

Desarrollo de una guía de laboratorio para las prácticas de ensayos no destructivos con el uso de un equipo analizador de vibraciones en la especialización de gerencia de mantenimiento de la  
Universidad ECCI

Cristian Camilo Alférez

Nancy Catherinne Ballesteros

Lisímaco Patiño Muñoz

Asesor: Ing. Miguel Ángel Urián.

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Dirección de Posgrados

Universidad ECCI

Bogotá D.C. Julio 2019

Desarrollo de una guía de laboratorio para las prácticas de ensayos no destructivos con el uso de un equipo analizador de vibraciones en la especialización de gerencia de mantenimiento de la

Universidad ECCI

Cristian Camilo Alférez

Nancy Catherinne Ballesteros

Lisímaco Patiño Muñoz

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Dirección de Posgrados

Universidad ECCI

Bogotá D.C. Julio 2019

## **Dedicatoria**

Este proyecto lo dedicamos a cada una de nuestras familias: hijos, esposas, padres y hermanos.

A nuestros hijos, quienes siguen nuestros pasos y para quienes somos su mejor ejemplo.

A nuestras esposas, compañeras de vida, por su permanente apoyo incondicional para alcanzar nuestros sueños, metas y compartir nuestros triunfos.

A nuestros padres y hermanos, para quienes cada uno de nuestros logros los llena de enorme satisfacción; igualmente por su apoyo y colaboración.

Todo su amor, apoyo y comprensión son lo que nos motivan día a día para alcanzar nuestras metas y para seguir soñando en grande.

Cristian Alférez

Nancy Ballesteros

Lisímaco Patiño

## **Agradecimientos**

Damos las gracias a nuestros profesores por compartir con cada uno de nosotros parte de su gran conocimiento, por hacernos ver más allá y por enseñarnos todo lo que se encuentra a la vanguardia de nuestro aprendizaje.

Agradecemos a nuestros queridos compañeros de especialización; sin duda alguna formamos el mejor equipo de trabajo, gracias por su colaboración, disposición, talento, buena energía y por compartir también sus habilidades y conocimientos en las áreas y sectores en las que cada uno se destaca.

Agradecemos a la Universidad ECCL, por permitirnos desarrollar nuestro trabajo de grado al interior de sus instalaciones y con sus equipos, agradecemos ese voto de confianza depositado en nosotros.

Finalmente, pero no menos importante a quien todo lo puede, todo lo hace posible y quien nos permitió culminar con éxito nuestra especialización y nuestro proyecto de grado; Dios.

Cristian Alférez

Nancy Ballesteros

Lisímaco Patiño

## **Resumen**

En este documento se plasma todo el desarrollo de una guía de laboratorio para la Especialización en Gerencia de Mantenimiento, en la práctica de laboratorio de ensayos no destructivos para el ensayo de análisis de vibraciones, en la Universidad ECCI.

Este proyecto surge ante la falta de una guía para desarrollar la práctica de laboratorio de ensayos no destructivos, específicamente el ensayo de análisis de vibraciones; al contar con esta práctica dentro del pensum de la especialización y luego de haberla desarrollado en el primer semestre, surgieron varios interrogantes acerca tanto de los equipos a manipular, como de las mediciones, los hallazgos esperados, su interpretación y utilidad en la toma de decisiones para el mantenimiento de las máquinas.

Teniendo en cuenta que la universidad ECCI adquirió recientemente un equipo Analizador de Vibraciones, con mayor tecnología y gran variedad de funciones que permiten hacer más amplios y exactos los hallazgos esperados durante la práctica, al igual que un rotor Kit en el cual es posible generar todos estos hallazgos, se dio la necesidad de generar un paso a paso, una guía, un documento que defina, identifique y determine tanto el correcto uso del equipo, el alcance de los hallazgos y la exactitud de las mediciones esperadas.

Partiendo de esto se realizaron una serie de entrevistas a docentes de la cátedra de Gerencia de Mantenimiento y de la carrera de Ingeniería Mecánica, quienes de manera unánime consideraron necesario el desarrollo de la guía de laboratorio; no obstante, sugirieron que dicha guía sea en lo posible desarrollada de manera didáctica, que integre al estudiante previamente al

desarrollo de la práctica permitiéndole obtener, comprender y analizar de forma fácil los conceptos, funciones y hallazgos encontrados.

Con base en las sugerencias realizadas por los docentes entrevistados y después de revisar y comparar otras guías de laboratorio, se determinó el desarrollo una guía interactiva, que permitirá que el estudiante se relacione con el ensayo de análisis de vibraciones previo a la práctica de laboratorio, en esta guía se encuentran generalidades, características y uso adecuado del analizador de vibraciones, videos explicativos del ensayo y los hallazgos esperados.

Esta guía se encuentra completamente desarrollada en Excel, contiene hipervínculos a través de los cuales el estudiante puede mirar diferentes aspectos relacionados con la práctica, así como también los links y vínculos necesarios para que el estudiante puede instalar en su equipo de cómputo el aplicativo del equipo y pueda obtener en tiempo real los resultados de las mediciones generadas; resultados arrojados en formato PDF.

**Palabras claves:** Análisis de vibraciones, analizador de vibraciones, guía de laboratorio, ensayos no destructivos, falla, mantenimiento predictivo, vibración.

## **Abstract**

The present document reflects the development of a laboratory guide for the Specialization in Maintenance Management, in the practice of non-destructive testing laboratory for the vibration analysis test, at the ECCI University.

This project arises in the absence of a guide to develop the laboratory practice of non-destructive tests, specifically the vibration analysis test; when having this practice within the pensum of the specialization and after having developed it in the first semester, several questions arose about both the equipment to be manipulated, as well as the measurements, the expected findings, their interpretation and usefulness in decision making for the maintenance of the machines.

Taking into account that the ECCI University recently acquired a Vibration Analyzer equipment, with greater technology and a variety of functions that allow to make the findings expected during practice more extensive and accurate, as well as a Kit Rotor in which it is possible to generate all these findings gave the need to generate a step-by-step, a guide, a document that defines, identifies and determines both the correct use of the equipment, the scope of the findings and the accuracy of the expected measurements.

Based on this, a series of interviews were conducted with teachers from the Department of Maintenance Management and the Mechanical Engineering degree, who unanimously considered the development of the laboratory guide necessary; however, they suggested that this guide be developed in a didactic way, that integrates the student prior to the development of the

practice, allowing him to easily obtain, understand and analyze the concepts, functions and findings found.

Based on the suggestions made by the teachers interviewed and after reviewing and comparing other laboratory guides, the development of an interactive guide was determined, which will allow the student to relate to the vibration analysis test prior to the laboratory practice, this guide contains generalities, characteristics and proper use of the vibration analyzer, explanatory videos of the test and the expected findings.

This guide is fully developed in Excel, contains hyperlinks through which the student can look at different aspects related to the practice, as well as the necessary links so that the student can install the application on his computer and can obtain in real time the results of the generated measurements and the results thrown in PDF format.

**Keywords:** Vibration analysis, vibration analyzer, laboratory guide, non-destructive tests, failure, predictive maintenance, vibration.



## TABLA DE CONTENIDO

1	Título de la Investigación .....	12
2	Problema de investigación.....	13
<b>2.1</b>	<b>Descripción del problema .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistematización del problema.....</b>	<b>15</b>
3	Objetivos de la Investigación .....	16
<b>3.1</b>	<b>Objetivo general .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>16</b>
4	Justificación y delimitación.....	17
<b>4.1</b>	<b>Justificación .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>Delimitación .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Limitaciones.....</b>	<b>21</b>
<b>4.4</b>	<b>Project Charter.....</b>	<b>22</b>
5	Marco conceptual .....	23
<b>5.1</b>	<b>Estado del arte .....</b>	<b>23</b>
5.1.1	Estado del arte Nacional .....	23
5.1.2	Estado del arte Internacional.....	25
<b>5.2</b>	<b>Marco Teórico .....</b>	<b>29</b>
5.2.1	Programa de Mantenimiento predictivo: .....	29
5.2.2	Ensayos no destructivos.....	30
5.2.3	Análisis de Vibraciones .....	30
5.2.4	Normatividad Vigente .....	36
5.2.5	Equipo Rotor Kit .....	37
5.2.6	Guía de laboratorio .....	38
5.2.7	Herramientas utilizadas .....	39
6.	Marco metodológico.....	41
<b>6.1</b>	<b>Recolección de la información.....</b>	<b>41</b>
6.1.1	Tipo de investigación.....	41
6.1.2	Fuentes de obtención de la información .....	41

6.1.3	Herramientas .....	41
6.1.4	Metodología .....	42
6.1.5	Información recopilada .....	43
<b>6.2</b>	<b>Análisis de la información .....</b>	<b>47</b>
6.2.1	Entrevistas .....	47
6.2.2	Análisis de causa Raíz .....	48
6.2.3	Diseño de competencias .....	51
<b>6.3</b>	<b>Propuesta(s) de solución .....</b>	<b>53</b>
<b>6.3.1</b>	<b>Estructura de la guía desarrollada .....</b>	<b>54</b>
7	Impactos esperados/generados .....	57
8	Análisis financiero .....	58
9.	Cronograma .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
10.	Conclusiones y recomendaciones .....	60
<b>10.1</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>60</b>
<b>10.2</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>61</b>
11.	Bibliografía .....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Project Charter.....	22
Figura 2. FLUKE 810 .....	35
Figura 3. Rotor Kit.....	37
Figura 4. Procedimiento como guía de laboratorio.....	48
Figura 5. Instructivo como guía de laboratorio.....	49
Figura 6. Guia practica como guía de laboratorio.....	50
Figura 7. Competencias- Ckeck list.....	52

**■ Título de la Investigación**

Desarrollo de una guía de laboratorio para las prácticas de ensayos no destructivos con el uso de un equipo analizador de vibraciones en la Especialización de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI.

## ■ Problema de investigación

### 2.1 Descripción del problema

En la industria actual el diagnóstico de fallas de una máquina es indispensable tanto para el mantenimiento propio, su conservación y prolongación de vida útil, como para el control y aseguramiento del proceso que soporta; a lo largo del tiempo han surgido distintas metodologías para detección e identificación a tiempo de aquellas fallas que se pudieran presentar.

La operación de una máquina o equipo presenta diversas condiciones durante su funcionamiento, todas aquellas condiciones son resultado del uso del equipo y del desgaste operativo. Entre estas, una de las más frecuentes condiciones de trabajo son las vibraciones generadas por diversas circunstancias de la operación y las cuales pueden ocasionar desgaste, fisuras por fatiga, pérdida de efectividad de sellos, rotura de aislantes, ruidos, etc.

No obstante, estas vibraciones resultan ser valiosas al momento de un análisis, como indicación de la condición de una máquina, y se convierten en una herramienta de predicción de la evolución de un defecto. Aquí radica la importancia de contar con un procedimiento riguroso para realizar pruebas a los equipos y máquinas a fin de detectar esas fallas, para lo cual es necesario contar con la tecnología y equipos de análisis de pruebas que permitan un diagnóstico lo más preciso posible para determinar así mismo la solución.

Partiendo de la premisa anterior y teniendo como finalidad principal la obtención de los resultados en las prácticas industriales, se hace necesario desarrollar conocimientos de mayor nivel, los cuales pueden ser obtenidos empíricamente y con la suma de capacitaciones o por

medio de estudio formal partiendo de la capacidad de entender el uso de los equipos y analizar los resultados, que puedan generar acciones de mejora en la operación del equipo.

Con este fin la universidad ECCI recientemente renovó el registro calificado del programa de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento y entre las condiciones establecidas para desarrollar de manera efectiva las habilidades y competencias de los estudiantes se evidenció la necesidad de contar con unas prácticas de laboratorio óptimas para ensayos no destructivos.

Para ello se destinó parte de su presupuesto en la adquisición de nuevos equipos especializados para dichos ensayos, entre ellos un Analizador de vibración.

En la actualidad para las prácticas de laboratorio en este ensayo específico, se está desarrollando una metodología que, si bien proporciona un conocimiento y aprendizaje aceptable, en la práctica genera variabilidad e inexactitud de los resultados; ahora bien, con la entrada del nuevo equipo, dicha metodología resulta inconsistente y no permite alcanzar los resultados esperados dada esa nueva tecnología.

Para poner en funcionamiento la nueva tecnología y el equipo de análisis de vibraciones no se cuenta con la metodología y guía de laboratorio en congruencia con el actual método de práctica de laboratorio.

## **2.2 Planteamiento del problema**

¿Cómo aportará el desarrollo de una guía de laboratorio para la práctica del ensayo no destructivo con el equipo analizador de vibraciones, a la formación de los estudiantes en la Especialización de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI?

