



RESEÑA DEL LIBRO: ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS CON CARGAS DINÁMICAS.

LUIS EDGARDO SUÁREZ

BOOK REVIEW: STRUCTURE ANALYSIS WITH DYNAMIC LOADS. LUIS EDGARDO SUÁREZ

David Patricio, Guerrero Cuasapaz¹

Recibido 20/04/2021: Aprobado: 11/06/2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22999.39841>

RESUMEN

La presente constituye un panorama del libro Análisis de Estructuras con Cargas Dinámicas del PhD. Luis Edgardo Suárez, profesor en el departamento de ingeniería civil y agrimensura de la Universidad de Puerto Rico, recinto universitario de Mayagüez, cuya publicación ha sido realizada en el año 2014. Se recopilan los aspectos, conceptos y procedimientos más importantes dentro del campo de la dinámica de estructuras, que servirán como cimientos sólidos tanto para lectores del nivel de pregrado como de postgrado. Varios de los temas abordados a lo largo del texto incluyen aspectos básicos y sencillos de comprender ya que a su vez, se presentan muchos detalles y ejemplos que consolidan el aprendizaje inclusive de ciertos lectores de desconocen de algún tema en específico.

Palabras clave: *cargas estructurales; dinámica estructural; Luis Edgardo Suárez*

¹David Patricio, Guerrero Cuasapaz. Ingeniero Civil. Magister en estructuras. Docente investigador en la Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. Correo: dguerrero@ups.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8547-906X>

ABSTRACT

This is an overview of the book Analysis of Structures with Dynamic Loads of the PhD. Luis Edgardo Suárez, professor at the department of civil engineering and surveying at the University of Puerto Rico, Mayagüez campus, whose publication was made in 2014. The most important aspects, concepts and procedures within the field of structure dynamics, which will serve as a solid foundation for both undergraduate and graduate level readers. Several of the topics addressed throughout the text include basic and easy-to-understand aspects since, in turn, many details and examples are presented that consolidate the learning even of certain readers who are unaware of a specific topic.

Keywords: *structural loads; structural dynamics; Luis Edgardo Suarez*

El texto Análisis de estructuras con cargas dinámicas del PhD. Luis Edgardo Suárez, profesor en el departamento de ingeniería civil y agrimensura de la Universidad de Puerto Rico, recinto universitario de Mayagüez, cuya publicación ha sido realizada en el año 2014[1], se encuentra organizado en dos tomos. La primera entrega corresponde a sistemas de un grado de libertad, mientras que en la segunda se indican los sistemas de múltiples grados de libertad. Tanto el primer tomo como el segundo están constituidos de 9 capítulos, los temas que integran el texto constituyen un material que, por lo general sirve para generar una buena base que consolida los conocimientos tanto para lectores de pregrado como de postgrado.

Debido a la gran cantidad de material, entre estos: demostraciones, procedimientos, formulaciones, ejemplos resueltos y propuestos, resulta muy complicado cubrir todos los temas indicados en el presente texto, en un curso de un semestre, por lo que la manera en la que se encuentra organizado y planteado los temas, permiten omitirse algunos puntos sin tener mayores dificultades de continuidad o entendimiento de la presentación del material. En el libro se exhibe una gran cantidad de líneas de código en *MATLAB*®, es decir, programas que sirven de complemento para que el lector pueda comprender, interpretar e inclusive crear nuevas rutinas para el desarrollo ágil de los temas estudiados. En ciertos capítulos se utiliza el programa *Mathematica*, este sirve para facilitar los procesos matemáticos sobre todo en lo referente al desarrollo simbólico, cabe indicar que este programa tiene similitudes con *Maple* y *Mathcad* en cuanto a la capacidad de resolución.

En el primer capítulo se indican los *efectos dinámicos en las estructuras civiles*, cuyos temas principales tratados son: tipos de cargas dinámicas, análisis dinámico vs estático, además de sus diferencias entre estos. También se presentan el conjunto de suposiciones y simplificaciones para la representación de estructuras a través del modelo analítico. Estos corresponden a los modelos continuos o masas distribuidas con infinitos grados de libertad y, modelos discretos o masas concentradas con un número finitos de grados de libertad. El

modelo matemático corresponde a las ecuaciones diferenciales aplicando condiciones iniciales y condiciones de borde y la resolución de estas (ecuaciones de movimiento). Además, en el modelo matemático en el que se puede aplicar las leyes de Newton se observa también la aplicación del principio de los trabajos virtuales que sirve para la obtención de las ecuaciones que rigen el movimiento.

