

26

Fecha de presentación: noviembre, 2022

Fecha de aceptación: enero, 2023

Fecha de publicación: marzo, 2023

METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN

ESTRUCTURAL POR DESEMPEÑO SÍSMICO EN EDIFICACIONES DE CONCRETO REFORZADO: ESTADO DEL ARTE

STRUCTURAL EVALUATION METHODOLOGIES FOR SEISMIC PERFORMANCE IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS: STATE OF THE ART

Alder Joel Núñez¹

E-mail: alder.nunez@unah.edu.hn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1090-652X>

¹Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH).

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Núñez, J. A. (2023). Metodologías de evaluación estructural por desempeño sísmico en edificaciones de concreto reforzado: estado del Arte. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(2), 256-264.

RESUMEN

El propósito del artículo es compartir los avances de una investigación documental en desarrollo cuyo objetivo principal es dar a conocer, comprender, analizar y aplicar el conocimiento actual acumulado sobre las metodologías de evaluación estructural por niveles de desempeño sísmico en edificios de concreto reforzado cuyo sistema estructural es marcos rígidos. Para ello se estudiaron los documentos más relevantes sobre esta temática, tales como: ATC-40, FEMA 273, 356, VISION 2000 entre otros. Además, se presentan los resultados de un diagnóstico por medio de una encuesta tomando una muestra selectiva, sobre el nivel de conocimiento sobre las metodologías de evaluación sísmica por desempeño. Para futuras etapas de la investigación, se pretende aplicar dichas metodologías en un edificio en particular utilizando algunos programas computacionales que incluyen este tipo de análisis.

Palabras clave: Normativas de construcción, diseño de estructuras, desempeño sísmico, niveles de riesgo sísmico.

ABSTRACT

The purpose of the article is to share the advances of a documentary research in development whose main objective is to expose, understand, analyze and apply the current knowledge accumulated on structural evaluation methodologies by seismic performance levels in reinforced concrete buildings whose structural system it is rigid frames. For this, the most relevant documents on this subject were studied, such as ATC-40, FEMA 273, 356, VISION 2000, and others. In addition, presents the results of a diagnosis through a survey taking a selective sample, about the level of knowledge of seismic performance evaluation methodologies. For future phases of the investigation, it is intended to apply these methodologies in a particular building using some computer programs that include this type of analysis.

Keywords: construction regulations, design of structures, seismic performance, seismic risk levels.

INTRODUCCIÓN

Los edificios, puentes, carreteras, y otras estructuras civiles se diseñan para dar su funcionalidad dentro de un periodo de vida útil supuesto (Sinha et al., 1964; Park et al., 1982), sin embargo, pueden sufrir daños debido a factores humanos (cambios de uso de la edificación, falta o mantenimiento inadecuado, explosiones, construcciones aledañas, entre otros) y naturales (huracanes, cambio en las condiciones del suelo y actividad sísmica), siendo este último el más devastador ya que a lo largo de la historia ha ocasionado grandes pérdidas humanas y materiales (Kuroiwa et al., 2010), como lesiones en los elementos estructurales o inclusive el colapso completo de estructuras. Por tales motivos se han formulado diferentes conceptos y métodos para evaluar el comportamiento estructural o desempeño de las edificaciones ante la ocurrencia de sismos de distintas magnitudes, con el propósito de mejorar la respuesta de las estructuras y así evitar o minimizar los daños. Uno de estos métodos es el ATC-40, propuesto en el Estado de California de Estados Unidos en el año de 1996, con el objetivo de facilitar los criterios y procedimientos existentes sobre la filosofía de diseño sísmico por desempeño. (ATC-40, 1996; Castro, 2016)

Los países desarrollados como Estados Unidos de Norteamérica, han sido pioneros en la realización de estudios sobre amenaza sísmica, los cuales han sido la base para la elaboración de los códigos de diseño y construcción sismo resistente. En 1995, la Asociación de Ingenieros Estructurales de California, en Estados Unidos (SEAOC por sus siglas en inglés) publicó un documento marco denominado VISION 2000, aplicable a la rehabilitación de estructuras existentes y el diseño de nuevas. En la figura 1 se muestra los niveles de desempeño para edificios de variada importancia, como: edificios de importancia básica, esencial, peligrosos y de seguridad crítica. En el eje vertical se observan los niveles de sismo de diseño (o niveles de peligrosidad) y en el eje horizontal los niveles de desempeño, para cada uno de estos niveles se tienen extensas tablas con la descripción del daño para variados componentes y sistemas estructurales.

