



Revista Especializada de Ingeniería
y Ciencias de la Tierra



VOL: 5 N° 1 Julio - Diciembre 2025
ISSN L: 2805-1874

La Importancia del Espectro de Respuesta en el Diseño Sísmico: Guía para su Entendimiento, Origen y Aplicación en Panamá, 2025.

The Importance of the Response Spectrum in Seismic Design: A Guide to its Understanding, Origin and Application in Panamá, 2025.

Isaac Abdiel Salazar Moreno
Universidad de Panamá. Facultad de Ingeniería, Panamá
isaac.salazar@up.ac.pa
<https://orcid.org/0009-0003-6382-4883>

Recibido: 9/2/2025 Aceptado: 10/6/2025

DOI <https://doi.org/10.48204/reicit.v5n1.7681>

RESUMEN

La Importancia del Espectro de Respuesta en el Diseño Sísmico. Es sin duda un enfoque primordial para el diseño estructural. El Objetivo principal de este artículo es ofrecer una definición conceptual clara sobre el espectro de diseño. Se busca ayudar a los lectores a entender cómo este concepto es crucial para estimar las cargas sísmicas y garantizar la seguridad de las edificaciones e infraestructuras, ante sismos de diversas magnitudes. Métodos y Técnicas Utilizadas. Este escrito sigue un enfoque teórico y explicativo, utilizando conceptos fundamentales de la ingeniería estructural, mostrándolos de una manera más simple. Recordando como desarrollaron estos diagramas y como se implementa en norma del ASCE 7-05 y Reglamento Estructural Panameño REP 2021. No se emplean métodos experimentales, ni técnicas específicas, sino un análisis técnico, investigativo y conceptual. Desarrollo: El 55 % de los estudiantes egresados de carrera de ingeniería en edificaciones y ingeniería en infraestructura de la facultad de ingeniería durante conversaciones mantuvieron dudas del origen de la gráfica y como se interpretaba en la práctica profesional. Nuestro interés es brindar



una forma sencilla, basado en la normativa vigente y demostrar que este concepto, es clave para el diseño por resistencia y servicio de las estructuras en nuestro país. Conclusiones: Comprender su definición y la forma en que se construye según la normativa vigente es la forma de estimar la demanda sísmica de un lugar, es esencial para los profesionales y estudiantes; entender su importancia para que las estructuras se encuentren dentro del rango establecido de seguridad.

Palabras clave: Diseño, Estructura, Espectro, Sismo, Periodo de vibración.

ABSTRACT

The Importance of Response Spectrum in Seismic Design. It is undoubtedly a primary approach to structural design. The main objective of this article is to provide a clear conceptual definition of the design spectrum. It seeks to help readers understand how this concept is crucial for estimating seismic loads and ensuring the safety of buildings and infrastructure in the presence of earthquakes of various magnitudes. Methods and Techniques Used. This paper follows a theoretical and explanatory approach, using fundamental concepts of structural engineering, showing them in a simpler way. Recalling how these diagrams were developed and how they are implemented in the ASCE 7-05 standard and the Panamanian Structural Regulation REP 2021. No experimental methods or specific techniques are used, but a technical, investigative and conceptual analysis. Development: 55% of the students who graduated from the building engineering or infrastructure engineering courses of the engineering faculty during conversations had doubts about the origin of the graph and how it was interpreted in professional practice. Our interest is to provide a simple form, based on current regulations and demonstrate that this concept, is key to the design by resistance and service of structures in our country. Conclusions: Understanding its definition and the way it is constructed according to current regulations is the way to estimate the seismic demand.

Keywords: Design, Structure, Spectrum, Earthquake, Vibrations.

