



Dinámica estructural en Ingeniería Civil

Structural dynamics in civil engineering

• Mercedes Surichaqui¹ • Heydi Quispe² • Hever Palomino³

¹Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

Correo electrónico: mercedes.surichaqui@unh.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6225-1727>

²Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

Correo electrónico: heydi.quispe@unh.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3781-6236>

³Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

Recibido: 19 Abril del 2021 / **Revisado:** 03 Mayo 2021 / **Aprobado:** 07 Junio 2021 / **Publicado:** 05 Julio del 2021

RESUMEN

Todas las estructuras, grandes o pequeñas, se ven sometidas a fuerzas físicas que influyen en su comportamiento. Pensemos en los álabes de un aerogenerador marino que vibran en mitad de un temporal, en un avión cuando entra en una zona de turbulencias o una máquina expuesta a sus propias vibraciones, así también en estructuras de retención rígidas se emplean usualmente en obras civiles tales como muros de retención, estribos de puentes y cimentaciones, entre otros. El diseño de estas estructuras se basa en el cálculo de los empujes, estáticos y dinámicos, que ejerce el material retenido sobre la propia estructura. Específicamente, para el caso de acciones dinámicas, el método Mononobe-Okabe (M-O), es el más aceptado internacionalmente para el cálculo de empujes dinámicos sobre muros de retención rígidos. Este trabajo presenta una extensión del método M-O, denominado método modificado M-O (M-M-O), para obtener empujes dinámicos en estructuras de retención rígidas con inclusiones compresibles de poliestireno expandido (EPS) entre la estructura y el material retenido.

Palabras claves: Dinámicas; Estructural; Empuje dinámico; Daños en estructuras.

ABSTRACT

All structures, large or small, are subjected to physical forces that influence their behavior. Let us think of the blades of a marine wind turbine that vibrate in the middle of a storm, in an airplane when it enters a turbulent zone or a machine exposed to its own vibrations, as well as in rigid retention structures they are usually used in civil works such as retaining walls, bridge abutments and foundations, among others. The design of these structures is based on the calculation of the static and dynamic forces exerted by the retained material on the structure itself. Specifically, in the case of dynamic actions, the Mononobe-Okabe (M-O) method is the most internationally accepted for the calculation of dynamic forces on rigid retaining walls. This work presents an extension of the M-O method, called the modified M-O method (M-M-O), to obtain dynamic thrusts in rigid retention structures with compressible expanded polystyrene (EPS) inclusions between the structure and the retained material.

Keywords: Dynamics; Structural; Dynamic thrust; Damage to structures

1. INTRODUCCIÓN

En la siguiente revisión del texto Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico del profesor Luis Enrique García Reyes, de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, se recogen las apreciaciones más relevantes de su contenido. A pesar de que ha sido publicado en 1998, la temática tratada sigue estando vigente, y debido a la forma y secuencia en que son presentados los contenidos, es de fácil comprensión para un estudiante de pregrado en

ingeniería en la mayoría de sus capítulos. Siendo considerado también una excelente selección para la comprensión de esta temática en un tercer nivel (López, 2019).

En los inicios de la década de 1930, los profesores Theodore von Kármán y Maurice A. Biot desarrollaron aspectos de dinámica teórica de sistemas de un grado de libertad que buscaban aportar avances a la ingeniería aeronáutica. Estas investigaciones se cristalizaron en el concepto que hoy se conoce como Espectro de Respuesta.

La idea fue propuesta en 1932, pero no quedó materializada formalmente hasta 1936. Casi 80 años después, permanece prácticamente intacta, incluyendo sus ventajas y limitaciones (Gallego y Sarria, 2006).

La interacción suelo-estructura es un tema relativamente reciente (desde mediados del siglo pasado), y más reciente aún es su aplicación en el ejercicio actual de la ingeniería civil, por lo que pocas comprobaciones se conocen más allá de los planteamientos teóricos sobre los efectos que esta interacción provoca en el funcionamiento estructural de las edificaciones como en este caso. Actualmente la división de los edificios en bloques más simples es un uso común y conocido con el fin de independizar físicamente a las estructuras y dejarlas moverse de forma independiente ante los sismos, sin embargo, conceptualmente el hecho de que algunas de estas estructuras compartan una misma cimentación, infiere que estas estructuras no sean completamente independientes una de la otra, por lo que se deduce que estas estructuras interactúan entre sí (Pérez y Avilés, 2007).