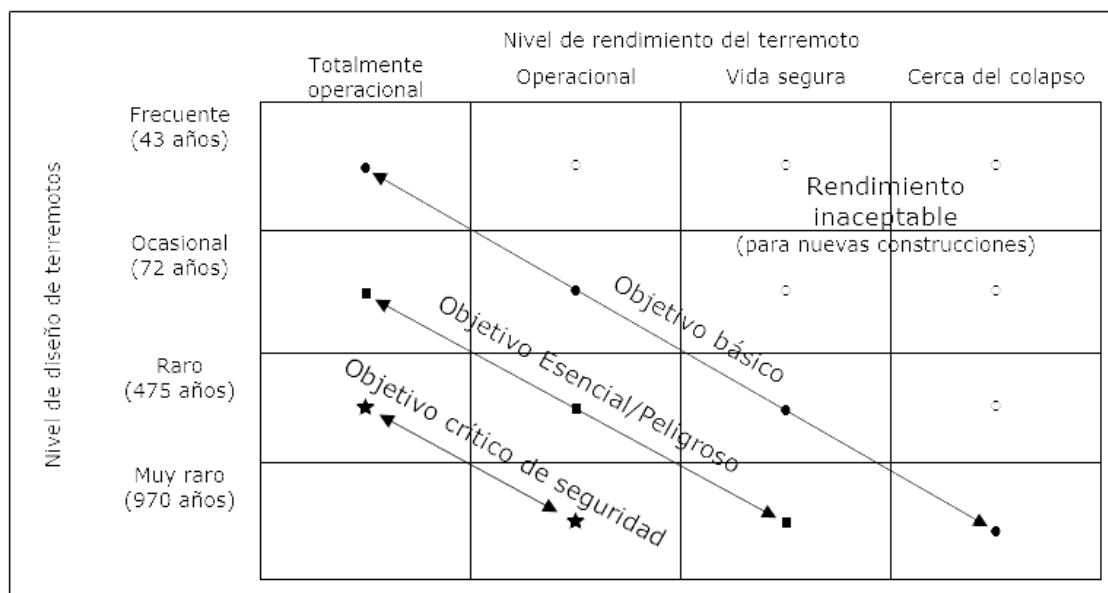


Figura 1. Objetivos de desempeño para edificios con diferentes tipos de importancia

Fuente: Traducido de SEAOC (2009)

Otro documento similar al de VISION 2000 es el FEMA 273 y 356, que se publicó en el año 2000 por la Agencia Federal de Administración de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés) con el propósito de rehabilitar edificios; su marco conceptual es similar al de VISION 2000, y asocia niveles de desempeño con niveles de peligro, pero en el caso de FEMA, los niveles de peligrosidad sísmica son diferentes (50/50, 20/50, 10/50 y 2/50) y se definen como: operacional, ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención del colapso.

Otro documento promovido también por el Estado de California, a través del Concilio de Tecnología Aplicada (ATC, por sus siglas en inglés), es el ATC-40, que consiste en una serie de guías para la evaluación sísmica y reparaciones para estructuras de concreto armado, mismas fueron publicadas en 1996. Similar a VISION 2000, su implementación

depende de la capacidad de predecir demandas sísmicas, como las derivas de los pisos y rotación de rótulas. Al igual que para los reportes FEMA, el análisis estático no lineal (Pushover), se recomienda como un método de elección de los ingenieros estructurales. La predicción del objetivo de desplazamiento se basa en el método del espectro de capacidad; la curva del Pushover (cortante en la base vs desplazamiento en el techo), se convierte en una curva de capacidad equivalente a un sistema de un grado de libertad, y de la intersección de esta curva con un espectro de respuesta modificado, se obtiene el punto de desempeño.

Uno de los factores relacionados con esta filosofía es la plasticidad, plantea que el comportamiento plástico de materiales deformados irreversiblemente y las relaciones esfuerzo-deformación para un material que se encuentra en estado elastoplástico, a partir de lo cual se desarrollan técnicas de solución para la consecución de la distribución de esfuerzos en cuerpos permanentemente deformados. (Figura 2)

