



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD **AUTÓNOMA DE PUEBLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

“MANUAL DE PRÁCTICAS DE VIBRACIONES MECÁNICAS”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO

PRESENTA:

JOSÉ RAUL SALDAÑA RUÍZ

Matrícula: 200925276

ASESOR:

FILIBERTO CANDIA GARCÍA

CO ASESOR:

CARLOS ARTURO MENDOZA VÁZQUEZ

Puebla, Pue.

Marzo 2023

Agradecimientos

El profesionalista en el que me he convertido, representa una enorme gratitud a todas aquellas personas que me han apoyado en el proceso.

Oficio de asignación de director de tesis



Oficio No. SAC/0751/2023

**C. José Raúl Saldaña Ruíz -200925276-
Pasante de la Licenciatura en Ingeniería
Mecánica y Eléctrica
Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

"MANUAL DE PRÁCTICAS DE VIBRACIONES MECÁNICAS"

Por lo anterior hago de su conocimiento que se asigna como Asesor de tema al Dr. Filiberto Candia García y como Co Asesor al Mtro. Carlos Arturo Mendoza Vázquez.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente
"Pensar bien para vivir mejor"
H. Puebla de Z. a 19 de abril de 2023

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director



M'ACGZ/M'VGL/barv
C.c.p. Archivo

Facultad
de Ingeniería

Bvd. Valerillo y Av. San Claudio
s/n, edf. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria
Puebla, Pue. C.P. 72570
222 229 66 C0 Ext. 7610

Carta de impresión de tesis

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P r e s e n t e.

El que suscribe: Dr. Filiberto Candia García, asesor del tema de tesis:

"MANUAL DE PRÁCTICAS DE VIBRACIONES MECÁNICAS"

Presentada por el C. José Raúl Saldaña Ruíz -200925276-, pasante del Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, y en atención al oficio No. SAC/0751/2023 con fecha de emisión 19 de abril de 2023, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z. y de 20 de abril de 2023



Dr. Filiberto Candia García
Asesor de Tema

D*FCG/BARV
C.c.p. Archivo

Contenido

Oficio de asignación de director de tesis	1
Carta de impresión de tesis	2
Capítulo 1. Introducción	2
Antecedentes	4
Planteamiento del problema	5
Justificación	6
Objetivos	7
General	7
Específicos	7
Capítulo 2. Marco conceptual	12
Marco teórico	13
Capítulo 3. Métodos y técnicas	25
Variables cuantitativas	28
Factibilidad	30
Capítulo 4. Desarrollo	33
Determinación de la evidencia de aprendizaje	36
Hardware	36
Software	38
Ensamblaje	41
Discusión	52
Conclusiones	56
Bibliografía	57
Anexo	52
Manual de Vibraciones Mecánicas	52

Capítulo 1. Introducción

La actual situación de confinamiento¹ por Pandemia (COVID-19) ha llevado a los responsables de la educación a solicitar a los docentes y alumnos a mantener un ritmo y estilo de enseñanza-aprendizaje llamado nueva normalidad². Sin embargo, este escenario educativo carece de la mínima infraestructura (equipos, materiales, recursos de software y hardware) de apoyo para la virtualidad.

Entre las demandas de apoyo por parte de los estudiantes, se encuentra el apartado de material didáctico pertinente y de fácil acceso. Para ello es necesario ejecutar como iniciativa de la comunidad educativa, la ejecución de proyectos enfocados a la producción de material didáctico para la enseñanza a distancia. Para ello, los documentos textuales como: tutoriales, manuales, ensayos, formatos, entre otros, se vuelven los principales insumos del desarrollo tecnológico para la enseñanza asíncrona.

Esta situación contextualiza una problemática específica de la falta de pertinencia de los laboratorios de alta tecnología especializados en vibraciones mecánicas, que se encuentran en las Instituciones de Educación Superior (IES), pues ante las condiciones de confinamiento su uso y empleo colectivo es no viable o factible.

Si la nueva normalidad llega para quedarse, es imprescindible e indispensable que se generen desde las académicas docentes, las propuestas iniciales de: manuales, tutoriales, ensayos, formatos, para que estas alternativas puedan transitar a la virtualidad a través de la digitalización. Permitiendo el acceso a la autoformación y a la sustitución de la figura del docente, ampliando las oportunidades de éxito de las estrategias de educación a distancia.

Como consecuencia en el presente documento se redacta el desarrollo de un manual de prácticas para la asignatura de Vibraciones Mecánicas, que tiene la finalidad de sustentar la fabricación “Hágalo Usted Mismo (DIY, por sus siglas en el idioma inglés Do It Yourself)

¹ <https://aristeguinoticias.com/1805/mexico/en-puebla-confinamiento-por-covid-19-hasta-tercera-semana-de-junio-barbosa/>

² <https://www.lavanguardia.com/participacion/lectores-corresponsales/20210320/6601639/nueva-normalidad-digital-educacion.html>

por parte del alumno, de un SENSOR DE VIBRACIONES como evidencia final y entregable del curso.

Siendo el objetivo de la investigación documentar procedimental y secuencialmente el proceso de ejecución de prácticas de Vibraciones Mecánicas mediante el software Excel, que finaliza en la fabricación de un sensor de vibraciones, como evidencia de aprendizaje del curso de vibraciones mecánicas.

Durante el proceso de comprensión, para aplicar y usar el sensor de vibración se requiere de la elaboración de gráficas aceleración-tiempo en el software Excel, experiencia que permite transitar de la representación analítica (definición mediante ecuaciones matemáticas del comportamiento de una estructura ante un fenómeno vibratorio) a una representación gráfica (apoyo visual del comportamiento de una estructura ante un fenómeno vibratorio).

Como antecedente se consideran los factores negativos -de los cursos a distancia on-line tanto síncronos como asíncronos-, como baja motivación en el estudiante, fatiga visual (por las extremas horas de lectura ante una pantalla o mini pantalla como es el caso de los celulares y tablet's), presentación de evidencias monótonas (resumen, síntesis, ensayos, monografías, y en general la siempre recurrencia al uso de los organizadores gráficos)

Para lograr esta meta como se explica en la documentación del estado del arte, se requiere que el alumno comprenda los términos: vibraciones mecánicas, ecuación de movimiento, grados de libertad, entre otros. Posteriormente que asocie la representación abstracta (alta complejidad) en un concepto gráfico (menor complejidad) mediante el uso del software Excel, que resalta el pensamiento crítico de los términos básicos asociados a la definición de la respuesta dinámica de las estructuras ante los fenómenos vibratorios.

Finaliza la experiencia de la asignatura en una representación experimental física (ejecución de simple complejidad), de un sistema didáctico que instruye una motivación hacia la complejidad de la formación profesional/laboral desde la escuela, reduciendo la extensa brecha de la vinculación universidad-empresa.

Se concluye que la definición de evidencias de aprendizaje precisas y alcanzables como la fabricación de prototipos que emplean Software y Hardware para la adquisición y tratamiento de datos, son una sólida instrucción, que permite la motivación de los participantes de los

cursos a distancia, a un aprendizaje autodidacta y orientado a la motivación e innovación permanente.

Antecedentes

El bajo rendimiento académico, por falta de motivación de los alumnos de las Instituciones de Educación Superior (IES) y la experiencia monótona del proceso de enseñanza-aprendizaje generada por el confinamiento por pandemia. Orienta a los profesionales de la educación y académicas docentes a la innovación en cuanto a la creación de material y recursos didácticos virtuales para la educación a distancia.

Esta decisión se fundamenta y argumenta en las limitadas estrategias de enseñanza que se utilizan en las plataformas educativas tanto formales como no formales e informales. Como ejemplo se pueden comentar las herramientas del Learning Management System (LMS) Moodle (figura 1.1), que en general se vuelven repositorios y ejecutores de los medios tradicionales de enseñanza y evaluación, por ser recursos unidireccionales que no proporcionan una interactividad en tiempo real.

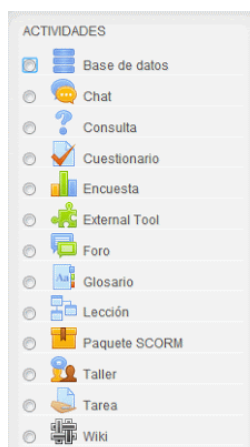


Figura 1.1. Herramientas básicas de Moodle, desarrolladas en la Web 2.0.

Transitar de un ambiente presencial a un ambiente digital-virtual requiere de manera esencial e inherente una secuencialidad-instruccional que dirija cualquier intención educativa, hacia la producción de evidencias de aprendizaje que integren los tres estilos de aprendizaje y los cinco sentidos perceptivos.

Todo recurso (película, video juego, simulador, etc.) que inicia con una idea se crea a partir de un diálogo dirigido por medio de un guion textual, documento que tiene una estrecha relación con los manuales o tutoriales procedimentales e instruccionales que dirigen una operación o ejecución en cualquier ambiente laboral.

Por ello formalizar-estructurar las actividades de enseñanza de un curso la instrucción de un curso distancia requiere de la elaboración de guiones instruccionales para su inmediata aceptación por parte de los estudiantes, quienes esperan la oportunidad de interactuar con elementos de la enseñanza que sean dinámicos, con una finalidad de utilidad demostrativa y sobre todo que atiendan sus inquietudes de indagación.

Planteamiento del problema

En la Ciudad de Puebla durante el desarrollo de la estrategia aprende en casa³, se ha identificado una carente e ineficiente infraestructura en la educación a distancia de atención por parte de los laboratorios especializados en las IES públicas de reconocimiento internacional⁴, para el estudio de la asignatura de Vibraciones Mecánicas, que apoye en la modalidad on-line a los estudiantes y docentes de las Licenciaturas o Maestrías en ingeniería, que requieren realizar prácticas del tema para profundizar en el aprendizaje al estudiar las temáticas de Vibraciones Mecánicas o Dinámica Estructural.

Por lo tanto, la pregunta de investigación se plantea como ¿Será posible elaborar un manual de prácticas de Vibraciones Mecánicas para la educación a distancia, sin el apoyo de un laboratorio/equipo especializado presencial?

Asimismo, este trabajo cuestiona ¿Cuál fenómeno físico de vibración se puede representar mediante una ecuación analítica?, ¿Cómo representar el comportamiento de las historias de tiempo de una señal de vibración (acelerograma)? y ¿Una hoja de cálculo de Excel tendrá la capacidad de reproducir gráficamente el comportamiento de un fenómeno físico mediante la solución de una ecuación analítica?

³ <https://politica.expansion.mx/voces/2021/03/29/aprende-en-casa-115-mdp-pero-no-desperto-interes-en-alumnos>

⁴ <https://www.webometrics.info/es/detalles/buap.mx>

Planteando la hipótesis de investigación como: Si, se desarrolla un manual de prácticas de Vibraciones Mecánicas para la enseñanza de la educación a distancia en Vibraciones Mecánicas con apoyo del software Excel para graficar las ecuaciones de movimiento generales. Entonces el estudiante presentará como evidencia de aprendizaje la fabricación de un sensor de vibraciones mediante la técnica DIY, mejorando sus capacidades de comprensión, análisis y aplicación del tema de vibraciones mecánicas.

Las variables de análisis se determinan en la tabla 1.1, donde la correlación es directamente proporcional.

UNIDAD DE ANÁLISIS	Prácticas	Gráficas Analizadas
ELEMENTOS LÓGICOS	Cuando mayor es...	Tanto mayor será...
VARIABLES	Independiente: Número de prácticas	Dependiente: Número de gráficas analizadas

Tabla 1.1. Determinación de las variables.

Justificación

Un manual de prácticas de Vibraciones Mecánicas, se considera un apoyo didáctico para el alcance de los objetivos procedimentales y actitudinales de los estudiantes en las IES. Si bien la comprensión analítica se lleva a cabo mediante la ejercitación de la solución/ejercitación de las ecuaciones analíticas que definen a los diversos tipos de vibraciones. El concepto del comportamiento dinámico de las estructuras, para el estudiante, debe ser de corte positivista y buscar la interpretación de los resultados analíticos asociados a un comportamiento físico o a la realidad, que sea contextualizado por la teoría del constructivismo cognitivo.

Contar con un guion original secuencial que oriente de manera precisa la fabricación de un prototipo didáctico como evidencia de aprendizaje, establece una condición de motivación intrínseca al aprendizaje, al reproducir actividades de manera sistémica que disminuyen la complejidad de los términos de estudio.

La recreación de un dispositivo capaz de fomentar las capacidades del autoaprendizaje, a través de un manual dirigido por procedimientos e instrucciones es una justificación auténtica de las intenciones del trabajo docente y una contribución que acerca a los estudiantes desde la condición del confinamiento a los requerimientos o solicitudes laborales.

Por el argumento anterior se considera que una evidencia de aprendizaje que pueda ser manipulada y desarrollada físicamente (fabricación), es una ventaja académica que acerca a los estudiantes a contextos de aprendizaje que involucran la inclusión de la realidad laboral y que cierran la brecha la entre las solicitudes de las empresas en sus perfiles laborales y los perfiles de egreso de las IES.

Objetivos

General

Elaborar un manual de prácticas de Vibraciones Mecánicas sin el apoyo de un laboratorio/equipo especializado, para profundizar en el aprendizaje y la enseñanza de los temas de la dinámica estructural.

Específicos

- Elegir el fenómeno físico a reproducir ecuación analítica del tipo vibración en estudio, ya sea de amplitud constante o aleatoria.
- Clasificar las gráficas de acelerogramas en función del tiempo o en función de la frecuencia que representan los diversos tipos de vibraciones mecánicas, que se analizan en el sector laboral.
- Simular mediante el software Excel y una computadora personal el comportamiento de una ecuación de movimiento armónico.

Estado del arte

En el estado del arte la búsqueda queda delimitada por orden jerárquico mediante el siguiente análisis de clasificación del estado del arte:

Ámbito: Académico	
Categoría de análisis	Subcategorías
Dinámica estructural o Vibraciones Mecánicas	VLSA, Vibración libre sin amortiguamiento VLCA, vibración libre con amortiguamiento VFASA, Vibración forzada armónica sin amortiguamiento VFACA, Vibración forzada armónica con amortiguamiento

Para efectos de referencia en el presente documento se entiende que el uso de los conceptos Vibraciones Mecánicas y Dinámica Estructural, hacen alusión a los mismos temas de estudio, cuya finalidad es determinar la respuesta dinámica de las estructuras de un grado de libertad (1 gdl). Por ello, el uso y aplicación del manual propuesto se extiende hacia carreras de licenciatura como: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Ingeniería Civil, Ingeniería Mecatrónica, entre otras.

