Licenciatura: Ingeniería Mecánica

“Análisis numérico de la modificación de las propiedades elásticas de barras y tubos de aluminio por efecto de la aparición de perforaciones.”

Modalidad: Proyecto Investigación

Versión: primera

Trimestre lectivo: 21I

Datos del alumno:

Nombre: José Hilario García Pérez

Matrícula: 2153036609

Correo: garciamt_mt67@outlook.com

Firma: _____

Asesora: Dra. Ma. Gabriela Báez Juárez

Departamento de adscripción: Ciencias Básicas

Categoría: Titular

Teléfono: 55 4763 0359

Correo: gbaez@azc.uam.mx

Firma: _____

Asesor: Dr. Enrique Flores Olmedo

Departamento de adscripción: Ciencias Básicas

Categoría: Asociado

Teléfono: 5544798669

Correo: efo@azc.uam.mx

Firma: _____

Declaratoria

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presiente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la división de Ciencias Básicas e Ingeniería.

_____

José Hilario García Pérez

_____

Dra. Ma. Gabriela Báez Juárez

_____

Dr. Enrique Flores Olmedo

Introducción

En este trabajo se estudiarán numéricamente las propiedades elásticas de una varilla y un tubo de metal, a partir de sus espectros de frecuencias naturales de vibración (torsional, compresional y flexional) y como éstas se ven afectadas por el surgimiento de conjuntos de perforaciones de cierto tamaño. Este estudio permitirá predecir el daño que sufren estos sistemas (barra o tubo de metal) y como este se refleja en los correspondientes módulos elásticos por la aparición de perforaciones. Los resultados de este estudio podrían tener aplicaciones para el mantenimiento preventivo en sistemas de tuberías varias que dan servicio en casas habitación y fábricas, entre otras.

El análisis de estos espectros permite determinar las propiedades mecánicas de estas estructuras, como son: velocidades de propagación de los distintos tipos de ondas mecánicas (arriba mencionadas) y sus módulos elásticos. Los espectros de frecuencia de las barras y tubos de aluminio, que se proponen en este trabajo, son bien conocidos en la literatura [1]. La aportación de esta investigación se concentrará en las consecuencias que genera, en el espectro de frecuencia y en los parámetros elásticos, la modificación estructural de estos sistemas. También se pretende correlacionar e interpretar estos cambios en función del número y/o tamaño de las perforaciones. Asimismo, puede quedar diseñada una estrategia y un conjunto de sistemas elásticos, para comprobar experimentalmente los resultados de este trabajo.

Para este estudio numérico se utilizará el software de simulación numérica COMSOL-Multiphysics, el cual resuelve las ecuaciones constitutivas de la elasticidad para sistemas finitos determinados. Este software realiza simulaciones de alta confiabilidad de vibraciones elásticas en sólidos en 3D, además de brindar las herramientas para crear modelos propios. [2]

Para llevar a cabo la simulación computacional se usarán los parámetros de una barra cilíndrica de aluminio 1100, cuyas características geométricas se modificarán, considerando: una barra hueca, una barra sólida, así como sus variantes, en función de cierto número de barrenos de diámetro fijo y/o variable, a lo largo de la longitud del sistema.

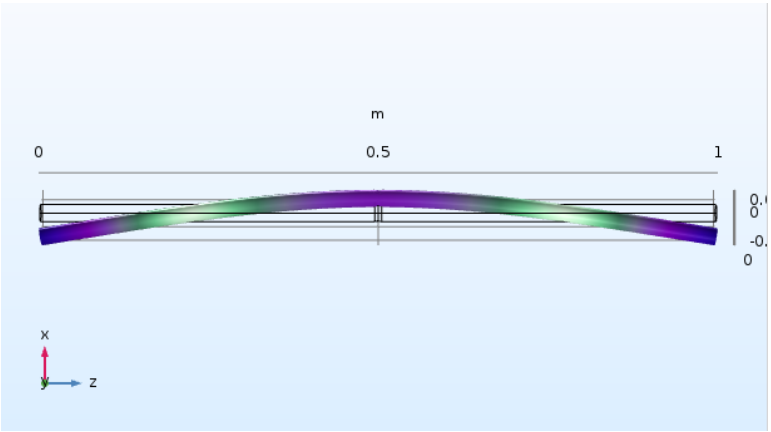

Figura 1. Deformación flexional de una varilla sólida. (obtenida con COMSOL)