INTRODUCCIÓN

En la primera mitad del siglo XX, los ingenieros y matemáticos desarrollaron métodos para modelar cómo las estructuras responden a fuerzas dinámicas, especialmente en eventos sísmicos. Este avance se originó a partir de la creciente comprensión de que las estructuras pueden reaccionar de manera muy diferente dependiendo de sus propiedades dinámicas, como el periodo de vibración. El concepto del espectro sísmico, comenzó a gestarse en Tokio, a partir



de la idea propuesta por (Suyehiro Kyoji,1920). Suyehiro, ideó un instrumento compuesto, con el objetivo de registrar la respuesta sísmica antes de la ocurrencia de un terremoto. Poco después. (Benioff, 1932), dio un paso importante al desarrollar un instrumento similar, con el cual se podía medir el desplazamiento registrado y así determinar el valor máximo de la respuesta. Esto permitió la creación de lo que hoy conocemos como el espectro de desplazamiento elástico.

A lo largo de las décadas, el análisis sísmico ha sido fundamental para mejorar la seguridad estructural ante los terremotos. El concepto de espectro de respuesta, desarrollado por Benioff, revolucionó la forma en que se diseñan las estructuras sísmicamente. Sin embargo, aún hoy, el comportamiento sísmico de las construcciones sigue siendo un tema de estudio en muchos países, incluidos aquellos con alta actividad sísmica y Panamá, no es la excepción. La falta de conocimiento, preparación y comprensión ante estos eventos puede tener consecuencias devastadoras para las infraestructuras y la vida humana.

En Panamá, el Reglamento Estructural de la República (REP-2004, 2014), con su más reciente actualización en REP-2021, establece metodologías modernas para la estimación y el análisis de la respuesta sísmica en las estructuras a través del uso del espectro de respuesta. Esta herramienta permite que los ingenieros, arquitectos diseñen y construyan edificios e infraestructuras capaces de resistir las cargas sísmicas de manera más eficiente y segura. Sin embargo, el reto sigue siendo garantizar que estas metodologías sean implementadas de manera adecuada y comprendidas por todos los involucrados en el diseño y la construcción.

Si no se comprende adecuadamente la importancia del espectro de respuesta en el análisis sísmico en la formación de los estudiantes de ingeniería, las consecuencias pueden ser significativas tanto para los profesionales como para la sociedad en general. En el ámbito académico, la falta de conocimiento profundo sobre el comportamiento sísmico de las estructuras puede generar una mala comprensión de las metodologías modernas. lo que repercute en la calidad del diseño y la seguridad de las construcciones.

Este artículo tiene como objetivo introducir a los estudiantes de ingeniería de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Panamá, al análisis sísmico de una manera práctica y accesible. La propuesta es proporcionar un artículo técnico, que facilite la comprensión de las metodologías de espectro de diseño sísmico, destacando su importancia en la seguridad pública y la infraestructura nacional. Este artículo puede servir como una herramienta de introducción



a los cursos de diseño estructural, contribuyendo al fortalecimiento del conocimiento técnico de los futuros ingenieros.

DESARROLLO:

El primer concepto de espectro de diseño fue desarrollado por Benioff (1962), quien introdujo conceptos relacionados con la representación gráfica de la respuesta de un sistema oscilante a una excitación sísmica. Esto se consolidó en el espectro de respuesta sísmica. Los trabajos de Benioff incluyeron el desarrollo de modelos matemáticos para predecir cómo las estructuras responderían a las ondas sísmicas. Estos modelos son fundamentales para el diseño sísmico, ya que permiten a los ingenieros evaluar la estabilidad y seguridad de los edificios. Es aquí donde la mayoría de normas y códigos de diseño prescriptivo, como ASCE, ACI y AISC 360, utilizan estos conceptos para la creación y refinamiento de normas de construcción sísmica más seguras. Estos códigos emplean el espectro de respuesta para guiar el diseño estructural y asegurar que las estructuras sean adecuadas para resistir los esfuerzos producidos durante un terremoto. Los conceptos introducidos por Benioff han influido en los métodos de diseño sísmico modernos, como los métodos basados en el espectro de respuesta y el análisis de dinámica estructural. Los espectros de diseño propuestos para el análisis dinámico se construyen a partir de la familia de espectros de respuesta calculados para un sitio. Conceptualizando lo antes mencionado, los espectros de diseño son esquemas que buscan representar la respuesta que puede tener una estructura para una determinada región específica, considerando las posibles amplificaciones producto de las condiciones geológicas y si la estructura está o no cerca de fallas geológicas cercanas. Los valores de respuesta máxima esperada son, principalmente, la información que más requiere el ingeniero estructural para calcular y evaluar su estructura. No obstante, no podemos pasar por alto que los espectros de respuesta proporcionan datos relevantes, los mismo también pueden omitir información. Debemos entender que un movimiento sísmico no solo se determina por la respuesta máxima, sino también por la duración del movimiento y la cantidad de ciclos en la que puede oscilar una estructura, con una demanda considerable de desplazamiento.