Síntesis del estado del arte

No. de docto	Identificación	Objetivo general (Desde el autor)	Categorías / variables (Desde el autor)	Instrumentos recolección / información (Desde el autor)	Resultados (Desde el autor)
1	(Arredondo Soto , Martínez Martínez , & Rico Martínez , 2017)	Determinar experimentalmente la frecuencia natural de un cuerpo rígido sujeto a vibración libre no amortiguada y verificar que coincida con la frecuencia natural calculada de manera teórica.	Frecuencia Natural	Experimental mediante un equipo para la determinación de momentos de inercia mediante un resorte torsional"	Error % de la comparativa entre la frecuencia natural obtenida de manera experimental y analítica
2	(Carrera Pruna, Junio 2018)	Diseñar e implementar un equipo didáctico para el estudio de fenómenos oscilatorios	Oscilación, Análisis de esfuerzos	Experimental mediante un desarrollo didáctico propio	Los equipos didácticos ayudan en el desarrollo de la docencia y comprensión dentro del área de vibraciones, dado que con el mismo se puede equiparar el proceso de enseñanza a universidades en el resto del mundo. Mismas universidades que ya cuentan con estos laboratorios para el estudio de estos fenómenos.
3	(Elizondo Garza & Cupich Rodríguez, Agosto 1995)	Determinar experimentalmente la frecuencia natural de diferentes modelos de sistemas vibratorios, y a partir de ésta determinar los momentos de inercia de más a respecto a sus centros de giro y gravedad, y las constantes de elasticidad.	Oscilación, Análisis de esfuerzos	Experimental mediante un desarrollo didáctico propio	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinación de parámetros básicos de sistemas vibratorios ✓ Momentos de inercia ✓ Determinación de frecuencias naturales ✓ Velocidades críticas ✓ Rastreo de resonancia ✓ Modos de vibración en placas ✓ Amortiguamiento ✓ Instrumentación de vibraciones ✓ Teorema de Fourier

					<ul style="list-style-type: none"> ✓ El analizador de vibraciones y el reporte de vibraciones ✓ Análisis de vibración ✓ Vibración forzada
4	(García Reynoso, Marzo 2003)	Desarrollo de prácticas de laboratorio	Oscilación, Análisis de esfuerzos	Experimental mediante un desarrollo didáctico propio	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinación de parámetros básicos de sistemas vibratorios ✓ Momentos de inercia ✓ Determinación de frecuencias naturales ✓ Velocidades críticas ✓ Rastreo de resonancia ✓ Modos de vibración en placas ✓ Amortiguamiento ✓ Instrumentación de vibraciones ✓ Teorema de Fourier ✓ El analizador de vibraciones y el reporte de vibraciones ✓ Análisis de vibración ✓ Vibración forzada
5	(Jara Jimbo & Sinchi Vivar, Septiembre 2012)	Establecer una base para la comparación de las cualidades de mantenimiento de los componentes o piezas de un equipo del mismo tipo.	Análisis de vibraciones	Experimental mediante un desarrollo didáctico propio	El costo beneficio de los prototipos didácticos es de un 40% con relación al costo de un banco de similares características de una firma extranjera, con la variante que el banco diseñado además de ser didáctico tiene características de campo industrial, lo cual relaciona el estudio con la práctica.
6	(López Custodio , y otros, Septiembre 2013)	1. Resonancia de un sistema vibratorio de un grado de libertad. 2. Absorbedor de vibraciones, sistema vibratorio de dos grados de libertad. 3. Frecuencias naturales y modos de vibración en un sistema de tres grados de libertad.	Análisis de vibraciones	Experimental mediante un desarrollo didáctico propio	La contribución presenta tres distintos experimentos que pueden realizarse mediante un prototipo desarrollado en la propia universidad y que permiten verificar los resultados de la teoría de sistemas vibratorios discretos de uno o varios grados de libertad.
7	(Segovia, 2018)	instalar un sensor inercial en los soportes de las ruedas del vehículo ferroviario con el fin de detectar de una manera más sencilla el estado de los raíles, gracias a las vibraciones que	Análisis de vibraciones	Experimental mediante un desarrollo didáctico propio	se ha usado un acelerómetro para detectar las vibraciones en las vías ferroviarias, y así determinar defectos en estas

		produce el propio vehículo sobre las vías.			
8	(Angulo & Salazar, s.f.)	Diseñar e implementar un Equipo de Estudio de Vibraciones para el Laboratorio de Mecanismos y Vibraciones del DECEM que esté constituido por un sistema mecánico construido para simular anomalías vibratoriales de naturaleza mecánica.	Análisis de vibraciones	Experimental mediante un desarrollo didáctico propio	A través de los resultados obtenidos en los escenarios de análisis y de la experiencia recopilada a lo largo del desarrollo del presente proyecto queda justificada la capacitación sobre mantenimiento predictivo sea para estudiantes de ingeniería como para personas que se desenvuelvan en cualquier campo industrial que conlleve la operación de sistemas rotativos.

En síntesis, los diversos autores abordados, coinciden que al usar prototipos didácticos se incrementa la comprensión del tema de vibraciones mecánicas. Asimismo, que la profundidad de los temas que se deben abordar es el análisis de las vibraciones y su relación con los esfuerzos que un elemento o dispositivo mecánico sufre por efecto del fenómeno de una señal externa de excitación. Asimismo, que las prácticas de mayor impacto son:

1. Determinación de parámetros básicos de sistemas vibratorios (VLCA, VLCA, VFASA, VFACA)
2. Momentos de inercia
3. Determinación de frecuencias naturales
4. Velocidades críticas
5. Rastreo de resonancia
6. Modos de vibración
7. Amortiguamiento
8. Instrumentación de vibraciones
9. Teorema de Fourier
10. El analizador de vibraciones y el reporte de vibraciones
11. Análisis de vibración
12. Vibración forzada

Para efectos de medición del alcance del presente manual en el desarrollo de las prácticas se enfoca en el primer apartado Determinación de parámetros básicos de sistemas vibratorios (VLSA, VLCA, VFASA, VFACA), por ser considerado un curso introductorio.

Una diferenciación y aportación relevante de la presente propuesta es el estudio y análisis de las Vibraciones Mecánicas en función del tiempo y en función de la frecuencia de manera simultánea. Así como el empleo de las herramientas computacionales de fácil acceso como el software Excel que son la antesala para la comprensión de softwares de programación de alto nivel como Matlab y Simulink.

La interpretación de un estado físico de un equipo o sistema mecánico, que convierte energía a través de la interacción con otras tecnologías como la eléctrica, se logra a través de la interpretación de las representaciones gráficas que se obtienen de las mediciones directas a través de sensores e interfaces electrónicas. Esta habilidad hace sobresalir a un profesionalista en el campo laboral, ya sea recién egresado o con años de experiencia y es bien solicitada y remunerada, por los especialistas en la detección de fallas por vibraciones mecánicas.

Reducir la curva de aprendizaje para el uso de equipo especializado e interpretar con sobrada capacidad la evaluación del estado de salud de los equipos y la maquinaria rotatorios, incrementa la rentabilidad económica del contratante, de manera que el reconocimiento del sector empresarial hacia las IES se incrementa (Mossi, 2018).

Capítulo 2. Marco conceptual

Como el concepto principal de este trabajo de aplicación tecnológica es el desarrollo de un manual de prácticas, es necesario definir el término manual de prácticas o manual de procesos, procedimientos o instrucciones.

Se ha encontrado en la revisión bibliográfica que los manuales de procedimiento son la mejor herramienta, para plasmar el proceso de actividades específicas dentro de una organización en las cuales se especifican políticas, aspectos legales, procedimientos, controles para realizar actividades de una manera eficaz y eficiente (Vivanco, 2017).

Por ello se puede aclarar manual como una herramienta o instrumento dedicado a la documentación de las instrucciones secuenciales de un procedimiento, destinado a producir una consecuencia a través de la interrelación de diversos elementos que se articulan e integran de manera ordenada y planificada.

La relevancia o importancia de un manual de prácticas es muy alta debido a que un diseño pertinente puede: suplantar, anular o complementar, la figura del docente o del capacitador, durante la impartición de un curso a distancia, como ya ha sucedido en otras experiencias educativas como la educación por correspondencia y la educación por telesecundaria (Navarrete-Cazales & Manzanilla-Granados, 2017).

Un manual realizado competentemente, indicara siempre de manera ordenada y sistematizada, lo que un docente o instructor sabe sobre el tema leído en estudio. Un manual de clase (Zavala, 2014) se puede considerar, por lo tanto, como un enfoque simplificado de la práctica de la enseñanza, en la medida de la convicción con la cual se redacta y complementa con imágenes y formatos.

El uso de la técnica para elaborar manuales recibe el nombre de manualística, que se utiliza para designar la acción de documentar los procedimientos e instrucciones que permiten la realización/fabricación de una evidencia tangible o intangible. La manualística se considera como un campo en construcción, con un ámbito muy extenso, en el que la introducción de nuevos temas y enfoques (como los derivados del giro virtual-digital) puede romper las reglas del juego intelectual tradicional e introducir novedades a conveniencia de la enseñanza docente y aprendizaje de los estudiantes. Las textualidades de un documento que transiten

hacia la virtualización digitalizada como: el audio, el video, la simulación tanto local como en la internet. Son capaces de cambiar los esquemas perceptivos, las orientaciones de sentido y los consensos de significación, asimismo, como las relaciones internas y externas entre docentes-alumnos-empleadores, debido a que se mejoran los aspectos metodológicos e incluso toda la ecología del sistema pedagógico (Agustín, 2012).

Cuando en las IES el uso del laboratorio no tiene un objetivo general y definido, solo corresponde a un complemento curricular, siendo entonces que el sentido de los manuales carece de valor y por lo tanto de reconocimiento y dedicación. Por ello, el laboratorio debe ser parte de la malla curricular y debe contener un peso específico en créditos cursados en un programa de estudios. Esta situación es precisamente la formalidad que le falta a las prácticas experimentales para que adquieran sentido y significado en función de la promoción el aprendizaje en los estudiantes.

Sin embargo, en la realidad operativa cada docente es quien define el número y fin de las prácticas y el momento en el proceso de enseñanza en el cual se implementa. Aspectos que, de manera comparada y despectiva, ocasiona que los estudiantes demeriten la relevancia y formalidad de su ejecución.

Los resultados de los trabajos como el presente, reorientan el trabajo experimental con el propósito de lograr -además de los objetivos conceptuales inherentes al trabajo experimental, otros objetivos de naturaleza procedimental y actitudinal en los estudiantes, como la motricidad, la creatividad y la innovación. En términos de Séré (2002), los trabajos prácticos pueden dar a los estudiantes más cosas (motivación, orden y estructuras jerárquicas de reflexión y habilidades de pensamiento crítico, entre otras) que sólo aquellas referidas a la dimensión conceptual (López & Tamayo, 2012).

Marco teórico

Análisis estático lineal

El término denominado lineal se debe a que las ecuaciones de la estática y la mecánica de sólidos, sólo se realizan y ejecutan en la sección recta de la curva Esfuerzo-Deformación (ec. 1), que caracteriza a los materiales elastoplásticos, que son aquellos materiales que muestran

un cambio de pendiente antes de alcanzar su esfuerzo último. La Figura 2.1 muestra la curva característica de estos materiales.

$$\text{Módulo de Young} = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación unitaria}} = \text{Pendiente} \quad (1)$$

Las siguientes presunciones son tomadas en cuenta:

- La matriz de rigidez y las restricciones de frontera no son una función del esfuerzo.
- Cualquier desplazamiento es pequeño.
- Únicamente las propiedades elásticas del material son consideradas.
- Los componentes de tensor de esfuerzo son linealmente relacionados.
- Los efectos dinámicos no son tomados en cuenta.

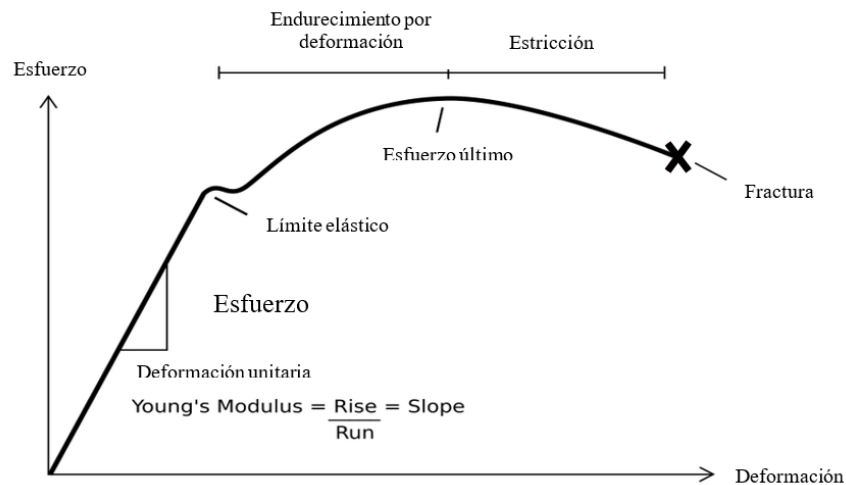


Figura 2.1. Curva Esfuerzo-Deformación.

La experiencia en el diseño mecánico con referencia en el factor de seguridad (FS), demuestra que para elementos, dispositivos o sistemas estructurales (cuerpos sólidos deformables), la mayoría de los casos por resolver dependen del análisis estático lineal. Este análisis es utilizado para encontrar presiones, esfuerzos, desplazamientos y fuerzas de reacción en estructuras bajo cargas o sollicitaciones normales o extremas. Puede realizarse un análisis estático lineal y no lineal, éste último se presenta cuando el comportamiento de la estructura sólo puede ser descrito adecuadamente si sus propiedades no lineales son tomadas en cuenta.

En el libro de Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley (Budynas & Nisbett, 2012), se explica que existen métodos matemáticos para enfrentar las incertidumbres. Las técnicas

básicas analíticas son los métodos determinísticos y estocásticos. El método determinístico establece un factor de diseño basado en las incertidumbres absolutas de un parámetro de pérdida de función y un parámetro máximo permisible. En ciertos casos el parámetro puede ser la carga, el esfuerzo, la deflexión, etc. Por lo tanto, el factor de diseño n_d se define como:

$$n_d = \frac{\text{parámetro de pérdida de función}}{\text{parámetro máximo permisible}} \quad (1b)$$

Si el parámetro es la carga, entonces la carga máxima permisible puede encontrarse con:

$$\text{Carga máxima permisible} = \frac{\text{carga de pérdida de función}}{n_d} \quad 1c$$

Por consiguiente, como factor de seguridad se entiende como el cociente de la carga permisible contra la carga de pérdida de función, relación que se conoce como el factor de diseño determinístico, al que algunas veces se le llama método clásico de diseño.

En la fórmula fundamental expresada por la ecuación (1b), donde n_d se conoce como factor de diseño, se deben analizar todos los modos de pérdida de función, y el modo que conduzca al factor de diseño más pequeño será el modo gobernante.

Después de terminar el diseño, el factor de diseño real puede cambiar como resultado de modificaciones como el redondeo a un tamaño estándar de una sección transversal o el uso de componentes recién comercializados con clasificaciones más altas en lugar de emplear lo que se había calculado usando el factor de diseño. En este caso, el factor se conoce como factor de seguridad, n , que tiene la misma definición que el factor de diseño, pero por lo general difiere en su valor numérico. Como el esfuerzo puede no variar en forma lineal con la carga, el uso de la carga como el parámetro de pérdida de función puede no ser aceptable. Entonces, es más común expresar el factor de diseño en términos del esfuerzo y una resistencia relevante. Así, la ecuación (1c) puede reescribirse como (1d).

$$n_d = \frac{\text{resistencia de pérdida de la función}}{\text{esfuerzo permisible}} = \frac{S}{\sigma \text{ ó } \tau}$$

Los términos esfuerzo y resistencia de la ecuación (1d) deben ser del mismo tipo y tener las mismas unidades. También, el esfuerzo y la resistencia deben aplicarse a la misma ubicación crítica en la parte (Budynas & Nisbett, 2012).

El análisis estático lineal de estructuras es útil como un escenario de verificación preliminar antes de resolver problemas dinámicos. Con este enfoque se puede obtener un entendimiento general del comportamiento de la estructura y su control de diseño. En el análisis estático lineal de las estructuras se determina el estado más desfavorable de esfuerzo-deformación de las estructuras cargadas estáticamente con restricciones y cargas límites específicas e incluye las siguientes dos categorías considerando el estado de interés:

- Prueba de tensión mecánica
- Prueba de compresión mecánica

En ambos casos es necesario resolver el sistema de ecuaciones de equilibrio estático para este tipo de análisis.

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (2)$$

Donde:

- $[K]$, es la matriz global de rigidez de elemento
- $\{U\}$, es el vector de desplazamiento global
- $\{F\}$, es el vector de fuerzas externas

Análisis dinámico

Todas las estructuras que se proyectan para soportar excitaciones externas de aceleración experimentan cargas de operación que varían con el tiempo, por lo tanto, si el movimiento de un sistema es ocasionado por la influencia de fuerzas externas que varían con el tiempo, entonces las fuerzas internas y por consiguiente los esfuerzos, que surjan también estarán en función del tiempo.

Vibraciones mecánicas

El movimiento de un sistema es caracterizado por cuatro propiedades fundamentales: masa, disipación de energía, rigidez del sistema y cargas externas. La ecuación de movimiento para un sistema con un grado de libertad es la siguiente:

$$m\ddot{u}(t) + b\dot{u}(t) + ku(t) = p(t) \quad (3)$$

Donde:

- m , es la masa.
- b , es el coeficiente de amortiguamiento.
- k , es el factor de rigidez.
- $u(t)$, es el desplazamiento.
- $p(t)$, es la fuerza externa.

El primer término del lado izquierdo de la ecuación representa la fuerza de inercia, el segundo la fuerza de amortiguamiento viscosa y el tercero es la fuerza de resistencia elástica. Esta ecuación es la base para las variantes existentes en torno al análisis dinámico dentro del rango estático lineal, las cuales principalmente son de dos tipos: análisis de vibraciones libre y análisis de vibraciones forzadas.