### **2.3 Sistematización del problema**

- ¿Cuál es la metodología que actualmente se está aplicando para el desarrollo de las prácticas de laboratorio del ensayo no destructivo de análisis de vibración en la Especialización de GM de la ECCI?
- ¿Qué metodologías y herramientas existen para ser aplicadas en el aprendizaje y desarrollo de ensayos de laboratorio de pruebas no destructivas de análisis de vibración?
- ¿Cuál es el modelo más adecuado para desarrollar la guía de laboratorio para las prácticas de laboratorio de ensayos no destructivos de análisis de vibración?

## ■ **Objetivos de la Investigación**

### **3.1 Objetivo general**

Desarrollar una guía de laboratorio para en ensayo de análisis de vibraciones con el equipo analizador de vibraciones, en la práctica de ensayos no destructivos en la Especialización de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Identificar la metodología aplicada actualmente en la práctica de laboratorio de ensayos no destructivos en el ensayo de análisis de vibración.
- Evaluar diversas alternativas de metodología y/o herramientas para desarrollo de la guía de laboratorio en el ensayo de análisis de vibraciones con el equipo analizador de vibraciones
- Establecer la metodología más adecuada para el desarrollo de la guía de laboratorio en la práctica de ensayos no destructivos en el análisis de vibraciones, con el equipo analizador de vibraciones.



## Justificación y delimitación

### 4.1 Justificación

La enseñanza en el ámbito global del mantenimiento, cada día es más imperiosa la necesidad de contar con expertos que conozcan el desempeño dinámico de las máquinas tanto en su diseño como en su vida útil, de manera que se garantice la eficiencia y la integridad en la operación; herramientas como los modelos matemáticos, la medición y el monitoreo de la condición en campo, las pruebas o ensayos, soportados con un análisis apropiado de los resultados, son elementos contributivos para aquel fin.

Según Short (Short, 2002), en la enseñanza de la ingeniería actual, uno de los grandes retos es suministrar al estudiante herramientas y habilidades que le permitan enfrentar los cambios y requerimientos del escenario laboral. Como referente global, teniendo como base el estudio de las necesidades para ingenieros del siglo 21 th (Huang, 2004), la república de China fija una reforma curricular en la que propone como meta implantar un modelo educativo activo en el que los estudiantes evolucionen de simples receptores pasivos a participantes activos, con el uso de técnicas que le conduzcan a resolver problemas reales y trabajar en equipo aprendiendo; plantea además que los docentes sean asesores y organizadores, dejando la responsabilidad del aprendizaje y efectivo estudio en los estudiantes. El objetivo principal es transformar la experiencia educativa de manera que se fortalezca el desarrollo del aprendizaje, las aptitudes y los valores.

En otra perspectiva, en la enseñanza de la ingeniería, los estudiantes presentan dificultad de visualizar los conceptos teóricos presentados; los problemas estudiados en los textos son útiles, pero aun así se tiene dificultad en visualizar el significado físico de un problema. “Si un

estudiante está provisto con medios para experimentar y aplicar la teoría al mundo real, esto no sólo puede conducir a mejorar el entendimiento de los conceptos teóricos, sino a darle confianza para enfrentar situaciones complejas” (Torres, 2006)

En la universidad ECCI se desarrollan diferentes programas educativos entre ellos la Especialización de Gerencia en Mantenimiento. Este posgrado contiene entre sus asignaturas de primer semestre la Gerencia de Mantenimiento I, cuyo programa curricular incluye la práctica de laboratorio de ensayos no destructivos que comprende pruebas de líquidos penetrantes, termografía, análisis de vibraciones, entre otros.

En la actualidad no cuenta con un procedimiento estandarizado, como modelo educativo, para el desarrollo de las prácticas, que incluya un componente teórico-práctico estructurado para el desarrollo, manipulación y análisis de las diversas variables y medidas arrojadas por el equipo.

De acuerdo con las políticas de estandarización, la reciente recertificación y acreditación de la carrera y teniendo en cuenta nuestros conocimientos, habilidades y nuestros campos de acción laboral se observa la necesidad de desarrollar e implementar una guía de laboratorio detallada y específica para la práctica de laboratorio lo que desarrollará en el estudiante la capacidad de realizar con una mayor exactitud las mediciones requeridas, obteniendo resultados reales y totalmente aplicables.

El Mantenimiento a nivel global las prácticas de mantenimiento en las máquinas han venido evolucionado a través del tiempo, desde la más elemental que consistía en que la máquina se dejaba operar de forma continua hasta fallar y terminar finalmente interrumpiendo el servicio, para entrar a reparar, algo que desde luego resultaba altamente costoso; después se pasó al

mantenimiento preventivo en el que se desarmaba la máquina y se reacondicionaba de acuerdo a unas programaciones regulares predeterminadas. Vino entonces la aparición del mantenimiento predictivo, aquel en que la máquina solamente se interviene o compone cuando se sabe que va a presentar una falla; a raíz de esta, se ha pasado a un nivel de mantenimiento proactivo, el cual incluye la técnica llamada “Análisis de causas fundamentales de fallas”, que busca encontrar la causa fundamental de una falla de la máquina para entonces entrar a corregir. Este mantenimiento proactivo usa varias técnicas para alargar la duración de la operación de las máquinas, haciendo uso de los ensayos no destructivos, que consisten en pruebas practicadas a los materiales de las máquinas de forma que no alteran permanentemente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales, es decir, implican un daño imperceptible o nulo.

Entre los tipos de ensayos no destructivos más comunes se encuentran la inspección visual, los líquidos penetrantes, los ensayos ultrasónicos, la termografía, el análisis de vibraciones, entre otras.

En el ámbito industrial internacional se está dando una gran importancia a las vibraciones que se presentan en las máquinas durante su funcionamiento; su estudio y análisis está demostrando que la forma de vibración de una máquina en operación ofrece mucha información acerca del funcionamiento interno de la misma. El análisis de vibraciones permite, entre otras, detectar pequeños defectos mecánicos antes de que se presente una falla mayor.

Por esta razón, como prueba de ensayo no destructivo cobra mayor importancia el análisis de vibraciones en los equipos, como práctica que consiste en diagnosticar mediante un equipo analizador las posibles alteraciones en las vibraciones normales de diversos equipos, sin intervenir el mismo.

El Éxito de un ensayo de laboratorio parte de los resultados esperados y para ello se requiere un proceso detallado paso a paso de las mediciones requeridas, la forma específica de realizarlas, las muestras necesarias, entre otros.

## 4.2 Delimitación

El presente trabajo tiene como fin proponer las herramientas (guías de trabajo), para los laboratorios de ensayos no destructivos, en lo que a análisis de vibraciones se refiere, en la especialización de gerencia de mantenimiento de la Universidad ECCI.

## 4.3 Limitaciones

- Limitación de Tiempo

Para esta propuesta de desarrollo de guías de laboratorio, el tiempo estipulado no es suficiente para posibilitar la implementación e integración del documento en el área de trabajo de los estudiantes.

- Limitación Normativa

No contar con la aprobación de los docentes y o coordinadores para el préstamo del dispositivo de medida (analizador de vibración) lo cual conlleve a demoras no contempladas e inexactitud en la información recopilada.

- Limitaciones Administrativas

No tener el apoyo de la dirección de postgrados para el préstamo de equipo e información de cómo se desarrolla actualmente la respectiva cátedra.

## 4.4 Project Charter

Acta que da inicio formal al proyecto, identificando recursos, costos, responsables y tiempo estimado.

### 4.4.1.1 Figura 1. Project Charter

ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO				
FECHA:	16 de Febrero 2019			
PROYECTO:	Desarrollo de una guía de laboratorio para las prácticas de ensayos no destructivos con el uso de un equipo analizador de vibraciones en la Especialización de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI.			
DIRECCIÓN RESPONSABLE:	Dirección de Posgrados - Especialización en Gerencia de Mantenimiento			
LIDER DEL PROYECTO:	Nancy Ballesteros, Cristian Alférez, Lisímaco Patiño M.			
PRATROCINADOR EJECUTIVO:	UNIVERSIDAD ECCI			
<b>1. OBJETIVO OPERATIVO/ESTRATÉGICO AL QUE ESTÁ ALINEADO</b>				
Calidad: Mejorar el estándar académico establecido para recertificación y acreditación del programa.				
<b>2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO (¿Porqué se está realizando el proyecto?)</b>				
	<input checked="" type="checkbox"/>	MEJORA DE PROCESOS INTERNOS		
	<input type="checkbox"/>	MEJORA DE SERVICIOS		
	<input type="checkbox"/>	CREACIÓN DE NUEVOS PRODUCTOS O SERVICIOS		
La Especialización en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI contiene entre sus asignaturas de primer semestre la Gerencia de Mantenimiento I, cuyo programa curricular incluye la práctica de laboratorio de ensayos no destructivos que comprende pruebas de líquidos penetrantes, termografía, análisis de vibraciones, entre otros. En la actualidad no cuenta con un procedimiento estandarizado, como modelo educativo, para el desarrollo de las prácticas, que incluya un componente teórico-práctico estructurado para el desarrollo, manipulación y análisis de las diversas variables y medidas arrojadas por el equipo.				
<b>3. OBJETIVOS DEL PROYECTO. (¿Qué se alcanzará con el proyecto que pueda ser cuantificado o medido)</b>				
Diseñar una guía de laboratorio para la práctica de análisis de vibraciones en el área de ensayos no destructivos en la Especialización de Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI, para ser aplicada a partir del semestre I de 2020.				
<b>4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO. (¿Cómo se ejecutará el proyecto?)</b>				
* Identificar método aplicado actualmente. * Determinar diversas alternativas y herramientas metodológicas. * Establecer el método más adecuado.				
<b>5. BENEFICIARIOS. ¿(Quiénes se beneficiarán del resultado del proyecto?)</b>				
* Alumnos de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento a partir de 2020. * El programa de Especialización en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad ECCI. * La Universidad ECCI.				
<b>6. RESULTADOS O BENEFICIOS ESPERADOS. (¿Cuáles son los beneficios de la ejecución del proyecto para el beneficiario?)</b>				
* Mejores prácticas para adquirir conocimiento y mejores resultados en el aprendizaje. * Estándar más alto de acreditación y certificación para el programa de la especialización y para la Universidad ECCI.				
<b>7. CRONOGRAMA.</b>				
FECHA DE INICIO	FEBRERO DE 2019		FECHA FIN	JULIO DE 2019
<b>8. PRESUPUESTO Y RECURSOS</b>				
Presupuesto requerido	\$ 1.563.780	No. De personas asignadas al proyecto	3	
<b>9. ENTREGABLE FINAL DEL PROYECTO (¿Cuál es el producto resultado del proyecto?)</b>				
Entregable	Especificaciones / Características		Medio de verificación	
* Documento de Investigación. * Fichas Técnicas para desarrollo de prácticas	* Documento digital de consulta general. * Ficha digital guía para desarrollo de prácticas en Laboratorio y presentación de informes. * Ficha digital guía de los equipos y herramientas empleados durante las prácticas del Laboratorio.		* Análisis y aprobación por parte de docentes de la Especialización, expertos en ensayos no destructivos. * Aplicación en el desarrollo de prácticas de laboratorio por parte de los nuevos alumnos.	
<b>10. SUPUESTOS. (¿Qué factores se están dando por hecho en la formulación del proyecto?)</b>				
* Tiempo. Se tiene un tiempo limitado de cuatro meses para el desarrollo del proyecto. * Presupuesto. El presupuesto para la ejecución del proyecto es limitado. El origen son recursos de las personas que lo desarrollan. * Recurso humano. El proyecto es desarrollado solamente por tres personas.				
<b>11. RIESGOS. (¿Qué amenazas pueden afectar el desarrollo del proyecto?)</b>				
* No tener acceso al equipo analizador de vibraciones, lo cual imposibilita su total análisis y conocimiento, generando demoras en el tiempo de desarrollo del trabajo e inexactitud en la información recopilada. * No contar con el apoyo de la dirección del posgrado en la entrega de información, interfiere en el desarrollo de la investigación y los datos finales para la guía de laboratorio no tendrían certeza.				
<b>12. FIRMAS</b>				
Nombre	Cargo o Rol en el Proyecto	Creador/Revisor/Aprobador	Fecha	Firma
MIGUEL ANGEL URIAN T.	TUTOR	Revisor		
NANCY CATHERINNE BALLESTEROS	INGENIERA DE PROCESOS	Creador	16/02/2019	
CRISTIAN ALFÉREZ	DIRECTOR DE PROYECTO	Creador	16/02/2019	
LISÍMACO PATIÑO M.	INGENIERO DE DESARROLLO	Creador	16/02/2019	
DOCENTES	JURADOS	Aprobador		

## Marco conceptual

### 5.1 Estado del arte

De acuerdo con la investigación en trabajos académicos, libros y artículos, se dan a conocer diferentes autores, quienes han expuesto apartes relacionados con nuestro tema de investigación, esta descripción se realizó tanto a nivel nacional como internacional.