Los espectros son instrumentos muy valiosos en la creación de estructuras de obra civil resistentes a terremotos, dado que posibilitan al ingeniero estructural calcular el valor máximo de la posible respuesta (generalmente en términos de aceleración); sin la necesidad de examinar la historia o los registros de eventos sísmicos de manera específica de un sitio. No obstante, en la creación de estructuras, para establecer las curvas espectrales. Es necesario tener en cuenta

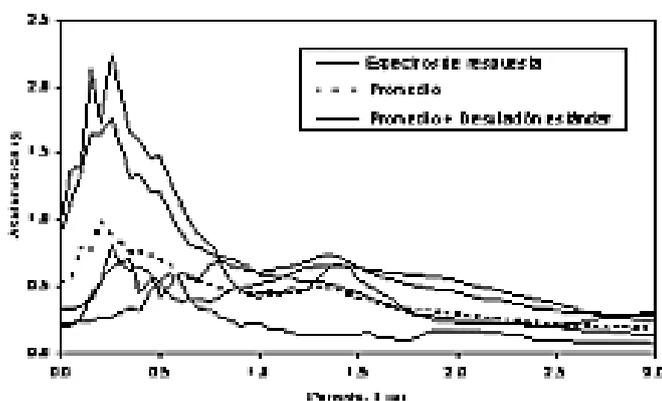


el impacto de diversos sismos, es decir, deben ser representativos de la sismicidad particular de cada zona. Varias técnicas, fundamentadas en procedimientos estadísticos, han sido desarrolladas para conseguir estos espectros de diseño.

El método más habitual consiste en tomar en cuenta el valor medio de la desviación estándar de los espectros de respuesta de diversos sismos significativos. Si los valores de las respuestas espectrales son parecidos, la desviación estándar es reducida y la curva espectral se alinea con un promedio, logramos una línea base de referencia. Por lo contrario, si los valores presentan variaciones significativas, la desviación estándar crece y la curva espectral se aproxima a un límite superior o incluso puede sobrepasarlo, lograríamos obtener un nuevo rango de referencia o límite. Dicho de otra manera. Este método considera un límite superior (Mayor Valor) o límite inferior (Menor valor), dando de esta forma un rango de menor dispersión en los datos obtenidos, permitiendo obtener resultados más confiables. **La figura 1.** por ejemplo, muestra el espectro promedio con la desviación estándar, obtenida a partir de 4 diferentes espectros de respuesta.

Figura 1

Ejemplo de determinación del espectro de diseño a partir de cuatro espectros de respuesta



Nota. El diagrama es únicamente un ejemplo educativo, ya que los cuatro sismos evaluados se asocian a regiones y fuentes sísmicas distintas. Adaptado de Guía de estudio: Espectros de respuesta y de diseño (p. 17), por F. Crisafulli y E. Villafañe, 2002, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería.

