



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA**

**CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE LICENCIADO EN CIENCIAS NAVALES**

**TEMA: LAS VIBRACIONES DE LA MAQUINARIA NAVAL Y SU  
INCIDENCIA EN LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO.**

**AUTORES: HANS JOAO ALBUJA SARMIENTO  
ARMANDO ALEX PEÑAFIEL LIGUA**

**DIRECTOR: MGS. ARCESIO BUSTOS**

**SALINAS**

**2015**



**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA**  
**CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“LAS VIBRACIONES EN LA MAQUINARIA NAVAL Y SU INCIDENCIA EN LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO”** realizado por los señores **HANS JOAO ALBUJA SARMIENTO** y **ARMANDO ALEX PEÑAFIEL LIGUA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **HANS JOAO ALBUJA SARMIENTO** y **ARMANDO ALEX PEÑAFIEL LIGUA**, para que lo sustenten públicamente.

**Salinas, 03 de diciembre del 2015**

Atentamente,

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA**  
**CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **HANS JOAO ALBUJA SARMIENTO** con cédula de identidad N° 0927782649 y **ARMANDO ALEX PEÑAFIEL LIGUA** con cédula de identidad N° 0917419384, declaramos que este trabajo de titulación “**LAS VIBRACIONES EN LA MAQUINARIA NAVAL Y SU INCIDENCIA EN LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO**” ha sido desarrollado, considerando los métodos de investigación existentes, así como, también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Salinas, 03 de diciembre del 2015**

---

**Hans Joao Albuja Sarmiento**

**C.I. 092778264-9**

---

**Armando Alex Peñafiel Ligua**

**C.I. 091741938-4**



**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA  
CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **HANS JOAO ALBUJA SARMIENTO** y **ARMANDO ALEX PEÑAFIEL LIGUA**, autorizamos a la Universidad Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**LAS VIBRACIONES EN LA MAQUINARIA NAVAL Y SU INCIDENCIA EN LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad .

**Salinas, 03 días de diciembre del 2015**

---

**Hans Joao Albuja Sarmiento**

**C.I. 092778264-9**

---

**Armando Alex Peñafiel Ligua**

**C.I. 091741938-4**

## **DEDICATORIA**

La presente investigación es dedicada en primer lugar a Dios por haberme dado la fuerza y valor necesario para mantenerme en el lugar que estoy, porque siempre me dio la voluntad de seguir adelante y jamás me dejó caer pese a todas las dificultades y obstáculos que existieron durante mi paso por la Escuela Naval; también agradezco a mis padres y a mi familia por ser el pilar fundamental, y poder contar con su apoyo en todo momento durante estos 4 años, y que ahora ven materializado esta etapa de mi vida al culminar mi formación en la Escuela Superior Naval llegando a ser un Sr. Oficial de Marina.

**Hans Joao Albuja Sarmiento.**

El presente trabajo de tesis es una prueba fehaciente del arduo trabajo, esfuerzo y constancia que pude afrontar siempre con el valor agregado que nos da nuestro Dios al no abandonarnos por ninguna circunstancia, a mis padres que son mi inspiración, porque por sobre todo han estado en mis logros y desaciertos han sido mi impulso para seguir adelante esforzándome para ser un hombre de bien, a mi tía Sra. Mercedes Peñafiel que es mi segunda madre agradezco sus enseñanzas y apoyo incondicional; todos ellos han sido mis motivos de superación en la vida más aun ahora que logro culminar una etapa dentro de mi formación académica y de ser un Oficial de Marina.

**Armando Alex peñafiel Ligua.**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser quien me dio fuerzas para cumplir mi objetivo y guiarme por el camino del bien durante toda mi vida, a mis padres y toda mi familia que con su apoyo y oraciones siempre están presentes en todo momento como también, a la Escuela Superior Naval por formar mi carácter y espíritu para llegar a ser un Oficial de Marina, a los señores docentes y señores oficiales de la Escuela Superior Naval que encaminaron mi formación integral para poder terminar con éxito mi objetivo, al Ing. Víctor Lazo, MSC. Arcesio Bustos, MSC. Eder Torres y al Ing. Fabián Romero por guiarme con sus conocimientos y dirigir la presente investigación .