#### 5.1.1 Estado del arte Nacional

5.1.1.1. “Diseño Implementación de Guías de prácticas para el análisis de vibraciones en un rotor kit” trabajo de grado en la Universidad Pontificia Bolivariana, desarrollado por el estudiante Isidoro Elkin Arregoces Duarte, en el año 2014 en este proyecto se identificaron las fallas que puede presentar el equipo de estudio, se identificaron tres tipos de diagnóstico de fallas y finalmente se dieron pautas para los estudiantes que realizan los estudios correspondientes; El aporte del trabajo citado a la presente investigación se centra en el estudio del análisis de vibraciones identificando las fallas y dando ítems para la aplicación del ensayo (Duarte, 2014)

5.1.1.2 “Formulación de prácticas de laboratorio para el servicio público de gas en el proyecto de tecnología en gestión ambiental y servicios públicos de la Universidad Distrital”. Trabajo de grado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, desarrollado por la estudiante Jenny Paola Gutiérrez, en el año 2015, este proyecto desarrollo 5 prácticas de laboratorios basados en la normatividad colombiana para instalaciones de gas, así como las pautas las llevar a cabo laboratorios de ensayos no destructivos. El aporte del trabajo citado a la presente investigación se

resume en las pautas para llevar a cabo laboratorios de ensayos no destructivos bajo la normatividad colombiana.(Gutiérrez, 2016).

5.1.1.3 “Elaboración de materiales didácticos para la asignatura de ensayos no destructivos en la Universidad Santo Tomás” proyecto de grado desarrollado por el aspirante a Ingeniero Mecánico Yerson Ferney Niño Panqueva en el año 2017, en él se desarrollan diferentes metodologías, actividades de aprendizaje, uso de guías didácticas para aplicación de ensayos no destructivos teniendo en cuenta la importancia de estas herramientas para el aprendizaje de los estudiantes. El aporte a la presente investigación son el conocimiento y análisis de las diferentes metodologías y actividades que menciona para poder analizar e implementar en la guía de laboratorio en desarrollo (Niño Panqueva, 2018)

5.1.1.4 “Análisis de Vibraciones: Una herramienta clave en el mantenimiento predictivo”. Artículo desarrollado en la Universidad Tecnológica de Pereira por los docentes William Olarte, Marcela Botero y Benhur Cañón, en el año 2010, en el describen el análisis de vibraciones como una técnica muy empleada de diagnóstico de equipos en plantas de producción; como aporte a la investigación en curso confirma la necesidad de una guía para poder realizar las mediciones correctas y determinar los hallazgos esperados tanto en las prácticas como en el desarrollo de mantenimientos predictivos. (Olarte, Botero, & Cañón, 2010)



## 5.1.2 Estado del arte Internacional

5.1.2.1 “Recursos explicativos en los laboratorios de Enseñanza”. Artículo desarrollado para la revista argentina de enseñanza de la Ingeniería por las autoras Haydee Santilli, Lidia Sánchez y María Beatriz Roble el año 2006; en este artículo hablan de la importancia de los Laboratorios de enseñanza para la adquisición de habilidades ingenieriles en los estudiantes de ingenierías, como un aporte a la presente investigación está el enfoque que se da a las prácticas de laboratorio dentro de las carreras de ingeniería, las cuales permiten la adquisición de conocimiento de forma práctica y el desarrollo de las habilidades y competencias necesarias para los estudiantes (Haydée, Santilli; Lidia, Sánchez; Beatríz, Roble María, 2006)

5.1.2.2 “Análisis de vibraciones e interpretación de datos” artículo para la plataforma researchgate, por el PHD de la Universidad de Zaragoza Jesús Royo; en este artículo identifica el análisis de vibración como técnica del mantenimiento predictivo, las posibles fallas y la interpretación de los datos que pueden hallarse con esta técnica; para el desarrollo del presente trabajo de investigación se toman la forma de interpretación de la que habla el autor para el análisis de vibraciones. (Royo & Rabanaque)

5.1.2.3 “Análisis de vibraciones en banco de ensayo utilizado para simular fallas de equipos industriales” artículo para la revista académica de la Universidad Nacional de Córdoba por los autores Laura Leonor Boaglio, Sergio O. Gangi, Daniel A. Pontelli, Juan G. Bollati, en el año 2016, en este artículo se presenta un análisis de vibraciones para un sistema electromecánico desarrollado con fines didácticos, en el que se realizan más de 50 mediciones y cuyos datos son

analizados basados en la normatividad existente y bibliografía especializada. Como aporte para la presente investigación se encuentra la simulación de ensayos lo cual es lo que se desarrolla dentro de la cátedra y lo que tendrá la guía de laboratorio. (Boaglio, Gangi, Pontelli, & Bollati, 2016)

5.1.2.4 “Análisis y Determinación de Problemas Mediante Diagnóstico de Vibraciones en los Equipos Críticos de Generación de Olas Artificiales del Parque Acuático Morete Puyu en la Provincia de Pastaza”, trabajo de grado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por el estudiante Fausto Ramiro Quishpe Sandoval en el año 2014 el, en este trabajo el autor generó un diagnóstico de los equipos críticos del parque, su posterior análisis de vibraciones y sus posibles soluciones para evitar paradas que afecten la operación del parque; como aporte para la presente investigación determina el análisis de vibraciones como la técnica predictiva de mantenimiento y reducción de tiempos de paradas.(Quishpe, 2014).

5.1.2.5 “Estudio técnico e implementación del laboratorio de ensayos no destructivos para el área de ciencia y tecnologías de la universidad politécnica salesiana sede Cuenca” por el estudiante Christian Fernando Bernal Reinoso en el año 2014, trabajo en el cual se identifican los requerimientos técnicos para el desarrollo de los laboratorios de ensayos no destructivos, las técnicas y las guías prácticas donde se describen los procedimientos adecuados para la utilización de cada uno de los equipos, para la investigación en curso este trabajo sirve de guía dado que provee tanto información de ensayos no destructivos como análisis de vibración, procedimientos y guías de uso adecuado de equipos (Bernal, 2014).

j5.1.2.6 “Vibration Measurement and Analysis” libro publicado por el autor Smith J.D en el año de 1989, en el cual trata el tema de la vibración con todas sus mediciones, análisis, condiciones de monitoreo, pruebas y automatización de las mismas, su aporte genera todas las definiciones necesarias para el desarrollo de la presente investigación. (Smith, 1989).

5.1.2.7 “Curso de mantenimiento predictivo y sus distintas técnicas de aplicación para predioactive ingenieros, desarrollado por los ingenieros Eñuat Labaien y Gorca Carrasco en el año 2009, en este curso se identifican varias técnicas en las que se incluye el análisis de vibraciones, de esta técnica se mencionan los tipos de vibraciones y las razones por las cuales una maquina puede llegar a fallar. Para la investigación en curso están los tipos de vibraciones y las fallas más comunes presentadas las cuales se pueden incorporar en la guía práctica. (Eñuat Labaien, Gorga Carrasco, 2009).

5.1.2.8 “La medición y análisis de las vibraciones como técnica de inspección de equipos y componentes, aplicaciones normativas y certificación “; trabajo desarrollado en la universidad de Concepción en Chile por el estudiante Pedro Nelson Saavedra, en este trabajo se analizan desde los sensores utilizados para realizar las mediciones, técnicas de análisis más utilizadas y normativa vigente del momento para las mediciones y evaluación de la severidad vibratoria. Se extrae como aporte para el diseño de la guía, información acerca de las técnicas más utilizadas. (Pedro Nelson Saavedra).

5.1.2.9 “La medición y el Análisis de vibraciones en el diagnóstico de máquinas rotatorias” trabajo desarrollado en Cuba en el centro de Estudios Innovación y Mantenimiento por el Dr. Evelio Palomino Marín en el año de 1997; en este trabajo se analiza la técnica de vibraciones para la maquinaria industrial, evidenciando la importancia de configuración del analizador y el conocimiento acerca de lo que se está midiendo para lograr tener las mediciones correctas. Se extrae como aporte a la investigación la información acerca del conocimiento necesario previo a la aplicación de los ensayos a aplicar (Palomino Marin, Evelio , 1997).

5.1.2.10 “Las vibraciones mecánicas y su aplicación al mantenimiento predictivo” trabajo desarrollado en el Centro de altos estudios gerenciales en Venezuela por Genaro Mosquera, Margarita de la Victoria Piedra Diaz y Raúl Antonio Armas Cardona en el año 2001, en este se identifican las ventajas, desventajas, aspectos básicos y pasos para la aplicación del análisis de vibraciones de máquinas como mantenimiento predictivo frente a otros tipos de mantenimiento. Como aporte a la investigación encontramos los pasos para la aplicación del análisis de vibraciones. (Mosquera, Piedra Diaz, & Armas Cardona, 2001).

5.1.2.11 “Introducción al análisis de vibraciones” libro escrito por el autor Glen White, el cual aporta para la investigación desde la definición de una vibración hasta el ensayo de análisis de vibraciones en diferentes tipos de equipos, al igual que las diferentes normas aplicadas a este tipo de ensayos. (White Glen, 1990-2010).

## 5.2 Marco Teórico

Para dar sustento desde el punto de vista teórico a la presente investigación se tratarán en este capítulo los temas relacionados con el mantenimiento predictivo analizado desde el desarrollo de prácticas de laboratorio y/o ensayos no destructivos entre los que se encuentra el análisis de vibraciones; los equipos utilizados para estos ensayos y la estructura de las guías de laboratorio generales.

**5.2.1 Programa de Mantenimiento predictivo:** En este programa se detectan en primera instancia el comienzo de una futura avería, de igual manera permite disponer de las herramientas necesarias para analizar la causa del problema que se está desarrollando, finalmente logra determinar el momento y la forma más adecuada para corregir el problema detectado; el mantenimiento predictivo contempla de modo eficaz tres etapas. (Palomino Marin, Evelio , 1997).

- **Detección:** Se realiza mediante el seguimiento de diferentes parámetros seleccionados adecuadamente dependiendo de las condiciones de la máquina.
- **Identificación:** Cuando ya se tiene detectado el problema, se determina la causa de este, identificando que elemento o elementos de la máquina es o son los causantes del incremento en los niveles, para el caso en particular de vibraciones, con respecto a la condición mecánica normal.
- **Corrección:** Finalmente la corrección es el proceso mediante el cual se organizan, determinan y ejecutan las actividades de eliminación del problema, planificando los trabajos de mantenimiento oportunamente minimizando pérdidas por paradas.

**5.2.2 Ensayos no destructivos:** Son técnicas diseñadas y aplicadas dentro del mantenimiento preventivo que permiten identificar posibles fallas que puedan estar presentando los equipos sin tener que intervenir, parar o desarmar el equipo analizado, estas prácticas se desarrollan con equipos de muy fácil uso pero que requieren de conocimiento y experiencia para obtener las mediciones y los resultados esperados.

**5.2.3 Análisis de Vibraciones:** Dentro del mantenimiento predictivo se desarrollan una serie de técnicas entre las que encuentran los ensayos no destructivos; estos son aplicados a máquinas y/o equipos sin afectar su operación ni ser intervenidos, su aplicación permite obtener hallazgos que pueden prevenir a tiempo una futura falla del equipo analizado.

Una de las técnicas más aplicadas en la práctica de ensayos no destructivos para el análisis de maquinaria y equipo, es el análisis de vibraciones, esta técnica se realiza por medio de un analizador de vibraciones el cual mediante información introducida y las mediciones registradas arroja diferentes datos para análisis y posterior toma de decisiones en cuanto al equipo analizado.

Para la práctica de ensayos no destructivos se requiere tener en cuenta una secuencia de pasos los cuales facilitaran la aplicación del ensayo y permitirá obtener los resultados esperados.

El Análisis de Vibraciones es una técnica de verificación que se viene utilizando desde tiempo atrás la cual indica el estado actual de una máquina o equipo, a través de esta técnica es posible detectar fallas tempranas.

**5.2.3.1 Vibración:** Es considerada como un movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio a la cual llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero.

La vibración de un objeto es causada por una fuerza de excitación, que es aplicada interna o externamente al objeto. La frecuencia y la magnitud de la vibración de un objeto se determinan

por la fuerza de excitación, su dirección y frecuencia; es por esta razón del porque un análisis de vibración puede determinar las fuerzas de excitación actuando en una máquina. Esas fuerzas dependen del estado de la máquina y el conocimiento de sus características permitiendo diagnosticar un problema.

### ***5.2.3.2 Técnicas de análisis de vibraciones***

El hallazgo esperado del análisis de vibraciones es poder extraer el máximo de información relevante que posee dicha vibración. Existen diferentes técnicas de análisis tanto de tiempo de frecuencia, las cuales tienen sus propias ventajas para algunas aplicaciones en particular. (Pedro Nelson Saavedra)

Se presentan algunas de las técnicas más utilizadas en la inspección de máquinas.