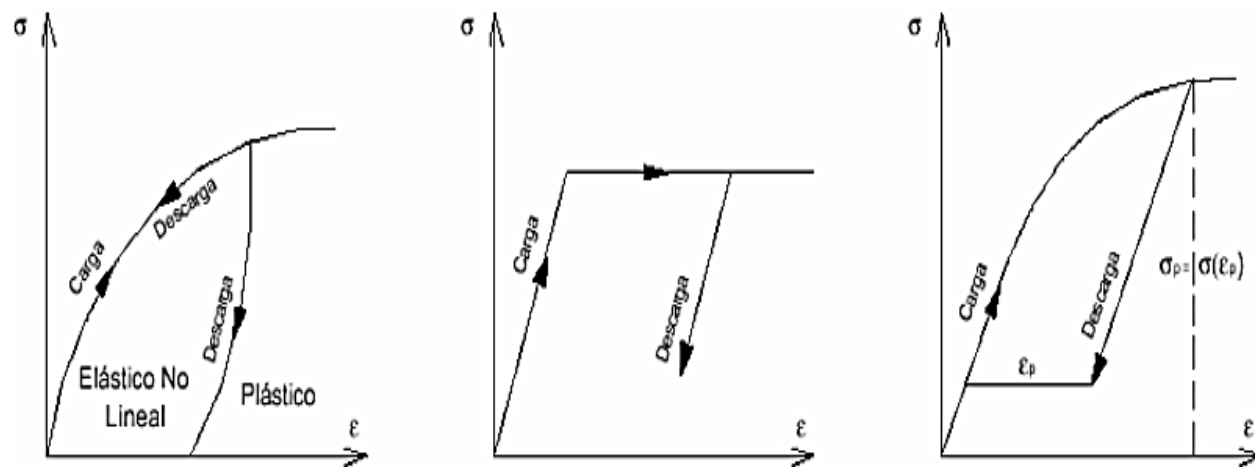


Figura 2. Diagramas de la relación esfuerzo-deformación. Fuente: Mroginski et al. (2006)

Lo anterior es de particular interés en el contexto hondureño, dado que al igual que otros países del mundo, Honduras es propenso y ha registrado a lo largo de su historia diferentes eventos sísmicos significativos que han ocasionado pérdidas humanas y materiales, por ejemplo en mayo de 2009 se suscitó un terremoto de magnitud 7.1 en la escala de Richter el cual ocasionó la muerte de 7 personas, 136 heridos, severos daños en el edificio recién construido del Poder Judicial en la ciudad de San Pedro Sula y en otras estructuras como: puentes, hospitales, casas, etc. de otras ciudades de la zona norte del país.

Por muchas catástrofes provocadas por los terremotos es que la ingeniería sísmica a nivel mundial ha realizado diferentes estudios e investigaciones en los últimos 67 años (SEAOC, 2009) con el afán de analizar, entender y predecir la respuesta o el comportamiento de las estructuras ante los movimientos del suelo y así formular mejores métodos de evaluación y diseño para que las edificaciones puedan resistir las fuerzas sísmicas probables según su ubicación geográfica y reducir las pérdidas.

Muchos edificios en Honduras se han diseñado y construido considerando normas y criterios técnicos norteamericanos elaborados hace más de 23 años; en el año 2000 la comisión técnica nombrada por el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH) publicó la primera versión del actual Código Hondureño de la Construcción (CICH, 2008) y fue aprobado como ley de la República en 2010. La filosofía de diseño sísmico de dicho código se basa en la norma estadounidense llamada Uniform Building Code (UBC) publicado en 1994, en la cual predomina el criterio de resistencia, cuyo objetivo es que las estructuras no colapsen al momento de ocurrir un sismo; sin embargo, la norma hondureña actualmente no contiene criterios para medir o cuantificar el nivel de daño que se puede generar si la edificación es sometida a fuertes intensidades sísmicas.

Desde este contexto, fue de interés revisar el conocimiento acumulado a partir de la literatura especializada en el plano internacional y regional, en materia de metodologías de evaluación estructural por niveles de desempeño sísmico en edificios de concreto. Adicionalmente, para profundizar sobre este conocimiento, se realizó una investigación con un grupo de ingenieros estructuralistas en formación, que forma parte de un estudio marco que aún está en desarrollo, y

en el que posteriormente se realizará análisis estructurales a edificios específicos.

La reducción del peligro sísmico permite una evaluación sísmica rentable y la modernización de edificios; autores como Park (2019), Menegon et al. (2019), Kurniawandy y Nakazawa (2019), entre otros, coinciden al respecto.

De acuerdo con Menegon et al. (2019), la evaluación de la vulnerabilidad sísmica es un componente esencial de cualquier proyecto, ya que además de los evidentes beneficios en cuanto a reducción de daños humanos, materiales y económicos, también permiten que los tomadores de decisiones cuenten con información basada en la evidencia en relación con la necesidad de modernización sísmica, revisión de los requisitos de diseño codificado y otros temas como, por ejemplo, pólizas de seguros.

