobraron la vida de 233.000 personas entre 1998 y 2017 según el informe de UNISDR (2018).

Por su parte, Ecuador es uno de los puntos calientes de desastres en el mundo, por estar expuesto a amenazas geológicas, ya que por su ubicación es un país con una sismotectónica particular al encontrarse ubicado dentro del cinturón de fuego del Pacífico, lugar donde se libera el 90% de la energía del planeta. Se entiende como alta demanda sísmica, a la probabilidad de que en un sitio de interés se excedan ciertos valores de intensidad en un lapso dado.

Además, el Ecuador está atravesado por una gran falla geológica en el borde continental, producto de la subducción de la placa de Nazca en el océano, con la placa Sudamericana. Este proceso origina fracturas que causan movimientos sísmicos; la intensidad con la que la población siente el temblor y su grado de destrucción depende de la profundidad.

Por lo cual es de gran importancia analizar la situación actual y determinar el grado de vulnerabilidad física luego del terremoto del 16 de abril del 2016 y si estos resistirían otro evento de las mismas características.

METODOLOGÍA

Con la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD 2012 se analizaron las instalaciones físicas del Estadio Reales Tamarindos para determinar el grado de susceptibilidad frente a los sismos.

La aplicación de la metodología del PNUD 2012 se encuentra basada en matrices estandarizadas de las que se obtiene la vulnerabilidad física del objeto de estudio.

De esta forma, se analizaron las instalaciones físicas del Estadio Reales Tamarindos para determinar el grado de susceptibilidad frente a los sismos. Para llevar a efecto el estudio se requirió información digitalmente referenciada como: plano planimétrico, datos históricos, fichas técnicas y se pondera según las variables estandarizadas tales como: sistema estructural, tipo de material de construcción, tipo de cubierta, sistema de entrepisos, año de construcción, estado de conservación, características del suelo, topografía del terreno y forma de la construcción.

La importancia de la realización de este trabajo es conocer la vulnerabilidad física del escenario deportivo más importante de la ciudad de Portoviejo como es el Estadio Reales Tamarindos con capacidad de albergar aproximadamente a 20.000 personas frente a un sismo de similares características como el ocurrido el 16 de abril del 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Vulnerabilidad física en las edificaciones: análisis de los riesgos sísmicos

La vulnerabilidad física es un tema que ha motivado innumerables estudios, investigaciones y proyectos debido a su pertinencia y fundamental importancia. A fin de poder establecer la susceptibilidad de un elemento bajo riesgo de sufrir daño ante un fenómeno de amenaza, la vulnerabilidad física puede establecerse funcionalmente como la relación entre el nivel de exposición del elemento tomado como la intensidad prevista o esperada de una amenaza específica en el sitio del elemento. En cambio, la resistencia se entiende como la capacidad de carga límite que el elemento ofrece ante la acción del fenómeno amenazante y que determina su funcionalidad.

Algunos autores como Safina (2003), consideran que en la actualidad un alto porcentaje de edificaciones esenciales carecen de consideraciones sismorresistentes. Los códigos de diseño sísmico básicamente se han limitado a elevar los niveles de fuerzas de diseño como estrategia para reducir el nivel de riesgo de estas y otras instalaciones calificadas de importancia vital para atender situaciones de emergencia debido a un evento sísmico. La experiencia muestra cómo en los últimos terremotos un significativo número de estas instalaciones han sufrido daño en mayor o menor grado, de manera que han reducido su capacidad de prestar servicio generando un escenario crítico para la atención de desastres.

En referencia a la vulnerabilidad física de cualquier sistema ambiental que se desarrolla sobre el planeta tierra, la investigación de Dorados (2013) sostiene:

Como punto de partida, se considera como vulnerabilidad física al grado de pérdida o de daño de un sistema o de un conjunto de sistemas bajo riesgo ante la acción de un fenómeno natural de cierta intensidad (magnitud) y se puede calificar

invertir desde no daño, 0 (0% de daño) a daño o destrucción total, del 100 % de daño (p. 23).

Según Climent *et al.* (2003), el análisis cualitativo de la vulnerabilidad física puede basarse en consideraciones sobre el comportamiento de los diferentes sistemas constructivos ante sismos, calidad del diseño y construcción, edad y en relaciones empíricas desarrolladas a nivel mundial referentes al nivel de daños esperados de acuerdo con el tipo de estructura y el nivel de intensidad sísmica.

En este sentido, según Zuccaro *et al.* (2008) resulta indispensable tomar en consideración lo siguiente:

invertir mayores esfuerzos en la evaluación de la respuesta estructural, el mecanismo de falla y el grado de daño de las edificaciones, teniendo en cuenta tratamientos analíticos y de simulación, ensayos de laboratorio y análisis sobre experiencias de daños observados que tengan en cuenta el estado de cada uno de los componentes a fin de tener resultados validados y más ajustados a la realidad (p. 417).