- **Análisis espectral.**

Este análisis consiste en descomponer la señal vibratoria en el dominio del tiempo, en todos sus componentes espectrales en frecuencia. Permite en las máquinas, ordenar las vibraciones medidas generalmente en sus descansos, con las fuerzas que actúan dentro de ella.

- **Análisis de la forma de onda.**

Provee información complementaria al análisis espectral, es adecuado para reconocer los siguientes tipos de problemas

1. Impactos
2. Rozamientos intermitentes
3. Modulaciones en amplitud y frecuencia
4. Partidas y paradas

- **Análisis de fase de vibraciones.**

Está definida como la diferencia en tiempo o en grados con que estas vibraciones llegan a sus valores máximos, mínimos o cero. Este análisis de giro de las máquinas, sean vibraciones en las direcciones (horizontales, verticales o axiales) de los diferentes descansos del sistema o máquina, permiten determinar los movimientos relativos y diferenciar los tipos de problemas que generan las frecuencias a 1x rpm:

- Desbalanceo
- Desalineación
- Eje doblado
- Resonancia

- **Análisis de los promedios sincrónicos en el tiempo.**

Recolecta las señales vibratorias en el tiempo, las suma y posteriormente las promedia mediante un pulso de referencia repetitivo. De esta manera las componentes sincrónicas al pulso se suman en el promedio y las no sincrónicas disminuyen de valor con relación al número de promedios (1).

- **Análisis de órbitas.**

Se obtiene al captar dos señales vibratorias en un descanso de la maquina por medio de sensores ubicados relativamente entre ellos a 90° (vertical y horizontal).



- **Análisis de vibraciones en partidas y paradas de una máquina.**

Algunos problemas suelen ser más sencillos de diagnosticar durante el funcionamiento en movimiento que durante el funcionamiento estacionario de una máquina. Uno de estos problemas es el que genera vibraciones cuyas frecuencias son función de la velocidad de la máquina. Cuando disminuye ésta, sus componentes van disminuyendo de igual manera, por lo que en algún momento coinciden con alguna frecuencia natural de ella y son amplificadas

### ***5.2.3.3 Analizador de Vibraciones***

El cerebro humano fue definido como el primer analizador de vibración en la historia, combinado con los sentidos del oído y del tacto, a pesar del correr del tiempo este continúa siéndolo siempre y cuando se esté bien entrenado (White Glen, 1990-2010)

Muchos operadores de máquinas y personas de mantenimiento son capaces de diagnosticar problemas de máquinas por el tacto y con el uso de un simple destornillador para transmitir el sonido de un rodamiento al oído. El oído humano es extremadamente efectivo para reconocer patrones y muchas veces es capaz de reconocer las firmas distintivas, causadas por un defecto tal como una astilla en el anillo de un rodamiento con bolas.

Para el análisis y la trazabilidad de las mediciones se requiere de una base de datos en la cual es donde el analizador de vibraciones humano falla.

Es por esta razón que fueron desarrollados algunos métodos electrónicos y mecánicos para evitar ese tipo de fallas. En los años 50 fueron introducidos los primeros medidores los cuales median el nivel general o nivel de banda ancha de vibración en maquinaria.

Posteriormente fueron agregados los filtros análogos para poder hacer la diferencia entre los componentes de frecuencia diferente y de esta manera producir una especie de espectro de vibración, posteriormente tras la llegada en los años 70 de las computadoras personales y los procesadores de las señales digitales que lleva al analizador TRF fue posible el cálculo de un espectro de frecuencias muy rápido, desde una señal de vibración grabada.

Los primeros analizadores llegaron a pesar hasta 35 kilogramos lo que los hacía adecuados más para laboratorios que para industrias debido a la logística de los desplazamientos.

En los años 80 apareció el microprocesador en un único chip de silicón y éste fue seguido muy rápidamente por el verdadero analizador de señales digitales portátil, activado por baterías. El analizador de vibraciones es un dispositivo que junto con un programa tecnológico almacena los datos y maneja los aspectos lógicos de la recopilación de datos.

En el presente trabajo se tomará como referencia de estudio el Analizador de Vibraciones Fluke 810 Vibration Tester siendo una herramienta de solución de problemas para los equipos de mantenimiento mecánico que necesitan una respuesta inmediata. Su tecnología de diagnóstico ayuda rápidamente a identificar y priorizar los problemas mecánicos y pone al alcance la experiencia de un analista en vibraciones. (Fluke)

Entre las ventajas que ofrece el analizador de vibraciones Fluke 810 está el que combina un motor de diagnóstico con un sencillo proceso, paso a paso, que logra generar informes sobre las fallas específicas de la máquina y su gravedad desde la primera vez que se realizan las mediciones, sin la necesidad de contar con un historial de medición previo. Las mediciones de vibración general y los diagramas espectrales les permiten a los técnicos evaluar rápidamente el funcionamiento de la máquina, los informes mejorados y recomendaciones prácticas le brindan

la confianza que necesita para atender primero los problemas más críticos; con tecnología de diagnóstico (el Tester) identifica y prioriza rápidamente problemas mecánicos. Con el Tester puede tomar decisiones acerca del mantenimiento mecánico y usarlo como complemento para la formación de su propio resultado basándose en el conocimiento de la máquina.

La tecnología de diagnóstico analiza la maquinaria y proporciona diagnósticos basados en texto, niveles de gravedad y recomendaciones de posibles reparaciones. Los fallos se identifican comparando los datos de vibración recogidos por el Tester con un amplio conjunto de normas recopiladas a lo largo de años de experiencia de campo.

Utilizado principalmente para solucionar problemas de equipos, el Tester también se puede usar para estudiar equipos antes o después del mantenimiento planificado.

Figura 2. FLUKE 810



Fuente: <https://www.fluke.com/es-co/producto/mantenimiento-mecanico/analisis-de-vibraciones/fluke-810>

## Pasos para la ejecución del análisis

1. Ubicación de los puntos de prueba
2. Orientación de los sensores de vibración
3. Mediciones verticales, horizontales, axiales

## Pruebas para inspecciones de vibración

- Condiciones de prueba
- Condiciones de operación
- Calentamiento
- Inspección visual

### 5.2.4 Normatividad Vigente

NORMA	NUMERAL	OBSERVACIÓN
ISO 9712:2005	Ensayos termográficos Ensayos de líquidos penetrantes	Esta norma especifica la calificación y certificación del personal involucrado en ensayos no destructivos (END). ( <a href="http://blog.utp.edu.co/metalografia/12-6-conclusiones/">http://blog.utp.edu.co/metalografia/12-6-conclusiones/</a> , 2015)
ISO 10816:1995	<b>Parte 1:</b> Indicaciones generales <b>Parte 2:</b> Turbinas de vapor y generadores que superen los 50 MW con velocidades típicas de trabajo de 1500, 1800, 3000 y 3600 RPM <b>Parte 3:</b> Maquinaria industrial con potencia nominal por encima de 15 kW y velocidades entre 120y 15000 RPM	Vibración mecánica. Evaluación de la vibración de la maquina mediante mediciones en piezas no rotativas. (ISO, <a href="https://www.iso.org/standard/1553.html">https://www.iso.org/standard/1553.html</a> )
ISO 2954:2012	<p>■ Requisitos generales.</p> <p>■ Requisitos para el transductor de vibración y el cable de conexión.</p> <p>■ Requisitos para la unidad indicadora</p> <p>■ Requisitos de potencia</p>	Vibración mecánica de maquinaria rotativa y recíproca. Requisitos para instrumentos para medir la severidad de la vibración. (ISO)

### 5.2.5 Equipo Rotor Kit

Este equipo fue desarrollado como un ejemplo real de trabajo y comportamiento de las maquinas rotativas. Su geometría y la capacidad de aislar las diversas condiciones de forma individual de una máquina hacen del rotor kit otra herramienta de laboratorio para la enseñanza e investigación. Se pueden instalar en él gran variedad de transductores que transmitan señales de vibración.

Este equipo es utilizado en el desarrollo de la práctica de laboratorio de ensayos no destructivos en el ensayo de análisis de vibraciones al igual que en las áreas de mantenimiento para la resolución de problemas reales de vibración. (Duarte, 2014)

Figura 3. *Rotor Kit*



Fuente: [https://www.stiweb.com/Demonstration\\_Rotor\\_Kit\\_p/cmcp601.htm](https://www.stiweb.com/Demonstration_Rotor_Kit_p/cmcp601.htm)

### 5.2.6 Guía de laboratorio

Consiste en una herramienta básica destinada a la preparación de prácticas para alumnos en los laboratorios. Pretenden cumplir los siguientes objetivos:

- Asegurar las condiciones de seguridad en las prácticas de laboratorio, con el objeto de disminuir los riesgos asociados al trabajo de laboratorio
- Identificar quienes participan en la práctica; desde los estudiantes hasta quienes la aplican en donde y como se aplica.
- Describir de forma detallada las actividades que constituyen las competencias procedimentales a adquirir en el laboratorio y recomendaciones específicas.

La planificación de una materia debe ser didáctica y debe exponer todas las actividades a desarrollar para el aprendizaje del estudiante.

Particularmente en las clases prácticas, los docentes deben seleccionar, diseñar y establecer las actividades concretas que serán desarrolladas por los estudiantes y elaborar un manual de laboratorio.

De acuerdo con la investigación realizada, las guías de laboratorio presentan de forma general el siguiente esquema. (Montagna, 2009)

1. Introducción
2. Objetivo
3. Normas generales del trabajo en el laboratorio
4. Conocimientos previos
5. Material y equipo (manipulación)
6. Medidas de higiene y seguridad

7. Desarrollo de las prácticas
8. Análisis de datos
9. Evaluación y calificación
10. Orden y limpieza
11. Anexo bibliográfico.

### **5.2.7 Herramientas utilizadas**

#### ***5.2.7.1 Entrevista***

Es un método de recolección de información, realizada al ser humano, que permite abarcar todos sus contextos, se basa en la capacidad y en el lenguaje hablado, se desarrolla a partir de la necesidad de comunicación y es materializada en el diálogo y la conversación.

La entrevista aparece como una técnica de acercamiento con un individuo, con el fin de obtener diversa información de acuerdo a ítems establecidos con anterioridad.

#### ***5.2.7.2 Análisis de Causa Raíz***

Es un proceso secuencial de preguntas estructuradas para descubrir errores latentes profundos en un suceso. Como se encuentra orientado al proceso requiere una amplia revisión de todos los elementos que lo integran (personas, equipos, procedimientos, información, entornos, contingencias externas, etc.). (Ruíz López, 2005)

Las actividades para desarrollar este análisis son:

1. Identificar causas potenciales:

- Diagrama de afinidad
- Análisis de modo y efecto de fallo (AMEF).

2. Analizar y validar causas:

- Pruebas de hipótesis
- Análisis de varianza y correlación
- Diseños de experimentos

3. Priorizar y seleccionar causas a trabajar:

- Matriz causa-efecto
- AMEF.

### ***5.2.7.3 Diseño de competencias***

Esta técnica se basa en la definición de las competencias necesarias y requeridas para poder llevar a cabo un proceso o desarrollar una actividad basadas en el saber ser y el saber hacer.



## **6. Marco metodológico**

### **6.1 Recolección de la información**

#### **6.1.1 Tipo de investigación**

Para el presente trabajo se utilizará el tipo de investigación longitudinal, el cual compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma metodología con el propósito de evaluarla y generar cambios basados en mejoras con nueva tecnología física y documental.

El paradigma a usar para el desarrollo es de tipo Cualitativo.

#### **6.1.2 Fuentes de obtención de la información**

##### *6.1.2.1 Fuentes primarias*

Las fuentes primarias e información que serán empleadas son: Manuales de fábrica, fichas técnicas y de uso del equipo de análisis de vibraciones, guías de laboratorios actuales.

##### *6.1.2.2 Fuentes secundarias*

Las fuentes secundarias para obtención de información son: normas técnicas, páginas web especializadas, libros de texto, libros electrónicos.

#### **6.1.3 Herramientas**

- Entrevistas
- Análisis de Causa

- Diseño de competencias
- Normas técnicas

#### **6.1.4 Metodología**

La metodología utilizada para la obtención de los objetivos es explicada a continuación,

El primer objetivo específico es *“Identificar la metodología aplicada actualmente en la práctica de laboratorio de ensayos no destructivos en el ensayo de análisis de vibración”*.

Con el fin de llevar a cabo esta identificación se consultarán metodologías empleadas en la Universidad ECCI las cuales son desarrolladas por los docentes encargados de las asignaturas a las cuales pertenece este programa; para ello se harán entrevistas acerca de las expectativas y alcances que se tuvieron en el desarrollo propio del laboratorio y las oportunidades de mejora que se pueden tener.