Según Park (2019), es necesario evaluar la fragilidad sísmica de los sistemas no lineales, y para ello considera de mucha utilidad el método del coeficiente de desplazamiento de ASCE 41-13, siempre y cuando la vida útil del edificio sea uno de los aspectos a considerar. De la misma forma, otros autores indican métodos como el de Índice Sísmico, basado en los estándares japoneses, el cual se calcula en base a criterios de fuerza y ductilidad (Kurniawandy y Nakazawa, 2019).

En línea con lo anterior, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés), de Estados Unidos, ha propuesto un manual con metodologías para evaluar el desempeño sísmico de edificaciones (FEMA, 2018), en el cual se indica la importancia de evaluar diferentes aspectos tales como: la incertidumbre, la intensidad, el tiempo, el escenario, el nivel de riesgo, la capacidad de respuesta de las edificaciones, la fragilidad de estas para colapsar, el cálculo del desempeño, el grado de ocupación, los grupos vulnerables, la lógica de daños, el costo y tiempo de las reparaciones, el impacto ambiental, e incluso las casualidades.

Desde este contexto, se ha identificado que uno de los métodos de análisis más empleados en la literatura para realizar evaluación sísmica es el Pushover. Al respecto, un estudio de Wibowo et al. (2021) en una ciudad de Indonesia en el que se evaluó el desempeño sísmico de un edificio en particular, construido con concreto, aplicando en software ETABS, encontró que este análisis, de tipo no lineal, es una herramienta útil y relativamente simple para realizar evaluación sísmica basada en el desempeño.

Hallazgos similares obtuvieron Andrew & Irpan (2020), al analizar el rendimiento sísmico de estructuras de concreto utilizando la aplicación informática SAP 2000, y

considerando los criterios del Applied Technology Council (ATC-40) para evaluar edificios mediante análisis pushover de la carga estática no lineal del comportamiento de colapso estructural de un terremoto, en función del punto de rendimiento como magnitud de desplazamiento máximo de la estructura durante dicho terremoto. En línea con lo anterior, Minas (2018) en su tesis sobre los avances en evaluación del riesgo sísmico en edificios de concreto, hace referencia a la eficacia del método de pushover en línea con los criterios ASCE/SEI41-17 (ASCE, 2017, como se citó en Minas, 2018, p. 98).

Desde este escenario, una de las tendencias en cuanto a evaluación del desempeño sísmico que plantea la literatura es la resiliencia: Haselton et al. (2019), y Haselton et al. (2020), hacen alusión a ello, indicando que el Método FEMA P-58 para evaluar el desempeño sísmico en edificios es riguroso y específico en materia de construcciones y lugares, pero que puede resultar ventajoso para calcular los costos y tiempo de reparaciones, en ese sentido, la mejor información posible.

La importancia de la resiliencia en la evaluación sísmica se ha hecho evidente incluso en el ámbito de la legislación en materia de construcción: en la comunicación desarrollada por Haselton et al. (2020) en la 17^a Conferencia Mundial sobre Ingeniería Sísmica, llevada a cabo en Japón los autores indican que Estados Unidos se encuentra realizando esfuerzos legislativos para modificar el código de construcción de requisitos de diseño solo basados en la seguridad a requisitos de diseño basados en la funcionalidad o resiliencia.

La presidenta de la Asociación de Ingenieros Estructuralistas de California del Norte (SEA, por sus siglas en inglés) (Maffei, 2020), también se ha pronunciado al respecto, señalando la importancia de tener en consideración los desafíos en materia de evaluación sísmica, e indicando que los diseños basados en la resiliencia de las edificaciones son una oportunidad para hacer frente de manera efectiva a estos desafíos.

A nivel regional, caben destacar los esfuerzos realizados en países como Chile, registrados por la Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales, quienes indican que el urbanismo y la infraestructura en dicho país demanda de ingeniería de primer nivel, así como de materiales y procesos sustentables.

En contraste, Centroamérica se encuentra realizando esfuerzos para el mejoramiento de la urbanización en la zona, y reducir la informalidad de la construcción, lo que ha sido un problema que incrementa la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas ante los riesgos en materia sísmica, dado que la mayoría de las aglomeraciones

urbanas de América Central se encuentran en localidades propensas a los sismos, e incluso se han visto afectadas por destructivos terremotos a lo largo de la historia (Maria et al., 2018).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación de la cual se desprende el presente artículo fue abordada desde un enfoque mixto, con un diseño no experimental y transversal, en vista de que los datos se recogieron en un único momento específico; asimismo, por su alcance, la investigación fue descriptiva y, si bien se cuenta con un componente cuantitativo, dado que se consultó a ingenieros estructuralistas en formación para indagar respecto a su nivel de conocimiento sobre esta temática, el énfasis del estudio radica en la revisión del estado del arte en relación a la evaluación estructural de desempeño sísmico en edificios de concreto.