**Hans Joao Albuja Sarmiento.**

Al final de este largo camino lleno de desafíos y obstáculos siempre me mantuvo firme la convicción de lograr lo que hasta la actualidad sería el más grande logro dentro de mi vida profesional y personal, junto a pilares fundamentales que sentí su apoyo a cada momento debo agradecer a Dios y a mi familia quienes fueron mi razón por la cual me enorgullezco haberles dado esta alegría. A la Escuela Superior Naval por su formación porque me enseñó a conocer mis límites tanto físico, mental y psicológico, y nunca darse por vencido, también reforzó mis valores que serán base para mi futuro para ser un Oficial de Marina ejemplar, y un ejemplo a seguir en mi hogar.

**Armando Alex Peñafiel Ligua.**

## INDICE DE CONTENIDO

<b>Preliminares</b>	<b>Pág.</b>
CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
GLOSARIO .....	xii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPÍTULO I .....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1

1.2	Delimitación del objeto de estudio.....	1
1.3	Hipótesis y Variables.....	2
1.3.1	HIPÓTESIS.....	2
1.3.2	VARIABLES.....	2
1.4	Justificación.....	2
1.5	Objetivos .....	3
1.5.1	Generales .....	3
1.5.2	Específicos.....	3
CAPÍTULO II.....		4
MARCO TEÓRICO .....		4
2	Fundamentación Teórica .....	4
2.1	Mantenimiento.....	4
2.1.1	Historia del Mantenimiento .....	4
2.1.2	Tipos de mantenimiento .....	5
2.2	Vibraciones Mecánicas .....	6
2.2.1	Tipos de Vibraciones .....	7



2.2.2	Parámetros de las vibraciones.....	7
2.2.3	Causas más comunes de las averías en la maquinaria.....	8
2.3	Análisis de Vibraciones .....	13
2.4	Monotorizado de máquinas de producción.....	18
2.5	Instrumento para la medición de vibraciones .....	18
2.5.1	Acelerómetro .....	19
2.5.2	Técnicas de Montaje.....	20
CAPÍTULO III.....		22
MARCO METODOLÓGICO .....		22
3	Enfoque y tipo de investigación .....	22
3.1	Enfoque de la investigación .....	22
3.2	Tipos de la investigación .....	23
3.3	Nivel de la investigación .....	23
CAPÍTULO IV.....		24
RESULTADOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....		24
4	Título de la Propuesta.....	24

4.1	Datos Informativos .....	24
4.1.1	Antecedentes de la Propuesta.....	24
4.1.2	Justificación .....	25
4.1.3	Objetivos.....	25
4.1.4	Fundamentación de la Propuesta .....	26
4.1.5	Diseño de la propuesta.....	26
4.1.6	Metodología para Ejecutar la Propuesta.....	27
5	CONCLUSIONES .....	39
6	RECOMENDACIONES.....	40
7	BIBLIOGRAFÍA.....	41
8	ANEXOS.....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación de equipos en ISO 2372 .....	16
<b>Tabla 2</b> Severidad de la vibración en ISO 2372. ....	17

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de mantenimiento.....	5
Figura 2: Desequilibrio .....	9
Figura 3: Desalineación Angular .....	9
Figura 4: Desalineación paralela.....	10
Figura 5: Desalineación en rodamientos y cojinetes.....	10
Figura 6: Holgura mecánica .....	11
Figura 7: Desgaste mecánico .....	12
Figura 8: Acelerómetro piezo-eléctrico .....	20
Figura 9: Curvas de vibraciones del ventilador de baterías del Submarino .....	28
Figura 10: Toma de mediciones en el sector de fuerza - comprobación 1.....	29
Figura 11: Curva de vibraciones con equipo de bajo costo - comprobación 1..	30
Figura 12: Curva de vibraciones de la planta de aire acondicionado de estribor - comprobación 2 .....	31
Figura 13: Toma de medidas en la base del compresor - comprobación 2 .....	32

Figura 14: Curva de vibraciones con equipo de bajo costo - comprobación 2..	33
Figura 15: Medición de vibraciones sobre la bomba con soportes de goma ....	34
Figura 16: Curva de vibraciones de la bomba con soportes de goma .....	34
Figura 17: Medicion de vibraciones sobre la bomba sin soporte de goma .....	35
Figura 18: Curva de vibraciones de la bomba sin soportes de goma .....	36
Figura 19: Toma de vibraciones sobre la mesa cuando la bomba esta con soportes de goma .....	36
Figura 20: Curva de vibraciones de la mesa cuando la bomba esta con soportes de goma .....	37
Figura 21: Toma de vibraciones sobre la mesa cuando la bomba esta sin soportes de goma .....	38
Figura 22: Curva de vibraciones de la mesa cuando la bomba esta sin soportes de goma .....	38

## GLOSARIO

**Acelerómetro:** Debido al rango de frecuencias, los acelerómetros son perfectos para la mayoría de tipos de equipos giratorios, lo cual les convierten en los transductores más empleados para las medidas de vibración.