Además, se va a recopilar la información con la cual trabajan los docentes, se identificará la información de mayor valor y las oportunidades de mejora con el fin de construir el diseño de la guía.

Para el segundo objetivo, *“Evaluar diversas alternativas de metodología y/o herramientas para desarrollo de la guía de laboratorio en el ensayo de análisis de vibraciones con el equipo analizador de vibraciones”*. Se evaluarán diversas alternativas para el diseño y desarrollo de la guía de laboratorio con el fin de determinar los aspectos técnicos del desarrollo del ensayo de análisis de vibración, además de incorporar aspectos prácticos y de aprendizaje autónomo mediante videos, instructivos, información relevante y detallada tanto del equipo a

utilizar como de la práctica a desarrollar, teniendo en cuenta cumplir con los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

El plan se basará en validar el mejor modelo y práctica que sea comprensible por todos los estudiantes con una guía clara, completa y de fácil comprensión para el desarrollo de los laboratorios, para ello se usará el método de Análisis de Causa y Raíz y con este identificará la acción de mejora óptima para el proceso.

Para cumplir el tercer objetivo, *“Establecer la metodología más adecuada para el desarrollo de la guía de laboratorio en la práctica de ensayos no destructivos en el análisis de vibraciones, con el equipo analizador de vibraciones”*. Basados en las diversas alternativas y la elección del modelo adecuado para la guía de laboratorio, se incluirá en ésta un diseño de competencias que deberán ser desarrolladas y alcanzadas por el estudiante y posteriormente evaluadas por el docente.

### **6.1.5 Información recopilada**

Se desarrollaron y aplicaron entrevistas a docentes con el fin de conocer su opinión con respecto al desarrollo actual de la práctica de análisis de vibraciones en el laboratorio de ensayos no destructivos.

A continuación, se dan a conocer las entrevistas realizadas.

**ENTREVISTA DE RECOLECCION DE INFORMACION DESARROLLO DE LABORATORIO  
ANALISIS DE VIBRACIONES  
DOCENTE: INGENIERO JORGE LEGUIZAMON**

1. **Cual es la directriz entregada por la institucion para desarrollar la cathedra de Gerencia de mantenimiento en el desarrollo del laboratorio de ensayos no destructivos "Analisis de Vibraciones"**

Les es entregado un Micro curriculum el cual describe el contenido, competencia y estrategia para la ejecucion del contenido.
2. **El formato que les es entregado tiene un esquema de desarrollo tematico para la ejecucion de los laboratorios.**

Si, el formato es FR-DO-003 en el cual se evidencia el esquema para el desarrollo de la clase y el programa con el fin de establecer su cronograma y validacion del seguimiento y ejecucion de las actividades.
3. **Cual es el metodo usado para el desarrollo de los laboratorios (Analisis de vibraciones), y como implemento la estructura para el desarrollo de las clases.**

La preparacion de las clases es propia del docente, el cual establece la estructura y metodo para la aplicacion del laboratorio.
4. **Cual es la competencia que debe tener el docente para desarrollar estos laboratorios y evaluar a los estudiantes de acuerdo a las competencias establecidas por la Universidad**

debe ser un Ingeniero mecanico de acuerdo al nivel de enseñanza a desarrollar el debe tener un post grado, especializacion o maestria, ademas de experiencia en todo el ambito de mantenimiento.

Ademas para poder ser docente de la universidad, esta cuenta con un proceso de entrevistas y exmenes de tipo verbal Psicologico pruebas tecnicas que croboren el conocimiento que se espera del docente.
5. **Es de su conocimiento que para optimizar el desarrollo de los laboratorios, se esta diseñando una guía de laboratorio para el uso del equipo analizador de vibraciones**

Si, me fue informado del desarrollo de este proyecto, por el docente Miguel urian.
6. **Cual es su expectativa del diseño de esta Guía.**

Considero que esta guía debe ser Practica, con una metodología definida para el desarrollo de la practica, ademas establecer el alcance en donde se especifiquen los conocimientos tecnicos a desarrollar, el para que de este tipo de practicas en el desarrollo de la especializacion y los beneficios esperados y obtenidos.
7. **Considera que una alternativa para el desarrollo de la guía es poder ser muy graficos, de acuerdo a las nuevas generaciones de estudiantes y la variedad de estrategias de enseñanzas**

Si, es muy aceptable ver en la guía el procedimiento muy grafico y ademas con videos que enfoquen la atencion del estudiante para el desarrollo del laboratorio.

Debe tener diagramado el manejo del equipo desde como programarlo de acuerdo a la maquina a evaluar como la matriz de uso del mismo.
8. **Luego del desarrollo de la Guía (uso y aplicación del equipo en una maquina), cual es el resultado esperado.**

Debera el estudiante generar un informe tanto escrito de la evaluacion de los datos como grafico, que soporte la toma de desiciones.
9. **Con el fin de aportar a la investigacion, de parte de suya, nos puede facilitar la informacion digital con la cual desarrolla los laboratorios de analisis de vibracion y el microcurriculum de la cathedra.**

Claro que Si, ademas espero que les sea de aporte y este genere valor al desarrollo de la guía de laboratorio.
10. **Muchas gracias Ingeniero Jorge por el tiempo y la informacion que nos fue entregada y esperamos poderle entregar un diseño que cumpla sus expectativas.**

A ustedes muchas gracias y muchos exitos en el desarrollo.

**ENTREVISTA DE RECOLECCION DE INFORMACION DESARROLLO DE LABORATORIO  
ANALISIS DE VIBRACIONES**

**DOCENTE: INGENIERA MARIA GABRIELA MAGO**

1. **Cual es la directriz entregada por la institucion para desarrollar la cathedra de Gerencia de mantenimiento en el desarrollo del laboratorio de ensayos no destructivos "Analisis de Vibraciones"**

Contamos con una directriz (micro curriculum) para el desarrollo de la cathedra
2. **El formato que les es entregado tiene un esquema de desarrollo tematico para la ejecucion de los laboratorios.**

Cuenta con una secuencia durante la linea de tiempo del desarrollo de la asignatura para la ejecucion del temario establecido para la especializacion
3. **Cual es el metodo usado para el desarrollo de los laboratorios (Analisis de vibraciones), y como implemento la estructura para el desarrollo de las clases.**

No desarrollo durante la ejecucion de la clase presentaciones o diapositivas considero que el desarrollo debe ser mas practico y de evaluacion de informacion, la cual en su totalidad es diseñada y establecida directamente por el docente.
4. **Cual es la competencia que debe tener el docente para desarrollar estos laboratorios y evaluar a los estudiantes de acuerdo a las competencias establecidas por la Universidad**

Debe ser Ingeniero en las diferentes ramas asociadas al mantenimiento, ademas con experiencia en donde haya trabajado directamente al area de mantenimiento, conocer de las estructuras y manejo de equipos de medicion.
5. **Es de su conocimiento que para optimizar el desarrollo de los laboratorios, se esta diseñando una guía de laboratorio para el uso del equipo analizador de vibraciones**

Si, me fue informado del desarrollo de este proyecto, por el docente Miguel urian.
6. **Cual es su expectativa del diseño de esta Guía.**

Muy alta, puesto que se espera una guía que optimice el desarrollo de los laboratorios y ofrezca una alternativa amplia con un procedimiento del desarrollo.
7. **Considera que una alternativa para el desarrollo de la guía es poder ser muy graficos, de acuerdo a las nuevas generaciones de estudiantes y la variedad de estrategias de enseñanzas**

Debe ser una que rompa el esquema del desarrollo de laboratorios (digital, realidad virtual o tecnologica), puesto que hoy día por el cambio de estudiantes y las nuevas generaciones, se tiene la promesa de todo lo aprender por lo visual, grafico auditivo y ya el tema escrito no lo ven como alternativa.
8. **Luego del desarrollo de la Guía (uso y aplicación del equipo en una maquina), cual es el resultado esperado.**

Un informe escrito bajo las normas APA en el cual el estudiante plasme sus comentarios, analisis y conclusiones obtenidas en la toma de mediciones y lo evidenciado en ellas. Ademas de plasmarlas en graficos estadisticos.
9. **Con el fin de aportar a la investigacion, de parte de suya, nos puede facilitar la informacion digital con la cual desarrolla los laboratorios de analisis de vibracion y el microcurriculum de la cathedra.**

Claro que sí, pero solo cuento con algunas presentaciones que implemento para este programa de analisis de vibraciones y el desarrollo de los laboratorios. Ademas de brindales el micro curriculum entregado por la universidad.
10. **Muchas gracias Ingeniero Jorge por el tiempo y la informacion que nos fue entregada y esperamos poderle entregar un diseño que cumpla sus expectativas.**

A ustedes y esperaria en un futuro ver un aplicativo de guía de laboratorio con realidad virtual o de interaccion en clase por medio de software para optimizar los laboratorios y brindar mayores experiencias de uso de equipos.

**ENTREVISTA DE RECOLECCION DE INFORMACION DESARROLLO DE LABORATORIO  
ANALISIS DE VIBRACIONES  
DOCENTE: INGENIERO FRANCISCO CAMPOS**

1. **Cual es la directriz entregada por la institucion para desarrollar la cathedra de Gerencia de mantenimiento en el desarrollo del laboratorio de ensayos no destructivos "Análisis de Vibraciones"**  

Para el desarrollo de la cathedra es entregado por la direccion un microcurriculum el cual cuenta con unagüa del orden del desarrollo de las actividades por sesiones
2. **El formato que les es entregado tiene un esquema de desarrollo tematico para la ejecucion de los laboratorios.**  

Cuenta con un poco de todos los temas a desarrollar y el objetivo del mismo
3. **Cual es el metodo usado para el desarrollo de los laboratorios (Análisis de vibraciones), y como implemento la estructura**  

Soy el fundador de la especializaccion de la gerencia de mantenimiento en la universidad, lo cual facilita tener informacion la cual ha recolectado ademas de la experiencia de mas de 20 años en el area.
4. **Cual es la competencia que debe tener el docente para desarrollar estos laboratorios y evaluar a los estudiantes de**  

Debe contar con doscometencias claves para efectuar estas evaluaciones:
5. **Es de su conocimieto que para optimizar el desarrollo de los laboratorios, se esta diseñando una guia de laboratorio para**  

No lo sabia.
6. **Cual es su expectativa del diseño de esta Guía.**  

Esta debe estar muy bien desarrollada y con un fin de ejecucion claro para los docentes y estudiantes.
7. **Considera que una alternativa para el desarrollo de la guía es poder ser muy graficos, de acuerdo a las nuevas**  

Esta debe ser Grafica, con una meta de aprendizaje Dummies y muy practica para el aprendizaje y obtencion de conocimientos.
8. **Luego del desarrollo de la Guía (uso y aplicación del equipo en una maquina), cual es el resultado esperado.**  

Aspiraria que esta guía optimice el desarrollo del laboratorio y genere al estudiante la facilidad didactica para la generacion de 5 analisis en dispositivos o equipos.
9. **Con el fin de aportar a la investigacion, de partrte de suya, nos puede facilitar la informacion digital con la cual desarrolla**  

Claro que si, cuento con informacion la cual hice durante el desarrollo de mis cathedras y ampliando la informacion de acuerdo a los avances de los nuevos equipos y practicas.
10. **Muchas gracias Ingeniero Jorge por el tiempo y la infomacion que nos fue entregada y esperamos poderle entregar un**  

A ustedes gracias por la entrevista y la informacion entregada de acuerdo a los avances de las especializaciones como aporte para los docentes y estudiantes como alternativa de estudio y aprendizaje un poco mas ludico como lo plantea el objetivo de su proyecto.

De acuerdo a las entrevistas se pudo concluir que las expectativas de los docentes para la enseñanza y aprendizaje, conllevan a promover el estudio autónomo mediante el desarrollo de una guía metodológica práctica, amigable y a su vez específica con tema estudiado.

## 6.2 Análisis de la información

### 6.2.1 Entrevistas

Con base en los resultados obtenidos de las entrevistas realizadas se logran identificar diversas circunstancias y necesidades visibles al desarrollo de las actividades durante la práctica de análisis de vibraciones entre las cuales se destacan:

Imprecisión en el desarrollo de los laboratorios debido a que no se cuenta con una guía definida, adecuada, clara y práctica para el aprendizaje de los estudiantes durante el desarrollo de ejercicios específicos de la práctica.

Todas las actividades están basadas en información y experiencia propia del docente que dicta la cátedra; además de requerirse autoaprendizaje con propuestas de formación didáctica y desarrollo de tareas en el contexto propio de la clase, se observa que no cuenta con un lineamiento establecido (procedimentado),

Los equipos actualmente utilizados no son los óptimos para llevar a cabo una práctica, por lo que no es posible generar los resultados esperados; adicional no se cuenta con procedimientos determinados para el uso y manejo, recopilación de la información, así como para la generación de conclusiones posterior a la práctica.