Para el desarrollo del estudio se emplearon los métodos deductivo y explicativo, así como métodos numéricos y de estadística descriptiva, a partir de lo cual se evaluó la veracidad de la hipótesis, la cual declaraba: “A mayor conocimiento y entendimiento de los métodos de evaluación sísmica, mejores fundamentos para proponer un programa de reforzamiento para adecuar un edificio de concreto”. Las variables que se contemplaron fueron: el grado de conocimiento sobre las metodologías de desempeño, el nivel de conocimiento en los conceptos de dinámica estructural (Paz & Leigh, 2004), y el grado de dominio en el manejo de software o programas computacionales especializados para análisis y diseño de estructuras (Mroginski et al., 2006).

El estudio se enfoca específicamente en el ámbito estructural de la ingeniería civil, por tanto, las unidades muestrales consideradas en línea con el objetivo de la investigación, fueron dos: la literatura en relación a la evaluación estructural del desempeño sísmico en edificios de concreto, y los ingenieros civiles que se dedican o estudian el área de las estructuras. Es importante mencionar que actualmente el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH) no tiene un registro de cuántos ingenieros son estructuralistas o se dedican a dicha área, pero se estima nada más la existencia de 80 especialistas en estructuras a nivel nacional, por lo que la investigación resulta de interés tanto a nivel teórico, como práctico, ya que se constituye, además de un marco de referencia sobre el estado del arte, como un diagnóstico del nivel de conocimiento de los ingenieros estructuralistas en relación a la evaluación del desempeño sísmico en edificios de concreto.

Cabe señalar que, en función de lo anterior, y debido a las dificultades para contactar a la mayoría de especialistas

en estructuras que se encuentran en el país, además de que el énfasis del estudio se encontraba en la revisión del estado del arte, el muestreo empleado fue no probabilístico de tipo por conveniencia, seleccionándose para la aplicación del instrumento a 19 ingenieros civiles, de los cuales algunos son especialistas en estructuras y otros eran estudiantes de la Maestría en Estructuras, que oferta la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC). La técnica utilizada para ello fue la encuesta, a partir de la cual se diseñó el cuestionario, conformado por una serie de preguntas cerradas y abiertas, enfocadas en las variables de la investigación, orientadas a evaluar el nivel de conocimiento en ciertos aspectos de los ingenieros estructuralistas o estudiantes del área estructural. Dicho instrumento fue aplicado de manera electrónica, por medio de los formularios de Google.

En vista de que esta es una investigación en desarrollo, se tiene contemplado para futuras fases evaluar la factibilidad de la aplicación de las metodologías por desempeño en algunas estructuras proyectadas o construidas en Honduras, haciendo uso de programas de ordenador y hojas de cálculo destinadas para estos propósitos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los hallazgos identificados a la luz de la literatura especializada en materia de ingeniería estructural y de evaluación de desempeño sísmico en edificaciones de concreto, se resalta la importancia de conocer y aplicar la normativa de construcción vigente a nivel nacional, poniendo atención a los referentes internacionales al respecto.

De la misma forma se observó que el análisis estático no lineal (Pushover) es uno de los más empleados y mencionados en estudios sobre desempeño sísmico, para determinar el nivel de riesgo sísmico en general, y particularmente en edificaciones de concreto.

Se encontró, asimismo, que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica es un aspecto que impacta tanto a nivel social, al reducir el peligro de muerte de los usuarios de este tipo de edificaciones, como económico, ya que permite tener en cuenta diferentes factores que facilitan la toma de decisiones tanto en cuanto a diseño como en pólizas de seguros y otros ámbitos.

Según la literatura regional, si bien se pretende urbanizar los territorios nacionales, existe poca formación, al menos a nivel de Honduras, en el campo de la ingeniería estructural, por tanto, debe realizarse la debida inversión económica y académica, por parte de las instituciones educativas implicadas, para contar con más profesionales en esta área, y mejorar la preparación de los que ya existen.

En cuanto a los resultados del cuestionario aplicado, y en línea con lo que plantea la literatura acerca de la importancia de conocer la legislación y normativa de construcción, se indagó respecto al conocimiento de la existencia del Código Hondureño de la Construcción (CICH, 2008) y su uso para el diseño de estructuras; asimismo, se consultó a los 19 sujetos participantes sobre su conocimiento acerca de la filosofía sísmica por desempeño, sobre alguna documentación técnica, como son: ATC-40, FEMA y VISION 2000, en cuanto a conceptos generales de dinámica estructural y acerca de análisis estático no lineal o Pushover, así como el dominio en el uso de software especializados para diseño de estructuras. Finalmente, se les consultó sobre su interés en conocer más de dicho tema.