**Alineación:** Un estado en el que los componentes de una transmisión están en paralelo o perpendicular, según los requisitos de diseño.

**Armónico:** Vibración fundamental que tiene una frecuencia de repetición múltiple.

**Amplitud:** es una medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódicamente. Es la distancia entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio o medio.

**Axial:** Uno de los tres ejes de vibración (radial, tangencial y axial); el plano axial es paralelo a la línea central de un eje o un eje giratorio de una pieza giratoria.

**Cojinete:** En ingeniería es la pieza o conjunto de ellas sobre las que se soporta y gira el árbol transmisor de momento giratorio de una máquina.

**Desplazamiento:** Distancia real por la que la vibración provoca el movimiento de la pieza en cuestión. Se mide en milésimas partes de pulgada (mils) en el sistema imperial y en milímetros (mm) en el sistema métrico.

**Desequilibrio:** Un estado del equipo giratorio en el que el centro de la masa no yace en el centro de la rotación. El desequilibrio puede reducir en gran medida la vida útil de los rodamientos y producir vibraciones excesivas en las máquinas.

**Equilibrio:** (Mecánico) Ajuste de la distribución de masa en un elemento giratorio para reducir las fuerzas vibratorias generadas por la rotación.

**Fallo:** El evento, o estado inviable, en el cual cualquier elemento o pieza de un elemento no funciona según lo especificado.

**Frecuencia:** El número de eventos que ocurre en un periodo de tiempo fijo

**Hercios:** Unidad de frecuencia.

**Radial:** Uno de los tres ejes de vibración (radial, tangencial y axial); el plano radial representa la dirección desde el transductor al centro del eje del equipo giratorio. En el caso de las máquinas verticales típicas, el eje radial equivale al eje vertical. En el caso de las máquinas horizontales, el eje radial se refiere al eje horizontal al que el acelerómetro está fijado.

**Rodamiento:** Un rodamiento o cojinete de rodadura es un tipo de cojinete, que es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste por medio de rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.

**Sensibilidad:** La relación entre la señal eléctrica (salida) y la cantidad mecánica (entrada).

**Tangencial:** Uno de los tres ejes de vibración (radial, tangencial y axial); el plano tangencial se encuentra a 90 grados con respecto al plano radial, y se ejecuta en la tangente con respecto al eje de accionamiento. En el caso de las máquinas horizontales típicas, el eje tangencial equivale al eje horizontal. En el caso de las máquinas verticales, el eje tangencial equivale al segundo eje horizontal perpendicular al lugar de montaje del acelerómetro.

**Velocidad:** La velocidad es el índice de cambio de posición, medida en distancia por unidad de tiempo. Al medir las señales de vibración, la velocidad también representa la tasa de cambio en desplazamiento y se expresa en pulgadas (in) o en milímetros (mm) por segundo.

## RESUMEN

En este proyecto de investigación se implementó un equipo con capacidad de comparar las vibraciones en la maquinaria con respecto al tiempo, que pueda crear un límite de óptimo funcionamiento de la maquinaria, y en la capacidad de crear una base de datos que archive las condiciones vibracionales de la maquinaria para así llevar un control periódico; que simule las mismas propiedades de un equipo con igualdad de condiciones como lo es el Sistema ONA el cual se encuentra a bordo del Submarino SHYRI, que brinde un mantenimiento preventivo y con este fin alargar el tiempo de vida útil de la maquinaria a bordo de las Unidades de Superficie de la Armada del Ecuador, tomando en cuenta que a bordo no existe un equipo que preste tales beneficios como el de llevar un historial o una base de datos del comportamiento de las vibraciones de la maquinaria con el transcurso del tiempo para así llevar un control y evitar una avería, falla o daño de la maquinaria. Este equipo tiene una fácil aplicación y manejo para poder ser ejecutado por los estudiantes de la Unidad Académica Especial Salinas-ESSUNA en beneficio de su enseñanza, incursionando en un ambiente práctico; tomando en cuenta que la construcción de este equipo fue de bajo costo.