Antecedentes

J A Franco-Villafañe et. al., en 2012, presentaron en un experimento sencillo los principios y aplicaciones de la caracterización elástica por la técnica de espectroscopia acústica (ARS) resonante, sin contacto. Dicha técnica, se aplicó al estudio de una varilla vibrante de aluminio. La configuración incluye transductores electromagnéticos-acústicos, un amplificador de audio y un analizador de redes vectoriales. Los resultados típicos de ondas compresionales, torsionales y de flexión se analizaron y compararon con resultados analíticos y se determinan las velocidades de propagación de los tres tipos de ondas mecánicas (compresional, torsional y flexional) [2]. Este trabajo es una clara guía para cursos de laboratorio avanzado de Física para determinar en un laboratorio las propiedades elásticas de sistemas vibrantes macroscópicos.

Jean Ripoche, Gérard Maze & Jean-Louis Izbicki realizaron, en 1985, avances en el estudio experimental de la dispersión acústica de objetos sumergidos en agua, en este trabajo se menciona por primera vez el nombre de la técnica de “espectroscopia acústica por resonancia”. El método se usó para la determinación experimental de los espectros de frecuencias propias de cilindros elásticos de aluminio y carcasas cilíndricas que da un "espectro de resonancia" cuasi lineal. [3]

Li Wang, Li Bao y Deng LunHua estudiaron la medición cuantitativa de especies transitorias por espectroscopia de modulación. Se utilizó espectroscopia de absorción directa para verificar la viabilidad de la medición cuantitativa de la

espectroscopia de modulación de concentración. Se encontró que la espectroscopia de modulación de concentración era particularmente sensible a moléculas excitadas. [4]

William Carnegie estableció una ecuación para la frecuencia fundamental de vibración y, para el caso de una hoja recta de sección transversal uniforme y simétrica, dedujo una solución basada en una forma aproximada de la curva elástica normal. Las ecuaciones diferenciales características de movimiento para el sistema rotatorio se obtuvieron a partir de las expresiones de energía mediante el uso de cálculo variacional. [5]

Héctor R. Zaradnik, Silvia Raichman, Aníbal Mirasso y Daniel E. muestran cómo, aún en rango elástico, la influencia de las deformaciones geométricamente no lineales induce a estimar valores equivocados del módulo de deformación longitudinal. Por medio del método de los elementos finitos se han realizado ensayos numéricos que permiten visualizar la influencia de las deformaciones geométricamente no lineales en simulaciones del ensayo de compresión de caños, tanto de materiales homogéneos como laminados. Se pone en evidencia que según sea la técnica de ensayo empleada, el módulo de deformación longitudinal puede ser estimado por defecto o por exceso.[6]

Justificación

Cada material es diferente y se distingue de otros por sus cualidades, llamadas propiedades. Algunas de sus propiedades elásticas pueden ser identificadas experimentalmente al someterlos a ensayos de esfuerzos estáticos o dinámicos [7]. Otra forma de determinar estas propiedades es usando los modelos predictivos, los cuales ayudan a reducir los costos de un experimento sin la guía de modelos diseñados a propósito.

La simulación numérica de procesos es una de las más grandes herramientas de la ingeniería, esta se utiliza para representar un proceso real, mediante otro más simple y comprensible. Esta simulación es, en algunos casos, indispensable, como el análisis estructural y geométrico [8]. En otros casos no estrictamente necesario, pero sin este procedimiento se hace más complicado.