Por ello, un estudio de Torres *et al.* (2017) señala que el análisis de vulnerabilidad física solamente concierne a lo que tiene que ver con el impacto en la calidad de la obra de construcción, en sus elementos o materiales en cuanto a una disminución significativa de su resistencia. Mientras que Zuccaro *et al.* (2008) aduce que el estado general de la estructura hace referencia a la calificación del estado de conservación.

Por otra parte, Fernández (2012) expresa que deben tomarse aspectos relevantes como las características de ocupación de las instalaciones, el preponderante papel que ejercen durante la atención de una crisis sísmica, el carácter vital y estratégico de la preservación de su funcionalidad, las características de equipamiento y contenido, así como los elevados costos de reposición de daños. Todo ello hace que las edificaciones requieran consideraciones especiales en relación con la mitigación del riesgo sísmico y que las estrategias hasta ahora adoptadas no sean suficientes para reducirlo.

En este contexto, para Ordaz *et al.* (2020), la vulnerabilidad constituye aquella variable en que quienes toman decisiones pueden influir, especialmente cuando se analiza un espacio geográfico ya construido en condiciones de peligro sísmico evidente. La sismicidad es un fenómeno principalmente de génesis tectónica y cuyos efectos hay que abordarlos desde diferentes perspectivas que afectan a la población. En cuanto a la vulnerabilidad estructural por este tipo de eventos se debe tomar en cuenta el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultando de la probable ocurrencia de un evento sísmico desastroso. Es una condición intrínseca de la estructura a sufrir daños ante la ocurrencia de un evento determinado, y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño.

De acuerdo con lo anterior, Iglesias *et al.* (2006) indican que la vulnerabilidad estructural constituye un problema de gran complejidad que ha de ser abordado de diferentes formas

en función de la escala de trabajo, tipo de cimentación, antigüedad, altura del edificio, su geometría en planta, respuesta del terreno, distribución de masas, relación con otros edificios, entre otros aspectos.

En la actualidad, una de las soluciones a este serio problema, ha sido la introducción de métodos empíricos. Se fundamentan en la experiencia recopilada sobre el comportamiento de las diferentes estructuras frente a un terremoto. Martínez (2014), le asigna clases de vulnerabilidad a cada tipología constructiva, en una escala cualitativa o numérica. Un ejemplo, es la clasificación de vulnerabilidad propuesta en la Escala Macrosísmica Europea EMS-98, la cual adopta clases desde la A (más vulnerable) hasta la F (menos vulnerable).

Existe una estrecha relación entre los materiales empleados y el diseño constructivo, con las posibilidades de que una estructura sufra daños frente a una solicitud sísmica. Por ello, es evidente que la menor o mayor vulnerabilidad física de las edificaciones es un reflejo de la calidad del diseño civil ante sismos y de los métodos constructivos utilizados. Además, es notorio que la vulnerabilidad de las edificaciones estará influenciada por su edad y el aspecto o condición física aparente, de tal forma que edificaciones más viejas y más deterioradas presentarán mayor vulnerabilidad y lo contrario en el caso de edificaciones más recientes y de una buena condición física.

Fenómenos de origen sísmico

La superficie de la tierra se encuentra en permanente transformación. De acuerdo con Martínez (2016), las 12 placas en que está dividida la tierra se separan, se deslizan una al costado de la otra o chocan frontalmente, como en la costa oeste de Sudamérica donde la placa de Nazca subduce o se introduce debajo de la placa Sudamericana.

Cuando la enorme energía que acumulan los movimientos relativos de las placas se libera súbitamente, genera sismos que se propagan espacialmente en todas direcciones. Según explica Moncayo (2017), las ondas sísmicas se amplifican en diverso grado; si los suelos son sueltos y húmedos, las ondas sufren un gran incremento. Igualmente, si el hombre construye viviendas vulnerables de adobe, éstas colapsan y causan la muerte de sus ocupantes. Durante el siglo XX se han construido millones de viviendas vulnerables sin tener en cuenta las características del suelo. En el siglo XXI tenemos el enorme desafío de reforzar estas débiles viviendas y construir las nuevas en lugares adecuados y con técnicas sismorresistentes.

Antes de la década de 1960, las investigaciones en varios campos de las ciencias de la Tierra habían avanzado y subsistían interrogantes para las que no había respuestas satisfactorias. Explica Paredes (2015), que la teoría de la Deriva de los Continentes, propuesta por el meteorólogo alemán Alfredo Wegener en 1912, sostenía que en sus comienzos, hace 200 millones de años aproximadamente, los continentes formaban una gran masa única, Pangea, que después se fraccionaría hasta llegar a formar lo que son actualmente los diversos continentes. Wegener propuso su teoría basado principalmente en la continuidad biológica del pasado remoto, pues los restos fósiles en continentes muy alejados entre sí y con climas diferentes en la actualidad, indicaban que la vida animal y vegetal había sido muy similar en aquella época. Otro hecho que llamó notablemente su

atención, fue la semejanza del contorno de la costa occidental del África y la costa oriental de Sudamérica.