**PALABRAS CLAVE:** Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo, Sistema IA-ONA, Vibraciones, Maquinaria

## ABSTRACT

In this research project a tool capable of comparing the vibrations in machinery over time, you can create a performance limit with optimal vibration from heavy machinery was implemented, and the ability to create a database file vibrational conditions of the machinery so out periodic inspections; simulating the same properties of an instrument with equal as is the ONA system which is aboard the submarine Shiri, to provide preventive maintenance and for this purpose to extend the useful life of machinery on board Surface units of the Navy of Ecuador, considering that there is no on-board computer which provides such benefits as to keep a record or database of the vibration behavior of the machinery in the course of time so as to bring control and prevention of a breakdown, failure or damage to the machinery. This instrument has an easy implementation and management to be performed by students of the Academic Unit Special Salinas-ESSUNA benefit of his teaching, moving into a practical environment; considering that the construction of this equipment was inexpensive making it very accessible implementation.

**KEY WORDS:** Preventive Maintenance, Predictive Maintenance, IA-ONA System, Vibrations, Machinery.



## INTRODUCCIÓN

Las vibraciones en la maquinaria nos ayudan a mostrar las condiciones en que se encuentra, estas vibraciones se las ilustra mediante un software para computadora, graficando las curvas que miden el comportamiento y estado de ello.

Las curvas nos pueden mostrar el funcionamiento óptimo, como a su vez una anomalía pudiendo ser una falla producto del desgaste, el tiempo, uso, temperatura, etc.

En las unidades de Superficie no existe un equipo que realice el control periódico de las vibraciones que permite realizar un mantenimiento preventivo y así alargar su tiempo de vida.

Para la implementación de este proyecto de tesis con un equipo capaz de mostrar el comportamiento de las vibraciones de la maquinaria con respecto al tiempo, sabiendo que será útil como ayuda para la implementación a bordo y como apoyo didáctico para los estudiantes de la Unidad Académica Especial Salinas-ESSUNA.

## **CAPÍTULO I**

### **LAS VIBRACIONES DE LA MAQUINARIA NAVAL Y SU INCIDENCIA EN LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO.**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

Las vibraciones que genera la maquinaria rotatoria cuando es puesta en funcionamiento, desencadena una serie de problemas como es el desgaste de los rulimanes, aflojamiento de los pernos que generan desalineamiento de la maquinaria, deterioro de la maquinaria naval, interferencia en los equipos de análisis acústico como son los sonares, paras inesperadas del buque, gastos económicos adicionales; que aumentan el mantenimiento predictivo y además afectan a la seguridad ocupacional.

Dentro de la maquinaria que se encuentra a bordo de las Unidades de la Armada del Ecuador, existen vibraciones que son un problema latente cuando no ocurre una oportuna detección; no se lleva un control del comportamiento de la maquinaria con respecto al tiempo, que nos permita un diagnóstico preliminar y periódico, para un posterior análisis de vibraciones.

En la Unidad Académica Especial Salinas-ESSUNA; las materias que se imparten dentro de esta institución son de base teórica, y la práctica es un aporte importante en el aprendizaje del estudiante y un equipo que mida el comportamiento de las vibraciones en la maquinaria con respecto al tiempo sería una contribución vital dentro de su formación.

#### **1.2 Delimitación del objeto de estudio**

Área: GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Campo: MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Aspecto: MEDICIÓN DE VIBRACIONES

Contexto temporal: PERÍODOS DE TRABAJO

Contexto espacial: UNIDADES DE SUPERFICIE DE LA ARMADA DEL ECUADOR

### **1.3 Hipótesis y Variables**

#### **1.3.1 HIPÓTESIS**

La elaboración de un equipo de medición de vibraciones que proporcione el control del comportamiento de la maquinaria con respecto al tiempo, permitirá un diagnóstico preliminar y así prevenir fallas alrededor de la maquinaria.

#### **1.3.2 VARIABLES**

##### **1.3.2.1 Independiente**

Las vibraciones en la Maquinaria Naval.

##### **1.3.2.2 Dependiente**

Incidencia en los programas de mantenimiento.

### **1.4 Justificación**

Debido a las múltiples fallas que se producen en la maquinaria naval de abordaje en las diferentes unidades de la Escuadra Naval, Lanchas Guardacostas y unidades auxiliares; producto de las vibraciones, siendo este uno de los principales motivos para el deterioro y daño que se producen en piezas del motor y en piezas acopladas a él; como por ejemplo eje, soporte, etc.; estas vibraciones requieren ser identificadas con un programa que analice su comportamiento, para la prevención de un aumento de falla y la creación de un registro periódico para así, en el caso de existir alguna variación se podrá recomendar una revisión de la maquinaria con el fin de tener un mantenimiento preventivo. Con la base de datos creada producto de este equipo, el principal beneficiario serán las Unidades de Superficie de la Armada del Ecuador optimizando la vida útil de su maquinaria.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Generales**

Desarrollar un equipo de medición de vibraciones que nos permita analizar el comportamiento de la maquinaria en tiempo de trabajo con un control periódico, y así efectuar un diagnóstico preliminar que ayude a la detección prematura de fallas.