Con los avances en el software de análisis de elementos finitos, el desarrollo de prototipos físicos para pruebas preliminares se está volviendo rústico. Esto

se debe a los recursos disponibles y a la presión de la industria para realizar tareas en plazos más cortos y con mayor precisión. Por lo tanto, el propósito principal de esta investigación será desarrollada usando esta metodología [9], aplicada a un problema específico.

Objetivos

Objetivo general

Simular numéricamente los tres tipos de vibraciones mecánicas de barras y tubos de aluminio de 25mm de diámetro y los efectos de fracturas o perforaciones en los espectros de frecuencias correspondientes.

Objetivos particulares

Reproducir con un software de simulación mecánica las distintas vibraciones de una barra (sólida y hueca) de aluminio 1100.

Estudiar los efectos que los cambios en la geometría de las barras de aluminio causan en los espectros de frecuencias propias, en relación con los originales, en función de cierto número de perforaciones.

Metodología

Modelo físico

Los sistemas por analizar serán barras de aluminio 1100 de 100 centímetros de longitud y 25 milímetros de diámetro. Estas dimensiones se eligen porque son los que se encuentran comúnmente en el mercado, previendo que los resultados de este trabajo puedan ser confirmados en un experimento. Sin embargo, los resultados de este estudio numérico se espera que sean generales, independientemente del diámetro y longitud de las barras ya que estos son escalables.

Se proponen en total, 6 modelos que contarán con características diferentes descritas en la Tabla 1.

Barra	Disposición de barrenos	Diámetro de barrenos [mm]
sólida	2 barrenos	5
sólida	2 barrenos	10
sólida	3 barrenos	5
hueca	2 barrenos	5
hueca	2 barrenos	10
hueca	3 barrenos	5

Tabla 1. Características de las barras.

Tratamiento numérico

Para resolver las ecuaciones que gobiernan las vibraciones mecánicas de cada sistema (ver Tabla 1), con condiciones de frontera libres, se usara el software COMSOL multiphysics. Este es un programa de simulación multi-plataforma, basado en el método del elemento finito, para resolver ecuaciones diferenciales parciales. El procedimiento para cada barra propuesta en la Tabla 1 será como sigue:

1 Se introduce, en la interfase del programa, los valores característicos de las propiedades (parámetros relevantes) del material del sistema

elástico a considerar, sus dimensiones y geometría particular, que permanecen constantes.

2 Se eligen las condiciones de frontera del sistema (condiciones libres) y se da el valor de la velocidad propagación, característico de cada tipo de onda, en el material seleccionado (aluminio 1100).

3 Se elige el número de niveles de frecuencia que se desean calcular del espectro del sistema.

Se ejecuta el programa y se obtienen los valores transitorios de los campos del espectro de frecuencias propias y los modos normales correspondientes.

Normatividad

Norma ISOISO 128 es un estándar internacional (ISO), sobre los principios generales de presentación de dibujos técnicos, más específica será la representación gráfica de los objetos en dibujos técnicos.

Norma NMX-W-047-SCFI -2013 aluminio y sus aleaciones – propiedades mecánicas – ensayo de resistencia a la tensión. Esta norma mexicana establece el método de prueba a la tensión para determinar las propiedades mecánicas en el aluminio y sus aleaciones, en cualquier forma física, exceptuando las de papel, polvos y sinterizados, a la temperatura ambiente y a baja velocidad de deformación.

Norma PROY-NMX-W-162-SCFI-2011: aluminio y sus aleaciones determinación del tamaño de grano promedio. Determina del tamaño del grano promedio, establece el método para determinar el tamaño de grano promedio por el método de comparación y el procedimiento de intercepción en el aluminio y sus aleaciones en cualquier forma física.

Cronograma de actividades

UEA para la que se solicita autorización:

- Proyecto de integración en Ingeniería Mecánica l.
- Proyecto de integración en Ingeniería Mecánica ll.
- Introducción al trabajo de investigación en Ingeniería Mecánica.