En la actualidad los efectos producidos por la interacción de las estructuras de los bloques divididos, sus cimientos compartidos y el suelo donde se apoyan pasan desapercibidos debido a que tanto mediante el método manual como mediante software se suele analizar cada bloque de forma independiente acogiéndose a la independencia superficial otorgada por la separación mediante la junta sísmica (EMAC, 2011). Estos efectos pasados por alto pueden incluir desplazamientos y posibles concentraciones de esfuerzos (Puma, 2017).

Estos efectos son poco abordados en la actualidad y en la práctica del diseño pasan desapercibidos debido a que son simplificados mediante algunas consideraciones prácticas, dos de las cuales son las más influyentes para este estudio. La primera es la consideración de un suelo perfectamente rígido para el diseño de la mayoría de edificaciones, la segunda es considerar a cada bloque separado por la junta sísmica como independiente y sin vinculación de esfuerzos y deformaciones entre ambas; pero en la realidad, como se conoce, existe una interacción suelo-estructura y una vinculación de esfuerzos y deformaciones entre una y otra parte por medio de la cimentación compartida (Puma, 2017).

1.1 Problema a nivel mundial.

Muchas edificaciones diseñadas por ingenieros siguiendo “modernas” normativas han colapsado

de forma frustrante sin poder responsabilizar a nadie; casos como los sismos de Caracas (1967), San Fernando (1974), México (1957 y 1985), Northridge (1994), Taiwán (1999), Turquía (1999), Paquistán (2004), y Sichuan (2008) lo han mostrado claramente, con miles de edificaciones en el suelo, y con muchos más miles y millones en pérdidas de vida y patrimonio (Gallego y Sarria, 2010).

En la cual se presentan las posibles causas y consecuencias que produjo la caída del puente I-35, localizado en el Estado de Minnesota sobre el Río Mississippi. Se consultó para este trabajo una publicación realizada por Cusba (2011).

En mención al Puente Ferroviario Tay, construido en acero, que permitía la comunicación entre las ciudades de Dundee (Inglaterra) y Fife (Escocia). El colapso de su estructura se presentó el 28 de diciembre de 1897, se destaca la publicación llevada a cabo por Cusba (2011).

1.2 Problema a nivel nacional

Los problemas que se dan a nivel nacional dentro de los diseños moderno de edificaciones, el uso de la dinámica estructural es imperativo. El primer registro corresponde al sismo de Ica, del 15 de agosto de 2007, con casi tres minutos de duración registrado en Lima para un microsismo de magnitud 8,2 en la escala de Richter (Gallego y Sarria, 2010).

La existencia de solicitaciones y cargas que varían con el tiempo, como aquellas correspondientes a la presencia de vientos sobre fachadas, el oleaje marino sobre estructuras portuarias o el movimiento en la base que genera un terremoto o sismos, deben ser abordadas desde la teoría formal de la dinámica estructural (Condori, 2011). Debido a que normalmente construimos las edificaciones con mucha rigidez, existe la creencia generalizada de que las estructuras se encuentran en un estado de reposo, pero no es así. En realidad, las edificaciones se están moviendo o vibrando constantemente; la mayoría de las ocasiones de forma despreciable (Gallego y Sarria, 2010).

1.3 Problema a nivel local

En el distrito de Lircay, provincia de Angaraes, Huancavelica, Los problemas son dinámicos cuando existen masas en movimiento que cuentan con un movimiento periódico resultante de una rigidez restauradora. Las tres propiedades básicas de cualquier sistema dinámico son: rigidez, masa y amortiguamiento; sin embargo,

para fines de diseño de edificaciones, los ingenieros civiles nunca han controlado la variable del amortiguamiento, lo que establece una variable incontrolada que aleja a los problemas dinámicos de la optimización. No obstante, en los últimos años se han desarrollado investigaciones para subsanar ese problema, siendo relativamente común la existencia de edificaciones con aisladores en la base o amortiguadores que concentran y controlan la variable del amortiguamiento de una forma generalizada, donde el amortiguamiento de dispositivos externos y de aisladores, sísmicos en la base controlan el amortiguamiento global de las edificaciones de una forma bien establecida, que es posible cuantificar. Teniendo en consideración lo vertido por Reyes (1998)

1.4 Causas del problema.

En zonas de alto riesgo sísmico los empujes dinámicos pueden alcanzar magnitudes que causan daños significativos a las estructuras de retención, llegando en algunos casos a la falla. Como alternativa al diseño de muros capaces de soportar dichos incrementos de presiones, en diversas investigaciones se ha demostrado que es efectivo el uso de inclusiones compresibles (IC) de poliestireno expandido de alta densidad (EPS) en la interfaz muro-relleno, con el fin de atenuar los empujes dinámicos de tierra, es efectivo (El-Emam y Bathurst, 2007.).)