### **1.5.2 Específicos**

- Seleccionar el material y accesorios adecuados para la elaboración de un equipo detector de la variación de las vibraciones.
- Elaboración del equipo de medición y pruebas de operatividad.
- Pruebas de campo comparativas con otros equipos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

## **2 Fundamentación Teórica**

### **2.1 Mantenimiento**

“Son todas las acciones que se realizan con el fin de mantener a un equipo o restaurarlo a un buen estado de tal manera que pueda cumplir una función requerida.” (Federación Europea de Sociedades Nacionales de mantenimiento, 2005)

Todo equipo o maquinaria requiere de un mantenimiento, cuyo primer indicio es el incremento de las vibraciones, a fin de prevenir las paradas innecesarias de la misma; ya que al no aplicarse, este incremento afectará a la maquinaria produciendo daños en su estructura.

#### **2.1.1 Historia del Mantenimiento**

Desde el inicio de la revolución industrial con las primeras máquinas, se iniciaron los trabajos de reparación y de igual manera los conceptos de competitividad, costos entre otros, lo que generó la necesidad de realizar mantenimientos en la maquinaria debido a las averías, roturas y desgastes, dedicándose solamente a reparar las averías producidas.

Es a partir de la primera conflagración mundial cuando las fábricas de armamento estaban al máximo de trabajo que se comienza a gestar la idea de realizar mantenimientos planificados, al observar que los equipos con más tiempo de trabajo producían mayor cantidad de fallas.

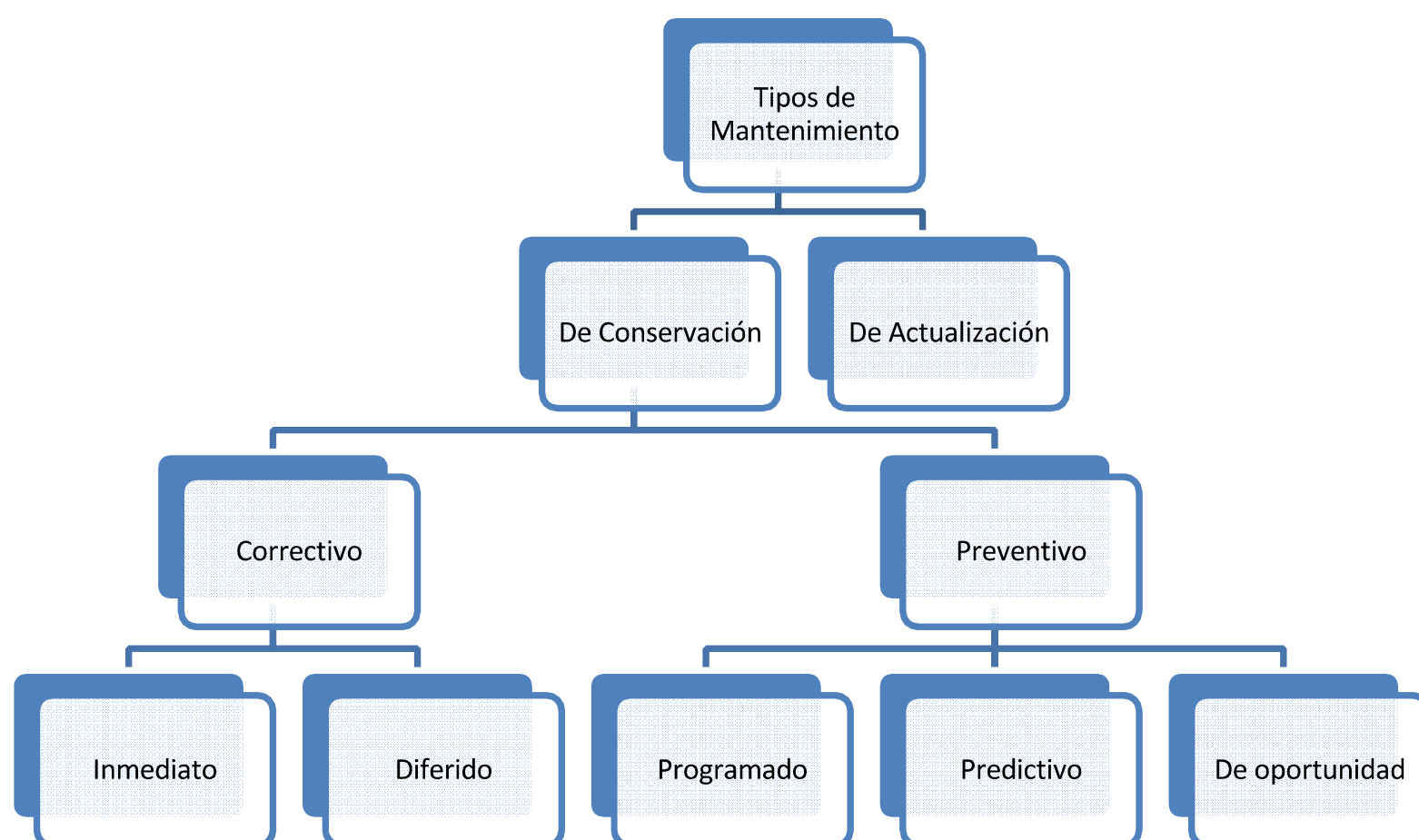
En los años 60 se inició la aplicación de los estudios de causa y efecto, tratando de averiguar las fallas que se producían en elementos mecánicos ubicándolos en nuevos campos de aplicación de ensayos no destructivos, análisis, etc. estableciéndose relaciones entre los aspectos económicos y los