Vibraciones libres

El número de frecuencias naturales de un sistema es igual a su número de grados de libertad. Para un análisis de vibraciones libres la ecuación 3, se debe modificar de la siguiente manera:

$$m\ddot{u}(t) + ku(t) = 0 \quad (4)$$

La solución de esta ecuación es la siguiente:

$$u(t) = A \sin \omega_n t + B \cos \omega_n t \quad (5)$$

Donde:

- $u(t)$ es el desplazamiento buscado como una función del tiempo.
- $A = \dot{u}/\omega_n$, $B = u_0$ son constantes determinadas por las condiciones iniciales del sistema.
- $\omega_n = 2\pi f_n$ es la frecuencia angular natural.
- f_n es la frecuencia cíclica natural.

El número de frecuencias naturales de un sistema es igual a su número de grados de libertad, como se puede observar en las siguientes figuras.

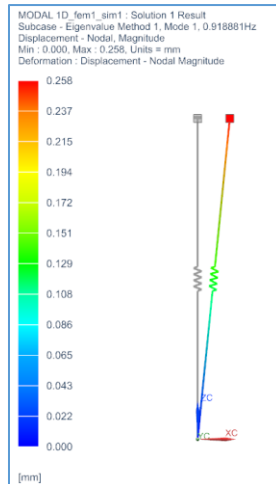


Figura 2.2. Modelo unidimensional con 1 gdl.

Los modelos unidimensionales con un solo grado de libertad, como resultado de un análisis modal proporcionan una sola frecuencia natural.

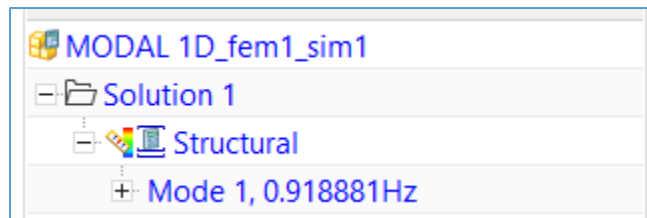


Figura 2.3. Frecuencias naturales de vibración como resultados del análisis modal en 1D.

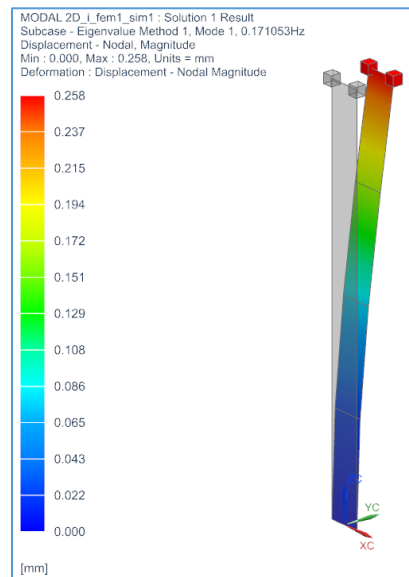
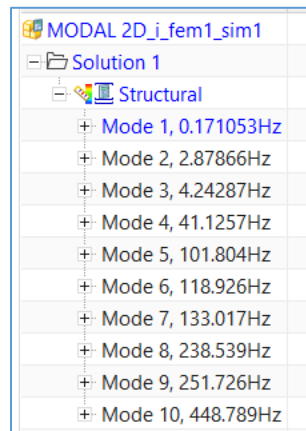


Figura 2.4. Modelo bidimensional con 2 gdl.

Los modelos bidimensionales con varios grados de libertad, proporcionan como resultado de un análisis modal más de una frecuencia natural.



Mode	Frequency (Hz)
Mode 1	0.171053Hz
Mode 2	2.87866Hz
Mode 3	4.24287Hz
Mode 4	41.1257Hz
Mode 5	101.804Hz
Mode 6	118.926Hz
Mode 7	133.017Hz
Mode 8	238.539Hz
Mode 9	251.726Hz
Mode 10	448.789Hz

Figura 2.5. Frecuencias naturales de vibración como resultados del análisis modal en 2D.

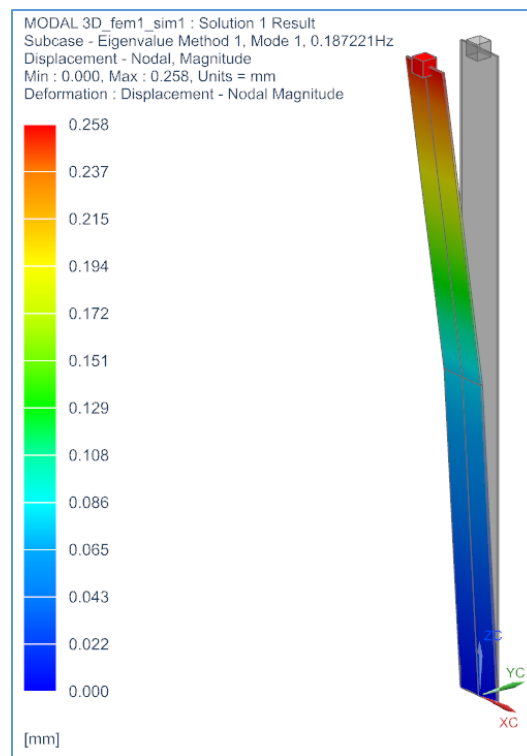


Figura 2.6. Modelo tridimensional con 3 gdl.

Los modelos tridimensionales con varios grados de libertad, proporcionan como resultado de un análisis modal más de una frecuencia natural.

MODAL 3D_fem1_sim1	
- Solution 1	
- Structural	
+ Mode 1, 0.187221Hz	+ Mode 14, 75497.1Hz
+ Mode 2, 4.74749Hz	+ Mode 15, 158993Hz
+ Mode 3, 60.1652Hz	+ Mode 16, 318009Hz
+ Mode 4, 121.987Hz	+ Mode 17, 373123Hz
+ Mode 5, 721.66Hz	+ Mode 18, 382081Hz
+ Mode 6, 1621Hz	+ Mode 19, 496152Hz
+ Mode 7, 1742.14Hz	+ Mode 20, 652486Hz
+ Mode 8, 8541.36Hz	+ Mode 21, 724121Hz
+ Mode 9, 19504.4Hz	+ Mode 22, 804421Hz
+ Mode 10, 27384.4Hz	+ Mode 23, 833806Hz
+ Mode 11, 42737Hz	+ Mode 24, 934834Hz
+ Mode 12, 49728.1Hz	+ Mode 25, 960421Hz
+ Mode 13, 50497.1Hz	+ Mode 26, 974372Hz
+ Mode 14, 75497.1Hz	+ Mode 27, 1.13612e+06Hz
	+ Mode 28, 1.2024e+06Hz
	+ Mode 29, 1.59878e+06Hz
	+ Mode 30, 1.89751e+06Hz

Figura 2.7. Frecuencias naturales de vibración como resultados del análisis modal en 3D.

Si las fuerzas de disipación son tomadas en cuenta, la ecuación de movimiento (4) será de la siguiente forma:

$$m\ddot{u}(t) + b\dot{u}(t) + ku(t) = 0 \quad (6)$$

En términos de análisis dinámico hay un concepto de coeficiente de amortiguamiento viscoso crítico que asegura la ausencia de vibraciones en un sistema si su estado de descanso es perturbado. El coeficiente de amortiguamiento crítico es definido por la expresión:

$$b_{cr} = 2\sqrt{km} = 2m\omega_n \quad (7)$$

Si el coeficiente de amortiguamiento es más grande o igual que el coeficiente de amortiguamiento crítico, la solución de la ecuación 6 es de la siguiente forma:

$$u(t) = (A + B)e^{-bt/2m} \quad (8)$$

En este caso el sistema regresa al estado inicial exponencialmente sin oscilaciones periódicas. Pero si el coeficiente de amortiguamiento es menor que el valor crítico, el cual es el caso más típico, la solución de la ecuación 6 es de la siguiente forma:

$$u(t) = e^{-bt/2m}(A \sin \omega_d t + B \cos \omega_d t) \quad (9)$$

- Donde:

ω_d es la frecuencia angular natural con la amortiguamiento tomada en cuenta.

La relación de la frecuencia angular natural con amortiguamiento ω_d a la frecuencia angular natural del sistema sin amortiguamiento ω_n es encontrada usando la siguiente expresión:

$$\frac{\omega_d}{\omega_n} = \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (10)$$

Donde ζ es la amortiguamiento, o coeficiente de aperiodicidad, la cual caracteriza la cantidad de amortiguamiento viscosa del sistema en fracciones de amortiguamiento crítica:

$$\zeta = \frac{b}{b_{cr}} \quad (11)$$

En este caso el sistema regresa al estado de reposo a través de la disminución exponencial de la amplitud de oscilación periódica de ciclo en ciclo.

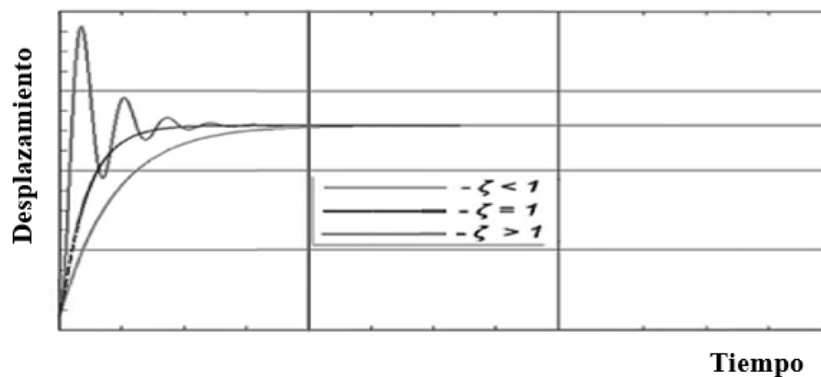


Figura 2.8. Vibración libre del sistema con diferentes valores de ζ .

Vibraciones forzadas

Si la acción armónica externa está presente, esto constituye un problema de vibración forzada, y la ecuación de movimiento para un grado de libertad sin amortiguamiento se modifica de la forma siguiente:

$$m\ddot{u}(t) + ku(t) = p(t) \quad (12)$$

Donde:

- $p(t) = p_0 \sin(\omega t)$ es la fuerza motriz.
- p_0 es la amplitud de la fuerza motriz.
- ω es la frecuencia de la fuerza motriz.

La solución de (12) con frecuencia motriz de entrada ω es:

$$u(t) = A \sin \omega_n t + B \cos \omega_n t + \frac{p_0/k}{1 - \omega^2/\omega_n^2} \sin \omega t \quad (13)$$

Donde:

- p_0/k es la compensación estática debida al valor de amplitud de la fuerza motriz.
- Q es el factor de amplificación dinámica, equivalente al denominador de la expresión anterior.

Si la frecuencia ω es igual a la frecuencia natural del sistema ω_n , la amplitud de oscilaciones incrementa bruscamente y la compensación $u(t)$ tiende a infinito. Este fenómeno es llamado resonancia.

Si la fuerza de amortiguamiento es tomada en cuenta, la ecuación de movimiento para la fuerza motriz es de la siguiente forma:

$$m\ddot{u}(t) + b\dot{u}(t) + ku(t) = p_0 \sin \omega t \quad (14)$$

La solución de la ecuación para el caso con oscilación motriz de estado estable es:

$$u(t) = p/k \frac{\sin(\omega t + \theta)}{\sqrt{\left(1 - \omega^2/\omega_n^2\right)^2 + \left(2\zeta\omega/\omega_n\right)^2}} \quad (15)$$

Donde θ es el ángulo de fase o el cambio de fase que caracteriza el avance de la respuesta a una influencia externa (fase dirigida) como definida por la expresión:

$$\theta = -\tan^{-1} \frac{2\zeta\omega/\omega_n}{\left(1 - \omega^2/\omega_n^2\right)} \quad (16)$$

Si la frecuencia de entrada externa ω es significativamente más baja que la frecuencia natural ω_n del sistema, la amplitud de oscilación corresponde a la compensación estática. Si la frecuencia de la fuerza externa ω incrementa, las amplitudes de oscilación incrementan también. Si la frecuencia ω es igual a la frecuencia natural del sistema ω_n , la amplitud de oscilaciones incrementa bruscamente y la compensación $u(t)$ tiende a infinito. Este fenómeno es llamado resonancia.

Las magnitudes relativas de la frecuencia de entrada externa ω y la frecuencia natural ω_n determinan el comportamiento del sistema:

- ✚ Si $\omega \ll \omega_n$, el factor de amplificación dinámica Q tiende a uno, la amplitud de oscilación corresponde a la compensación estática p_0/k en fase con la carga.
- ✚ Si $\omega \gg \omega_n$, el factor de amplificación dinámica tiende a cero, y el ángulo de fase es 180° . La carga cambia muy rápidamente, por lo que el sistema no puede reaccionar a la influencia externa lo suficientemente rápido.
- ✚ Si $\omega = \omega_n$, una condición de resonancia existe. Diferente a la amortiguamiento motriz sin amortiguamiento, la relación dinámica no es infinita y es igual a $0.5\zeta^{-1}$. La respuesta del sistema dirige la carga a 270° .

Varios grados de libertad

La ecuación de movimiento con varios grados de libertad tiene la siguiente forma en la notación matricial:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [B]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t) \text{ y } P(\omega)\} \quad (17)$$

Donde:

- $[M]$ es la matriz de masa.
- $[B]$ es la matriz de amortiguamiento viscosa.
- $[K]$ es la matriz de rigidez.
- $\{P(t) \text{ y } P(\omega)\}$, es la influencia externa como una función del tiempo para un análisis transitorio o una función de la frecuencia.
- $\{\ddot{u}\}, \{\dot{u}\}, \{u\}$ son vectores de aceleraciones nodales, velocidades y desplazamientos.

Para darle solución a la ec. 17, se requiere mencionar que todos los modos de vibrar son linealmente independientes, por lo tanto, cualquier sistema con un conjunto de grados de libertad puede ser representado como un conjunto de sistemas no conectado con un solo grado de libertad.

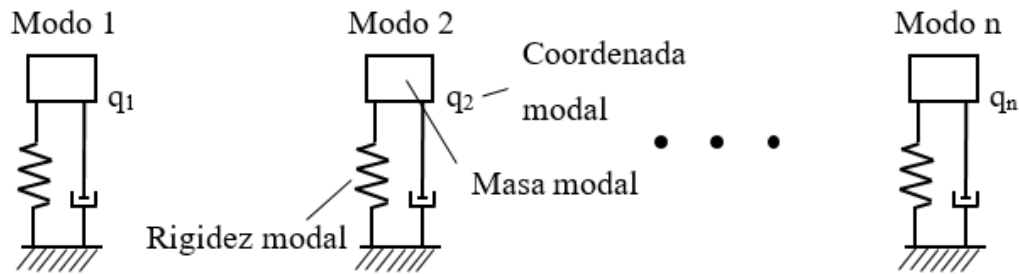


Figura 2.9. Descomposición lineal de n modos de vibrar (Goncharov, Artamonov, & Khalitov, 2014.).

Capítulo 3. Métodos y técnicas

El procedimiento para la elaboración del manual de prácticas de vibraciones mecánicas, requiere una secuencia analítica, que cognitivamente representa para el estudiante un sólido andamiaje memorístico-reflexivo y para el docente una clara identificación de las necesidades del perfil de egreso del alumno, para presentarle contextos laborales que sustituyan a los académicos a través de las evidencias de aprendizaje.

Se inicia con el planteamiento de:

1. Una representación abstracta (ejecución de alta complejidad), contexto que para el docente no representa problemas y para la estrategia de aprendizaje basado en problemas es idóneo, debido al uso de libros de textos, libros de consulta o libros de referencia que no establecen una mayor exigencia en la planeación de actividades que la selección de ejercitaciones ya resueltas.
2. Se da seguimiento mediante un concepto gráfico (ejecución de menor complejidad), este contexto representa para el docente una mayor exigencia pues debe asociar al libro de referencia, un software complementario que requiere de un elemento de intersección o conexión adicional, que configura una nueva perspectiva de la ecuación analítica, sin aun ser un reflejo del contexto laboral.
3. Finaliza la secuencia con una representación experimental física (ejecución de simple complejidad), que aproxima el desempeño de las actividades laborales mediante la ejecución instruccional que produce una evidencia de aprendizaje interactiva y transitable entre la atracción y la aplicación.