Resultados de estudios efectuados posteriormente reforzaron la propuesta de Wegener, al encontrarse que también hay continuidad geológica entre África y Sudamérica.

Por su parte, Ordaz (2021) señala que hay otras interrogantes a considerar, como, por ejemplo, la forma en que los sismos sólo se producen en angostas franjas de la Tierra.

La teoría del Rebote Elástico propuesta por Reíd en 1910 después del terremoto de San Francisco de 1906, afirma que cuando una parte de la superficie terrestre se desplaza de manera continua respecto a una zona adyacente. En este sentido, las masas de roca se distorsionan y acumulan energía, pero al llegar a su límite de resistencia, se produce la ruptura. Por esta razón, la parte distorsionada recupera su posición original y el corrimiento de una zona con respecto a la vecina se marca permanentemente en carreteras, cercos y líneas de árboles, las cuales quedan desfasadas y discontinuas.

Teoría de expansión de los fondos oceánicos

Las anomalías existentes indican que cada cierto tiempo en la Tierra se han producido inversiones en la polaridad de su campo magnético. De acuerdo con Parra (2016), las rocas volcánicas son cada vez más antiguas conforme se alejan de las dorsales; su edad puede determinarse mediante la técnica del Urano 238 ó 235 u otros elementos radioactivos de larga vida, midiendo el decaimiento de la radiación que sufren ciertos elementos radioactivos.

Según Quinde (2016), otra evidencia de la expansión de los fondos oceánicos se obtuvo estudiando la distribución y edad de los sedimentos marinos, que son escasos, de poco espesor y muy jóvenes en las cercanías de las dorsales y crecen en espesor y antigüedad de manera proporcional a su distancia dichas cordilleras.

La edad de los sedimentos puede determinarse estudiando la antigüedad de los restos orgánicos contenidos en ellos mediante la prueba del Carbono 14.

De lo anterior puede inferirse, según Honores (2015), que las rocas que conforman los fondos marinos se han formado por derrame de lava en ambos lados de las grietas al mismo tiempo y que se han ido alejando de ellas a la misma velocidad.

El magma, al ascender a gran temperatura, y enfriarse cerca de la superficie terrestre, pasa por el llamado Punto Curie. A esa temperatura el geomagnetismo que existe queda impreso permanentemente en la roca, convirtiéndose a partir de ese momento en un fósil magnético.

Reducción de la vulnerabilidad estructural en edificaciones

Cada cierto tiempo, nuestro mundo, en constante movimiento, altera dramáticamente su ritmo, originando fenómenos naturales intensos o extremos; aunque poco frecuentes, los últimos se asumen como el límite superior de cada tipo de evento. Si ocurren en zonas habitadas, pueden dar lugar a situaciones de desastre, durante las cuales los pobladores

pierden la capacidad de enfrentar el evento, razón por la cual casi siempre necesitarán de ayuda exterior para volver de manera paulatina a su vida cotidiana.

Para Vasco (2016), el peligro o amenaza es el grado de exposición de un lugar o emplazamiento a los fenómenos naturales dentro de un período determinado, independientemente de lo que sobre dicha ubicación se construya. En general, es poco y muy costoso lo que el hombre puede hacer para reducir el peligro.

Según Asimbaya y Suárez (2020), la vulnerabilidad se refiere al grado de daños que pueden sufrir las edificaciones que realiza el hombre y depende de las características de su diseño, la calidad de los materiales y de la técnica de construcción. Por ejemplo, si se construyen viviendas con pequeñas piezas de adobe y mano de obra deficiente sobre suelos donde los sismos producirán altas aceleraciones, el riesgo que resulta para las construcciones y sus habitantes es muy alto. En cambio, en las instalaciones mineras de los Ancles que están ubicadas en partes altas no amenazadas por inundaciones y cimentadas sobre roca o suelo firme, donde las ondas sísmicas sufrirán poca amplificación, el riesgo es muy bajo.

Desde la perspectiva de Espinoza (2019), el riesgo es el resultado de la exposición de la construcción hecha por el hombre, con el grado de vulnerabilidad que es inherente, frente al peligro al que se verá sometida. Esto es considerado por las compañías de seguros para fijar las primas respectivas, y las compañías reaseguradoras para decidir si aceptan o no el reaseguro y a qué costo. Estas definiciones aceptadas por la Organización de las Naciones Unidas-ONU, se refieren a facilidades o edificaciones individuales de las cuales se pueden estimar las respectivas pérdidas económicas.