mantenimientos, basados en parámetros que valoran y comparan la calidad y la cantidad. (González Álvarez, 2012)

De acuerdo a esta reseña histórica del mantenimiento, podemos deducir que avanza paralelamente con el desarrollo técnico-industrial ya que, desde el inicio de la industria se necesitaba realizar reparaciones en las máquinas. Casi todas las fallas que presentaban las máquinas en esos tiempos eran producto de los grandes esfuerzos o abusos a los que eran sometidas y el mantenimiento se hacía cuando ya era imposible el uso efectivo del equipo.

### 2.1.2 Tipos de mantenimiento

Entre las diferentes acciones se puede definir que existen los siguientes tipos de mantenimiento:



**Figura 1:** Tipos de mantenimiento  
**Fuente:** Manual de mantenimiento integral de la empresa

### **2.1.2.1 Mantenimiento Preventivo**

Son todas actividades, revisiones que se realizan en un equipo para garantizar la continuidad de su buen funcionamiento evitando así accidentes que son ocasionados por el deterioro. Dentro de este mantenimiento existe el mantenimiento predictivo.

### **Mantenimiento Predictivo**

Conjunto de acciones y técnicas que se aplican con el fin de detectar fallas en la maquinaria en una etapa inicial, para evitar que las fallas se conviertan en una mucho mas grande durante la operación, evitando que ocasiones paros de emergencia y tiempos muertos, causando impacto financiero negativo.

Este mantenimiento relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina; se basa en la medición, seguimiento, monitoreo de parámetros y condición operativa de una máquina; en este tipo de mantenimiento una de las técnicas que posee es el Análisis de Vibraciones. (Renovetec, 2013)

Tomando en cuenta que este tipo de mantenimiento, es objeto de estudio en este proyecto; debido a que el fin de este, es detectar la falla mecánica en la maquinaria en una etapa inicial para luego aplicar técnicas de análisis de vibraciones, y así evitar contratiempos, daños y gastos de dinero innecesarios.

## **2.2 Vibraciones Mecánicas**

“Las vibraciones no son mas que movimientos continuos y repetitivos de un objeto, alrededor de una posición de equilibrio y llegará cuando la fuerza que actúa sobre el objeto sea cero.” (Jiménez Rivero, 2013)

Las vibraciones que se presentan en las máquinas, muchas veces generan movimientos no deseables que perjudican a su funcionamiento, llegando así a que sus piezas sufran algún daño por el aflojamiento de sus tuercas o uniones.