Se evidencia práctica informal e improvisada durante el desarrollo de las actividades de la práctica de laboratorio.

### 6.2.2. Análisis de causa Raíz

Se realizaron tres estudios de análisis de causa raíz para evaluar las opciones de desarrollo de la guía, estos son: procedimiento, instructivo y guía práctica.

Figura 4. Procedimiento como guía de laboratorio

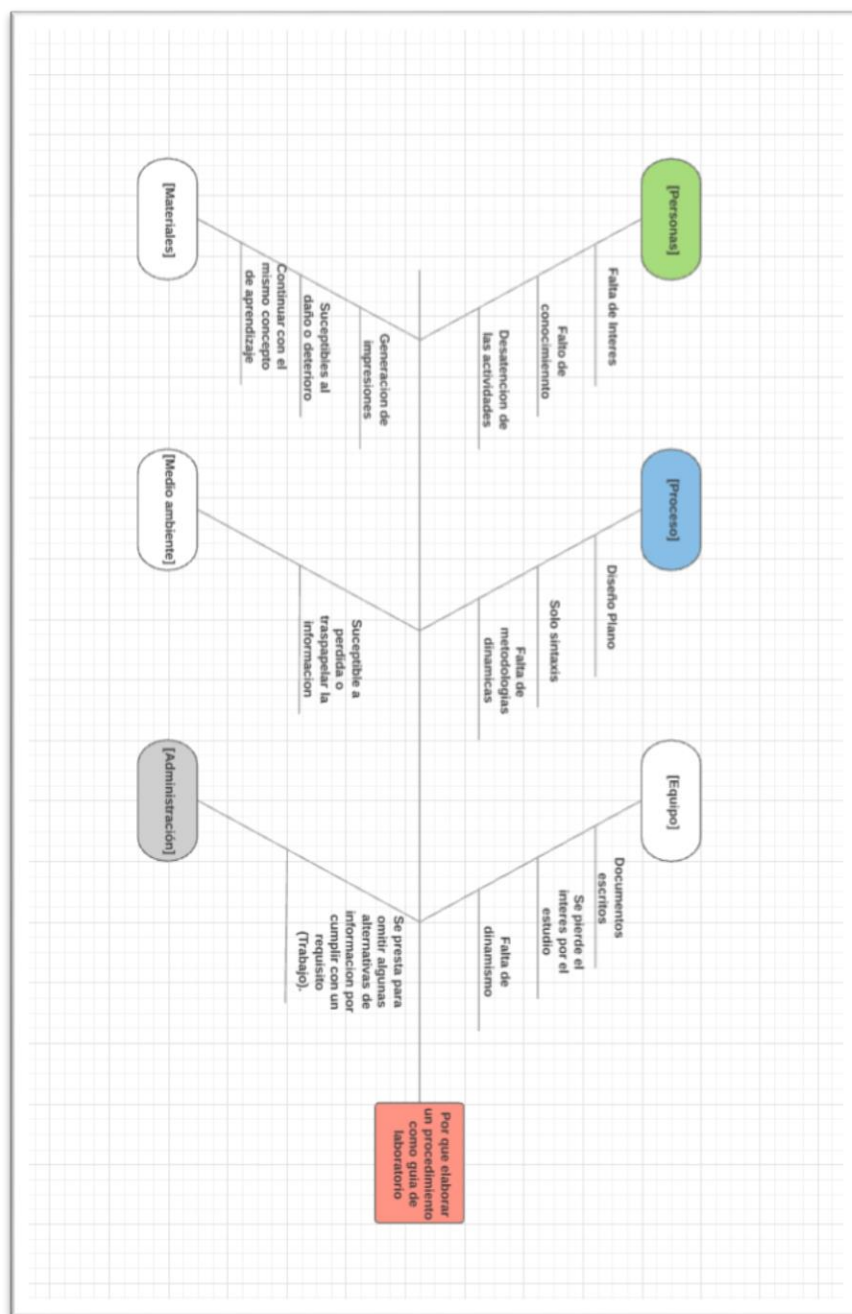




Figura 5. Instructivo como guía de laboratorio

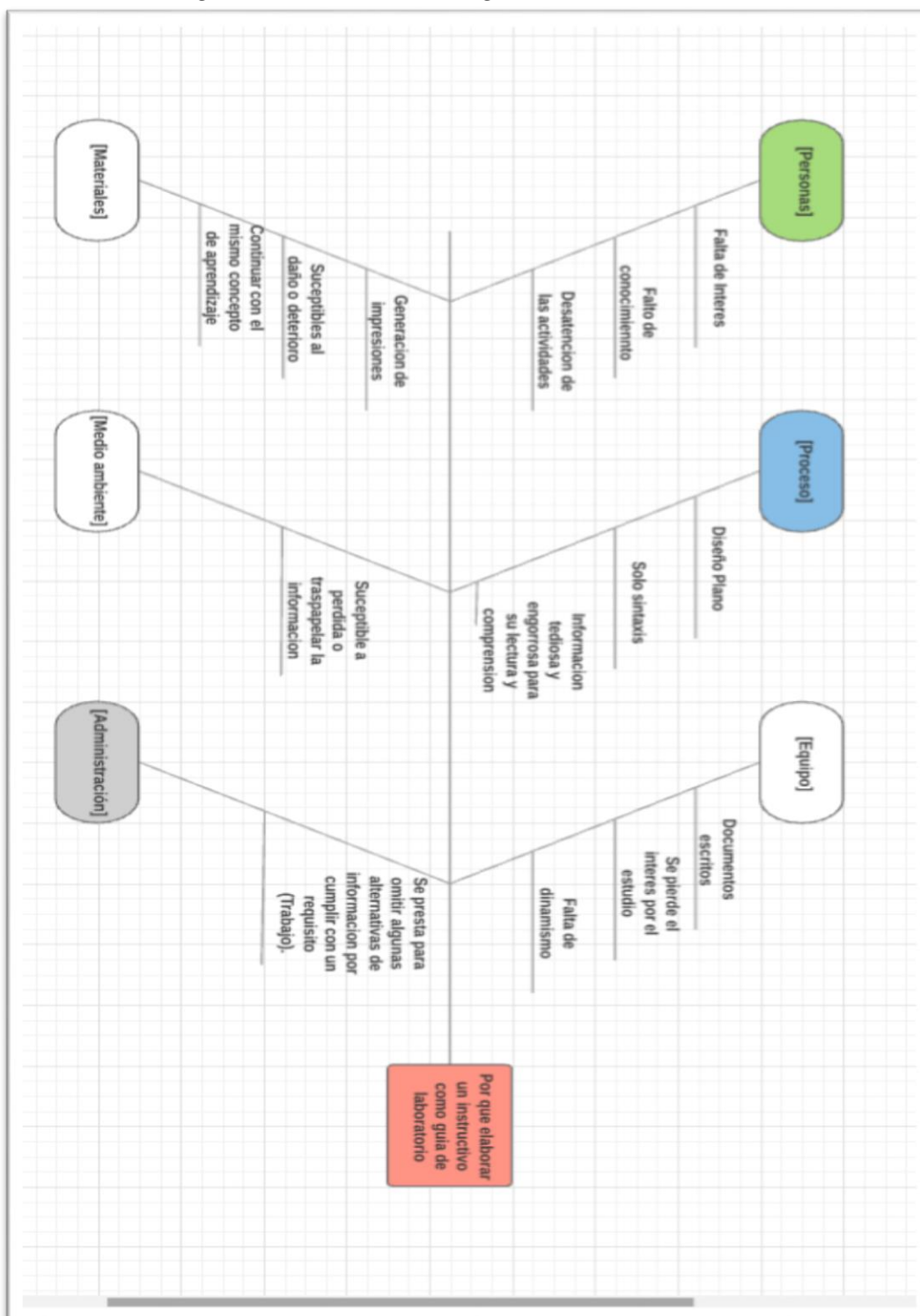
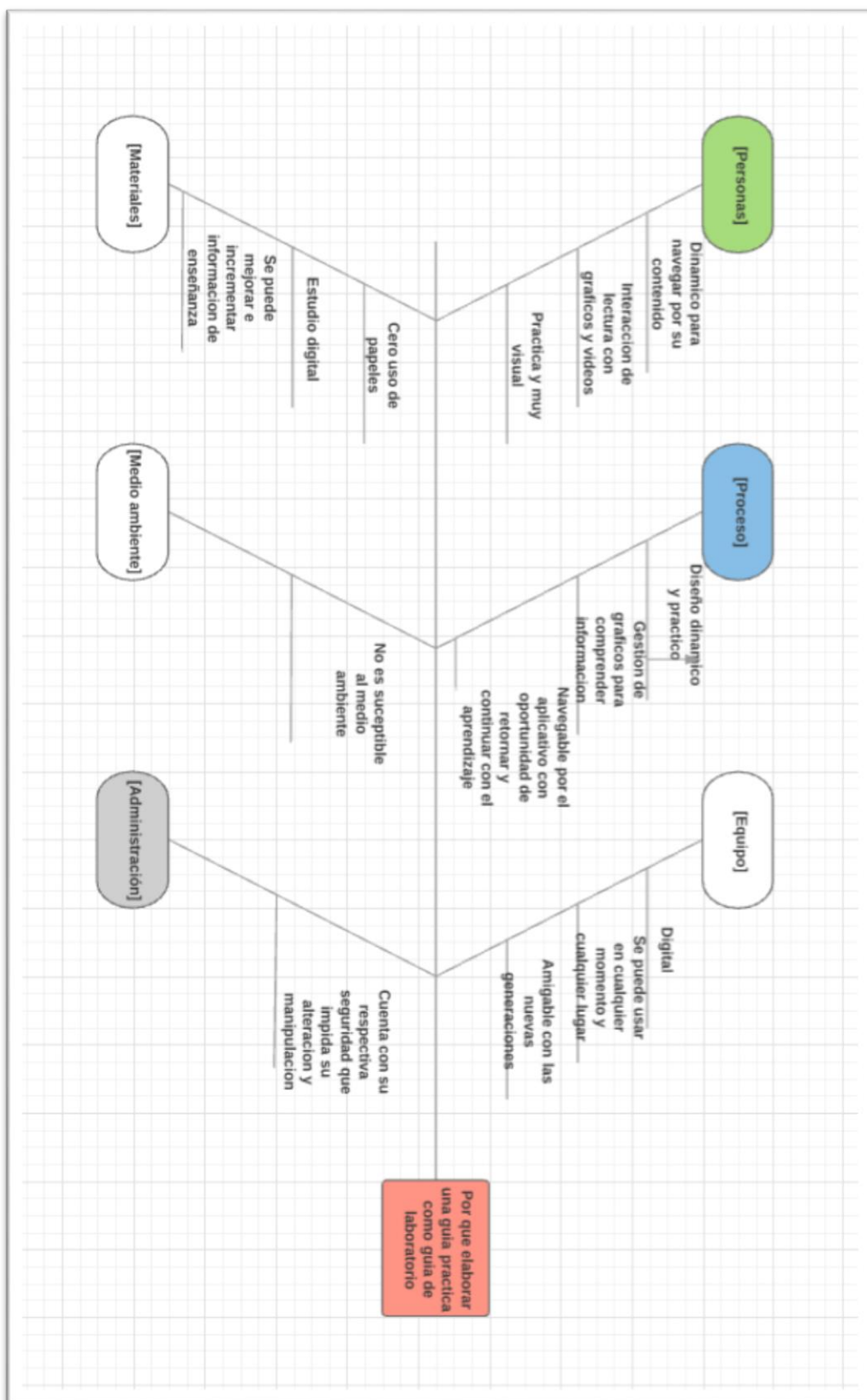


Figura 6. Guía práctica como guía de laboratorio



De acuerdo al análisis de causa raíz generado se logra evidenciar que para cumplir las expectativas y recomendaciones expresadas por los docentes y con el objetivo de optimizar el desarrollo de la práctica y alcanzar los resultados esperados, la opción adecuada es guía práctica.


Esto teniendo en cuenta que tanto el procedimiento como el instructivo son documentos monótonos, con gran cantidad de información que al ser técnica se vuelve de poco interés para las personas que no conozcan el tema y que pueden generar el desarrollo inapropiado de la práctica.

### **6.2.3 Diseño de competencias**

Con el fin de brindarle al docente una herramienta que pueda apoyar la gestión de la evaluación de las competencias adquiridas por los estudiantes, se generó un ckeck list que le permitirá al docente evaluar el aprendizaje, la ejecución, análisis y conclusiones generados en el informe.