En cuanto al Código Hondureño de la Construcción (CHOC), la mayor parte de los sujetos participantes (94.7%) tienen conocimiento sobre su existencia (tabla 1), lo cual es importante ya que esta normativa regula el diseño y construcción de estructuras en el país, hallazgo que impacta positivamente en la aplicación de las metodologías de evaluación sísmica, porque para su aplicación es necesario utilizar los parámetros contenidos en el código hondureño, como por ejemplo, los factores de zona sísmica cuyos valores dependen de la región dentro de Honduras donde está o estará construida la edificación y con este se construye el espectro de respuesta.

Tabla 1. Conocimiento y Uso del CHOC u otro código para el diseño de estructuras.

Descripción	Conocimiento de la existencia del CHOC		Uso del CHOC u otro código para diseño de estructuras	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Sí	18	94.7%	19	100%
No	1	5.3%	0	0%
Total	19	100%	19	100%

Fuente: Elaboración propia.

Sobre si han hecho uso del CHOC u otro código relacionado, para el diseño de estructuras y/o evaluaciones estructurales, la totalidad de los encuestados manifestó hacerlo. Esto fue un hallazgo positivo para la investigación de la que se desprende el presente artículo, porque denota, además de conocimiento, la práctica en el uso del CHOC u otra normativa por parte de los informantes, apreciándose una tendencia en aumento, dado el alto porcentaje evidenciado.

Respecto al conocimiento de los documentos técnicos más relevantes (como: ATC-40, FEMA y VISION 2000) que se refieren a las filosofías de evaluación sísmica de estructuras por desempeño, en los encuestados se encontraron altos porcentajes de poco o nada de conocimiento del tema, por ejemplo 36.8% respondió no saber nada, un 42.1% conoce poco; estos dos grupos suman un total de 78.9% y el resto 21.1% de los sujetos participantes aseguró tener algo de conocimiento sobre estas filosofías.

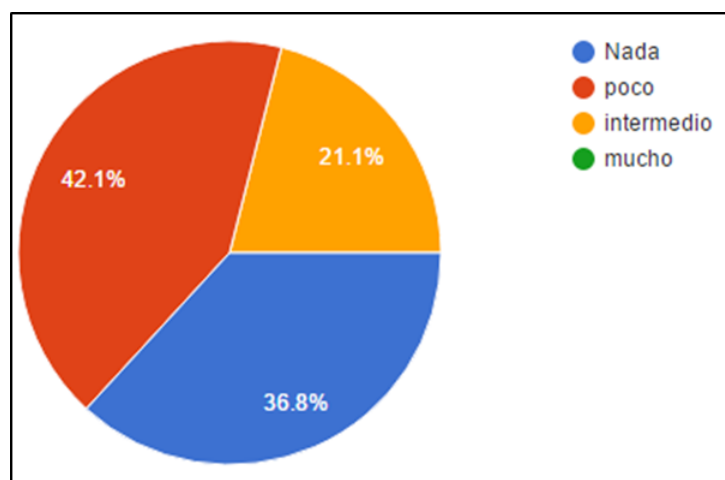


Figura 3. Nivel de conocimiento sobre la filosofía sísmica por desempeño.

Fuente: Elaboración propia.

Este hallazgo resalta la necesidad de informar más sobre este tema y sobre los documentos técnicos que lo estudian.

Tabla 2. Grado de conocimiento sobre los documentos técnicos ATC-40, FEMA y VISION 2000.

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Nada	7	36.8%
Poco	8	42.1%
Intermedio	4	21.1%
mucho	0	0%
Total	19	100%

Fuente: Elaboración propia

A pesar de lo anterior, el cuestionario evidenció un conocimiento con una tendencia favorable en relación al conocimiento de los conceptos generales de dinámica estructural (89.5% de los encuestados aseguró que su conocimiento al respecto era mucho o intermedio), lo que incide positivamente en el entendimiento de las filosofías de evaluación sísmica por desempeño, porque para ello se requiere la comprensión de los conceptos dinámicos más importantes (figura 4).