El espectro de respuesta que se presenta en una forma desordenada, es característica de una única excitación. Es igualmente importante considerar el espectro de respuesta para otro movimiento de terreno registrado en el mismo lugar, durante un terremoto registrado en otra



oportunidad, Lograríamos ver, que los picos y valles de la gráfica, no necesariamente se producen en los mismos intervalos de tiempo. Asimismo, no se puede anticipar el espectro de respuesta con todos sus pormenores para un movimiento del terreno que pueda suceder en el futuro. La pregunta que surge entonces es: ¿cuál utilizar?, para el diseño de una estructura. Alford, Housner y Martel (1951), en su investigación *Spectrum Analyses of Strong Motion Earthquakes* (revisado en 1967), determinaron utilizar el valor promedio. El espectro medio constituye el precursor del espectro suavizado. El espectro de diseño debe abarcar un conjunto de curvas suavizadas o un conjunto de curvas rectas con un descanso en cada nivel de amortiguación, y debe ser representativo de los posibles movimientos del terreno documentados en el lugar durante sucesos sísmicos anteriores. Si no hay registros del lugar, entonces debería asemejarse a terremotos registrados en otras ubicaciones bajo circunstancias muy parecidas. La selección de eventos sísmicos depende de factores como la magnitud, la distancia a la falla, el mecanismo de ruptura, la geología y las condiciones del suelo. Dado que no es posible predecir con precisión los movimientos sísmicos futuros, los espectros de diseño se basan en análisis estadísticos de registros acelerógrafos con características similares. Además, se utilizan líneas suavizadas o rectas porque es difícil estimar los períodos de vibración de estructuras que responderán de forma inelástica ante sismos fuertes.

Por otro lado, los efectos geológicos de un área tienen un gran impacto; como el tipo de origen sismogénico, el método de propagación de la ruptura, las propiedades de los materiales presentes en el camino de las ondas sísmicas y las condiciones locales del terreno. Estas condiciones dan resultados variables en las estimaciones de los cálculos. Debes comprender que hay diversas técnicas para calcular el espectro de diseño, ya que se conocen algunas propiedades de los movimientos sísmicos previstos en un determinado lugar. Lo usual en la mayoría de los códigos prescriptivos de diseño se considera un espectro de diseño en un suelo duro o roca, sin considerar la estratigrafía del sitio. En situaciones donde existen suelos blandos con depósitos profundos, los códigos de diseño por ejemplo, toman en cuenta la amplificación de la onda sísmica al incorporar parámetros locales en el espectro de diseño según; (American Society of Civil Engineers [ASCE], 2005, secciones 11.4.3, 11.8, capítulo 21).

Por ejemplo, la zona de Panamá central posee un fallamiento predominantemente transcurrente, siendo las fallas más importantes, por su longitud, la de Pedro Miguel, lateral derecha con rumbo Noroeste a Sureste (NNW-SSE) y la de Gatún, lateral izquierda con rumbo que va desde el Oeste-Suroeste hacia el Este-Noreste (WSW-ENE) (Camacho et al., 2010; Goswami et al.,



2019; Bourke et al., 2023). En esta región también existe una falla de rumbo sinistral, la Falla de Las Perlas o San Miguel, que se extiende con rumbo Noroeste a Sureste (NNW-SSE) desde el Archipiélago de las Perlas, atravesando la Bahía de Panamá y que se presume originó el sismo de 1971, Magnitud 5.6. Estudios paleo-sismológicos recientes realizados con motivo de los trabajos de ampliación del Canal de Panamá han logrado determinar que Panamá central posee un fallamiento activo predominantemente transcurrente (Camacho et al., 2010; Rockwell et al., 2010). Debido a todas estas condiciones específicas en la zonificación sísmica de Panamá. Podemos entonces mencionar que si existe una amenaza sísmica para la ciudad de Panamá y que esta se encuentra presente en su contexto en la reglamentación estructural local. Por tal motivo debe ser considerada mediante un análisis de espectro de respuesta para nuestra ciudad. Los espectros de diseño se derivan del análisis estadístico de datos de diferentes registros de eventos sísmicos, por su propia naturaleza, no pueden ser idénticos, lo que implica la necesidad de normalizarse de alguna manera. Existen diversos procedimientos, entre los que sobresalen la normalización de datos considerando la relación de intensidad espectral, los parámetros máximos de sitio como la aceleración, velocidad o desplazamiento.