Este ckeck list se estableció en dos criterios; uno inicial que tiene que ver con todos los conocimientos previos, los cuales se encuentran en la guía, como lo son generalidades del análisis del vibraciones; un segundo criterio tiene que ver con el uso adecuado de los equipos y el desarrollo de la práctica; en este criterio se encuentra evidenciado si el alumno tiene claridad con el uso de los equipos (analizador FLUKE 810, Rotor kit), sus partes, las ventajas que ofrece y finalmente su conocimiento de las normas básicas de seguridad

Figura 7. Competencias- Ccheck list

	GUIA DE LABORATORIO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- ANALISIS DE VIBRACIONES		Código: Versión:	
	Proceso: Investigación	Fecha de emisión: 22-Nov-2009	Fecha de versión: 22-Nov-2009	

ESTUDIANTE \_\_\_\_\_ CODIGO \_\_\_\_\_

ITEM	No	DESCRIPCION	SI	NO	PUNTAJE Y OBSERVACION
CONCEPTOS PREVIOS	1	Conoce la importancia de los ensayos no destructivos dentro del mantenimiento predictivo			SI: 10 NO:0
	2	Identifica el porque el desarrollo del ensayo de analisis de vibraciones dentro del mantenimiento predictivo			SI: 10 NO:0
	3	conoce la importancia de la tecnica de analisis de vibraciones			SI: 10 NO:0
	4	Identifica los conceptos basicos del ensayo de analisis de vibraciones			SI: 10 NO:0
	5	Conoce de la normatividad existente para el ensayo de analisis de vibraciones			SI: 10 NO:0
MANEJO DEL EQUIPO Y DESARROLLO DE LA PRACTICA	6	Reconoce el equipo FLUKE 810 con sus funciones y ventajas			SI: 20 NO:0
	7	Reconoce las partes del equipo FLUKE 810			SI: 20 NO:0
	8	Reconoce el rotor kit			SI: 20 NO:0
	9	Identifica las partes del rotorkit			SI: 20 NO:0
	10	Manipula de forma adecuada el equipo FLUKE 810			SI: 20 NO:0
	11	Realiza las mediciones requeridas de forma adecuada			SI: 20 NO:0
	12	Identifica la forma correcta de generar los reportes emitidos por el equipo			SI: 20 NO:0
	13	Realiza la practica de forma adecuada			SI: 20 NO:0
	14	Sigue las normas basicas de seguridad para la practica de laboratorio			SI: 20 NO:0

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Competencias esperadas:

- Liderazgo
- Trabajo en equipo
- Proactividad

DOCENTE \_\_\_\_\_

|

Ejemplo: Documento para revisión

### 6.3 Propuesta(s) de solución

Apoyados en las diferentes posibilidades de integración de los modelos revisados y con la finalidad de implementar una metodología adecuada para el desarrollo de las actividades en la ejecución de la práctica de laboratorio y a la vez dar un direccionamiento preciso para la obtención de la información, su análisis y posterior gestión de resultados, se presenta la siguiente propuesta de solución para el diseño de una guía de laboratorio.

En primer lugar, el modelo incluye la construcción de un procedimiento de manejo operativo del equipo, que sea dinámico e interactúe en conjunto con un documento soporte (formato de registro) del desarrollo de la actividad destinada para la práctica de laboratorio.

Para ello se deben implementar estrategias de evaluación e implementación de pilotos estratégicos (diseño base para alguna clase de asignatura de uno de los docentes con el fin de recibir la retroalimentación y poder establecer el diseño del prototipo esperado.

Se propone el siguiente esquema en su contenido:

- Aclarar el método de enfoque y el desarrollo de las prácticas en los laboratorios mediante un conjunto de normas de uso general.
- Incluir herramientas para el análisis de la información recolectada y el análisis de los datos.
- Generar las normas básicas de comunicación de un laboratorio, para poder elaborar informes escritos y de sustentación de lo aprendido.

### 6.3.1 Estructura de la guía desarrollada.

La guía se encuentra desarrollada en formato Excel, fue diseñada mediante hipervínculos y macros, las cuales se encuentran con seguridad para evitar se navegue de forma incorrecta por la misma, la navegación de la guía se hará por medio de los Botones en esta plasmados dependiendo la información que se quiera estudiar dará clic en el botón descrito.

La guía contiene inicialmente una presentación; en esta parte es posible introducir los datos de los participantes del laboratorio.

Posteriormente al dar clic en el Botón INICIO se encuentra el menú de la guía que como punto inicial cuenta el enlace Seguridad y Salud en el Trabajo en el al darle clic podrá leer y conocer los diferentes requisitos a tener el cuenta para el desarrollo del laboratorio y/o actividades con el analizador de vibraciones.

Luego de estudiar esta sección encuentra un botón MENÚ, el cual llevara al invitado de retorno al menú principal para continuar con la navegación de la guía; para ello el invitado encontrara una sección que se llama CONTENIDO. Cuenta con cinco niveles de interacción para el aprendizaje del tema estudiado y como llevar a cabo un análisis de vibración fundamentado en manuales y videos prácticos del desarrollo de un laboratorio.

**Nivel Generalidades:** En este nivel podrá encontrar una breve descripción de ensayos no destructivos, la práctica de análisis de vibraciones, los tipos de análisis de vibraciones, una breve reseña histórica de la práctica y el equipo, la normatividad aplicada y el Rotor Kit como equipo fundamental para el desarrollo de la práctica.

**Nivel Manuales:** En este nivel encontrara los dos manuales del analizador de vibraciones FLUKE 810, los cuales se encuentran enlazados dentro de la guía, es importante tener claro que

para el desarrollo de la guía y el uso del aplicativo además del uso del equipo los invitados deben apoyarse mucho de estos manuales para usar de forma correcta el equipo y el aplicativo una vez descargado para la interacción y la verificación de los datos evaluados.

**Nivel Que tal un video:** En este nivel el invitado encontrara seis videos interactivos sobre la práctica de análisis de vibración con el fin de ampliar sus conocimientos de forma gráfica y visual.

**Nivel instala tu App:** En este nivel se encuentra la opción para que el invitado pueda instalar en su PC el aplicativo necesario para poder emitir el informe de las mediciones realizadas con el analizador de vibraciones; para ello es necesario tener en cuenta el nivel de manuales.

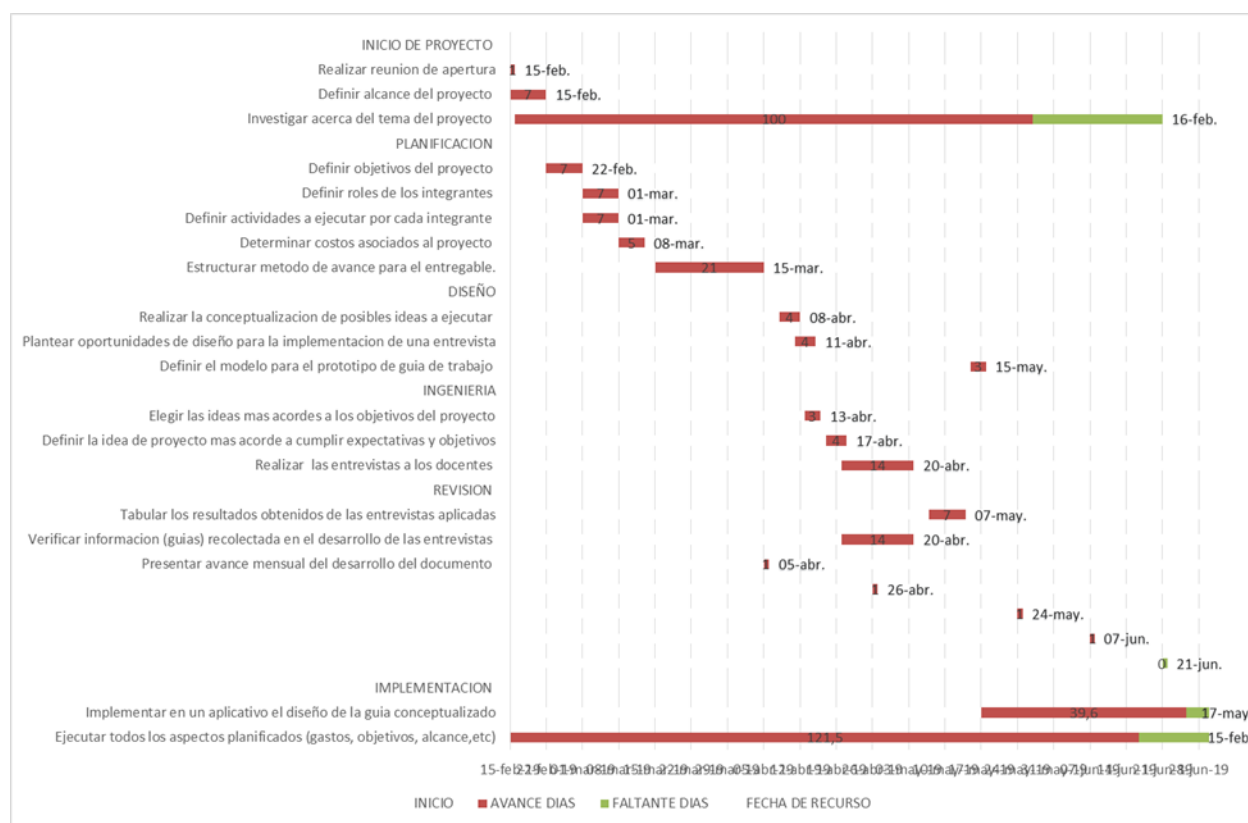
**Nivel genera tu informe:** Este es el último nivel el cual contiene un enlace al formato de Word establecido por la Universidad ECCI para la presentación de informes de laboratorio, en el deberá incluir toda la metodología, gráficos, análisis y conclusiones del desarrollo de la práctica de laboratorio gracias al desarrollo de la guía anteriormente descrita.

### **6.3.2 Cronograma**

Dentro del desarrollo de la investigación y desarrollo de la guía se elaboró un cronograma detallado teniendo en cuenta todas las actividades que se ejecutaron y los tiempos que cada una de estas actividades tomo.

Proyecto ANAVIB  
 Proyecto de Ingeniería - Diagrama gantt  
 Cronograma de planificación de las actividades

ITEM	TAREA	INICIO	FIN	DURACION	AVANCE %	AVANCE DIAS	FALTANTE DIAS	FECHA DE RECURSO
IT-1	<b>INICIO DE PROYECTO</b>							
	Realizar reunion de apertura	15-feb	16-feb	1	100%	1	0	15-feb
	Definir alcance del proyecto	15-feb	22-feb	7	100%	7	0	15-feb
IT-2	<b>PLANIFICACION</b>							
	Investigar acerca del tema del proyecto	16-feb	21-jun	125	80%	100	25	16-feb
	Definir objetivos del proyecto	22-feb	01-mar	7	100%	7	0	22-feb
	Definir roles de los integrantes	01-mar	08-mar	7	100%	7	0	01-mar
	Definir actividades a ejecutar por cada integrante	01-mar	08-mar	7	100%	7	0	01-mar
IT-3	<b>DISEÑO</b>							
	Determinar costos asociados al proyecto	08-mar	13-mar	5	100%	5	0	08-mar
	Estructurar metodo de avance para el entregable.	15-mar	05-abr	21	100%	21	0	15-mar
	Realizar la conceptualizacion de posibles ideas a ejecutar	08-abr	12-abr	4	100%	4	0	08-abr
IT-4	<b>INGENIERIA</b>							
	Plantear oportunidades de diseño para la implementacion de una entrevista	11-abr	15-abr	4	100%	4	0	11-abr
	Definir el modelo para el prototipo de guia de trabajo	15-may	18-may	3	100%	3	0	15-may
IT-5	<b>REVISION</b>							
	Elegir las ideas mas acorde a los objetivos del proyecto	13-abr	16-abr	3	100%	3	0	13-abr
	Definir la idea de proyecto mas acorde a cumplir expectativas y objetivos	17-abr	21-abr	4	100%	4	0	17-abr
	Realizar las entrevistas a los docentes	20-abr	04-may	14	100%	14	0	20-abr
IT-6	<b>IMPLEMENTACION</b>							
	Tabular los resultados obtenidos de las entrevistas aplicadas	07-may	14-may	7	100%	7	0	07-may
	Verificar informacion (guías) recolectada en el desarrollo de las entrevistas	20-abr	04-may	14	100%	14	0	20-abr
	Presentar avance mensual del desarrollo del documento	05-abr	26-abr	1	100%	1	0	05-abr
		26-abr	27-abr	1	100%	1	0	26-abr
		24-may	25-may	1	100%	1	0	24-may
IT-6	<b>IMPLEMENTACION</b>							
	Presentar avance mensual del desarrollo del documento	07-jun	08-jun	1	100%	1	0	07-jun
	Implementar en un aplicativo el diseño de la guia conceptualizado	17-may	30-jun	44	90%	39,6	4,4	17-may
	Ejecutar todos los aspectos planificados (gastos, objetivos, alcance, etc)	15-feb	30-jun	135	90%	121,5	13,5	15-feb





## **7 Impactos esperados/generados**

Con el presente trabajo se espera que los estudiantes de la asignatura de Gerencia de Mantenimiento I de la especialización, durante la práctica del laboratorio de ensayos no destructivos, análisis de vibraciones, adquieran un conocimiento integral identificando previamente los conceptos generales, los tipos y clases de mediciones, espectros y el manejo adecuado y requerido del equipo analizador de vibraciones de manera práctica, verificable y evaluable. Se busca generar los resultados esperados para el desarrollo de la asignatura, cubrir las expectativas de los estudiantes y generar una metodología de evaluación por parte de los docentes.