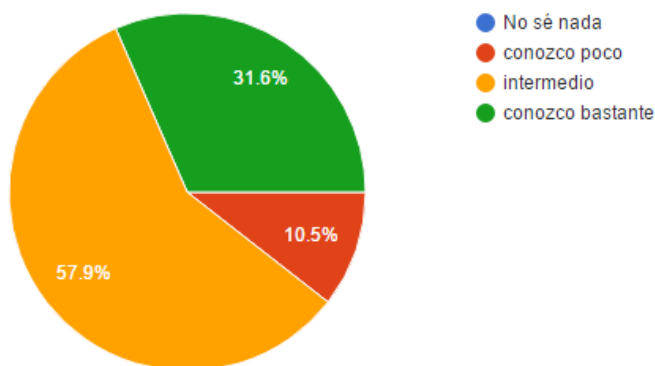


Figura 4.- Nivel de conocimiento en los conceptos generales de la dinámica estructural

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a qué tanto conocen los ingenieros participantes sobre el análisis estático no lineal, o Pushover, concepto muy importante para lograr la implementación de las metodologías por desempeño, se encontró una tendencia poco favorable, ya que 42.1% aseguraron tener un conocimiento intermedio, mientras que 52.6% tienen poco y 5.3% nada de conocimiento. (Figura 5)

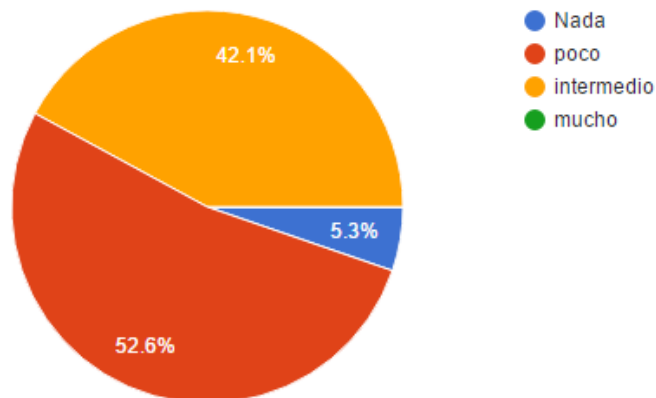


Figura 5. Grado de conocimiento en el análisis estático no lineal o Pushover.

Fuente: Elaboración propia

También se indagó sobre el nivel de dominio de los ingenieros estructuralistas en el uso de software especializados para el diseño de estructuras, ante lo cual se evidenció una tendencia favorable, ya que solo 21.0% de los encuestados aseguraron tener poco dominio, mientras que el 47.4% declararon tener un dominio intermedio y el 31.6% mucho dominio. (Tabla 3)

Tabla 3. Nivel de dominio en el uso de software especializados para el diseño de estructuras.

Descripción	Frecuencia	Porcentaje
Nada	0	0%
Poco	4	21.0%
Intermedio	9	47.4%
Mucho	6	31.6%
Total	19	100.0%

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se preguntó a los encuestados si estaban interesados en un documento que les proporcionara explicaciones acerca de cómo realizar diseños o evaluaciones de edificios desde el punto de vista sísmico y con ello contar con mejores criterios para reforzar una estructura. Ante la interrogante, 18 de los 19 participantes (equivalente a un 94.7%), manifestaron su interés al respecto.

CONCLUSIONES

La tendencia en la mayoría de los ingenieros estructurales en Honduras es conocer y aplicar la normativa hondureña CHOC (2008), resultando así mejores prácticas de diseño, construcción y evaluación de estructuras en el país, esto a su vez es positivo para facilitar el entendimiento y

aplicación de las metodologías de evaluación sísmica por desempeño.

En función de los resultados preliminares de la investigación, la gran mayoría de los ingenieros encuestados conocen poco o nada sobre los documentos técnicos de las filosofías de evaluación sísmica por desempeño. Conforme los profesionales orientados a las estructuras conozcan con más profundidad dichos informes, se podría a futuro incluir estas metodologías como parte de la normativa hondureña. Asimismo, es favorecedor que la mayoría de los ingenieros estructuralistas tengan conocimientos básicos sobre la dinámica estructural.

La mayoría de los ingenieros estructuralistas encuestados manifestó tener cierto dominio en el uso de software especializados para el diseño y evaluación de estructuras resultando positivo para la aplicación de las metodologías por niveles de desempeño facilitando así los diversos cálculos que se requieren realizar.