El segundo capítulo aborda temas relacionados con la *derivación de las ecuaciones de movimiento empleando las leyes de Newton*, es decir, se detalla las ecuaciones que rigen el movimiento de sistemas de cuerpos rígidos y adicionalmente de elementos flexibles concentrados con masas despreciables, tal es el caso de los resortes, así como también sistemas estructurales con masas distribuidas. Además, se indican los procesos de simplificación para convertir un sistema continuo en uno discreto de un grado de libertad, en la que se utiliza como fundamento que la masa está concentrada en un solo punto, para esto se presenta con detalle dos métodos: *Resorte equivalente* y *Método de Ritz*, el primero resulta ser sencillo e intuitivo por lo cual se observan las diferencias entre el planteamiento de diagramas de cuerpo libre y cinético, mientras que el segundo es más analítico y preciso.

El principio de los trabajos virtuales y el método de Ritz son presentados en el tercer capítulo, se detalla los conceptos necesarios para discretizar un sistema continuo para representarlo en un sistema equivalente de un grado de libertad. En este capítulo se observa de forma resumida formulaciones alternativas a las *leyes de Newton*, es decir, se indica el principio de trabajos virtuales con la inclusión del caso dinámico debido a la introducción de fuerzas inerciales *Principio de D' Alembert* generalizado. Para finalizar el capítulo se atiende el procedimiento que una estructura vibra en consecuencia sólo puede deformarse de una forma, esta manera de vibrar no cambia en el tiempo, pero su magnitud del movimiento si varía con respecto al tiempo, a esto se lo conoce como el *método de Ritz* para discretización de sistemas continuos.

En el cuarto y quinto capítulo se abordan temas tales como *vibraciones libres de sistemas de un grado de libertad sin y con amortiguamiento*, respectivamente. En estos capítulos se presentan de forma clara y precisa las respectivas formulaciones paso a paso para encontrar la respuesta de estos sistemas, se complementa con la resolución de varios ejemplos, así como también, ejercicios propuestos por el autor. Se indican los conceptos de periodo y frecuencia natural de estructuras, decremento logarítmico que es un proceso para encontrar la razón de amortiguamiento. Cabe destacar que en el quinto capítulo se presentan la codificación de ciertas rutinas realizadas con *MATLAB®*, para comparar las respuestas de sistemas con y sin amortiguamiento.

La respuesta de sistemas de un grado de libertad con y sin amortiguamiento a excitaciones armónicas corresponde el tema presentado en el sexto capítulo, es decir, se indica la respuesta forzada de sistemas estructurales que se los puede representar a través de un modelo de un grado de libertad, adicionalmente se observan temas de gran relevancia tales como, la resonancia que es la coincidencia de las frecuencias de la carga con la frecuencia natural del sistema. Además, se refleja la función respuesta en frecuencia que es de gran importancia en Dinámica de estructuras. Para finalizar el capítulo se detalla el movimiento armónico de la base, pues con los conceptos detallados en este apartado se pretende comprender una de las cargas más importantes dentro de la dinámica tales como los movimientos sísmicos. Se indica el programa realizado con *MATLAB*® para obtener el gráfico desplazamiento vs la razón de frecuencias, carga para la frecuencia natural.

El séptimo capítulo se revisa la *respuesta de sistemas de un grado de libertad a cargas arbitrarias*, en las que en primer lugar se abordan temas conceptuales tales como el principio de impulso y *momentum* lineal, además que se detalla con mayor profundidad las demostración para llegar a la función respuesta a impulso unitario. Adicionalmente, se aplica en la parte matemática las integrales de convolución conocido en dinámica como *Integral de Duhamel*, para complementar lo anteriormente mencionado se plantean varios ejemplos muy bien estructurados para el buen entendimiento del lector.