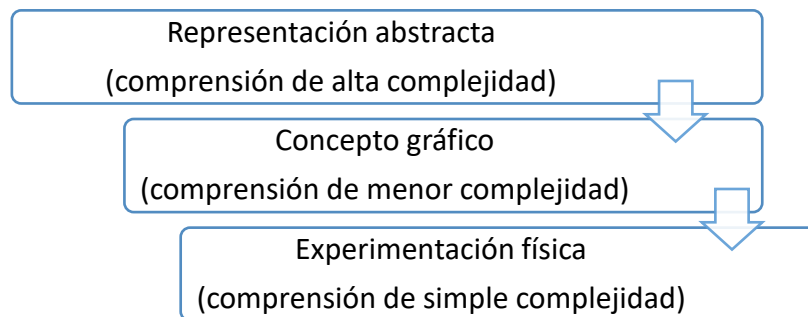


Figura 3.1. Secuencia de elaboración de manual de prácticas de vibraciones mecánicas.

La metodología utilizada es cuantitativa, dado que la investigación utiliza la recolección y el análisis de procedimientos instruccionales, para simular gráficamente fenómenos físicos mediante su representación analítica. Que permite contestar la siguiente pregunta de investigación:

¿Será posible elaborar un manual de prácticas de vibraciones Mecánicas, sin el apoyo de un laboratorio/equipo especializado? Al mismo tiempo que se comprueba la hipótesis a través de la correlación proporcional de las variables.

Asimismo, se considera la metodología cuantitativa debido a que mediante el empleo del método científico se prevé una repetitividad de la simulación del fenómeno Vibraciones Mecánicas de tipo: VLSA, VLCA, VFASA y VFACA, observadas como contenidos académicos elementales en el estudio de la Dinámica Estructural.

Estableciendo las bases de la experimentación sin equipo especializado con apoyo de una hoja de cálculo de Excel, que permite analizar mediante la elaboración de gráficas Tiempo-Amplitud el comportamiento del tipo de vibración en estudio, para finalmente concluir que es posible de manera deductiva implementar secuencialmente un manual de prácticas de Vibraciones Mecánicas sin el uso de equipo especializado como actividades de Laboratorio.

Pasos o procedimientos para elaborar un manual

1. Determinar el número de prácticas a realizar (seleccionar contenido)
2. Determinar el formato del manual
 - a. Título
 - b. Objetivo
 - c. Instrucciones
 - d. Desarrollo de las Prácticas
 - e. Conclusiones

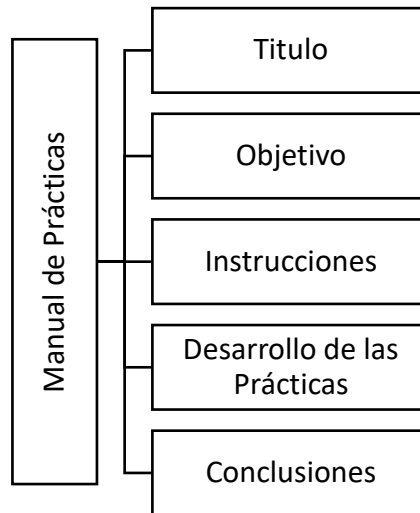


Figura 3.2. Secuencia para elaborar un manual.

Pasos o procedimiento para elaborar una práctica

1. El título se establece en función del tipo de vibración
2. El objetivo busca la representación de la gráfica tiempo-amplitud específico de la vibración en estudio
3. Las instrucciones están centradas en la sistematización de las ecuaciones analíticas y la gráfica de las mismas, en la hoja de cálculo de Excel
4. Formatos de desarrollo la práctica
 - a. Celdas de datos
 - b. Celdas de formula
 - c. Tipo de gráfico
5. Comparativa de los resultados obtenidos de la gráfica en Excel, con respecto a una gráfica de libro de texto.
6. El participante redacta la diferencia observada mediante el error porcentual.

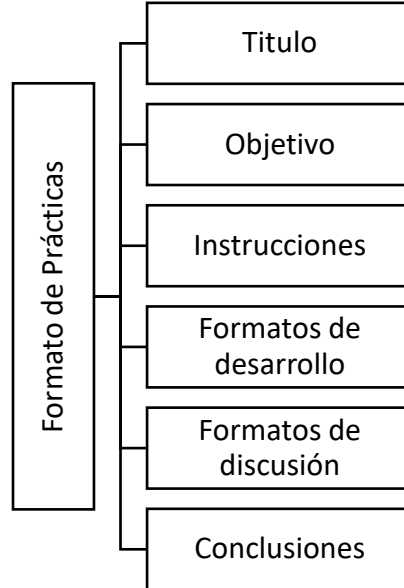


Figura 3.3. Secuencia para elaborar una práctica.

Variables cuantitativas

Independiente (se manipula): **Número de prácticas**

- Tipo de variable: Discreta

Dependiente (no se manipula): **Número de gráficas analizadas (profundidad del estudio del comportamiento del fenómeno de la vibración)**

- Tipo de variable: Discreta

En la correlación de las variables se considera que el estudiante al realizar cada una de las prácticas obtendrá una gráfica que podrá analizar y que le permite comprender el comportamiento de las estructuras ante los diversos tipos de vibración en estudio. Por lo tanto, se establece la relación un mayor número de prácticas representa una mayor capacidad de comprensión y análisis del comportamiento de las estructuras ante excitaciones vibratorias externas.

Los manuales son capaces de cambiar los esquemas perceptivos, las orientaciones de sentido y los consensos de significación, asimismo, como las relaciones internas y externas entre docentes-alumnos-empleadores, debido a que se mejoran los aspectos metodológicos e incluso toda la ecología del sistema pedagógico (Agustín, 2012).

La estrategia a seguir para el desarrollo de este manual se describe a continuación y se presenta de manera sintética en la figura 3.4:

1. Es documentar basado en la revisión bibliográfica el estado del arte de la fabricación de los sensores de vibración de bajo costo
2. Realizar las conexiones eléctricas para la integración del módulo inercial MPU6050 a la plataforma Arduino UNO.
3. Integrar la plataforma Arduino UNO con el software MatLab a través de Simulink.
4. Diseñar la representación gráfica de las variables (aceleración y desplazamiento) medidas por medio de un sensor de vibraciones de bajo costo.

Para la apreciación de la satisfacción del participante empleando el manual y presentando una evidencia pragmática del estudio de las vibraciones mecánicas, se realiza un proceso de operacionalización de variables (tabla 1).

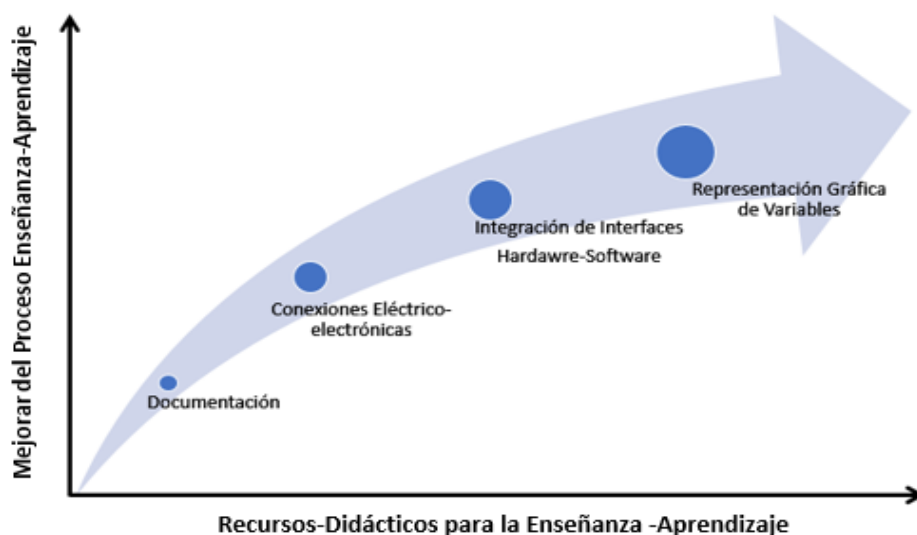


Figura 3.4. Relación causal de la metodología.

Objetivo General	Objetivos Específicos	Indicadores (Lo que nos interesa medir)	Técnica / Instrumentos	Fuente
Desarrollar un Manual/Tutorial para la fabricación de un sensor de vibraciones de bajo costo para el apoyo de la enseñanza-aprendizaje de la materia de Vibraciones Mecánicas o dinámica estructural	Elegir el fenómeno físico a reproducir ecuación analítica del tipo vibración en estudio, ya sea de amplitud constante o aleatoria.	MEMORIA NO VERBAL Es la capacidad para codificar, almacenar y recuperar recuerdos acerca de figuras, caras e imágenes, melodías, sonidos, ruidos, olores, sabores y sensaciones. ATENCIÓN FOCALIZADA Es la capacidad que tiene nuestro cerebro para centrar nuestro foco atencional en un estímulo objetivo, independientemente del tiempo que dure dicha fijación.	Cuestionario de Satisfacción	Participantes
	Clasificar las gráficas de acelerogramas en función del tiempo o en función de la frecuencia que representan los diversos tipos de vibraciones mecánicas, que se analizan en el sector laboral.	TIEMPO DE RESPUESTA Es la habilidad para percibir un estímulo simple y responder a él. COORDINACIÓN OJO-MANO Es la capacidad de guiar los movimientos de nuestra mano de acuerdo con los estímulos visuales.	Cuestionario de Satisfacción	
	Simular mediante el software Excel y una computadora personal el comportamiento de una ecuación de vibración.	FLEXIBILIDAD COGNITIVA Es la capacidad que tiene nuestro cerebro para adaptar nuestra conducta y pensamiento a situaciones novedosas, cambiantes o inesperadas. VELOCIDAD DE PROCESAMIENTO Se puede definir como el tiempo que le lleva a una persona hacer una tarea mental.	Cuestionario de Satisfacción	

Tabla 3.1. Operacionalización de las variables (Desarrollo propio).

Factibilidad

El análisis de factibilidad del Manual de Prácticas de Vibraciones Mecánicas sin laboratorio o equipo especializado, se presenta en la siguiente tabla y manifiesta la oportunidad para los docentes de intervenir con mejoras en el diseño y fabricación de material didáctico requerido en los cursos a distancia.

RECURSO	Descripción	Ingresos	Gastos
Humano	Experto de contenido (Docente)	Sin Recurso	\$ 500.00 por hora
	Experto en dosificación de contenido (Asesor de tesis)	Sin Recurso	Lo asigna la Universidad
	Experto en uso y manejo de Excel (Tesista)	Sin Recurso	Dedicación de tiempo personal
	Capturista (Alumnos de servicio social)	Sin Recurso	Lo asigna la Universidad
Materiales	Laptop AMD Athlon Silver 8GB RAM 256GB	Sin Recurso	\$11, 500.00
	Software Office	Sin Recurso	\$359.00
	Papelería y servicio de internet	Sin Recurso	\$650.00
	Desarrollo de prototipo	Propios	\$3, 000.00
Financieros	Costos de protección (patente, derechos de autor o publicación)	Sin Recurso	\$6,900.00
	Beca Conacyt	Sin Recurso	
	Recursos propios (Trabajo)	Sin Recurso	

Tabla 3.2. Análisis de ingresos y egresos.

Viabilidad del proyecto

Integrar un manual de prácticas de Vibraciones Mecánicas, sin el uso de equipo o laboratorio especializado, por medio del software Excel, es viable debido a que: actualmente todos los estudiantes cuentan con un equipo de cómputo igual o similar al utilizado en el desarrollo de las prácticas, además de dominar el uso del software Excel y contar con acceso a esta aplicación informática tanto en su versión HOME como PROFESIONAL o INSTITUCIONAL. Tanto para el trabajo de clase presencial como para el trabajo de clase a distancia. La comparativa costo beneficio es muy alta a favor del manual propuesto, debido al alto costo de los equipos e insumos de un laboratorio especializado, contra la habilitación de equipo de cómputo personal para el trabajo diario.

Estrategia competitiva

Cuando el estudiante mejora su capacidad en la interpretación de acelerogramas o gráficas tiempo-amplitud realizadas en el software Excel, ante las gráficas generadas experimentalmente en laboratorios especializados o en libros de texto del tema. Se determina que el participante cuenta con la habilitación suficiente para desarrollarse como un

especialista en el área de las vibraciones mecánicas, ya sea para mantenimiento, prevención o diseño de elementos, equipos, sistemas o estructuras.

Finalizar la enseñanza mediante la fabricación de un sensor de vibraciones, es el acercamiento directo e inmediato a la instrumentación especializada, de equipos y dispositivos de campo que son evaluados con escasos y limitados recursos tecnológicos, pero con precisa certidumbre sobre la determinación su estado de salud.

Capítulo 4. Desarrollo

Promover una profesionalización en el área de dinámica estructural en alumnos y docentes de las IES, con un sentido analítico y crítico en el análisis del comportamiento de las vibraciones mecánicas; fomentando la heurística (indagación individual autodirigida) y un proceso formal de la investigación científica, de manera que se otorguen respuestas a las demandas de nuestra sociedad, en el área de la dinámica estructural. es una situación altamente deseable en todo sistema educativo, ya sea en modalidad presencial o modalidad a distancia.

Para ello se inicia el desarrollo con la demostración por software basdao en el Método de los Elementos Finitos, que permite verificar que la frecuencia natural se modifica al modificarse el ensamble de la estructura (Rigidez), aun cuando la masa se mantiene constante.

Modelo sólido continuo

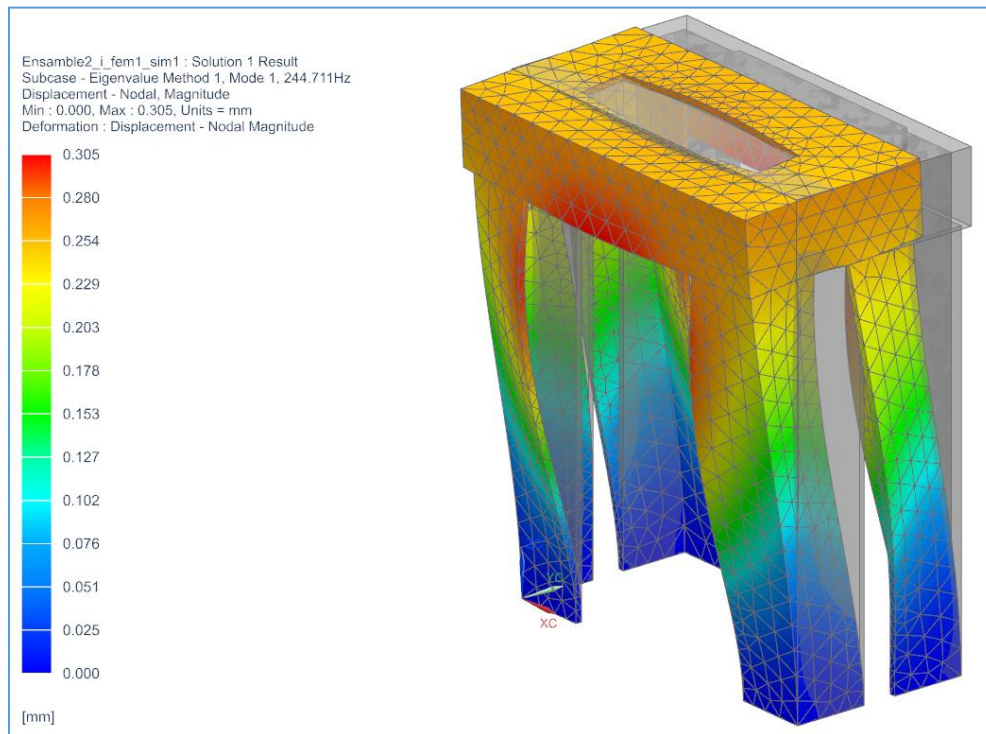


Figura 4.1. Modelo sólido continuo idealizado por conectores de malla

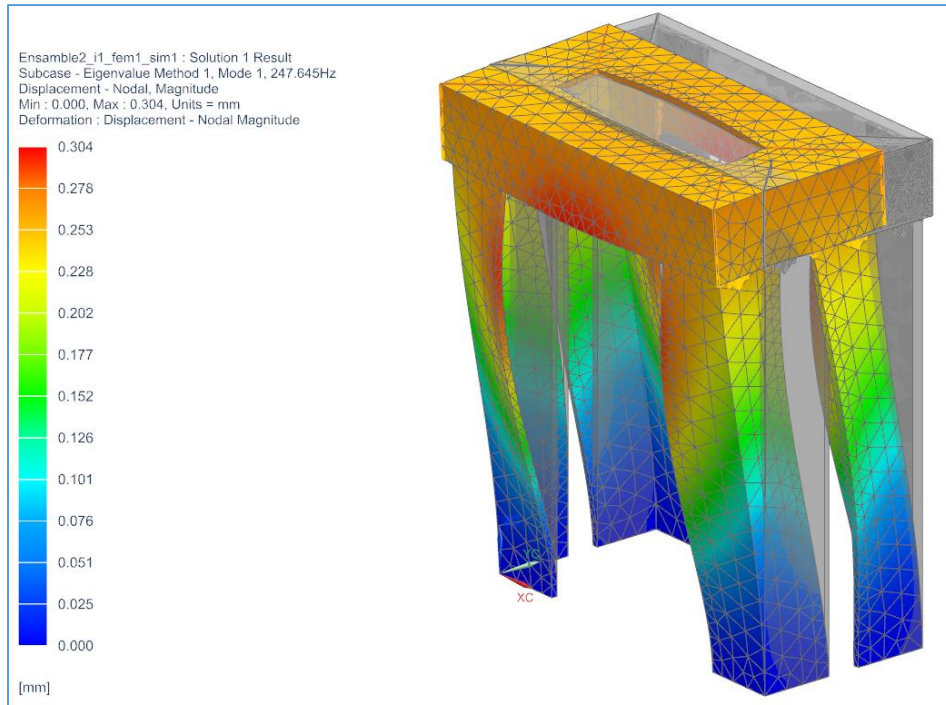


Figura 4.2. Modelo ensamblado por conexiones de geométricas.