1.5 Consecuencias del problema.

Las cargas de viento generadas por huracanes, fuerzas de mareas y oleaje marino, así como los movimientos sísmicos, son una muestra de excitaciones que obedecen a una naturaleza aleatoria, estocástica y errática. Éstas generan la necesidad de un análisis estadístico y probabilístico, parte integral de la dinámica moderna y que se denomina Teoría de Vibraciones Aleatorias. Esta parte de la dinámica estructural, integra las ecuaciones de movimiento con las distribuciones probabilísticas de que se presenten movimientos de cierta frecuencia con cierta amplitud. El desarrollo de la dinámica estructural aplicada a edificaciones de vivienda, y otras de uso civil, necesitó de dos aspectos separados que debieron ser concomitantes para poder desarrollar el concepto (Valencia de Oro, et al., 2011).

1.6 Posible solución al problema.

Se puede notar entonces que la Dinámica Estructural ha madurado y desarrollado desde

hace muchos años, pero los ingenieros están usándola de forma limitada para el diseño de las edificaciones ante diferentes tipos de excitaciones que no son periódicas, como son aquellas correspondientes a los sismos, los vientos o el oleaje marino. Lo mostrado aquí correspondió en gran medida al caso sísmico; sin embargo, los otros casos de cargas aleatorias y con naturaleza estocástica, son decepcionantemente tratados en muchas ocasiones (López, 2019). Los avances actuales más relevantes de la dinámica estructural, más que buscar avances en los cálculos como tal, buscan establecer nuevos criterios de diseño y el establecimiento de nuevos tipos de materiales de construcción con propiedades mecánicas mejor conocidas. Es el caso de aquellos que buscan controlar la rigidez a partir del uso de varios espectros de respuesta, incluyendo los de desplazamiento para diferente amortiguamiento; o por medio de la construcción de historias de excitación definidas a partir de funciones de densidad espectral. También puede citarse el desarrollo de amortiguadores viscosos o histeréticos; y aisladores en la base que controlan la respuesta estructural de forma bien definida, aplicando conceptos avanzados de dinámica estructural moderna (Paz, 2021).

2. DINÁMICA ESTRUCTURAL EN INGENIERÍA CIVIL

2.1 Introducción a la dinámica de estructuras

La Dinámica de Estructuras en un área del análisis mecánico de las construcciones que estudia el efecto de las acciones externas que producen vibraciones. Su desarrollo comienza en el siglo XIX con las investigaciones de Lord Rayleigh sobre los efectos del sonido en cuerpos elásticos, las cuales aún tienen validez (Escalante, 2019).

El texto se acompaña de un diskette en el cual se encuentran diversos programas de cálculo escritos en lenguaje MATLAB, así como algunos archivos de datos de acelerogramas de sismos importantes ocurridos en diversas partes del mundo. Se ha elegido el lenguaje MATLAB debido a su facilidad de programación, que fundamentalmente radica en su manejo de matrices y vectores como objetos, lo que hace que los programas tengan una extensión mucho menor que sus equivalentes en lenguajes corrientes, como PASCAL, BASIC, o FORTRAN (Escalante, 2019).

Esto permite que el estudio de los programas pueda realizarse fácilmente en armonía con el de los desarrollos matemáticos y de los ejemplos;

por esta razón se ha incluido el listado de todos los programas en las partes convenientes del texto como parte integral de éste. Asimismo, MATLAB tiene la ventaja sobre cualquier lenguaje de los mencionados de permitir trabajar en el modo consola, adicionalmente al uso directo de los programas. Finalmente, dispone de ir Presentación una gran versatilidad para la presentación gráfica de los resultados, lo que en Dinámica de Estructuras resulta absolutamente necesario.

2.2 Acciones estructurales dinámicas

a. Motores y equipos mecánicos.