El sistema resistente, que es el sistema estructural que sustenta toda la edificación, conformado por la cimentación, columnas, muros, vigas y losas de techos, debe reducir su vulnerabilidad hasta un nivel aceptable para que todos los edificios indispensables funcionen después de un evento intenso.

Demera (2016) sostiene que los elementos no estructurales para la Reducción de Vulnerabilidad se pueden agrupar de la siguiente manera:

- Elementos arquitectónicos, como muros de relleno interiores (divisiones) y exteriores (fachada), puertas, ventanas, acabados, tarrajeo, cobertura cerámica de pisos, muros, cielos rasos y techos (tejas).
- Equipos y mobiliarios, equipo industrial y mecánico, muebles de oficina, estanterías, archivos
- Instalaciones básicas, servicio de agua, energía, gases médicos, vapor, comunicaciones internas y externas, aire acondicionado, tuberías en general.

En la actualidad se ha tratado de reducir los riesgos y la vulnerabilidad estructural con la implementación de la metodología InSAR, que estudia el área morfológica del terreno y las huellas pasadas borradas por el crecimiento del urbanismo. De esta forma, se obtuvo una Vulnerabilidad Alta. Además, la metodología del PNUD que realiza un análisis físico de varios aspectos característicos de las edificaciones se indica una Vulnerabilidad Baja. En este sentido, en el presente estudio se determina que el Estadio Reales Tamarindos de la

ciudad de Portoviejo presenta Vulnerabilidad Media para la amenaza sísmica para terremotos mayores o de similares características que el ocurrido el 16 de abril 2016.

Evaluación de la vulnerabilidad física

La evaluación puede realizarse de diferentes formas, una es la llamada vulnerabilidad observada, que es mediante observación y levantamiento de planos del estado de fisuración o daño real producido por terremotos, y su posterior estudio estadístico. La vulnerabilidad también puede cuantificarse mediante el cálculo de la respuesta sísmica no lineal de estructuras, caso en el que se denomina vulnerabilidad calculada o simulada. El resultado más importante de un cálculo de este tipo es un índice de daño que caracteriza globalmente la degradación de una estructura sometida a terremotos.

De acuerdo con Martínez (2014), el primer paso de un estudio de vulnerabilidad consiste en definir su naturaleza y alcance, lo cual está condicionado por varios factores, tales como: el tipo de daño que se pretende evaluar, el nivel de amenaza existente en la zona, la información disponible sobre las estructuras, entre otras. Cuando todos estos factores se tengan, se prosigue a determinar la vulnerabilidad de las estructuras por medio del método escogido. Para la determinación de la vulnerabilidad estructural, existen métodos de análisis cualitativos y cuantitativos o analíticos de distintos grados de complejidad, en concordancia con el objetivo que se persigue al determinarla.

Según Chasi *et al.* (2018), la evaluación de la vulnerabilidad física se logra al valorizar las subvariables que intervienen en un sistema estructural como tipo de materiales de las paredes, número de pisos, características del suelo bajo la edificación, la topografía. Esto permite determinar el nivel de vulnerabilidad de cada predio. Mediante la elaboración de un mapa de vulnerabilidad física, se conoce de forma específica las zonas que se encuentran con un nivel alto, medio o bajo, según la topografía, la forma de construcción y el sistema estructural. Como principal estrategia para la aplicación de una medida de reducción es importante identificar las zonas susceptibles por la inestabilidad del suelo. Para ello se deben establecer medidas estructurales y no estructurales que se consideran como indispensables y prioritarios con el fin de prevenir riesgos a futuros.

Mientras que un estudio de Navarro *et al.* (2017), se indica que la evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura es un requisito previo a la implementación de las soluciones de mitigación de desastre. Para esto es necesario conocer adecuadamente las amenazas a que está expuesta la infraestructura. Esta es una labor de investigación en la que interviene un equipo profesional multidisciplinario. Además, la evaluación de la vulnerabilidad debe seguir este proceso: recolección de la información existente, levantamiento de amenazas en el campo, determinación de la zona de mayor peligro, inventario de la infraestructura vial y análisis de la vulnerabilidad de la infraestructura.

Para Caballero (2007), el concepto de vulnerabilidad sísmica es indispensable en estudios sobre riesgos sísmicos y para la mitigación de desastres por terremotos. La mitigación de desastres, en el ámbito de la ingeniería, corresponde a la totalidad de las acciones que

tienen como objetivo la mejora del comportamiento sísmico de los edificios de una zona, a fin de reducir los costos de daños esperados durante el terremoto.

Así, es evidente de acuerdo con Bonett (2003) que, para mitigar el riesgo sísmico de una zona, es necesario disminuir la amenaza, la vulnerabilidad y el costo de reparación de las estructuras afectadas.