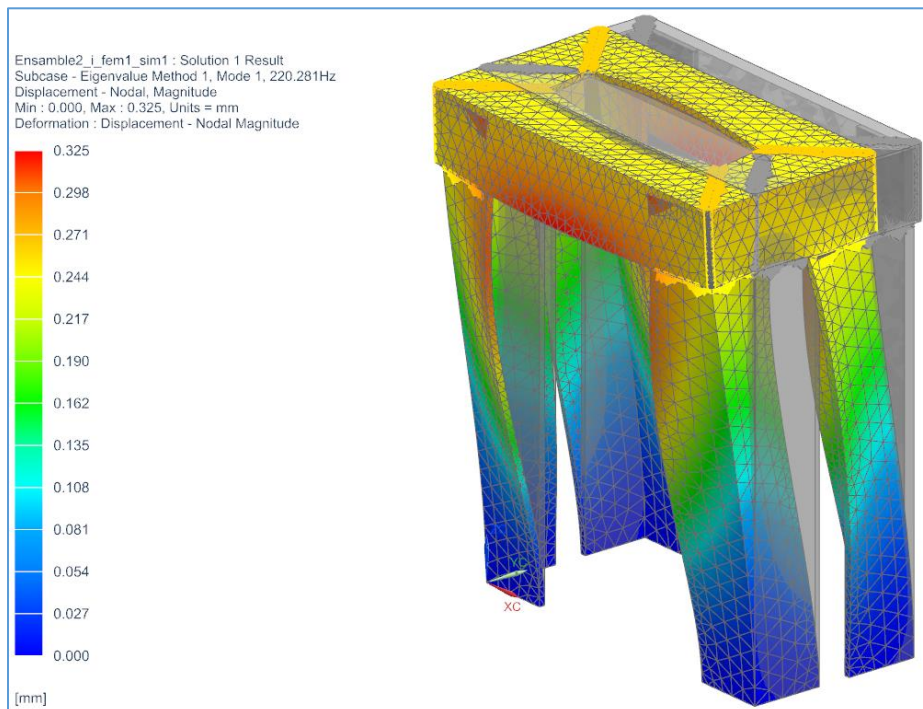


Figura 4.3. Modelo ensamblado por conexiones de soldadura

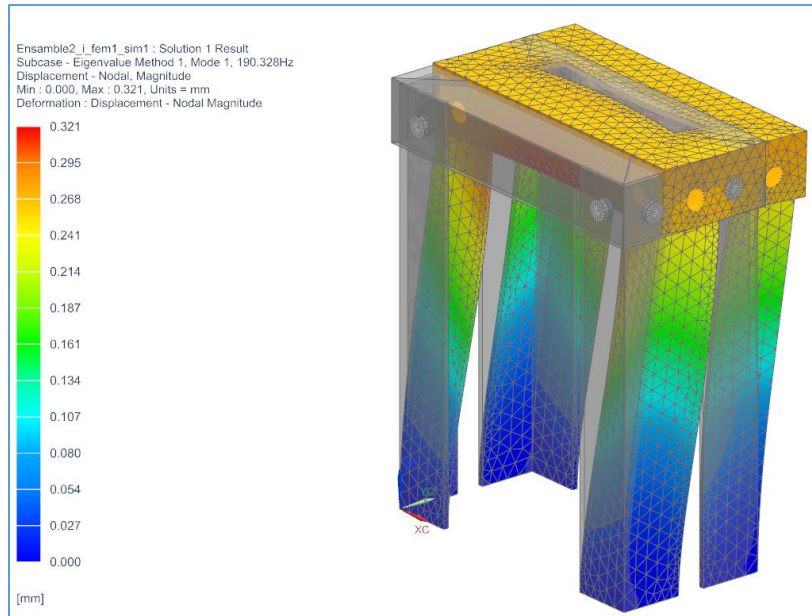


Figura 4.4. Modelo ensamblado por conexiones tornillo.

El siguiente análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas y Acciones (FODAC), representa la intencionalidad del autor y una guía para encausar el discernimiento hacia una meta favorable del aprendizaje de las vibraciones mecánicas, donde se resalta la figura del alumno como una entidad con requerimientos estratégicos y alternativos para su aprendizaje durante el confinamiento, donde el diseño, fabricación y empleo de material didáctico es esencial para incrementar la calidad de su conocimiento y formación profesional durante su paso por la educación a distancia.

FODAC de la investigación de tesis

<p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Número de prácticas mayor a las desarrolladas en laboratorio ✓ Elaboración instruccional de actividades de análisis ✓ Sin requerimientos de computo especializados 	<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Incrementar el número base de prácticas de manera continua ✓ Realizar una comparativa de resultados entre la gráfica obtenida en Excel y una gráfica de resultados de laboratorio ante condiciones similares ✓ Mayor visibilidad de los trabajos académicos de los docentes involucrados
<p>DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Alta abstracción ✓ Formato limitado de resultados ✓ Reducido número de prácticas base 	<p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Poco interés por los estudiantes ✓ Poco interés por la academia ✓ Falta de congruencia con los temas del programa de asignatura

ACCIONES SOBRE EL CONOCIMIENTO GENERADO

- **PROYECTO INCLUSIVO.** – Publicación de un artículo de investigación sobre los resultados de la aplicación del manual.
- **ESTRATEGIA.** – Enviarlo a un foro especializado como la SMIE, SMIS o SOMIM
- **CONTINUIDAD.** – Mejorar la interface de usuario de las hojas de cálculo de Excel

Tabla 4.1. FODAC con respecto a los resultados esperado de la aplicación del manual.

Determinación de la evidencia de aprendizaje

La determinación de la evidencia final de aprendizaje en este trabajo de tesis se considera realizable dentro del campo de la fabricación de los prototipos mecatrónicos que integran las destrezas y habilidades manuales con la programación informática, mediante la vinculación del hardware y software. Los siguientes apartados explican cada uno de los elementos y la secuencia de integración que culmina en la experimentación práctica que procedimentalmente permite ejecutar acciones de inspección y mantenimiento que se desarrollan en el sector laboral.

Hardware

Arduino Uno

Al seleccionar una plataforma para realizar la interface entre la virtualidad y la realidad, los principales retos que se tienen en los sistemas de adquisición de datos comerciales es su alto costo y, además, en muchas ocasiones no cumplen con los requerimientos del usuario final o no son adecuados a los requerimientos específicos de medición de variables como la aceleración. Ante estos retos Arduino Uno es una plataforma asequible de bajo costo, que proporciona autonomía y garantía de las mediciones de forma concreta con un porcentaje de confiabilidad y repetitividad notable, más una escalabilidad tecnológica en Software y Hardware (Hernández, et al., 2020). Entre las características deseables se encuentra que la señal digital obtenida de una medición analógica en el Arduino Uno tiene dos propiedades fundamentales:

- ✚ El valor en voltios se define 0 y 1. En nuestro caso es tecnología TTL (0 –5V)
- ✚ Arduino Uno tiene una resolución de 10 bits, es decir, valores entre 0 y 1023.

Sensor de aceleración MPU6050

El sensor de aceleración MPU-6050 de la empresa InvenSense, está compuesto por 3 acelerómetros y 3 giróscopos, cada uno con su respectivo ADC de 16 bits (CONAE, 2016). Presenta la posibilidad de modificar la escala de trabajo, proporcionando así más precisión para movimientos más lentos.

Rango de escalas				
Acelerómetro	$\pm 2g$	$\pm 4g$	$\pm 8g$	$\pm 16g$
Gyrómetro	$\pm 250^\circ/seg$	$\pm 500^\circ/seg$	$\pm 1000^\circ/seg$	$\pm 2000^\circ/seg$

Tabla 4.2. Rango de escalas del sensor de aceleración MPU6050.

El acelerómetro MPU6050 se encuentra montado en una placa de expansión (figura 4.5) que facilita su conexión y montaje. La misma ordena los pines de la salida del sensor y los presenta en una fila de 8 pines. Asimismo, la placa viene integrada con un regulador KB33, para adaptar las tensiones de alimentación y referencias necesarias para el sensor, y las resistencias de pull-up, queridas para la comunicación I2C.

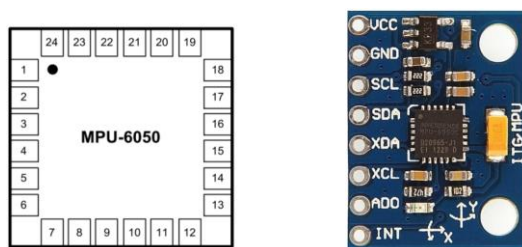


Figura 4.5. Placa de montaje del MPU6050.

La interfaz de comunicación que utiliza es I2C y el dispositivo posee la posibilidad de configurar su dirección de esclavo a través del pin AD0. Este pin modifica el valor de bit menos significativo de la dirección del acelerómetro. La sensibilidad del sensor esta expresada en LSB/g, para la aceleración, y LSB/(°/s), para el girómetro. La misma varía para la escala de operación seleccionada y puede calcularse por la ecuación 4.1:

$$\frac{2^{16}}{2 \cdot \text{escala}} \quad (4.1)$$

El MPU6050 puede leer dos palabras o registros de 8 bits para cada valor de aceleración, estas palabras representan la salida de los conversores ADC. La tabla 4.2, muestra los registros a leer para obtener los valores de aceleración.

Registro (HEX)	Registro (DEC)	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
3B	59	Aceleración en X [15:8]							
3C	60	Aceleración en X [7:0]							
3D	61	Aceleración en Y [15:8]							
3E	62	Aceleración en Y [7:0]							
3F	63	Aceleración en Z [15:8]							
40	64	Aceleración en Z [7:0]							

Tabla 4.3. Registros del MPU6050.

Estos valores almacenados en los registros deben ser transformados a unidades de aceleración a través de la ecuación 4.2:

$$Aceleración[G] = \frac{Medición[en\ cuentas] \cdot FSR}{2^{16}} \quad (4.2)$$

Software

Arduino IDE⁵

IDE – entorno de desarrollo integrado, llamado IDE (sigla en inglés de integrated development environment), es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación. Puede dedicarse en exclusiva a un solo lenguaje de programación o bien puede utilizarse para varios.

Un IDE es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación; es decir, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, en el caso de Arduino incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware.

MatLab⁶

MATLAB (abreviatura de MATrix LABoratory, «laboratorio de matrices») es un sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las

⁵ <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/ide-arduino/>

⁶ <https://es.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

plataformas Unix, Windows, macOS y GNU/Linux. Entre sus prestaciones básicas se hallan la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

Simulink⁷

Simulink es un entorno de programación visual, que funciona sobre el entorno de programación Matlab. Es un entorno de programación de más alto nivel de abstracción que el lenguaje interpretado Matlab (archivos con extensión .m). Simulink genera archivos con extensión .mdl (de "model"). Simulink viene a ser una herramienta de simulación de modelos o sistemas, con cierto grado de abstracción de los fenómenos físicos involucrados en los mismos. Se hace hincapié en el análisis de sucesos, a través de la concepción de sistemas (cajas negras que realizan alguna operación). Es ampliamente usado en ingeniería electrónica en temas relacionados con el procesamiento digital de señales (DSP), involucrando temas específicos de ingeniería biomédica, telecomunicaciones, entre otros. También es muy utilizado en ingeniería de control y robótica.

MatLab, Simulink y Arduino

MATLAB y Simulink abordan varios retos en relación con la programación tradicional en Arduino. El paquete de soporte de MATLAB para Arduino permite escribir programas de MATLAB que leen y escriben datos en los dispositivos Arduino y otros dispositivos conectados, tales como Adafruit Motor Shield, I2C y SPI. Ya que MATLAB es un lenguaje interpretado de alto nivel, la programación resulta más fácil que con C/C++ y otros lenguajes

⁷ <https://es.wikipedia.org/wiki/Simulink>

compilados, de forma que se pueden ver resultados de las instrucciones de E/S inmediatamente, sin necesidad de compilación.

MATLAB incluye miles de funciones matemáticas, de ingeniería y de representación gráfica integradas que permiten analizar y visualizar con rapidez los datos recopilados en el dispositivo Arduino. Un ejemplo de esta capacidad es el modelo masa resorte que se presenta en la figura 4.6.

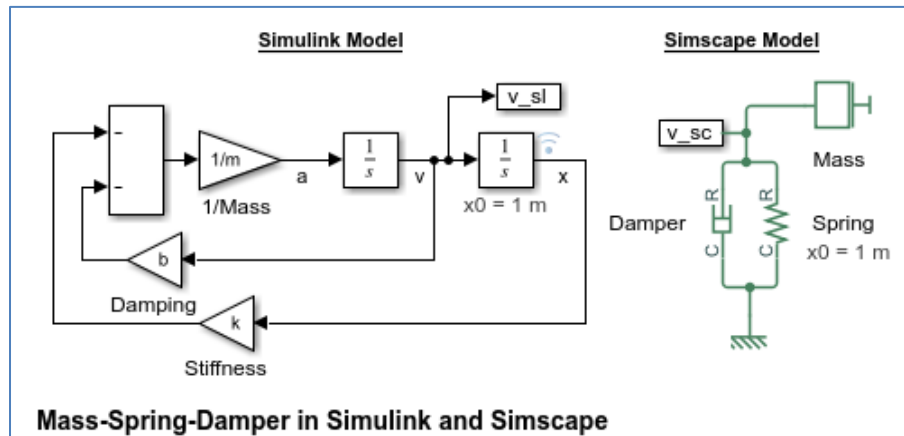


Figura 4.6. Modelo dinámico en Simulink para una estructura dinámica.⁸

La conexión esquemática se presenta en la figura 4.7.

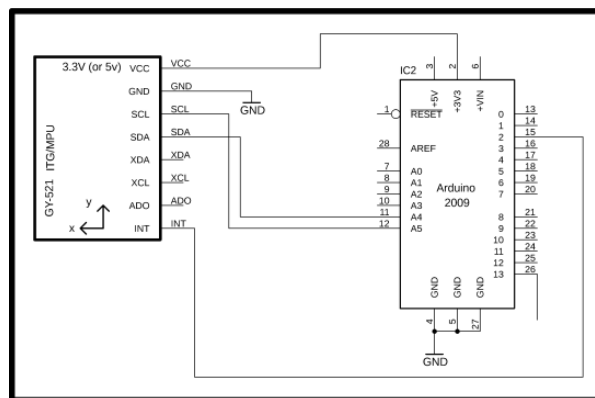


Figura 4.7. Representación esquemática de conexión Arduino UNO y MPU6050⁹.

⁸ <https://www.mathworks.com/help/physmod/simscape/examples/mass-spring-damper-in-simulink-and-simscape.html>

⁹ <https://www.electronicclinic.com/mpu6050-arduino-wiring-library-and-code-to-find-the-angle/>

Ensamblaje

Conexión del sensor inercial El primer paso en la realización del trabajo es conectarlo a la placa Arduino UNO. Para ello, se ha tenido en cuenta que la comunicación entre el sensor y la placa es I2C. Como se ha mostrado en el apartado anterior, con la librería Wire.h de Arduino se podía realizar este tipo de comunicación.