La actividad de máquinas en las cuales hay rotación de émbolos produce vibraciones sobre los elementos estructurales que las soportan, sean losas o cimientos. El valor y las direcciones de esta acción dependen del tipo de equipo mecánico. Así, algunos producen una carga armónica, como la indicada en debido a la rotación de una masa excéntrica. Como resultado de la acción, evidentemente, se tendrán desplazamientos horizontales, verticales y rotacionales en la estructura. Otros equipos consisten de dos masas iguales y excéntricas que rotan en sentidos opuestos, por lo cual se anula la componente horizontal del movimiento (Gómez, 2000)

b. Terremotos.

Los movimientos sísmicos del suelo constituyen una de las acciones dinámicas más severas entre las que actúan sobre las estructuras. se representa un registro del factor determinante de la carga externa $p(t)$, cual es la aceleración del suelo, que denotaremos como. Se observa que la acción carece de ley matemática, por lo que se puede considerar como la realización de un proceso aleatorio. En la zona donde se produce el deslizamiento (llamada hipocentro) se libera una energía de deformación acumulada durante un largo período de tiempo por causa de la tendencia opuesta de los dos sectores de la corteza. La ilustra este proceso de acumulación y ruptura, explicado por la teoría del rebote elástico (Hurtado, 2000).

2.3 Empuje dinámico en estructuras de retención con inclusión compresible

Estructuras de retención rígidas se emplean usualmente en obras civiles tales como muros de retención, estribos de puentes y cimentaciones, entre otros. El diseño de estas estructuras se basa en el cálculo de los empujes, estáticos y dinámicos, que ejerce el material retenido sobre

la propia estructura. Específicamente, para el caso de acciones dinámicas, el método Mononobe-Okabe (M-O), es el más aceptado internacionalmente para el cálculo de empujes dinámicos sobre muros de retención rígidos (Gonzales y Romo, 2014).

Para el caso de los empujes de tierra dinámicos, la compresión de una inclusión favorece el desplazamiento en el suelo de relleno, provocando una gran disipación de energía en el suelo y por ende una atenuación en los empujes dinámicos (Athanasopoulos, et al., 2012).

En el caso de estructuras de retención con inclusiones compresibles, los métodos de análisis dinámico son escasos, Karpurapu y Bathurst (1992), Athanasopoulos (2007) y Horvath (2008) han presentado algunos de ellos. El método presentado por Horvath (2008).

En muros rígidos de retención empotrados, con o sin inclusión compresible, las cargas horizontales aumentan a medida que se incrementa la aceleración y/o la frecuencia de la señal de excitación. En el caso de sistemas de retención con inclusión compresible, la atenuación de dichas cargas aumenta a medida que disminuye la densidad o incrementa el espesor de la inclusión compresible (Gonzales y Romo, 2014).

2.4 Análisis de daño en estructuras con apoyo flexible

Se presenta un enfoque de diseño por desempeño encaminado a controlar el daño estructural a partir de estimaciones precisas de la respuesta sísmica del sistema completo cimentación-edificio. Se trata de un procedimiento simplificado para el análisis práctico de daño en estructuras considerando los efectos de interacción suelo-estructura, con aplicaciones potenciales para el diseño por desempeño de nuevos edificios, así como para la evaluación por desempeño de edificios existentes. Se propone un modelo de daño basado en desplazamientos máximos y energía disipada bajo carga monotónica, con efectos de inversiones de carga cíclica estimados mediante un índice de Park y Ang modificado (Pérez y Aviles, 2007)

Es ampliamente reconocido que el diseño sísmico basado en desempeño requiere de análisis más precisos, que incluyan todos los factores potencialmente importantes involucrados en el comportamiento estructural. Uno de estos factores es indudablemente la interacción suelo-estructura. Todavía existe controversia respecto al rol que juega este fenómeno en el nivel esperado de daño

estructural ante un nivel dado de excitación sísmica. Para sistemas elásticos, se sabe que el efecto de la flexibilidad del suelo es alargar el periodo fundamental de vibración de la estructura (Pérez y Aviles, 2007).

Como se sabe, la ductilidad de desplazamiento es el parámetro de respuesta comúnmente usado para evaluar el desempeño inelástico de estructuras. Sin embargo, el desempeño estructural depende no sólo de la máxima demanda de desplazamiento, sino también del daño acumulado que resulta del fenómeno de fatiga de bajo ciclaje (Rodríguez et al., 2017). En modelos de daño prácticos es muy difícil considerar la historia completa de incursiones inelásticas. Por ello ha sido usualmente aceptado el uso de la energía histórica plástica como el parámetro de respuesta mejor correlacionado con el daño acumulado. Probablemente el modelo de daño más reconocido basado en el desplazamiento máximo y la energía disipada es el propuesto por Park y Ang (1985) (Wells y Stewart, 2003).