En este sentido, Dorados (2013) señala que aplicaciones de los estudios de vulnerabilidad en entornos urbanos, debe considerar tanto los aspectos estructurales como los funcionales, operativos y urbanos, para que puedan proporcionar información útil para la prevención de desastres, la planificación y la ordenación del territorio. En este sentido, constituyen un importante punto de partida para la toma de decisiones relacionadas con la rehabilitación o demolición de edificios peligrosos.

Peligro o amenaza sísmica

Los edificios se dañan cuando las fuerzas de inercia que generan los sismos sobrepasan la resistencia de la estructura; es decir Fuerza sísmica > Resistencia de la construcción. En cuanto a la resistencia de las edificaciones de concreto reforzado, la mayoría han fallado, no porque los materiales utilizados sean débiles sino porque han tenido planteamientos estructurales y distribución de los elementos resistentes, en planta y elevación, inadecuados para resistir las fuerzas laterales de los sismos. Lo dicho se ha puesto en evidencia en puntos críticos con gran concentración de esfuerzo, como columnas y vigas cortas que fallan aun en sismos moderados. La columna corta es similar a un pesado camión con un motor potente, chasis y muelles fuertes que tuviese un eje de transmisión delgado y frágil. Tan pronto el motor le transmitiese torsión al eje, éste se rompería, debido al diseño desequilibrado.

Los parámetros más significativos que influyen en el peligro sísmico se presentan en la ubicación del epicentro, dada por sus coordenadas y su profundidad focal, con lo que queda señalada la ubicación del foco; el tamaño o magnitud del sismo; el mecanismo de generación y la direccionalidad de la propagación de la ruptura; las características del medio a través del cual viajan las ondas sísmicas; la distancia epicentral; y las características locales del sitio de observación.

De acuerdo con Espinoza y Hernández (2015), en el modelo simplificado actual, ampliamente usado a nivel internacional, debido a las incertidumbres y a lo difícil que es incluir todos los parámetros en el modelo, sólo se consideran las variables más significativas: la magnitud del sismo (M); las características locales del sitio en observación, y el decaimiento de las amplitudes de las ondas sísmicas con la distancia epicentral (D), basado principalmente en observaciones instrumentales efectuadas a diferentes distancias, con lo cual quedan incluidas de manera implícita las características del medio a través del cual viajan las ondas sísmicas.

Desde la perspectiva de Abanto y Cárdenas (2015), los estudios del grado de daños y de distribución geográfica sobre sismos ocurridos en diferentes partes del mundo en áreas

relativamente pequeñas y muy cercanas entre sí. Por ello, han dejado establecido que las condiciones locales de suelo, geología y topografía, pueden causar diferencias sustanciales en las intensidades hasta de 3 ó 4 grados en la escala de Mercalli Modificada -MM, donde los parámetros y magnitud, mecanismo de generación, distancia epicentral, profundidad focal y medio a través del cual viajan las ondas sísmicas, pueden ser considerados comunes. Se asume, por lo tanto, que puede asumirse que tienen los mismos valores para el área estudiada.

Esta diferencia es suficiente para que, por ejemplo, en la zona menos intensa, cause daños imperceptibles en débiles construcciones de adobe; y en la zona de mayor intensidad, situada a poca distancia de la anterior, provoque daños severos en modernas construcciones de concreto reforzado.

Barreto (2016) señala que a este fenómeno se le llama efecto de microzona. Este tipo de fenómeno se ha observado en diversos valles japoneses, algunos de ellos deltas densamente poblados, y con suelo muy húmedo, donde la influencia de las condiciones locales han sido notorias, como en el terremoto Hanshin-Kobe de 1995. En Latinoamérica ha sucedido algo parecido en México (1957, '79 y '85), Caracas (1967), Lima (1932, '40, '66, y '74), Guatemala (1976), Chimbote, Perú (1970), Huaraz, Perú (1970), Chile (1985), Armenia, Colombia (1999) y en otros lugares.

Según Barrantes y Salcedo (2016), la superficie de la Tierra está vibrando constantemente, con amplitudes muy pequeñas del orden de varios micrómetros ($1 \text{ um} = 106 \text{ m}$) que se llaman vibraciones ambientales o microtrepidadaciones. Estas vibraciones son generadas por el tránsito vehicular, operación de centros fabriles, el viento que hace oscilar árboles, edificios, etc.

Las vibraciones ambientales pueden ser medidas con sismómetros muy sensibles, con gran capacidad de amplificación, tecnología que fue alcanzada en la mitad del siglo XX.