La línea SDA irá conectado al pin A4 de la placa, y la línea SCL al pin A5. Además, era necesaria la conexión a tierra y la alimentación del sensor. En este caso, el GND (tierra) del sensor es conectado al GND del Arduino, y la entrada Vin (alimentación) del sensor a la salida de 3.3V que proporciona la placa. También podría haber sido conectada a la salida de 5V, pues el rango de funcionamiento del sensor está entre esos dos valores. En la Figura 4.8 se muestra un esquema de la conexión a realizar.

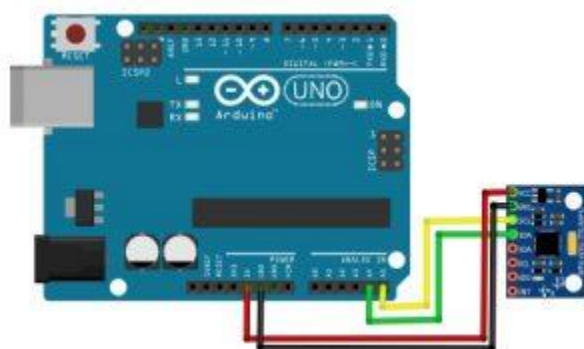


Figura 4.8. Conexión de un sensor MPU6050 mediante el protocolo serial¹⁰.

Como producto del método establecido para este proyecto de la revisión documental del estado del arte, se identifica y determina que la mejor tecnología para implementar sensores de vibración a bajo costo es el uso de la plataforma de hardware Arduino UNO y el dispositivo inercial MPU6050.

Siendo la plataforma Arduino UNO, es un desarrollo tecnológico de una placa basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6

¹⁰ https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/configurar-el-mpu6050/esquema_mpu6050

pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión USB (ARDUINO, 2021).

El sensor o módulo inercial MPU6050 (figura 4.9) combinan un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes en el mismo troquel de silicio, junto con un Digital Motion Processor™ (DMP™) integrado, que procesa complejos algoritmos MotionFusion de 6 ejes. El dispositivo puede acceder a magnetómetros externos u otros sensores a través de un bus I²C maestro auxiliar, lo que permite que los dispositivos recopilen un conjunto completo de datos de sensores sin la intervención del procesador del sistema (TDK, 2021).

El soporte Arduino de MATLAB y Simulink, permite controlar periféricos y ejecutar complejos algoritmos en placas Arduino UNO. Con el apoyo para Arduino® hardware, se puede utilizar MATLAB y Simulink para comunicarse interactivamente con la placa Arduino UNO (MathWorks, 2021).

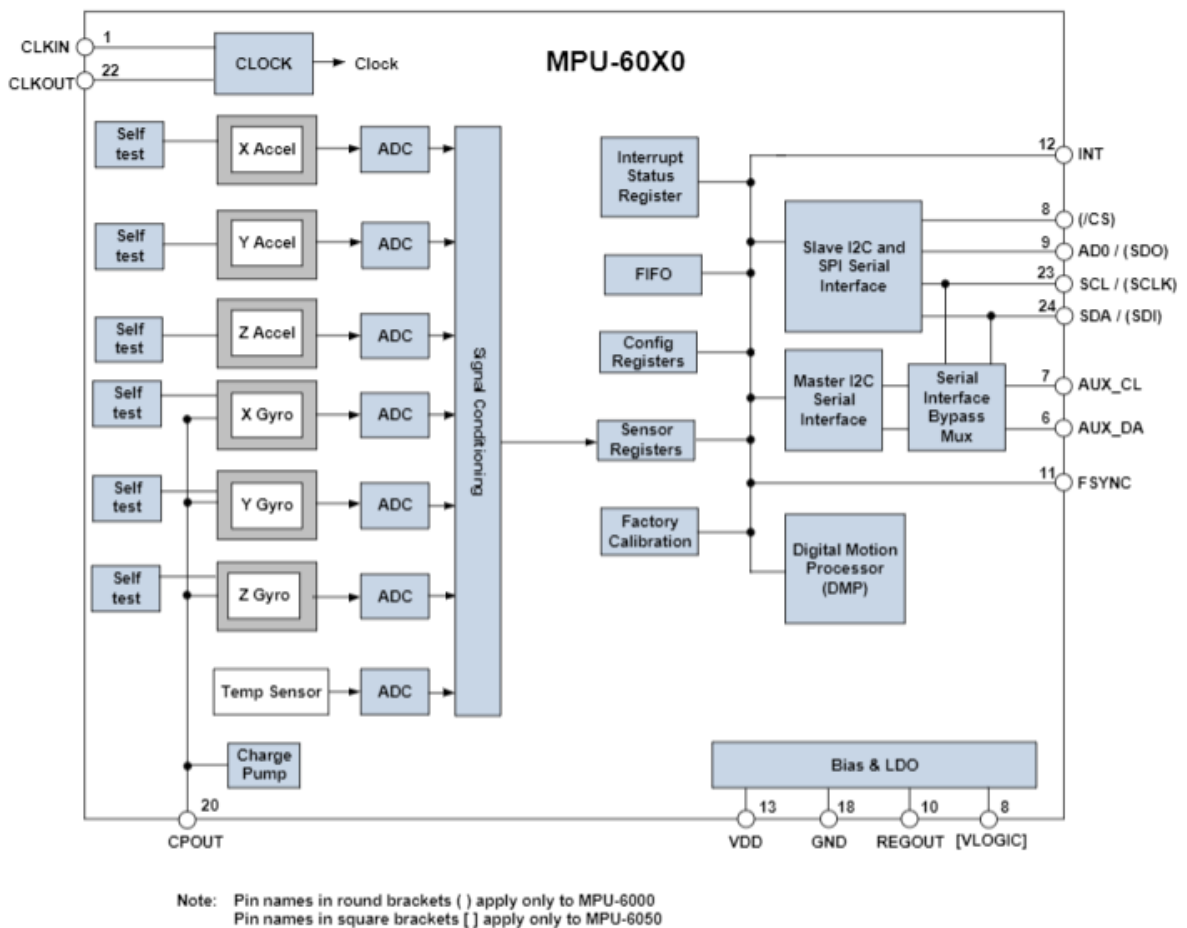


Figura 4.9. Diagrama de bloques sensor MPU6050. Tomada de: (Octopart, 2013).

La figura 4.10 y 4.11, representan las conexiones de alambrado del Arduino UNO y el sensor MPU6050, entre las consideraciones y destreza manual requerida se encuentra el soldar los 4 pines (ver tabla 2) al sensor MPU-6050 con el cautín y la soldadura de estaño para dispositivos electrónicos.

Al ensamblar el sensor MPU6050 al protoboard a través de cables Dupont entre la tarjeta Arduino UNO y el sensor MPU6050. Como se muestra en la figura 4, se logra la integración completa del hardware.

Finalmente se utiliza el cable USB para conectar la placa de programación Arduino UNO a la computadora personal realizar la interface hardware-software entre Simulink y Arduino UNO.

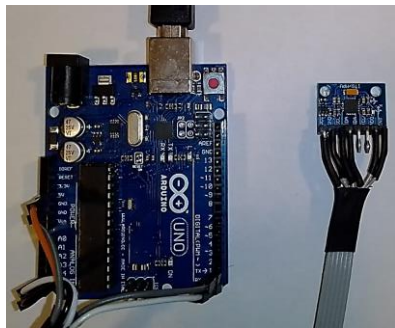


Figura 4.10 Hardware integrado Arduino UNO-MPU6050.

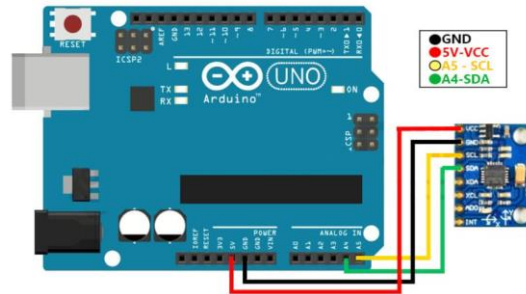


Figura 4.11 Conexión del Arduino a MPU-6050 para interfaz de I²C. Tomado de: <https://uelectronics.com/producto/imu-mpu6050-6-grados-de-libertad/> .

MPU6050	Arduino UNO	Descripción
Vcc	Vcc	Voltaje de operación
GND	GND	Referencia a 0 volts
SCL	SCL	Serial Clock
SDA	SDA	Serial Data Acquisition

Tabla 4.4 Nomenclatura de los pines del Hardware.

En la integración entre la interface de hardware y software se realiza a través del software de alto nivel Matlab. Se utiliza el complemento de software adicional Simulink, que utiliza la programación por diagrama de bloques que representa una significativa reducción en la curva

de enseñanza-aprendizaje para la integración de dispositivos mecatrónicos en temas convencionales de la ingeniería (BUAP, 2007).

Una vez realizada la conexión del hardware se verifica la funcionalidad de la placa y el sensor mediante la calibración del mismo a través del siguiente script “Calibrar”, mostrando los resultados en la figura 4.12.

```

#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"

MPU6050 sensor;

// Valores RAW (sin procesar) del acelerometro
y giroscopio en los ejes x,y,z
int ax, ay, az;

//Variables usadas por el filtro pasa bajos
long f_ax,f_ay, f_az;
int p_ax, p_ay, p_az;
int counter=0;

//Valor de los offsets
int ax_o,ay_o,az_o;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin(); //Iniciando I2C
  sensor.initialize(); //Iniciando el sensor
  if (sensor.testConnection())
    Serial.println("Sensor iniciado correctamente");

  // Leer los offset los offsets anteriores
  ax_o=sensor.getXAccelOffset();
  ay_o=sensor.getYAccelOffset();
  az_o=sensor.getZAccelOffset();

  Serial.println("Offsets:");

  Serial.print(ax_o); Serial.print("\t");
  Serial.print(ay_o); Serial.print("\t");
  Serial.print(az_o); Serial.print("\t");

  Serial.println("\n\nEnvie cualquier caracter
para empezar la calibracionnn");
  // Espera un caracter para empezar a calibrar
  while (true){if (Serial.available()) break;}
  Serial.println("Calibrando, no mover IMU");
}

void loop() {
  // Leer las aceleraciones y velocidades
angulares
  sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az);

  // Filtrar las lecturas
  f_ax = f_ax-(f_ax>>5)+ax;
  p_ax = f_ax>>5;

  f_ay = f_ay-(f_ay>>5)+ay;
  p_ay = f_ay>>5;

  f_az = f_az-(f_az>>5)+az;
  p_az = f_az>>5;

  //Cada 100 lecturas corregir el offset
  if (counter==100){
    //Mostrar las lecturas separadas por un [tab]
    Serial.print("promedio:"); Serial.print("\t");

```



```

Serial.print(p_ax); Serial.print("\t");
Serial.print(p_ay); Serial.print("\t");
Serial.println(p_az);

//Calibrar el acelerómetro a 1g en el eje z
(ajustar el offset)
if (p_ax>0) ax_o--;
else {ax_o++;}
if (p_ay>0) ay_o--;
else {ay_o++;}
if (p_az-16384>0) az_o--;
else {az_o++;}

counter=0;
}
counter++;
}

```

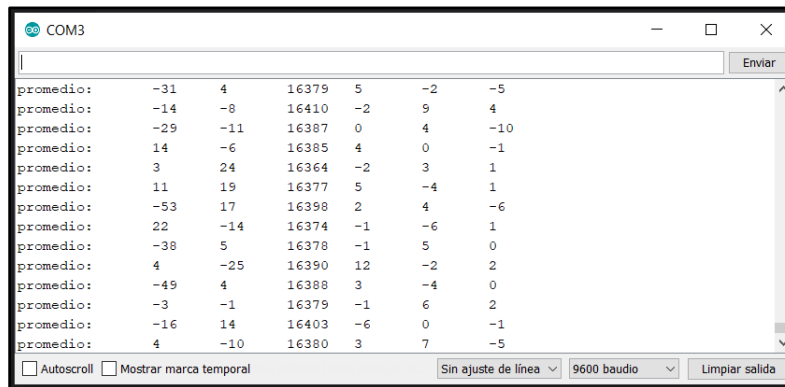


Figura 4.12. Resultados del script “Calibrar” reportados en el Monitor Serie.

Posterior a la calibración del sensor mediante el Script “Calibrar”, se ejecuta el script “Muestreo” que habilita la tarjeta para adquirir las señales del módulo inercial. Mostrando los resultados en la figura 4.13.

```

#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"

MPU6050 sensor;
// Valores RAW (sin procesar) del
// acelerómetro y giroscopio en los ejes x,y,z
int ax, ay, az;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  sensor.initialize();

  if (sensor.testConnection())
    Serial.println("Sensor iniciado correctamente");
  else Serial.println("Error al iniciar el sensor");
}

```

```

void loop() {
  // Leer las aceleraciones y velocidades
  angulares
  sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
  float ax_m_s2 = ax * (9.81/16384.0);
  float ay_m_s2 = ay * (9.81/16384.0);
  float az_m_s2 = az * (9.81/16384.0);

  Serial.print("a[x y z](m/s2):\t");
  Serial.print(ax_m_s2); Serial.print("\t");
  Serial.print(ay_m_s2); Serial.print("\t");
  Serial.println(az_m_s2);

  delay(100);
}

```

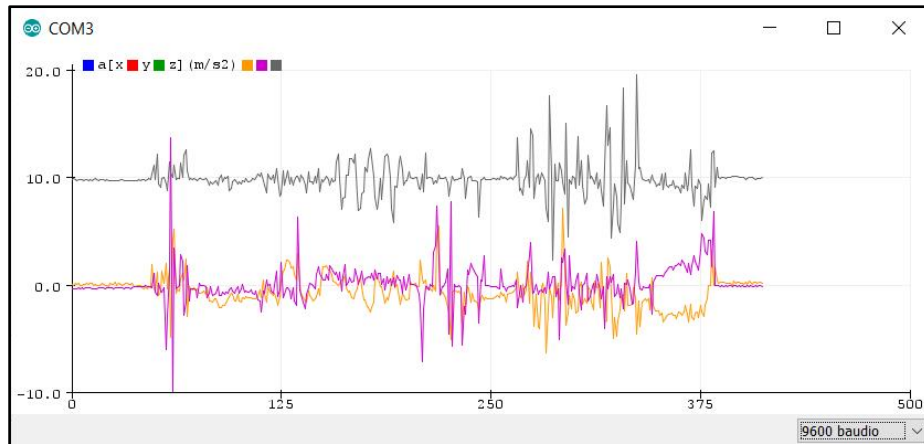


Figura 4.13. Resultados del script “Muestreo” reportados en el Monitor Plotter.

Antes de iniciar la corrida de los algoritmos complementarios en MatLab y Simulink, se requiere obtener la frecuencia de muestreo (figura 4.14), que se utiliza posteriormente para determinar la transformada rápida de Fourier (FFT) de manera analítica.

```

#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"
MPU6050 sensor;
int ax, ay, az;
void setup() {

  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  sensor.initialize();

  if (sensor.testConnection())
    Serial.println("Sensor iniciado correctamente");
  else Serial.println("Error al iniciar el sensor");
  muestreo();
}

void loop() {
}

void muestreo() {
  unsigned long ptime;
  unsigned long ctime;
}

```

```

Serial.println("*****");
    Serial.println("  TIEMPO DE MUESTRO:");

Serial.println("Tiempo(μs)\tax\tay\taz\tdt(μs
)"); //

Serial.println("*****");
    for (byte i = 0; i < 10; i++) {

        sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
        ctime = micros();
        Serial.print((String)ctime + "\t\t" + ax + "\t\t"
+ ay + "\t\t" + az);
        Serial.print("\t\tMuestra: ");
        Serial.print(i + 1);
        Serial.print(" Tiempo: ");
        Serial.println(ctime - ptime);
    }
}

ptime = micros();

```

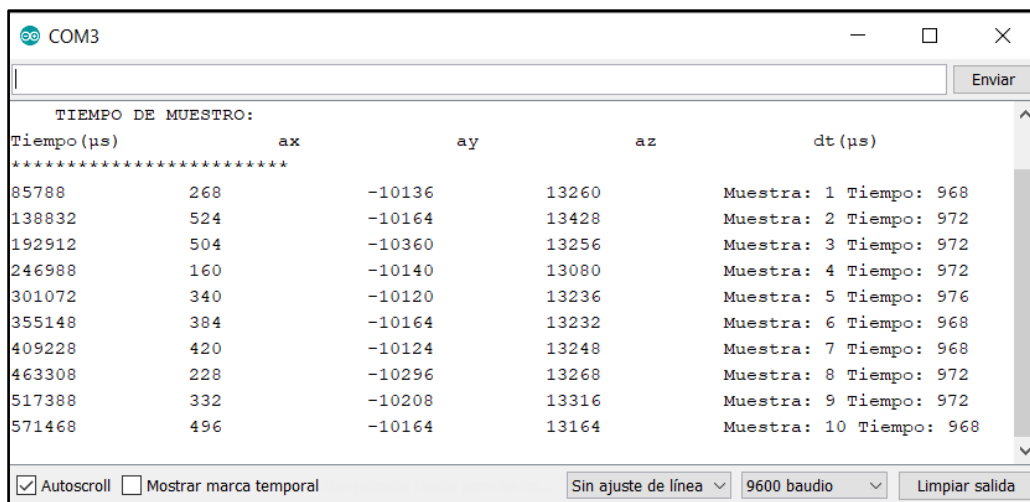


Figura 4.14. Resultados del script “Frecuencia_Muestreo” reportados en el Monitor Serie.