### 2.2.1 Tipos de Vibraciones

Se pueden clasificar de varias maneras y entre las mas importantes tenemos:

- **Vibraciones Libres:** una estructura esta en vibración libre cuando es perturbada de su posición estática de equilibrio y comienza a vibrar sin la excitación de una fuerza externa alguna.
- **Vibraciones Libres Amortiguadas:** si existe pérdida de energía durante un movimiento oscilatorio, la vibración se demonima como amortiguada.
- **Vibraciones Libres no Amortiguadas:** si durante un movimiento oscilatorio no se pierde energía en fricción o cualquier otro tipo de resistencia, la vibración se conoce como no amortiguada.
- **Vibraciones Forzadas:** se refieren a que fuerzas externas son las responsables de las vibraciones que se producen en el sistema.
- **Vibraciones Forzadas Amortiguadas:** el amortiguamiento se comporta como una fuerza proporcional a la velocidad, como lo son las fuerzas de rozamiento con fluidos.
- **Vibraciones Forzadas no Amortiguadas:** para mantener un sistema oscilando es necesario suministrar energía al sistema, cuando esto se lleva a cabo se dice que la vibración es forzada. (Jiménez Rivero, 2013)

### 2.2.2 Parámetros de las vibraciones

El Ingeniero Benites publica los siguientes conceptos como parámetros de las vibraciones:



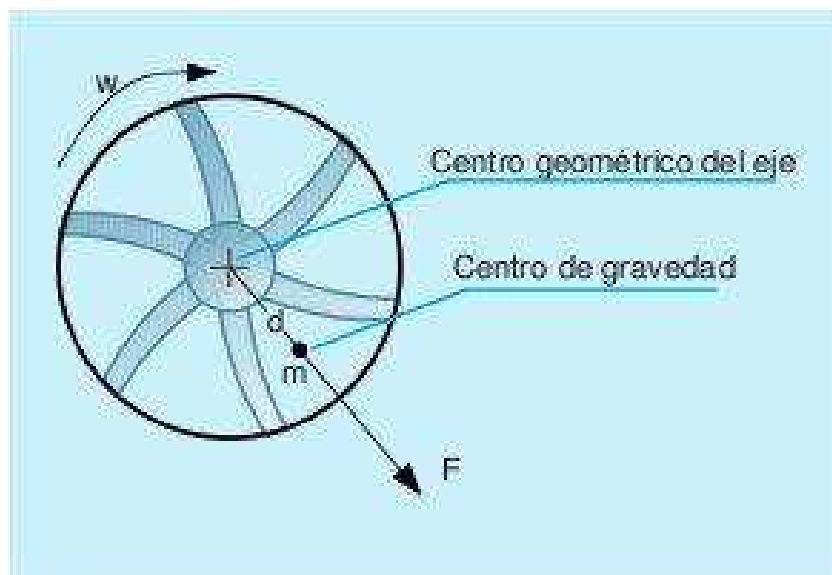
- **Frecuencia:** tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio y se mide en CPM ( ciclos por minuto ) o Hz ( hercios ).
- **Desplazamiento:** distancia total que recorre el equipo que vibra de un extremo al otro de su movimiento.
- **Velocidad y Aceleración:** como valor relacional de los anteriores.
- **Dirección:** las vibraciones pueden producirse en 3 direcciones lineales y 3 rotacionales.
- **Armónicas:** vibración fundamental que tiene una frecuencia de repetición multiple.
- **Amplitud:** medida de variación periódica del desplazamiento. (Benites, 2007)

### 2.2.3 Causas más comunes de las averías en la maquinaria

Presenta las causas más comunes de fallo:

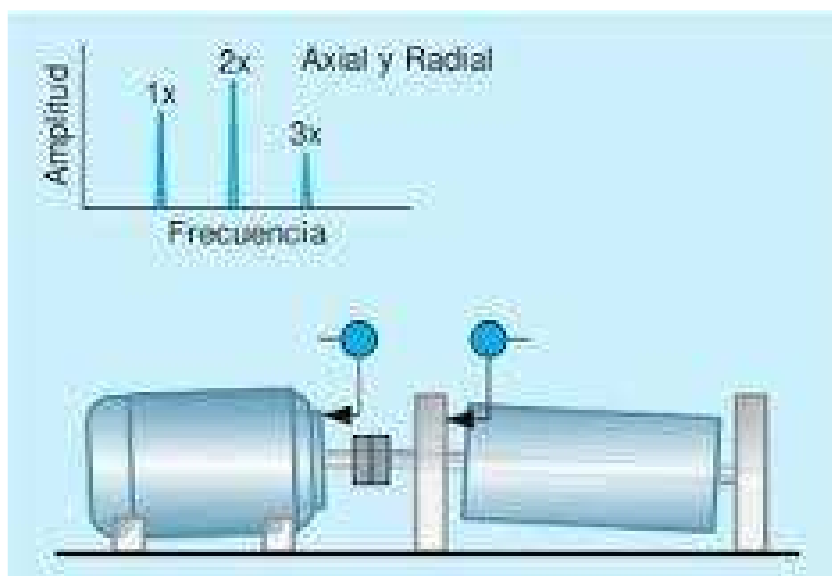
- **Desequilibrio:** es el fallo más común en un equipo mecánico; no obstante es incorrecta la suposición, de que debe existir un desequilibrio mecánico real para crear una condición de desequilibrio masivo. Todas la formas de fallo generan alguna forma de desequilibrio, por ello cuando se consideran todos los fallos el número de problemas de máquina que son resultado del desequilibrio real mecánico de elemento rotatorio es relativamente pequeño.