METODOLOGÍA

Uno de los principales desafíos en la sismología aplicada a la ingeniería es calcular el comportamiento de una estructura ante movimientos del terreno. Para simplificar este problema, se utiliza el "espectro de diseño de respuesta". Este espectro, basado en valores medios de varios escenarios sísmicos, ayuda en el diseño sísmico práctico de estructuras en sitios específicos. Los valores espectrales se obtienen analizando registros de terremotos y reflejan la relación promedio entre distintos parámetros sísmicos del terreno. "Los espectros de respuesta se derivan del análisis de múltiples registros de movimientos del suelo y se utilizan para estimar la respuesta sísmica promedio de una estructura bajo diferentes escenarios de terremotos" (Naeim, 1999, p. 52).

Para un lugar específico, se ajustan a la aceleración máxima de diseño, que depende de la peligrosidad sísmica de cada región. El espectro simplificado se obtiene multiplicando cada rama de los parámetros del terreno por un factor de amplificación que depende del coeficiente de amortiguamiento de la estructura y de la probabilidad de que un terremoto supere un cierto nivel de intensidad (como la aceleración máxima de diseño) en un periodo de tiempo determinado.



En diseño sísmico, se define un umbral de probabilidad (por ejemplo, un 10% en 50 años) que indica la frecuencia con la que se espera que ocurra un evento sísmico que supere ese nivel de intensidad. James M. Kelly (1998) señala que el análisis probabilístico de la peligrosidad sísmica es fundamental para definir el nivel de diseño sísmico y la respuesta estructural ante terremotos. En su libro *Earthquake Resistant Design with Rubber*, específicamente en los capítulos 3, el autor explica cómo estos conceptos influyen en la seguridad y desempeño de las estructuras ante eventos sísmicos.

De acuerdo con el ASCE 7-05 (*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*) y varios códigos de diseño descriptivo, conceptual mente el estudio de la peligrosidad sísmica facilita la determinación de los parámetros de seguridad apropiados para las construcciones, basándose en los riesgos sísmicos de la zona.

Para el diseño sísmico de estructuras de importancia normal, se recomienda utilizar los valores correspondientes a una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, lo que equivale a un período de retorno de aproximadamente 475 años (ASCE, 2005, Sección 11.4.5).

Basándose en estos conceptos, los códigos de diseño definen espectros de respuesta para todas las diferentes regiones de su territorio de aplicación. Por ejemplo, para Panamá.

De acuerdo con el ASCE 7-05, el espectro de diseño sísmico se define a partir de las aceleraciones espectrales S_{DS} y S_{D1} , las cuales se calculan como dos tercios de las aceleraciones espectrales de referencia S_s (representa la aceleración espectral máxima para un período de oscilación corto (aproximadamente 0.2 segundos) y S_1 , (representa la aceleración espectral máxima para un período de oscilación largo (aproximadamente 1.0 segundo) respectivamente (ASCE, 2005, Sección 11.4.5).

de una manera más simple, el espectro de respuesta se utiliza para determinar las aceleraciones de respuesta espectral de diseño para una estructura dada.

Después de calcular los coeficientes de aceleración de la respuesta de diseño S_{DS} y S_{D1} , la curva del espectro, para estimar la respuesta de diseño debe construirse como se explica a continuación:

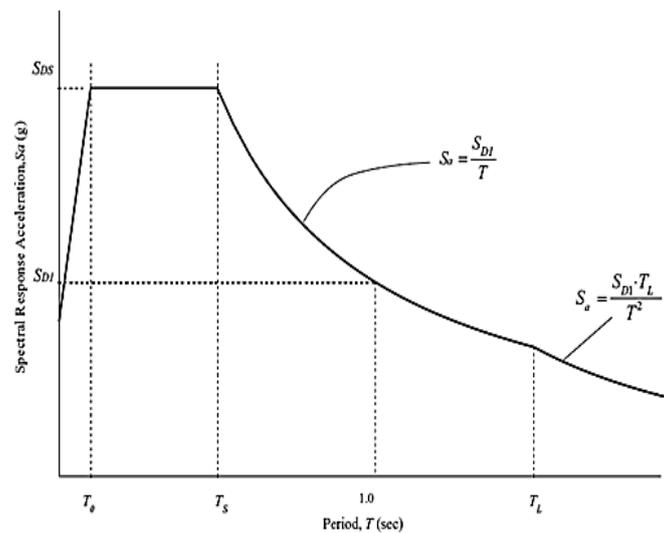
El espectro descrito en el Capítulo 11, del ASCE 7-05, 7-10. es un espectro de respuesta de enfoque probabilístico.



Para cada sitio específico, se define un Máximo Terremoto considerado (MCE) (un suceso con una probabilidad de superación del 2% en 50 años o un $T_r = 2475$ años). El terremoto de diseño es 2/3 del MCE.

Figura 2

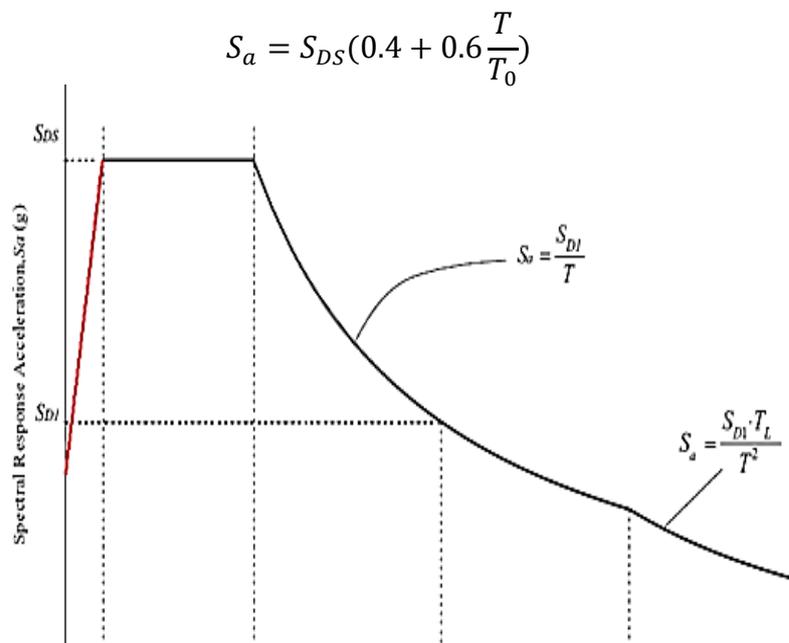
Espectro de respuesta de diseño simplificado según ASCE 7-05/ ASCE 7-10. Sección 11



Para períodos inferiores a T_0 , la aceleración de respuesta espectral de diseño, S_a , se tomará como la dada la siguiente ecuación, ver la figura 3.

Figura 3

Tramo del espectro construido con la ecuación. (ASCE, 2005, Sección 11.4.5)