Trimestre 21P

Actividad	**Semana**											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Diseñar las barras de aluminio con las irregularidades.												
Configurar la interfaz, la malla y simular												
Generar los espectros de frecuencia												
Elaborar el reporte final												

Trimestre 21O

Actividad	**semana**											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	9	**10**	**11**	**12**
Analizar e interpretar los espectros de frecuencia.												
Correlacionar los resultados entre cada simulación y con el espectro de frecuencia característico												
Elaborar y entregar el reporte final.												

Entregables

Reporte final

Referencias bibliográficas

[1] Zhang, Rui; Jiang, Bei; Cao, Wenwu (2002). "Influencia del tamaño de la muestra en las mediciones de velocidad de fase ultrasónica en cerámicas piezoeléctricas". Revista de Física Aplicada. Publicaciones AIP. 91 (12): 10194.

[2] J. A. Franco-Villafane, E. Flores-Olmedo, G. Baez, O Gandarilla-Carrillo, and R. A. Mendez-Sanchez. Acoustic resonance spectroscopy for the advanced undergraduate labo-ratory, volume 33. IOP Publishing, oct 2012.

[3] J. Ripoche, G. Maze, and J. Izbicki. A new acoustic spectroscopy: Resonance spectroscopy by the miir. Journal of Nondestructive Evaluation, 5:6979, 1985.

[4] Quantitative measurement of transient species using concentration modulation spectroscopy: Li Wang Bao Li Lun HuaDeng Optics Communications. Volume 480, 1 February 2021, 126493

[5] W. Carnegie, “Vibrations of Rotating Cantilever Blading”, J. Mech. Engrg Sci., vol. 1, no. 3, London, 1959.

[6] Mecánica Computacional Vol XXIX, págs. 1975-1989 “Determinación de módulo elástico de materiales homogéneos y compuestos, en base a ensayos sobre tuberías circulares” Eduardo Dvorkin, Marcela Goldschmit, Mario Storti (Eds.) Buenos Aires, Argentina, 15-18 noviembre 2010

[7] Joseph Midthun, Samuel Hiti “Materia y sus propiedades” Libro By: Midthun, Joseph. México: Trillas, 2017 32 páginas.

[8] Development of an acoustic material property database and universal airflow resistivity model. A.A. El-Sebaii , M.R.I. Ramadan, S. Aboul-Enein, M. El-Naggar Department of Physics, Faculty of Science, Tanta University, Tanta, Egypt

[9] Simulación numérica en Ingeniería y Ciencias con MATLAB + COMSOL Multiphysics By: Ivorra, Benjamin. 01/01/2015

Terminología

Espectro de frecuencias: conjunto de frecuencias naturales (características de cada sistema) a la cuales, el sistema, responde con mayor intensidad cuando es perturbado con señales armónicas de dichas frecuencias.

Infraestructura

Acceso remoto al servidor del Laboratorio de Sistemas Dinámicos para realizar las simulaciones numéricas en COMSOL

Asesoría complementaria

No aplica

Publicación o difusión de los resultados

Presentación de resultados en el LXIV Congreso Nacional de Física 2021, Tijuana, Baja California. Número de registro LXIV-002976.

Comentario del CEIM		Acción realizada en la PPI	
Pág. 1	Eliminar el complemento de la categoría	Pág. 1	Se eliminó el complemento de la categoría.
Pág. 6	¿Por qué la referencia 3 va después de la 9?	Pág. 6 y 10	Se cambió el orden de las referencias
Pág. 6	particulares	Pág. 6	Se cambió la palabra “específicos” por “particulares”
Pág. 6	Quitar viñetas	Pág. 6	Se quitaron viñetas
Pág. 7	Acentos	Pág. 7	Se pusieron acentos
Pág. 9	Elaborar el	Pág. 9	se cambió la palabra “del” por “el”
Pág. 9	Elaborar y entregar	Pág. 9	Se cambio la frase “elaboración y entrega del” por “Elaborar y entregar el”
Pág. 11	¿Definición?	Pág. 11	Se puso la definición