2.5 Determinación de espectros de respuesta considerando daño acumulado e interacción suelo-estructura

2.5.1 Daño acumulado

Para considerar la acumulación de las demandas plásticas en estructuras sismo-resistentes se han desarrollado diversos índices de daño. El objetivo de dichos índices es cuantificar el nivel de degradación o daño en un sistema considerando las propiedades de los materiales y las características de las acciones aplicadas (Arroyo y Ordaz, 2007). La evaluación del daño acumulado en estructuras sismo-resistentes puede abordarse desde diferentes perspectivas, algunas metodologías de daño resultan de la combinación lineal de las demandas de energía histerética normalizada y del desplazamiento máximo (Park y Ang 1985, Bozorgnia y Bertero 2001); de la energía histerética normalizada respecto a la máxima demanda elástica (Rodríguez, et al., 2017); o de la consideración explícita del número y amplitud de los ciclos de comportamiento plástico a través del índice de acumulación lineal del daño (Krawinkler y Zohrei 1983). El impacto del uso de un índice de daño u otro, puede determinarse mediante la comparación de los resultados obtenidos a partir de su aplicación. Algunos investigadores estimaron que las demandas de resistencia derivadas del uso del índice de daño de Park y Ang (1985) son semejantes a las obtenidas de otros índices de daño planteados a partir de simplificaciones y suposiciones diferentes

(Cosenza et al. 1993 y Terán y Jirsa, 2005). Por tal motivo, en el presente trabajo se utiliza el índice de Park y Ang (1985) para representar el daño estructural en osciladores no lineales (Rodríguez, et al., 2017).

2.6 Interacción suelo-estructura

La gran mayoría del análisis estructural se realiza bajo la suposición que la base de una estructura se encuentra empotrada, lo cual es aceptable para estructuras sobre suelos relativamente rígidos. Sin embargo, para estructuras desplantadas sobre un suelo flexible, la respuesta sísmica puede variar debido a dos efectos principales. Primeramente, modificación del movimiento de campo libre en la base de la estructura, segundo, un incremento en el periodo de vibración debido a la flexibilidad del suelo, y generalmente un aumento en el amortiguamiento generado por el comportamiento histerético y radiación de onda en el suelo. El primero se conoce como interacción cinemática y el segundo como interacción inercial, y todo el proceso es mejor conocido como interacción suelo-estructura. (Rodríguez, et al., 2017)

2.7 Mitigación

Las cargas de viento generadas por huracanes, fuerzas de mareas y oleaje marino, así como los movimientos sísmicos, son una muestra de excitaciones que obedecen a una naturaleza aleatoria, estocástica y errática. Éstas generan la necesidad de un análisis estadístico y probabilístico, parte integral de la dinámica moderna y que se denomina Teoría de Vibraciones Aleatorias. Esta parte de la dinámica estructural, integra las ecuaciones de movimiento con las distribuciones probabilísticas de que se presenten movimientos de cierta frecuencia con cierta amplitud (OPS, 2004).

Tanto las medidas estructurales como las no estructurales pueden reducir los efectos de los eventos naturales más peligrosos. Las medidas de mitigación estructurales incluyen medidas y normas físicas, tales como códigos de construcción, especificación de materiales y estándares de rendimiento en la construcción de edificios, readaptación de las estructuras ya existentes para aumentar su resistencia y mecanismos de protección, como por ejemplo diques. Las medidas de mitigación no estructurales se concentran principalmente en identificar las áreas de alto riesgo y limitar su uso (OPS, 2004).

Los desplazamientos y velocidades en ambas propuestas de diseño son demasiado grandes para el mecanizado con estándares mecánicas. Sin

embargo, esto se puede ampliar al modelado PKM porque este solo representa los elementos inerciales en lugar de hacer un modelo que englobe cada componente del sistema real como un elemento estructural inercial y adicional. Esta respuesta de gran escala se puede traducir como la suma de los desplazamientos asociados a los diversos componentes de cada subsistema. Esto es solo para los desplazamientos presentes en la interacción real entre herramienta y trabajo.