En este contexto, Sotelo (2016) expresa que se determinan de esta manera los periodos predominantes del suelo, sus amplificaciones y los espectros de numerosas ubicaciones, sin necesidad de exploración geotécnica. Sin embargo, para que la técnica pueda ser aplicada de manera confiable, es necesaria experiencia en geotécnica, en medición de microtrepidadaciones y en su interpretación, pero sobre todo es necesario criterio, para decidir en qué casos la técnica es válida. En suelos complejos, con estratos de diferentes características físicas y condiciones de fronteras, los resultados pueden ser difíciles de interpretar sobre todo para un operador con poca experiencia.

Resultados: aplicación metodológica del PNUD

En esta fase se determinó la estabilidad estructural visual del Estadio Reales Tamarindos con la metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD 2012, ya que es ampliamente utilizada en investigaciones científicas y proporciona un resultado cualitativo de la vulnerabilidad física de las edificaciones frente a las diferentes amenazas existentes en territorio.

La misma que consiste en el tratamiento de fichas técnicas para el caso de estudio se utilizará la que corresponde a determinar la vulnerabilidad física de las edificaciones frente a las amenazas sísmicas la cual se pondera con valores y se los representa con colores según lo establecido en la Tabla 6.

La calificación se determina bajo los siguientes parámetros:

Vulnerabilidad baja = 0-33

Vulnerabilidad Media = 34-66

Vulnerabilidad Alta = 67-100

Tabla 1.- Escala de Medición Metodología PNUD

Nivel de Vulnerabilidad	
Vulnerabilidad	Rango (Promedio)
Alta	67 a 100
Media	34 - 66
Baja	0 - 33

Fuente: PNUD, 2012

Para tener una mayor visualización de la escala de medición se ha diferenciado la vulnerabilidad por colores, siendo la de color verde la vulnerabilidad baja y la de rojo la vulnerabilidad alta o de mayor peligrosidad, y la de color naranja la vulnerabilidad media. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$IV = \sum^n (I * P) \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde,

Índice de Vulnerabilidad = IV

Valores del Indicador = I.

Ponderación = P

Número de datos = N.

Metodología propuesta por el PNUD-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Para establecer la vulnerabilidad de las edificaciones para la amenaza de sismos la metodología del PNUD establece el llenado de una ficha técnica (las variables de esta metodología se encuentran desglosadas en la Tabla 1). Esta ficha técnica (Fig. 1) se basa en realizar una visualización del área de estudio e ir ponderando de acuerdo las consideraciones establecidas tales como: sistema estructural, tipo de material de construcción, tipo de cubierta, sistema de entresuelos, año de construcción, estado de conservación, características del suelo, topografía del terreno y forma de la construcción.

Tabla 1.- Variables e indicadores Físico estructurales de edificaciones

Variable	Valores posibles del Indicador I	Ponderación P	Valor máximo
Sistema estructural	0, 1, 5, 10	1,2	12
Material de Paredes	0, 1, 5, 10	1,2	12
Tipo de Cubierta	0, 1, 5, 10	1	10
Tipo de entrepiso	0, 1, 5, 10	1	10
Número de pisos	0, 1, 5, 10	0,8	8
Año de Construcción	0, 1, 5, 10	1	10
Estado de Conservación	0, 1, 5, 10	1	10
Características de suelo bajo edificado	0, 1, 5, 10	0,8	8
Topografía del sitio	0, 1, 5, 10	0,8	8
Forma de la construcción	0, 1, 5, 10	1,2	12
Índice Vulnerabilidad = 0			100

Fuente: PNUD, 2012

Aquí se muestra que el índice de vulnerabilidad tiene un valor de indicador que va de 1 a 10 considerado 1 como aceptable y 10 de alto riesgo, el peso de ponderación de 0.80 a 1.20 para cada variable y se ajusta de tal forma que la suma va de una escala entre 0 –mínima vulnerabilidad– y 100 –máxima vulnerabilidad. (PNUD, 2012)

Aplicando la metodología del PNUD-2012 que realiza un análisis físico de varias aspectos característicos de las edificaciones se indica una Vulnerabilidad BAJA para sismos del Estadio Reales Tamarindos de la ciudad de Portoviejo (Fig. 1).

La Metodología de las Naciones Unidas PNUD-2012 es ampliamente utilizada en investigaciones científicas, por lo cual la utilización y aplicación de ella para conocer la vulnerabilidad física del Estadio Reales Tamrindos ha sido apropiada y que con el resultado cualitativo ha permitido determinar la vulnerabilidad del coloso deportivo.

UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABI INSTITUTO DE POSTGRADO FICHA DE EVALUACIÓN VULNERABILIDAD FISICA														
ESCENARIO DEPORTIVO: ESTADIO REALES TAMARINDOS CIUDAD: PORTOVIEJO COORDENADAS GEOGRÁFICAS: LATITUD 1° 2' 54,7" S y LONGITUD 80° 27' 13,8" O FOTO:														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Nivel de Vulnerabilidad</th></tr> <tr> <th>Vulnerabilidad</th><th>Rango (Promedio)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alta</td><td>67 a 100</td></tr> <tr> <td>Media</td><td>34 - 66</td></tr> <tr> <td>Baja</td><td>0 - 33</td></tr> </tbody> </table>					Nivel de Vulnerabilidad		Vulnerabilidad	Rango (Promedio)	Alta	67 a 100	Media	34 - 66	Baja	0 - 33
Nivel de Vulnerabilidad														
Vulnerabilidad	Rango (Promedio)													
Alta	67 a 100													
Media	34 - 66													
Baja	0 - 33													
VARIABLES	Condición actual	Vulnerabilidad física												
		Valor indicador	Peso de Ponderación	Puntaje										
SISTEMA ESTRUCTURAL (1)	Hormigón armado	1	1,20	1,20										
TIPO DE MATERIAL EN PAREDES (2)	Pared de ladrillo	1	1,20	1,20										
TIPO DE CUBIERTA (3)	Hormigón armado	1	1,00	5,00										
SISTEMA DE ENTREPISOS (4)	Hormigón armado	1	1,00	1,00										
NÚMERO DE PISOS (5)	2	1	0,80	0,80										
AÑO DE CONSTRUCCIÓN (6)	1970	5	1,00	5,00										
ESTADO DE CONSERVACIÓN (7)	Bueno	1	1,00	1,00										
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO BAJO LA EDIFICACIÓN (8)	Firme y Seco	1	0,80	0,80										
TOPOGRAFÍA DEL SITIO (9)	Terreno plano	1	0,80	0,80										
FORMA DE LA CONSTRUCCIÓN (10)	Regular	1	1,20	1,20										
TOTAL/PROMEDIO (ÍNDICE DE VULNERABILIDAD)	BAJA		10,00	18,00										

*Fig. 1.- Ficha Técnica de evaluación vulnerabilidad física
Elaborado por: Investigadora*

Conclusiones

El conocimiento adecuado de la amenaza sísmica existente, permite definir tanto la acción que debe considerarse en el diseño de nuevas estructuras como el sitio donde pueden ser construidas, de tal forma que las condiciones de los emplazamientos sean optimas, esto es: se alejan las fallas y se evitan los rellenos, los lugares con posibles asentamientos o deslizamientos y los de alto potencial de licuefacción. Sin embargo, poco puede hacerse para reducir la amenaza a la que están expuestas las estructuras existentes, por lo tanto, si se desea disminuir el riesgo, se requiere una intervención directa sobre la vulnerabilidad.

El conocimiento del comportamiento sísmico de las estructuras, permite definir los mecanismos y acciones de refuerzo requeridos para la reducción de los efectos provocados por los movimientos del terreno. Para el caso de construcciones nuevas, pueden plantearse nuevos sistemas constructivos y/o nuevos diseños que garanticen el buen desempeño de cada uno de los elementos expuestos.

La vulnerabilidad sísmica de los diferentes tipos de edificaciones, es decir su resistencia sísmica en sí, de acuerdo a sus propias características, podrá ser deducida de acuerdo con el grado de daños que han sufrido los numerosos edificios que han sido analizados, en función del peligro sísmico, definido por los diferentes grados de intensidad en la escala MMA-01.

La manera más directa de determinar la vulnerabilidad de edificaciones es experimentar en laboratorios, aplicando fuerzas conocidas hasta que los modelos se destruyen (Grado de vulnerabilidad 1). En general estos tipos de ensayos han sido escasos en América Latina por lo costoso y sofisticado de los experimentos; sin embargo, se han realizado algunas pruebas simples y de bajo costo que ayudan a determinar la vulnerabilidad de construcciones propias de la región, como las viviendas de adobe.

En la actualidad, con el avance de la tecnología digital aplicada a la instrumentación sísmica y a la computación, existen equipos muy compactos, de fácil traslado e instalación que permiten realizar mediciones en muy corto tiempo y procesar automáticamente las señales registradas.