La investigación realizada denota la importancia de la formación de profesionales en el campo de la ingeniería estructural, ya que sin estos, se dificulta la correcta implementación de estándares que reduzcan los riesgos de accidentes y que mejoren la rentabilidad de las edificaciones; esto es respaldado por la literatura internacional, en la que se indica la importancia de conocer sobre metodologías para evaluar el riesgo y desempeño sísmico de edificaciones en general, y de manera particular, de edificios de concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrew, J. & Irpan, H. (2020) *Seismic Performance of Reinforced Concrete Structures with Pushover Analysis*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 426. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/426/1/012045>
- ATC-40 (1996) *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol. 1 & 2*. Applied Technology Council (ATC) - California Seismic Safety Commission. http://www.dinochen.com/attachments/month_0901/atc-402.pdf
- Bonett, R. L. (2003) *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. Barcelona: [Tesis doctoral] Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado de: <http://www.tdx.cat/handle/10803/6230>
- Castro, W. O. (2016) *Análisis del Desempeño Sísmorresistente del Edificio 1H*. [Tesis] Perú: Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Educación.
- CICH. (2008). *Código Hondureño de la Construcción*. Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, Comisión Técnica. Tegucigalpa, Honduras.
- FEMA (2018) *Seismic Performance Assessment of Buildings. Volume 1 – Methodology*. Federal Emergency Management Agency, FEMA P-58-1, 2a ed. <https://www.atcouncil.org/docman/fema/246-fema-p-58-1-seismic-performance-assessment-of-buildings-volume-1-methodology-second-edition/file>
- [https://www.academia.edu/22958282/EVALUACION DEL RIEGO SISMICO EN EL](https://www.academia.edu/22958282/EVALUACION_DEL_RIEGO_SISMICO_EN_EL)
- Haselton, C.; Almeter, E.; DeBock, D. & Wade, K. (2020). *Legislative Efforts in the United States to Change Building Code Requirements from Safety-only-based Design to Functionality-based (Resilient) Design*. 17th World Conference on Earthquake Engineering. <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/static-assets.hbrisk.com/publications-and-presentations/Legislative-Efforts-to-Change-Building-Code-Requirements-Paper-2020.pdf>
- Kurniawandy, A. & Nakazawa, S. (2018) *Seismic Performance Evaluation of Existing Building Using Seismic Index Method*. MATEC Web of Conferences 27. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927601015>
- Kuroiwa, J., Pacheco, E., & Pando, E. (2010) ¡Alto a los Desastres!: Viviendas Seguras y Saludables para los Peruanos con Menores Recursos. Lima: Umbral.
- Maffei, J. (2020) President's Message. *Structural Engineers Association of Northern California*, 23(3). https://cdn.ymaws.com/www.seaonc.org/resource/collection/457D1A94-B60E-4A1D-AFEB-28469ECFCD6F/2020_March_Newsletter.pdf
- Maria, A.; Acero, J.; Aguilera, A. & Lozano, M. (2018) *Estudio de la Urbanización en Centroamérica: Oportunidades de una Centroamérica Urbana*. Grupo Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/26271/9781464812200.pdf>
- Menegon, S.; Tsang, H.; Lumantarna, E.; Lam, N.; Wilson, J. & Gad, E. (2019). Framework for Seismic Vulnerability Assessment of Reinforced Concrete Buildings in Australia. *Australian Journal of Structural Engineering*, 20(2):143-158. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13287982.2019.1611034?journalCode=tse20>

- Minas, S. (2018). *Advancements in the Seismic Risk Assessment of Midrise Reinforced Concrete Buildings*. [Tesis doctoral] University College London. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10064401/1/Minas_EngD_Thesis.pdf
- Mroginski, J., Di Rado, H., Beneyto, P., & Awruc, M. (2006) *Simulación del comportamiento elastoplástico de materiales dúctiles. Validación experimental*. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.
- Park, J. (2019) Seismic Hazard Level Reduction for Existing Buildings Considering Remaining Building Lifespans. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 18:649-661. <https://doi.org/10.1007/s11803-019-0527-4>
- Park, R., Negel, M. J., & Gill, W. D. (1982) Ductility of square-confined concrete columns. *Journal of Structural Division*, 108(4), 929-950. <https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0005933>
- Paz & Leigh, M. (2004) *Structural Dynamics: Theory and Computation*. Springer Science+Business Media, 5a ed.
- SEAOC (2009) *SEAOC Blue Book: Seismic Design Recommendations*. Sacramento, California: Structural Engineers Association. Recuperado de: <https://www.seaoc.org/store/download.aspx?id=3DB58D21-2437-4522-B6B3-0511402E88A2>
- Sinha, B. P., Gerstle, K. H., & Tulin, L. G. (1964) Stress-strain behaviour for concrete under cyclic loading. *Journal ACI*, 61(2), 195-211.
- Wibowo, R.; Rohman, R. & Cahyono, S. (2021) Seismic Evaluation of Existing Building Structures in the City of Madiun using Pushover Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1845/1/012032>