Posterior a la calibración y verificación de adquisición de datos por medio de la plataforma de Software Arduino IDE, se configuran los diagramas de bloques en Simulink para adquirir las señales de vibración. la figura 4.15 muestra el diagrama de bloques para la lectura de datos a través de la tarjeta Arduino UNO como interface. Los resultados de las mediciones se muestran en la figura 4.16.

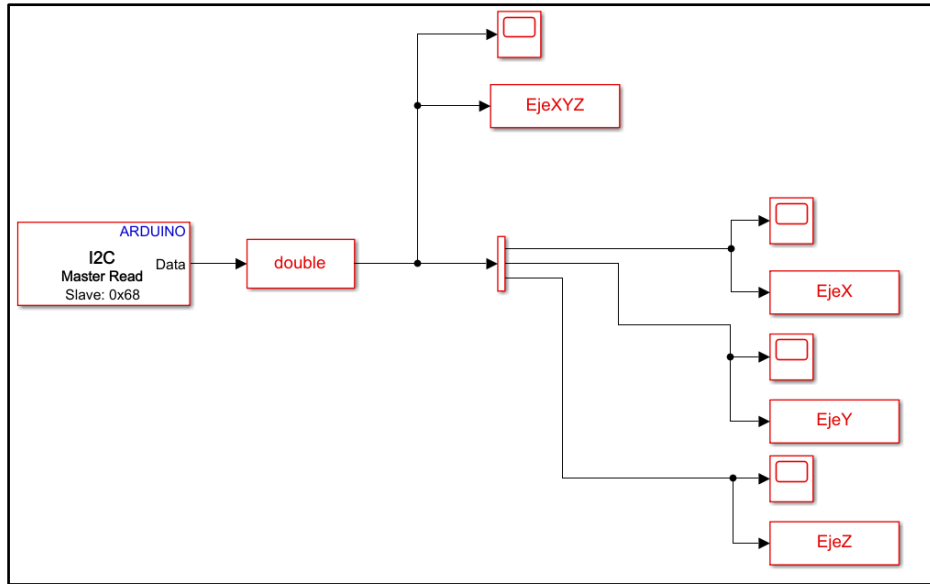


Figura 4.15. Esquema de adquisición de datos y almacenados en variables.

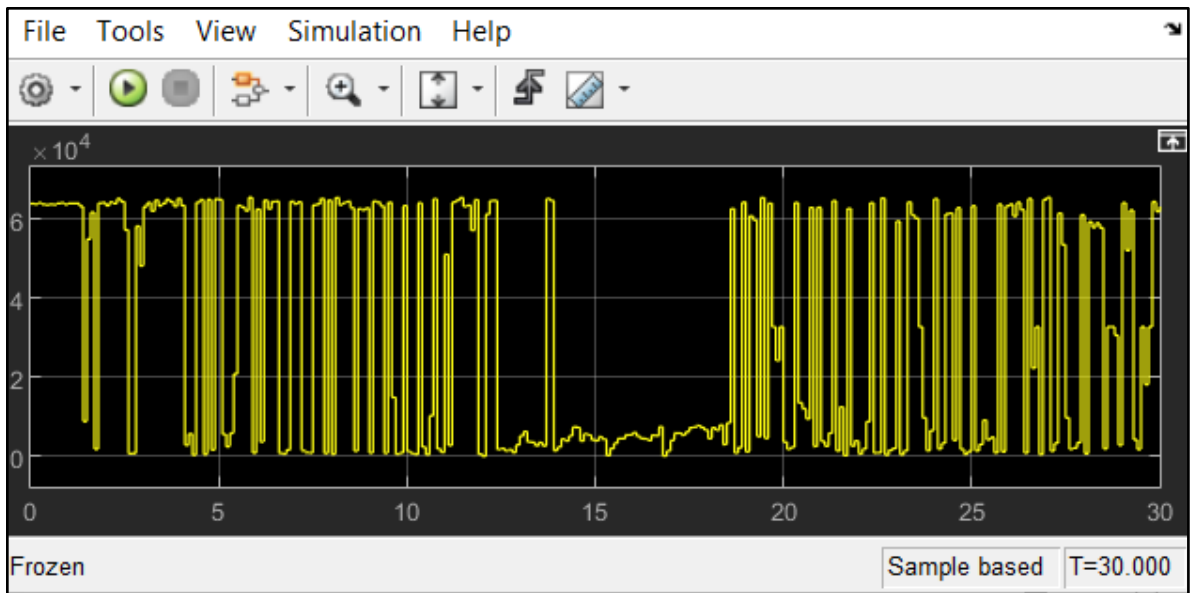


Figura 4.16. Gráfica de la adquisición de datos de la vibración en el eje X.

El siguiente script, permite la manipulación de las variables y realiza el cambio de formato de almacenamiento de manera que sea posible realizar la gráfica aceleración vs tiempo y la FFT de desde el workspace de Matlab y potencializar el uso y análisis de los datos. Los resultados se muestran en las figuras 4.17.

```

%%Gráfica de aceleración EjeX vs tiempo
clc
ejex=squeeze(EjeX.signals.values);
tiempox=EjeX.time;
figure()
plot(tiempox,ejex)
title('Registro de aceleración EjeX vs tiempo')
xlabel('tiempo (s)')
ylabel('Aceleración EjeX (°)')
grid on
%%
%%Gráfica de aceleración EjeY vs tiempo
ejey=squeeze(EjeY.signals.values);
tiempoy=EjeY.time;
figure()
plot(tiempoy,ejey)
title('Registro de aceleración EjeY vs tiempo')
xlabel('tiempo (s)')
ylabel('Aceleración EjeY (°)')
grid on
%%
%%Gráfica de aceleración EjeZ vs tiempo
ejez=squeeze(EjeZ.signals.values);
tiempoz=EjeZ.time;
figure()
plot(tiempoz,ejez)
title('Registro de aceleración EjeZ vs tiempo')
xlabel('tiempo (s)')
ylabel('Aceleración EjeZ (°)')
grid on
%%
Acel_EjeX=[tiempox ejex]
Acel_EjeY=[tiempoy ejey]
Acel_EjeZ=[tiempoz ejez]
Fs=970;

nfftX = length(tiempox);
X = fft(ejex,nfftX);
X = X(1:nfftX/2);
mx = abs(X);
fx = (0:nfftX/2-1)*Fs/nfftX;
figure()
plot(fx,mx)
title('Espectro de Potencia')
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('Amplitud X')
%
nfftY = length(tiempoy);
Y = fft(ejey,nfftY);
Y = Y(1:nfftY/2);
my = abs(Y);
fy = (0:nfftY/2-1)*Fs/nfftY;
figure()
plot(fy,my)
title('Espectro de Potencia')
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('Amplitud Y')
%
nfftZ = length(tiempoz);
Z = fft(ejez,nfftZ);
Z = Z(1:nfftZ/2);
mz = abs(Z);
fz = (0:nfftZ/2-1)*Fs/nfftZ;
figure()
plot(fz,mz)
title('Espectro de Potencia')
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('Amplitud Z')
%
grid on

```

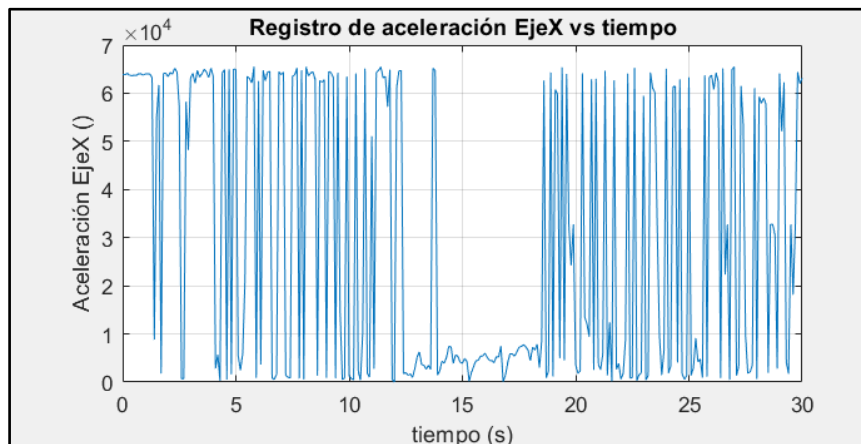


Figura 17a. Gráficas de la aceleración en función del tiempo y la frecuencia en el eje X, obtenidas de manera analítica por MatLab.

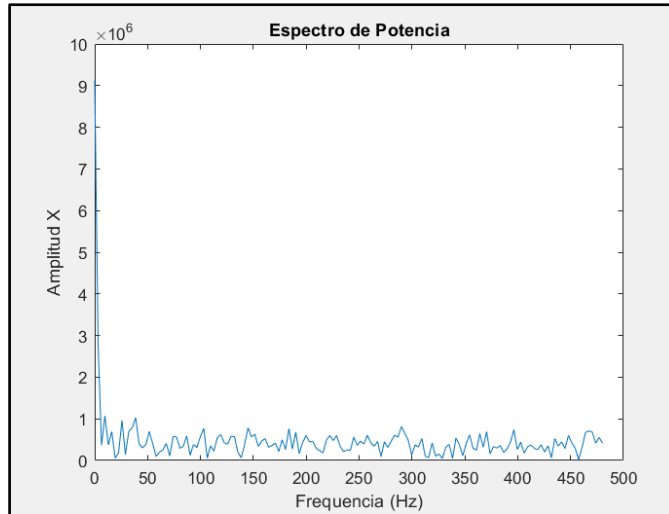


Figura 17b. Gráficas de la aceleración en función del tiempo y la frecuencia en el eje X, obtenidas de manera analítica por MatLab.

El siguiente diagrama de bloques en Simulink, permite el uso directo de la herramienta “Spectrum Analyzer” (figura 11) para graficar y analizar la FFT y el comportamiento de la vibración desde el dominio de la frecuencia. Para evitar la compleja programación y configuración desde MatLab. Los resultados se muestran en la figura 4.18.

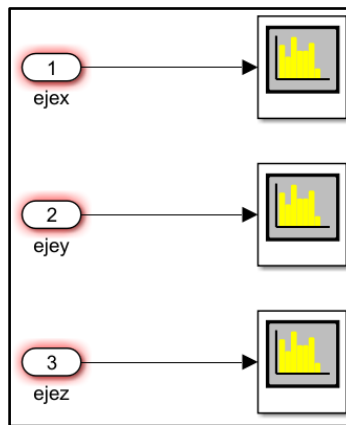


Figura 4.18. Uso del Spectrum Analyzer, para evaluar la vibración en términos de la frecuencia.

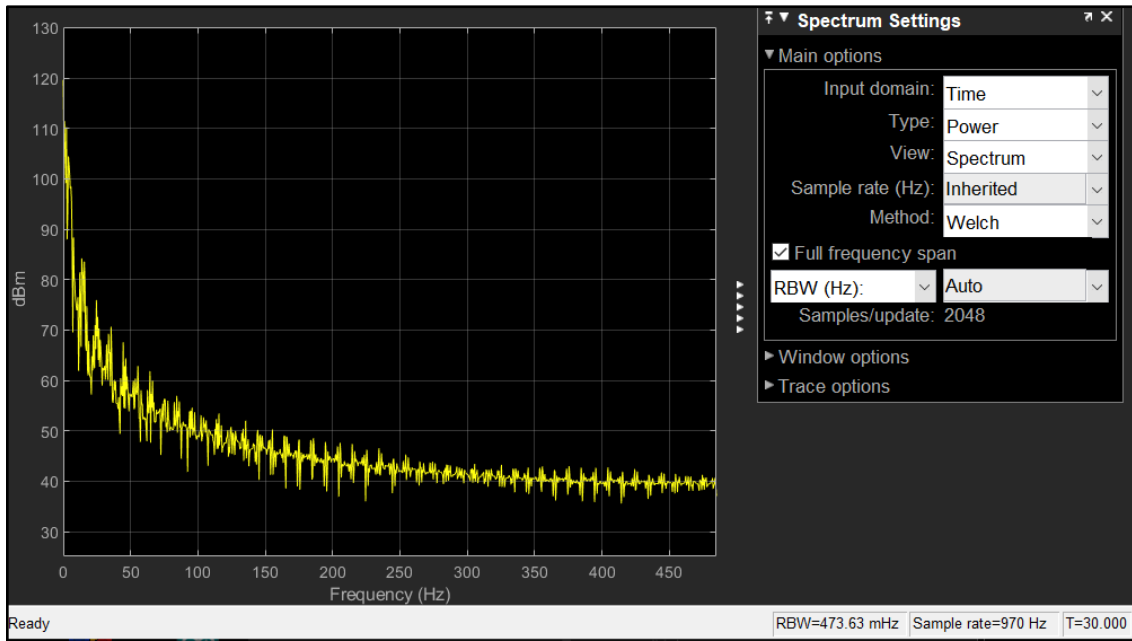


Figura 4.19. Gráfica de la aceleración en función de la frecuencia en el eje X.

Un diagrama de bloques final (figura 4.20) se ha implementado para determinar la respuesta de la estructura en función de la posición y conocer el desplazamiento real de la estructura. Los resultados se muestran en la figura 4.21.

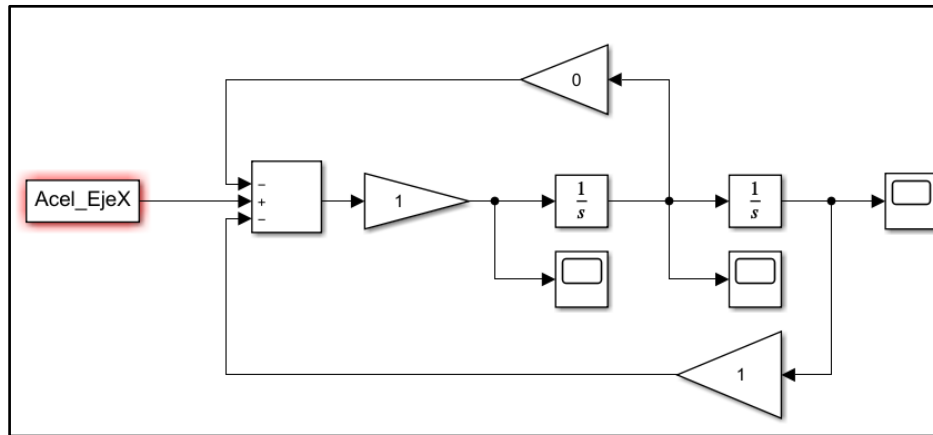


Figura 4.20. Diagrama de bloques para determinar la respuesta del sistema.