Referencias Bibliográficas:

- Abanto, S. y Cárdenas, D. (2015). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica aplicando el método de Benedetti - Petrini en las Instituciones Educativas del Centro histórico de Trujillo, Provincia de Trujillo, Región La Libertad* (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo- Perú.
- Asimbaya, M. y Suárez, M. (2020). *Desarrollo de un prototipo de un sismógrafo de alerta temprana para escuelas públicas que incluya el sistema de comunicación inalámbrica Wi-Fi y ubicación GPS*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
- Barrantes, G. y Salcedo, E. (2016). Consideración de la amenaza sísmica en el ordenamiento territorial del cantón de Poás. Costa Rica, *Boletín de Geología*, 15(12), 23-34.
- Barreto, D. (2019). *Análisis probabilístico de peligro sísmico para el diseño de una presa de enrocado en Huancavelica*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Caballero, A. (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 de maestría). Universidad del Norte, Sincelejo, Colombia.
- Chasi, P., Días, A., y Barragán, G. (2018). Estimación de la vulnerabilidad física y socioeconómica frente a hundimientos en la quebrada de Guangulíquín del cantón Guaranda-provincia Bolívar, Ecuador. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 4(1), 1-57. Recuperado de <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2018/08/1.pdf>
- Climent, A., Salgado, D., Slob, S. & Van-Westen, C. (2003). *Amenaza sísmica y vulnerabilidad física de la ciudad de Cañas, Guanacaste, Costa Rica*. Recuperado de/ Retrieved from <https://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20v2.0/CEDO/pdf/spa/doc15075/doc15075.htm/>
- Demera, A. G. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de alerta temprana de sismos mediante redes SWAP con nodos panStamp NRG para la ESPOCH*. (Tesis de Grado). Escuela Politécnica de Chimborazo de Ecuador, Riobamba, Ecuador.
- Dorado, L. (2013). *Evaluación de vulnerabilidad de edificaciones ante caída de ceniza por eventos eruptivos del volcán Galeras en la cabecera urbana del municipio de Consacá, Departamento de Nariño*. (Tesis de Maestría), Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Espinoza, J. (2019). *Estudio de patologías líticas: Caso fachada retablo del Paraninfo Universitario Cusco- 2013* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

Fernández, M. (2012). *Elaboración de escenarios de daños sísmicos en la Ciudad de Granada* (Tesis de doctorado). Universidad de Granada, Granada, España.

Honores, J. (2015). *Análisis, diseño e implementación de una aplicación web utilizando el framework Django mediante la metodología Das para la administración online de citas médicas para el Hospital Básico la Cigüeña*. (Tesis de Pre Grado). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.

Iglesias, S., Irigaray, C. & Chacón, J. (2006). Análisis del riesgo sísmico en zonas urbanas mediante sistemas de información geográfica. Aplicación a la Ciudad de Granada. *Cuadernos Geográficos*, 39(2), 147-166. Recuperado de/Retrieved from <https://www.ugr.es/~cuadgeo/docs/articulos/039/039-009.pdf/>

Martínez, P. Q. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Ingeniería sísmica*, 5(6), 65-87. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001

Martínez, S. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana basada en tipologías constructivas y disposición urbana de la edificación. Aplicación en la Ciudad de Lorca, Región de Murcia* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Madrid.

Navarro, V., Duharte, A. y Pérez, R. (2017). Procedimiento para evaluar vulnerabilidad física ante impactos de eventos naturales extremos en calles del centro histórico urbano de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 1(2), 89-103. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181351125007.pdf>

Ordaz, A. (2020). Posible impacto socioeconómico por sismo de moderada magnitud. Aplicación a la ciudad de San Cristóbal, Cuba occidental. *Investigaciones geográficas*, 11(102), e59839. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112020000200101&lng=es&nrm=i.p&tlang=es

Ordaz, A., Hernández, J., y Garatachia, J. (2020). Aproximación cartográfica a la vulnerabilidad estructural ante sismos empleando una metodología cualitativa aplicación para la Ciudad de Toluca. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 59(2), 178-198.

Paredes, R. D. (2015). *Influencia de los elementos no estructurales en la respuesta dinámica de un edificio. Aproximación teórica-experimental*. (Tesis de Grado), Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, Sangolquí, Ecuador.

- Parra, H. (2016). *Desarrollos Metodológicos y Aplicaciones hacia el cálculo de la Peligrosidad Sísmica en el Ecuador Continental y Estudio de Riesgos Sísmicos en la Ciudad de Quito.* (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Quinde, R. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Ingeniería sísmica*, 7(94), 1-26. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001
- Safina, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico* (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Sotelo, A. (2016). *Sismógrafo electrónico de medición y detección de movimiento telúrico con salida impresa, para la carrera de ingeniería geológica de la Unan-Managua* (Tesis de pregrado), Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.
- Torres, R., Ponce, P., y Gómez, D. (2017). Vulnerabilidad física de cubiertas de edificaciones de uso de ocupación normal ante caídas de ceniza en la zona de influencia del volcán Galeras. *Boletín de Geología*, 39(2), 67-82. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3496/349651525005.pdf>
- Vasco, P. (2016). *Sismo resistencia en edificios de hormigón y acero para zonas de alta peligrosidad sísmica en el Ecuador.* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Zuccaro, G., Cacace, F., Spence, R., and Baxter, P. (2008). Impact of explosive eruption scenarios at Vesuvius. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 178(3), 416-453.