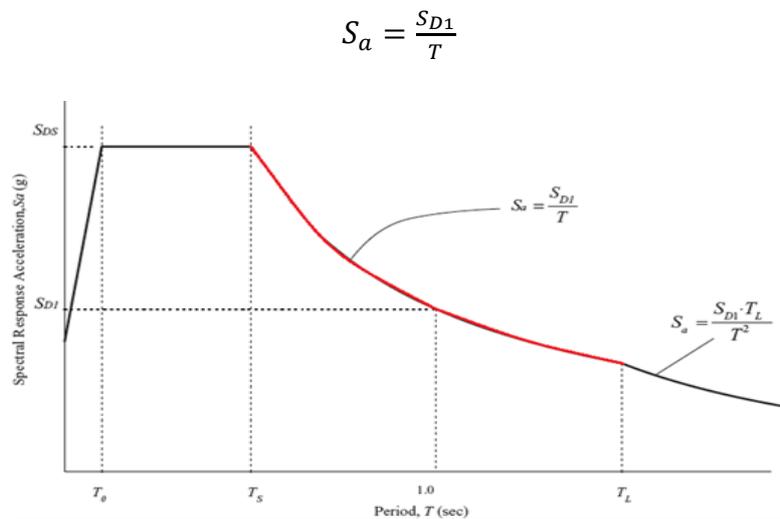




Para períodos mayores o iguales que T_0 y menores o iguales que a T_s , la aceleración de respuesta espectral de diseño, S_a , se tomará igual a S_{D1} . Para períodos superiores a T_s , e inferiores o iguales a T_L , la aceleración de respuesta espectral de diseño, S_a , se tomará como la dada la siguiente ecuación. Ver figura 4.

Figura 4

Tramo del espectro construido con la ecuación. (ASCE, 2005, Sección 11.4.6)



Para períodos superiores a T_L , la aceleración de respuesta espectral de diseño, S_a , se tomará como la dada la siguiente ecuación. Tramo del espectro construido con la ecuación. (ASCE, 2005, Sección 11.4.7)

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2}$$

De manera general, el movimiento del suelo durante un terremoto se registra como una aceleración en un punto determinado. Esta aceleración induce la aceleración de respuesta en la estructura, generando fuerzas inerciales sísmicas que actúan sobre ella. Estas fuerzas provocan deformaciones, esfuerzos internos y tensiones en los elementos estructurales. Por ello, el primer paso en el diseño de una estructura antisísmica es determinar la aceleración de respuesta máxima que podría experimentarse durante un sismo. Además, es fundamental evaluar cómo responderá la estructura ante este movimiento, lo que depende de su período de vibración y sus características de amortiguación.



CONCLUSIONES

El espectro de respuesta sísmica es una herramienta esencial en la ingeniería estructural, ya que permite evaluar el impacto de los terremotos en las infraestructuras de obras civiles y garantizar un diseño adecuado basado en la demanda sísmica esperada. Su correcta aplicación es clave para mejorar la seguridad y estabilidad estructural de las construcciones en Panamá, considerando la actividad sísmica del país.

El espectro de diseño definido en el ASCE 7-05/7-10 representa la aceleración máxima esperada en función del período de vibración de la estructura. Esta curva muestra la aceleración espectral frente al período fundamental, reflejando cómo varía la aceleración máxima esperada según la flexibilidad o rigidez de la edificación. Su aplicación permite determinar las fuerzas sísmicas de diseño, para garantizar la seguridad y estabilidad estructural.

El espectro de diseño se ajusta según la zona sísmica y la importancia de la edificación. En áreas de alta actividad sísmica, los valores de aceleración son mayores, mientras que, en zonas menos sísmicas, las aceleraciones esperadas son menores. También es importante comprender que existen componentes como el espectro de aceleración y el espectro de velocidad, los cuales se emplean para evaluar distintos aspectos de la respuesta dinámica de las estructuras.

Los ingenieros utilizan el espectro de diseño para modelar las fuerzas sísmicas que actuarán sobre una estructura, lo que permite diseñar elementos estructurales capaces de soportar las cargas sísmicas esperadas. Aunque en Panamá los sismos de gran magnitud no son frecuentes, esto no significa que la amenaza sísmica sea inexistente.

Por el contrario, es crucial que las edificaciones e infraestructuras grandes cumplan con los estándares de diseño sísmico.