De igual manera se espera que la guía desarrollada cumpla con las expectativas de la universidad ECCI y pase de ser una guía de carácter particular a una guía estandarizada y generalizada para la práctica de análisis de vibraciones en las diferentes asignaturas de pregrado y/o posgrado que requieren este aprendizaje.

## 8 Análisis financiero

Para el desarrollo del presente trabajo fueron dispuestos recursos humanos, tecnológicos y económicos por parte de los autores, discriminados en la siguiente tabla.

	\$ Hora	Quincena 1	Quincena 2	Quincena 3	Quincena 4	Quincena 5	Quincena 6	Quincena 7	Quincena 8
Transporte	-	-	-	\$ 9.600	\$ 9.600	\$ 35.200	\$ 35.200	\$ 35.200	\$ 35.200
Papelería	-	-	-	-	\$ 10.000	\$ 5.000	\$ 5.000	-	-
Energía \$374,7 kvh	-	\$ 7.869	\$ 15.737	\$ 20.234	\$ 13.489	\$ 16.862	\$ 22.482	\$ 22.482	\$ 22.482
Gasolina	-	-	-	-	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 60.000	\$ 60.000	\$ 60.000
Peajes	-	-	-	-	-	-	\$ 40.000	\$ 40.000	\$ 40.000
Ingenieros (2)	\$ 16.666	\$ 66.664	\$ 66.664	\$ 66.664	\$ 399.984	\$ 399.984	\$ 133.328	\$ 133.328	\$ 333.320
Director de Proyecto	\$ 20.833	\$ 83.332	\$ 83.332	\$ 83.332	\$ 249.996	\$ 249.996	\$ 166.664	\$ 166.664	\$ 208.330
		\$157.864,70	\$165.733,40	\$179.829,80	\$693.069,20	\$717.041,50	\$462.674,00	\$457.674,00	\$ 699.332,00
									\$ 3.533.218,60

Esta inversión representa solo un pequeño valor monetario con relación al aprendizaje autónomo que se entrega en la ejecución de la guía de laboratorio al estudiante; además busca contribuir con los estándares de calidad requeridos por la Universidad brindando otra herramienta práctica para el desarrollo a futuro del laboratorio de ensayos no destructivos en la Universidad ECCI

El proyecto representa para la universidad un punto de partida en el diseño de guías de laboratorio para todas las carreras ofertadas por lo que se considera los interesados por no decir todos son positivos; en su defecto solo se consideraría que por temas financieros no se aprobara

la programación de la guía y no fuera considerada de valor agregado a la especialización; a continuación, se relacionan todos los interesados del proyecto

### **Positivos**

Director del proyecto – Ing. Cristian Alférez

Ingeniero de desarrollo- Arq. Lisimaco Patiño

Ingeniero de procesos – Ing. Nancy Catherine Ballesteros

Asesor – Ing. Miguel Ángel Urian

Docentes Especialización Gerencia de Mantenimiento

Docentes pregrado Ingeniería Mecánica

Facultad de posgrados ECCI

Estudiantes Ing. Mecánica, Especialización Gerencia de Mantenimiento

### **Negativos**

Departamento financiero ECCI

Directivas departamento curricular ECCI.

Se debe tener en cuenta el daño que se puede causar al equipo por mal uso del mismo; esto al no contar con una herramienta que permita identificar la correcta operación del equipo.

<b>Descripción:</b>	ANALIZADOR DE VIBRACIONES	
<b>Fecha de Adquisición</b>	01/02/2019	
<b>Inicio de la depreciación</b>	01/02/2019	
<b>Valor de Activo</b>	\$	36.000.000
<b>Salvamento</b>	-	
<b>Depreciación</b>	10,00%	ANUAL
<b>Vida Util</b>	10	AÑOS

PERIODO	COSTO	DEPRECIACION			VALOR EN LIBROS
		TASA %	PERIODO	ACUMULADA	
11 Meses	\$ 36.000.000	\$ 0	\$ 3.300.000	\$ 3.300.000	\$ 32.700.000
\$ 1	\$ 36.000.000	\$ 0	\$ 3.600.000	\$ 6.900.000	\$ 29.100.000
\$ 2	\$ 36.000.000	\$ 0	\$ 3.600.000	\$ 10.500.000	\$ 25.500.000
\$ 3	\$ 36.000.000	\$ 0	\$ 3.600.000	\$ 14.100.000	\$ 21.900.000
\$ 4	\$ 36.000.000	\$ 0	\$ 3.600.000	\$ 17.700.000	\$ 18.300.000
\$ 5	\$ 36.000.000	\$ 0	\$ 3.600.000	\$ 21.300.000	\$ 14.700.000
\$ 6	\$ 36.000.000	\$ 0	\$ 3.600.000	\$ 24.900.000	\$ 11.100.000
\$ 7	\$ 36.000.000	\$ 0	\$ 3.600.000	\$ 28.500.000	\$ 7.500.000
\$ 8	\$ 36.000.000	\$ 0	\$ 3.600.000	\$ 32.100.000	\$ 3.900.000
\$ 9	\$ 36.000.000	\$ 0	\$ 3.600.000	\$ 35.700.000	\$ 300.000

## 9. Conclusiones y recomendaciones

### 9.1 Conclusiones

En el ámbito industrial resulta fundamental el diagnóstico y análisis de fallas que se realizan a una máquina no solo para su mantenimiento, conservación y prolongación de la vida útil, sino además porque permite el aseguramiento de un estado de operación óptimo para todo proceso en el que ella participe.

Está determinado que las máquinas rotativas presentan diversas condiciones durante su operación, entre las que se encuentran principalmente las vibraciones, su diagnóstico y análisis cobra gran importancia, llegando a convertirse en una valiosa herramienta de predicción de fallas o defectos.

Mediante el correcto uso de una tecnología apropiada, como lo es el equipo analizador de vibraciones Fluke 810, sumado a una metodología práctica profesional para la toma de datos, su análisis y comprensión, se hace posible obtener herramientas valiosas para tener acciones de

mejora tanto preventivas como predictivas y por ende en la toma de decisiones frente a la gerencia de mantenimiento.

Por otra parte, para contar con expertos que garanticen eficiencia e integridad en la operación de las máquinas, es importante conjugar el aprendizaje en la academia con el escenario laboral. Durante la aprehensión de los conocimientos en la academia es preciso contar con una herramienta metodológica de aprendizaje práctico que incluya eso. Una guía práctica para desarrollar el laboratorio de análisis de vibraciones que aporte a ese proceso debe ser dinámica y permitir al estudiante interactuar.

## **9.2 Recomendaciones**

El presente documento es un piloto de análisis e investigación inicial que tuvo una limitación de tiempo, por lo que se recomienda realizar su implementación de prueba en una aplicación real de laboratorio con un grupo de estudiantes de primer semestre de la Especialización, a fin de determinar en la práctica aciertos, bondades y oportunidades de mejora.

Ante las limitaciones normativas y administrativas se recomienda efectuar con el proveedor una capacitación para el adecuado uso del equipo analizador de vibraciones Fluke 810, sus componentes y accesorios.

Finalmente, en el documento se desarrolla una propuesta desde la perspectiva de estudiantes de la Especialización, sus experiencias y expectativas acerca de la materia, por lo que se recomienda a los docentes que quieran implementar esta guía, incluir su componente pedagógico a fin de afianzar esta característica a la Guía de Laboratorio.

## 10. Bibliografía

- Duarte, E. I. (2014). *Diseño e implementación de guías de prácticas para el análisis de vibraciones en un sistema rotor kit*.
- Eñuat Labaien, Gorga Carrasco. (2009). *prediactive ingenieros SL*.
- Fluke. (s.f.). *Fluke*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-co/producto/mantenimiento-mecanico/analisis-de-vibraciones/fluke-810>
- Haydée, Santilli; Lidia, Sánchez; Beatríz, Roble María. (2006). Recursos explicativos en los laboratorios de enseñanza.
- <http://blog.utp.edu.co/metalografia/12-6-conclusiones/>. (29 de 1 de 2015). Obtenido de <http://blog.utp.edu.co/metalografia/12-6-conclusiones/>
- Huang. (2004).
- ISO. (s.f.). Obtenido de <https://www.sis.se/api/document/preview/914590/>
- ISO. (s.f.). <https://www.iso.org/standard/1553.html>. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/1553.html>
- Montagna, A. (2009). Diseño de una guía de prácticas de laboratorio de acuerdo con las orientaciones del EEES. *Enseñanza de las ciencias: revisata de investigación y experiencias didácticas*, 1228-1231.
- Mosquera, G., Piedra Diaz, M., & Armas Cardona, R. A. (2001). Las vibraciones mecanicas y su aplicacion al mantenimiento predictivo. Venezuela.
- Niño Panqueva, Y. F. (2018). *Elaboración de materiales didácticos para la asignatura de ensayos no destructivos en la Universidad Santo Tomás*. Obtenido de

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10715/2018Ni%C3%B1oyerson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Olarte, W., Botero, M., & Cañon, B. (2010). *Análisis de Vibraciones: Una herramienta clave en el mantenimiento predictivo*. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249040>

Palomino Marin, Evelio . (1997). *La Medicion y el analisis de vibraciones en el diagnostico de maquinas rotatorias*. Cuba.

Pedro Nelson Saavedra. (s.f.). *LA MEDICION Y ANALISIS DE LAS VIBRACIONES COMO TECNICA*. Chile.

Rojas, N. D. (2011). *Apuntes de clase de mantenimiento*. Bogotá: ECCI.

Royo, J. A., & Rabanaque, G. (s.f.). *Análisis de vibraciones e interpretación de datos*. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/profile/Jesus\\_Royo/publication/268430716\\_Analisis\\_de\\_vibraciones\\_e\\_interpretacion\\_de\\_datos/links/55073f120cf2d7a281236950.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus_Royo/publication/268430716_Analisis_de_vibraciones_e_interpretacion_de_datos/links/55073f120cf2d7a281236950.pdf)

Ruíz López, P. (2005).

Short. (2002). *La enseñanza de la Ingeniería actual*.

Torres. (2006).

White Glen. (1990-2010). *Introduccion al analisis de vibraciones*. USA.

Boaglio, L. L., Gangi, S. O., Pontelli, D. A., & Bollati, J. G. (2016). *Análisis de vibraciones en banco de ensayo utilizado para simular fallas de equipos industriales*. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3(1), 71-74.

Duarte, A., & Isidoro, E. (2014). Diseño e implementación de guías de practicas para el análisis de vibraciones en un sistema rotor kit. instname:Universidad Pontificia Bolivariana.

Recuperado de <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1682>

Gutiérrez, J. P. (2016). Formulación de Prácticas de Laboratorio para el Servicio Público de Gas en el Proyecto de Tecnología en Gestión Ambiental y Servicios Públicos de la Universidad

Distrital. Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4547>

Quishpe, S., & Ramiro, F. (2014). Análisis y Determinación de Problemas Mediante

Diagnóstico Vibracional en los Equipos Críticos de Generación de Olas Artificiales del Parque Acuático Morete Puyu en la Provincia de Pastaza. Recuperado de

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3059>

Reinoso, B., & Fernando, C. (2014). Estudio técnico e implementación del Laboratorio de

Ensayos No Destructivos para el Área de Ciencia y Tecnologías de la Universidad

Politécnica Salesiana. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7035>

Royo, J. (s. f.). (PDF) Análisis de vibraciones e interpretación de datos. Recuperado 3 de marzo de 2019, de ResearchGate website:

[https://www.researchgate.net/publication/268430716\\_Analisis\\_de\\_vibraciones\\_e\\_interpretacion\\_de\\_datos](https://www.researchgate.net/publication/268430716_Analisis_de_vibraciones_e_interpretacion_de_datos)

Smith, J. D. (1989). Chapter 9 - Analysis methods and frequency analysis. En J. D. Smith (Ed.),

Vibration Measurement and Analysis (pp. 82-96). [https://doi.org/10.1016/B978-0-408-](https://doi.org/10.1016/B978-0-408-04101-0.50012-7)

[04101-0.50012-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-408-04101-0.50012-7)