Además, se evaluó la validez de los valores de frecuencia natural obtenidos mediante simulación para los diferentes elementos de los modelos sólidos realizando cálculos teóricos de la frecuencia natural para una estructura tipo varilla sin soporte (fabricada en acero de sección cuadrada con 20 [mm] por lado y una longitud de 400 [mm] así como $\rho = 7829$ [kg / m³] y $E = 206,94$ [GPa]). Luego comparamos los valores teóricos con los obtenidos por la simulación. Comparamos el valor más bajo de frecuencia natural asociado con cada modo de vibración natural para obtener los resultados (Hodges y Pierce, 2011).

3. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arroyo, D., & Ordaz, M. (2007). *Hysteretic energy demands for SDOF systems subjected to narrow band earthquake ground motions. Applications to the lake bed zone of Mexico City. Journal of Earthquake Engineering*, 11(2), 147-165.
- Athanasopoulos-Zekkos, A., Lamote, K., & Athanasopoulos, G. A. (2012). *Use of EPS geofoam compressible inclusions for reducing the earthquake effects on yielding earth retaining structures. Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 41, 59-71.
- Condori, C. (2011). *Áreas probables de ruptura sísmica en el borde occidental del Perú, a partir de la variación del parámetro "b" (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geofísico). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.*
- Cusba, D. (2011). *Estudio de las Causas y Soluciones Estructurales del Colapso total o Parcial de los Puentes Vehiculares de Colombia desde 1986 al 2011, y la Evaluación de las Consecuencias del Derrumbamiento de uno de Ellos. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.*
- El-Emam, M. M., & Bathurst, R. J. (2007). *Influence of reinforcement parameters on the seismic response of reduced-scale reinforced soil retaining walls. Geotextiles and Geomembranes*, 25(1), 33-49.
- Escalante Gutiérrez, A. M. (2019). *Dinámica estructural manual interactivo con Matlab.*
- Gallego Silva, m., & Sarria Molina, A. (2006). *El concreto y los terremotos. Editorial Asocreto.*
- Gallego, M., & Sarria, A. (2010). *El Concreto y los Terremotos. Bogotá: Asocreto.*
- Gómez, J. H. (2000). *Introducción de la dinámica de estructuras. Universidad Nacional de Colombia. Manizales.*
- Gonzales B. C.M. y Romo O. M. P. (2014). *Empuje dinámico en estructuras de retención con inclusión compresible. Ingeniería, investigación y tecnología*, 15(4), 517-527.
- Hodges, D. H., & Pierce, G. A. (2011). *Introduction to structural dynamics and aeroelasticity (Vol. 15). cambridge university press.*
- Horvath, J. S. (2008). *Extended Veletsos-Younan model for geofoam compressible inclusions behind rigid, non-yielding earth-retaining structures. In Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics IV (pp. 1-10).*
- Hurtado, J. E. (2000). *Introducción a la dinámica de estructuras. Universidad Nacional de Colombia SEDE Manizales.*
- López, N. (2019). *Reseña del libro: Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico. Luis Enrique García Reyes. Gaceta Técnica*, 20(2), 66-69.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2004). *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud [Serie: Mitigación de Desastre]. Washington, D.C.*
- Paz, M. (2021). *Dinámica estructural. Teoría y cálculo. Reverté.*
- Pérez-Rocha, L. E., & Avilés, J. (2007). *Análisis de daño en estructuras con apoyo flexible.*

Revista de Ingeniería Sísmica, (77), 89-111.

- Puma Álvarez, E. E. (2017). *Efectos de la Interacción Suelo-Estructura en la Cimentación Compartida por Bloques independizados con junta Sísmica, verificado mediante ensayos a escala con Simulador Sísmico y Modelos de elementos Finitos*. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Reyes, L. E. G. (1998). *Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico*. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil.
- Rodríguez, A., Bojórquez Mora, E., Reyes-Salazar, A., Avilés, J., & Ruiz Gómez, S. E. (2017). *Determinación de espectros de respuesta considerando daño acumulado e interacción suelo-estructura*. *Ingeniería sísmica*, (96), 18-38.
- Valencia de Oro, A. L., Ramírez, J. M., Gómez, D., & Thomson, P. (2011). *Aplicación interactiva para la educación en dinámica estructural*. *Dyna*, 78(165), 72-83.
- Wells, J., Barlow, J., & Stewart-Brown, S. (2003). *A systematic review of universal approaches to mental health promotion in schools*. *Health education*.