Los profesionales del sector deben familiarizarse con los conceptos y normativas que rigen el diseño sismorresistente en el país. El conocimiento y la correcta aplicación de estas herramientas contribuyen a reducir el riesgo estructural y a mejorar la seguridad de las construcciones ante posibles eventos sísmicos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Algermissen, S. T., & Perkins, D. M. (1976). A probabilistic estimate of maximum acceleration in rock in the contiguous United States (U.S. Geological Survey Open-File Report 76-416, pp. 36–45). U.S. Geological Survey.
- Alva, J., Meneses, J., & Guzmán, V. (1984). Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú [Paper presentation]. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2006). *Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-05)*. Capítulo 11: Seismic criteria (pp. 115-116).
- Anderson, J. G., & Trifunac, M. D. (1977). On uniform risk functionals which describe strong earthquake ground motion: Definition, numerical estimation and an application to the Fourier amplitude of acceleration (Report No. CE 77-02). Department of Civil Engineering, University of Southern California.
- Anderson, J. G., & Trifunac, M. D. (1978). Uniform risk functionals for characterization of strong earthquake ground motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68(4), 1205–1218.
- Applied Technology Council (ATC). (1997). NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 273). Federal Emergency Management Agency.
- Benjamin, J. R., & Cornell, C. A. (1970). Probability, statistics, and decision for civil engineers (pp. 650-685). McGraw-Hill Book Company.
- Committee on Seismic Risk. (1984). Glossary of terms for probabilistic seismic-risk and hazard analysis. *Earthquake Spectra*, 1(1), 33–40. <https://doi.org/10.1193/1.1585255>
- Dowrick, J., Gibson, G., & McCue, K. (1995). Seismic hazard in Australia and New Zealand. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 28(4), 279-287. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.28.4.279-287>
- Gupta, V. K., & Trifunac, M. D. (1991). Seismic response of multistoried buildings including the effects of soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 10(8), 414–422. [https://doi.org/10.1016/0267-7261\(91\)90056-6](https://doi.org/10.1016/0267-7261(91)90056-6)
- Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura. (2022). Reglamento para el Diseño Estructural Panameño (REP-2021). Gaceta Oficial Digital, No. 29594-A. https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29594_A/83985.pdf
- Kelly, J. M. (1998). Earthquake engineering for structural designers (Capítulos 3 y 5). John Wiley & Sons.
- Muñoz Peláez, A. (2002). Ingeniería sismorresistente. Pontificia Universidad Católica del Perú. ISBN-13: 978-612-00-1175-1.



- Newmark, N. M., & Hall, W. J. (1982). Earthquake spectra and design. University of California, Department of Civil Engineering.
- Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. John Wiley & Sons.
- Riddell, R., & Newmark, N. M. (1979). Statistical analysis of the response of nonlinear systems subjected to earthquakes. University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Civil Engineering.
- Structural Engineers Association of California (SEAOC). (1999). Recommended lateral force requirements and commentary (7th ed.).
- Vere-Jones, D., & Ogata, Y. (2003). Statistical principles for seismologists. In W. H. K. Lee, H. Kanamori, P. C. Jennings, & C. Kisslinger (Eds.), *International handbook of earthquake and engineering seismology* (Vol. 81B, pp. 1573–1606). Academic Press.
- Wiemer, S., & Katsumata, K. (1999). Spatial variability of seismicity parameters in aftershock zones. *Journal of Geophysical Research*, 103(B13), 13135–13151. <https://doi.org/10.1029/1999JB900032>
- Wiemer, S., & Wyss, M. (2000). Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the western United States, and Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(4), 859–869. <https://doi.org/10.1785/0119990114>
- Youngs, R. R., Abrahamson, N. A., Makdisi, F., & Sadigh, K. (1995). Magnitude dependent dispersion in peak ground acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(4), 1161–1176. <https://doi.org/10.1785/BSSA0850041161>
- Youngs, R. R., & Coppersmith, K. J. (1985). Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard assessments. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(4), 939–964. <https://doi.org/10.1785/BSSA0750040939>
- Youngs, R. R., Chiou, S. J., Silva, W. J., & Humphrey, J. R. (1997). Strong ground motion attenuation relationship for subduction zone earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1), 58–73. <https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.58>