En el octavo capítulo se tiene un complemento del anterior tópico, es decir, se visualiza la *evaluación numérica de la respuesta de sistemas de un grado de libertad bajo excitaciones arbitrarias*, a través de método numérico que es sencillo de aplicar con la limitación de que la respuesta que se va a calcular debe ser lineal. Luego de la aplicación de este método se detalla los espectros de respuesta, en estos se puede directamente observar la máxima respuesta sujeto a fuerza transitoria en función del periodo natural de la estructura y el tiempo de duración de la carga aplicada. Se observa varias rutinas en *MATLAB*®, entre ellas una que permite calcular de forma numérica el desplazamiento en función del tiempo para sistemas amortiguados ante una carga transitoria. Lo interesante de la rutina, en cuanto a carga transitoria, permite escoger varios tipos de carga entre estas, forma rectangular, de medio seno, de rampa creciente.

La respuesta de sistemas de un grado de libertad a movimientos de la base constituye el noveno capítulo; se detalla la carga más importante a considerar en las estructuras civiles debido al alto potencial para causar daño estructural como consecuencia de los movimientos que se tienen en la base. Adicionalmente, se observa de forma clara las ecuaciones de

movimiento, observando además el planteamiento de los espectros de respuesta de desplazamientos, pseudo-aceleraciones. Algo importante de destacar corresponde a los espectros de respuesta en diagramas cuadri-logarítmicos: desplazamientos, pseudo-velocidad y pseudo-aceleración, representados en un solo diagrama. Como consecuencia de los tópicos antes mencionados, se indican los espectros de diseño sísmico y el cortante basal utilizando normativas tales como UBC-97 y IBC-06. Temas adicionales que se puede resaltar, corresponde a una breve revisión de conceptos para el comportamiento inelástico en el diseño sismorresistente, ciclo de histéresis debido a deformaciones inelásticas y para finalizar el presente capítulo con el desarrollo del factor R, o factor de reducción de respuesta estructural.

En el segundo tomo se comienza a presentar lo relacionado a sistemas de múltiples grados de libertad, es decir, *las ecuaciones de movimiento de estos sistemas* que para tener una buena apreciación se indican de forma matricial, esto para mejorar la estructuración matemática y también facilitar la resolución de estas. Además, se observa tópicos de gran relevancia tales como el modelo de edificio de corte, que corresponde a la idealización de una estructura de varios niveles, conceptos muy importantes dentro de la dinámica estructural.

En el undécimo capítulo, *discretización de estructuras de barras mediante el método de rigidez y de Rayleigh-Ritz*, corresponde el complemento del tercer capítulo, pero aplicado a sistemas de múltiples grados de libertad con la presentación de toda la formulación matricial del *método de Rayleigh-Ritz*. Lo destacable de este capítulo corresponde a la aplicación mediante varios ejemplos y además, la utilización del software *Mathematica*.

En el duodécimo y décimo tercer capítulo se plantea las *vibraciones libres de sistemas de múltiples grados de libertad y el problema de valores propios*, respectivamente. Se indican los procesos y desarrollo teórico para encontrar la solución a través de los autovalores matricial, es decir, se desarrolla de forma muy detallada la interpretación física de los autovectores, así como su respectivo calculo. Otros temas de gran importancia que se derivan de lo indicado anteriormente son: cálculo frecuencias naturales, periodos, modos de vibración, ortogonalidad de los modos, normalización, entre los tópicos más importantes. Mientras que, en el décimo tercer capítulo, se plantea con mayor precisión y mayor detalle los conceptos matemáticos que ayudan a ahondar en ciertos temas que servirá para algunos lectores, adicionalmente se presenta rutina de *MATLAB®* para resolver los autovalores. Entre los temas más importantes de esta sección corresponde a coeficiente, principio, *interacción de Rayleigh*, además que se observa varios ejemplos para un buen entendimiento de los tópicos anteriormente descritos.