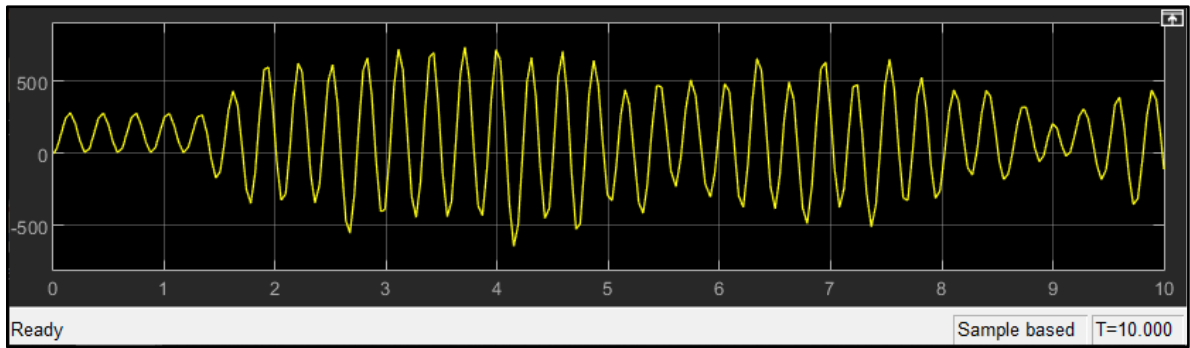


Figura 4.21. Gráfica de la respuesta del sistema en el eje X.

Finaliza la secuencia de enseñanza con un script .m que integra la secuencia de ejecución de los diversos desarrollos parciales, integrando la ejecución en un solo evento.

```
%PROGRAMA GENERAL PARA LLAMAR A
% TODOS LAS RUTINAS
%%PRIMERO ABRE LA ADQUISIÓN DE
% DATOS DESDE ARDUINO Y GUARDA LAS
% VARIABLES
open_system('PRUEBA_GABRIEL.slx')
set_param('PRUEBA_GABRIEL','SimulationCo
mmand','start')
n=35;
pause(n);
%%MODIFICA EL ALMACENAMIENTO DE
% LAS VARIABLES
PRUEBA_SCRIPT;
%%HABILITA EL ANALIZADOR DE
% ESPECTROS DE FRECUENCIA
open_system('SPCTRM.slx');
set_param('SPCTRM','SimulationCommand','start'
);
%%OBTIENE LA RESPUESTA DINÁMICA
% DEL SISTEMA
open_system('RESPUESTA_EJES.slx');
set_param('RESPUESTA_EJES','SimulationCom
mand','start');
```


Discusión

El desarrollo de un sensor de vibración requiere la comprensión de los conceptos básicos y la interpretación de las condiciones de estado (bueno o malo) de las estructuras a través de gráficas de comportamiento en dominio de la frecuencia. Contar con la capacidad profesional para emitir juicios de valor en base a la interpretación del comportamiento de la amplitud de las vibraciones evaluadas en función de la frecuencia, incrementa la durabilidad de los equipos es una cualidad de alta validez en el sector empresarial. Como se reporta en la publicación *Medidor de Vibración Para Dispositivos Móviles*, donde se obtuvo un módulo de medición y análisis de vibraciones totalmente funcional capaz de realizar las funciones de un medidor comercial en el área didáctica con un costo menor al promedio de estos y que es capaz de mostrar las mediciones de forma gráfica, lo cual permite una mejor comprensión de los conceptos aprendidos por parte de los alumnos (Vergara, 2013).

Desarrollar gráficas sobre las ecuaciones de movimiento básicas VLSA, VLCA, VFASA, VFACA, enfoca al estudiante a una zona de desarrollo próximo fundada en la heurística, a través de la consulta en la internet de información y procesos complementarios a las indicaciones e instrucciones proporcionadas por el docente. El fomento del diálogo se incrementa en las sesiones síncronas a distancia y apertura temas de discusión para el estudiante que siempre manifiesta baja participación. Torres (2019) verifica que el desarrollo de materiales didácticos virtuales adaptativos tiene como objetivos esenciales brindar cobertura a las necesidades y estrategias de aprendizaje de los estudiantes y la diversidad cultural y cognoscitiva de estos desde los entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje (Torres & García, 2019).

Al ser el sensor de vibraciones es un desarrollo integrado que se complementa con el manejo de software, programación, manipulación kinestésica en la ejecución del alambreado y la continua reflexión lógica secuencial en el seguimiento de las instrucciones. El manual lleva al estudiante al más alto nivel cognitivo de acuerdo a Bloom, debido a que está en constante evaluación de cada una de los pasos que le permiten ejecutar tareas parceladas de la integración. Se ha corroborado en este trabajo que el empleo de recursos educativos didácticos en las clases de las materias, requiere del compromiso de los docentes y la actualización sobre el manejo de las nuevas Tecnologías de Información y Comunicación ya

sea en el uso o desarrollo de recursos informáticos con o sin conexión a Internet (Vargas, 2017).

Durante la implementación del manual en un curso curricular de Vibraciones Mecánicas de una IES, se ha percibido por apreciación de los participantes del curso, la aceptación y motivación de los estudiantes al desarrollo de su propio sensor de vibración que los incentiva a conceptualizar los contenidos curriculares analíticos y gráficos. Para la validación del manual se emplea el siguiente instrumento de evaluación de la satisfacción de los estudiantes, sobre la estrategia implementada. La satisfacción de los participantes sobre el desarrollo de la evidencia de aprendizaje se mide el instrumento mostrado, que es una adaptación del diferencial semántico de Osgood, que maneja la siguiente escala:

Menos -3 -2 -1 0 1 2 3 Más

PARTICIPANTE:									
Memoria									
MEMORIA NO VERBAL									
Baja capacidad para retener la representación de equivalencia analítica y gráfica									Alta capacidad para retener la representación de equivalencia analítica y gráfica
Atención									
ATENCIÓN FOCALIZADA									
Baja capacidad para prestar atención a los prototipos didácticos									Alta capacidad para prestar atención a los prototipos didácticos
Coordinación									
TIEMPO DE RESPUESTA									
Baja motivación para trabajar conjuntamente expresiones analíticas y representaciones gráficas para resolver problemas de ecuaciones									Alta motivación para trabajar conjuntamente expresiones analíticas y representaciones gráficas para resolver problemas de ecuaciones
COORDINACIÓN OJO-MANO									
Lenta reacción de motricidad al tener un bloqueo analítico y recurrir al material didáctico para abordar el problema desde otra perspectiva									Rápida reacción de motricidad al tener un bloqueo analítico y recurrir al material didáctico para abordar el problema desde otra perspectiva
Razonamiento									
FLEXIBILIDAD COGNITIVA									
Gradual reacción de pensamiento para pasar del manejo del material didáctico a la representación analítica, para determinar la solución									Ágil reacción de pensamiento para pasar del manejo del material didáctico a la representación analítica, para determinar la solución
VELOCIDAD DE PROCESAMIENTO									
Lenta reacción medida en tiempo para reconocer patrones visuales simples									Rápida reacción medida en tiempo para reconocer patrones visuales simples

Figura 4.22. Cuestionario estilo lista de cotejo para evaluar la satisfacción del estudiante con el uso del Manual/Tutorial.

Interpretación de la evaluación de la aptitud

En este trabajo se consideran cuatro dimensiones (tabla 4.5) de percepción de mejora: la Memoria, la Atención, la Coordinación y el Razonamiento. Para interpretar los datos anotados por el participante se le han asignado valores numéricos a las posiciones escalares de manera que se otorgó el peso de +3 al extremo favorable del continuo bipolar; el de +2 al siguiente intervalo; el de +1 al que sigue; 0 al intervalo que no representa cambios; -1 al siguiente; -2 al que sigue; y -3 al extremo menos favorable del continuo bipolar.

Participante	DIMENSIONES					
	Memoria	Atención Focalizada	Coordinación		Razonamiento	
1	1	0	1	0	2	-1
2	2	1	3	-1	0	1
3	1	1	1	2	1	1
4	2	2	2	1	1	2
5	2	0	2	2	3	2
6	2	3	3	3	2	3
7	2	2	1	3	2	3
8	3	3	2	3	3	2
9	2	2	3	2	2	2
10	3	3	3	3	3	3
11	1	2	2	1	1	2
12	0	2	3	3	2	3
13	2	3	3	2	3	3
14	1	2	1	2	1	1
15	2	2	0	1	0	1
16	1	2	2	0	1	2
17	2	3	3	3	2	3
Promedio por Sección	2	2	3	3	2	2
Promedio por Dimensión	2	2	3		2	

Tabla 4.5 Promedios de la evaluación de aptitud.

Durante el análisis (tabla 4.6) del instrumento de recolección de datos, por medio de la moda se ha considerado que la mejora de las dimensiones, se asocia a la interacción de los

participantes con dispositivos mecatrónicos que emulan el uso de la instrumentación de alto costo y la actividad profesional de un analista de vibraciones mecánicas.

Dimensiones	Moda
Memoria	2
Atención	2
Coordinación	3
Razonamiento	2

Tabla 4.6. Moda de la aplicación del cuestionario de medición de la satisfacción.

- Los ítems de medición de la mejora de la memoria indican que los participantes se encuentran en disposición y receptivos a retener con menor complejidad los conceptos asociados al aprendizaje de las vibraciones mecánicas.
- Los ítems de medición de la mejora de atención indican que los participantes se encuentran en disposición y receptivos a focalizar su atención con mayor facilidad los conceptos asociados al aprendizaje de las vibraciones mecánicas.
- Los ítems de medición de la mejora de la coordinación indican que los participantes logran una sólida coordinación entre el concepto abstracto y el concepto físico en el aprendizaje de las vibraciones mecánicas.
- Los ítems de medición de la mejora del razonamiento indican que los participantes se encuentran en disposición y receptivos a deducir con menor complejidad los conceptos asociados al aprendizaje de las vibraciones mecánicas.

Conclusiones

El desarrollo de un manual de prácticas sin el uso de laboratorios especializados en sitio, es una propuesta de gran ventaja competitiva de tipo académico entre las IES, debido a que la solicitud laboral en esta área es de alta demanda.

La aplicación del manual de prácticas sin equipo especializado en la impartición de la asignatura de Vibraciones Mecánicas es motivante, para favorecer la educación a distancia de en las licenciaturas de ingeniería en la educación superior. Debido a que el estudiante toma un rol activo en su aprendizaje y profundiza sobre los temas de interés de manera personal e individualizada.

Se ha comprobado la hipótesis de investigación, en la cual el desarrollo de un manual de prácticas de Vibraciones Mecánicas para la enseñanza de la educación a distancia en Vibraciones Mecánicas con apoyo del software Excel para graficar las ecuaciones de movimiento básicas, apoya al estudiante para lograr la fabricación de un sensor de vibraciones mediante la técnica DIY.

En cuanto a las preguntas, ¿Cómo representar el comportamiento de las historias de tiempo de una señal de vibración (acelerograma)?, se puede responder que por medio de las herramientas de MatLab y Simulink es posible representar las mediciones del sensor MPU6050 de manera simple y práctica. En cuanto a la cuestión ¿Una hoja de cálculo de Excel tendrá la capacidad de reproducir gráficamente el comportamiento de un fenómeno físico mediante la solución de una ecuación analítica?, de las ejercitaciones realizadas se ha verificado que de manera analítica la representación del comportamiento de la solución de la ecuación de movimiento se visualiza de manera eficiente.

Se ha verifica por medio del instrumento de satisfacción que el uso de la documentación formal en la fabricación de un sensor de vibraciones es una valiosa herramienta de apoyo didáctico en las IES para la enseñanza de las vibraciones mecánicas. Asimismo, este proyecto se utiliza como material bibliográfico de apoyo en los laboratorios de Vibraciones Mecánicas o dinámica estructural de las IES, que atienden a estudiantes de nivel superior y posgrado.

Bibliografía

- Agustín, E. B. (2012). El manual como texto. *Pro-Posições*, 33-50. Obtenido de <https://doi.org/10.1590/S0103-73072012000300003>
- Angulo, A. K., & Salazar, V. J. (s.f.). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO ANALIZADOR DE VIBRACIONES. Recuperado el 11 de 06 de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/7283/1/AC-MECA-ESPE-047409.pdf>
- ARDUINO. (2021). *Arduino UNO*. Recuperado el 20 de 09 de 2021, de <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Arredondo Soto , M., Martínez Martínez , R., & Rico Martínez , J. M. (2017). *Práctica 1. Determinación de la frecuencia natural de un cuerpo rígido sujeto a vibración torsional*. Guanajuato México .
- BUAP. (2007). *Investigación* (Primera ed., Vol. 5). Puebla: BUAP.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Carrera Pruna, D. A. (Junio 2018). Diseño e implementación de un equipo didáctico para el estudio de fenómenos oscilatorios en sistemas dinámicos. *Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero mecánico*. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- CONAE. (2016). MPU67050-Acelerómetro. Recuperado el 09 de 05 de 2020, de <https://2mp.conae.gov.ar/index.php/materiales-educativos-sae/1313-materiel-de-soporte-para-docentes-y-alumnos>
- Elizondo Garza, F. J., & Cupich Rodríguez, M. (Agosto 1995). *Instructivo del laboratorio de vibraciones mecánicas I*. Monterrey, Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- García Reynoso, A. C. (Marzo 2003). *Instructivo de prácticas de laboratorio de vibraciones mecánicas* . Veracruz: Instituto Tecnológico de Veracruz .

- Goncharov, P., Artamonov, I., & Khalitov, T. (2014.). *Engineering Analysis with NX Advanced Simulation*. LULU.
- Jara Jimbo, J. A., & Sinchi Vivar, J. G. (Septiembre 2012). Diseño y construcción de un banco didáctico para la medición de vibraciones mecánicas en los laboratorios de instrumentación de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. *Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- López Custodio , P. C., Rico , J. M., Cervantes Sánchez , J. J., Sánchez Farias , N. R., Dúran Vargas , E. D., & Jiménez Martínez , R. (Septiembre 2013). Equipo experimental para el desarrollo de prácticas de vibraciones mecánicas . *Memorias del XIX congreso internacional anual de la SOMIM* . Pachuca, Hidalgo, México .
- López, R. A., & Tamayo, A. Ó. (2012). LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*, 145-166. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1341/134129256008.pdf>
- MathWorks. (2021). *Soporte Arduino de MATLAB y Simulink*. Recuperado el 20 de 09 de 2021, de <https://la.mathworks.com/products/hardware/arduino.html>
- Mossi, G. M. (2018). Interface mediante gestos de los dedos de un sistema incorporable al equipamiento de bomberos. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 23 de 09 de 2021, de <https://riunet.upv.es/handle/10251/108848?show=full>
- Navarrete-Cazales, Z., & Manzanilla-Granados, H. M. (2017). PANORAMA DE LA EDUCACIÓN A DISTANCIA EN MÉXICO. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos* , 13(1), 65-82. Recuperado el 11 de 06 de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/1341/134152136004.pdf>
- Octopart. (2013). *InvenSense MPU-6050 Datasheet*. Recuperado el 20 de 09 de 2021, de <https://octopart.com/datasheet/mpu-6050-invensense-19505926>
- Segovia, M. (2018). Adquisición de datos desde un sensor inercial. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado el 30 de 05 de 2021, de <https://e->

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/29505/TFG_Daniel_Segovia_Magaz_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- TDK. (2021). *MPU-6050 Six-Axis*. Recuperado el 20 de 09 de 2021, de <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>
- Tickoo, S. (2019). *NX Nastran 9.0 for Designers*. Pardue university Northwest.
- Torres, C. T., & García, M. A. (2019). Reflexiones sobre los materiales didácticos virtuales adaptativos. *Revista Cubana de Educación Superior*, 38(3), 1-22. Recuperado el 11 de 06 de 2021, de <http://scielo.sld.cu/pdf/rces/v38n3/0257-4314-rces-38-03-e2.pdf>
- Vargas, M. G. (2017). RECURSOS EDUCATIVOS DIDÁCTICOS EN EL PROCESO ENSEÑANZA APRENDIZAJE. *Cuadernos Hospital de Clínicas*, 58(1), 68-74. Recuperado el 11 de 06 de 2021, de http://www.scielo.org.bo/pdf/chc/v58n1/v58n1_a11.pdf
- Vergara, B. A. (2013). *Medidor de Vibración Para Dispositivos Móviles*. SOMI XXVIII. Recuperado el 11 de 06 de 2021, de https://www.academia.edu/9359868/Medidor_de_Vibraci%C3%B3n_Para_Dispositivos_M%C3%B3viles
- Vivanco, V. M. (2017). LOS MANUALES DE PROCEDIMIENTOS COMO HERRAMIENTAS DE CONTROL INTERNO DE UNA ORGANIZACIÓN. *Revista Universidad y Sociedad*, 247-252. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000300038&lng=es&tlng=es.
- Zavala, A. (2014). Para leer un manual de historia. Una mirada desde las herramientas de análisis. *Secuencia*(ISSN: 2395-8464), 169-187. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-03482014000300008&lng=es&tlng=es.

Anexo

Manual de Vibraciones Mecánicas