En el décimo cuarto y décimo quinto capítulo se visualiza *la respuesta de sistemas de múltiples grados de libertad sin y con amortiguamiento*, respectivamente. Los tópicos que se observan son de gran importancia dentro de la dinámica de estructuras, pues corresponde al análisis modal, que no es más que determinar la respuesta de estructuras que han sido modeladas como sistemas de múltiples grados de libertad con comportamiento lineal que se basa en transformación de coordenadas y la ortogonalidad de los modos de vibración o autovectores, además, se detalla con varios ejemplos las reglas de combinación modal tales como *Suma de los valores absolutos (SVA)*, *Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS o RCSC)*. En el décimo quinto capítulo se toma en cuenta la respuesta del sistema, pero considerando amortiguamiento además que se toma en cuenta la capacidad de disipación de energía, de igual forma se aplica el análisis modal indicado anteriormente. Los tópicos más importantes en el presente capítulo corresponden: transformación a coordenadas modales, solución de ecuaciones desacopladas, etc. Además, el autor, detalla una aplicación utilizando herramienta computacional *Sap2000*, en la que calcula la respuesta ante una fuerza dinámica.

La respuesta en el tiempo de sistemas de múltiples grados de libertad a fuerzas armónicas corresponde al décimo sexto capítulo, en este se presenta la formulación completa acerca de la respuesta en régimen, que no es más que la respuesta en tiempos bastante alejados del momento en el que actúa la excitación sobre la estructura. Además, que se describe la función *Respuesta en Frecuencia (FRF)*, esta sirve para obtener de manera experimental las frecuencias naturales, razones de amortiguamiento modal y los modos de vibración, además, existe varios ejemplos para complementar todos los conceptos y procedimientos indicados en este apartado.

La respuesta en el tiempo de sistemas de múltiples grados de libertad a movimientos sísmicos corresponde al décimo séptimo capítulo, el presente constituye uno de los capítulos más extensos del texto, debido a su gran aplicación e importancia en Dinámica de estructuras. En el presente se considera que el sismo está definido a través de un registro de aceleraciones en función del tiempo, espectro de respuesta o de diseño. Los temas más relevantes abordados en el capítulo son: forma general de participación modal, desplazamientos físicos en el tiempo, cortante basal, fuerzas equivalentes, respuesta sísmica de edificio de corte, además que se presenta programación de *MATLAB®* y para finalizar se observa ejemplo paso a paso de una estructura en la que se determina la respuesta sísmica en el tiempo con la utilización del *Sap2000*.

Al igual que en el tópico mencionado anteriormente, el décimo octavo capítulo también es

bastante extenso por su gran importancia, en este se detalla *la respuesta de sistemas de múltiples grados de libertad con el método del espectro de respuesta*. Ya que la excitación sísmica es de carácter aleatorio, es de vital importancia usar un conjunto de registros sísmicos reales o sintéticos, además, que se recomienda la utilización de por lo menos tres acelerogramas distintos para tener valores máximos de fuerzas internas y desplazamientos que sean confiables. El presente tema abordado constituye el procedimiento más utilizado para el cálculo de la respuesta sísmica en estructuras. Los temas más relevantes indicados en el presente son: combinación de *máximas respuestas modales* utilizando la regla (SAV, SRSS), cortante basal por medio del espectro de respuesta, espectro de respuesta para edificio de corte, máxima deriva modal, máximo momento de vuelco modal, entre otros, y termina con una aplicación para hallar la respuesta sísmica mediante el espectro de respuesta con la utilización del *Sap2000*.

Para finalizar el texto, tanto en el primer tomo como en el segundo se detalla todas las rutinas que han sido utilizadas a lo largo del texto, es decir, se tienen los respectivos apéndices. Cierta parte del material indicado en esta revisión constituye temas que se dictan en las asignaturas de Diseño Sismorresistente y Dinámica Estructural de la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, es decir, constituye uno de los textos base para las cátedras antes indicadas.

Luego de haber analizado el contenido del libro en sus dos tomos, se puede concluir que, debido a lo extenso en lo referente a conceptos, procedimientos, ejemplos, rutinas de programación y también por la organización lógica del autor, permite a los lectores tanto de pregrado como de postgrado tener la facilidad de tomar el orden apropiado que crean conveniente sin tener problemas de continuidad, para llegar a obtener los conocimientos sólidos para temas mucho más avanzados dentro del campo de la dinámica estructural.

REFERENCIAS

- [1] L. Suárez, “Análisis de estructuras con cargas dinámicas”, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico, 2014