El desequilibrio podrá tomar varias formas en la señal de vibración, pero casi siempre la componente de la velocidad de giro será excitada y de amplitud dominante (Ver figura 2).

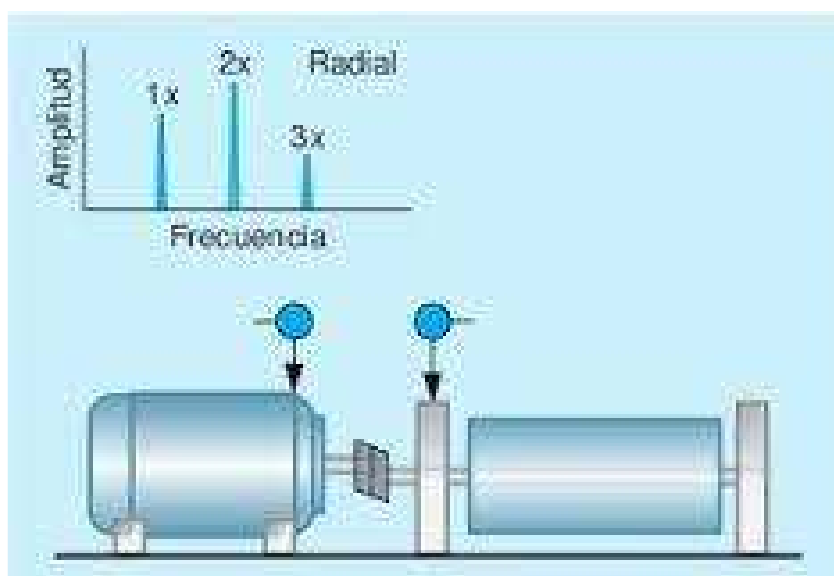


**Figura 2: Desequilibrio**  
Fuente: Sinais ingeniería 2013

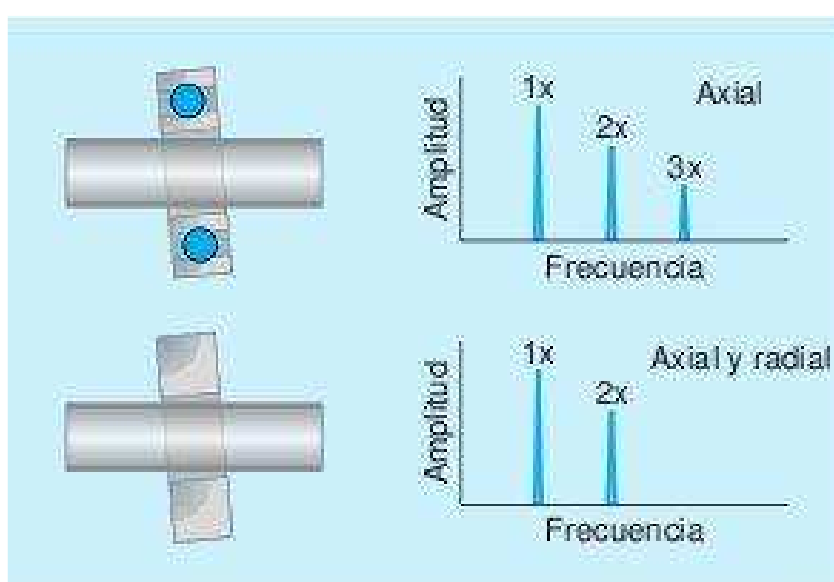
- **Desalineamiento:** el desalineamiento está siempre presente en los grupos de máquinas; se supone que existe desalineación entre dos ejes conectados mediante un acoplamiento; el desalineamiento también puede existir entre los cojinetes de un eje sólido o entre cualquier otro par de puntos de máquina. Existen tres tipos principales de desalineación: Angular, Paralela, en Rodamiento (Ver figuras 3 – 5).



**Figura 3: Desalineación Angular**  
Fuente: Sinais ingeniería 2013

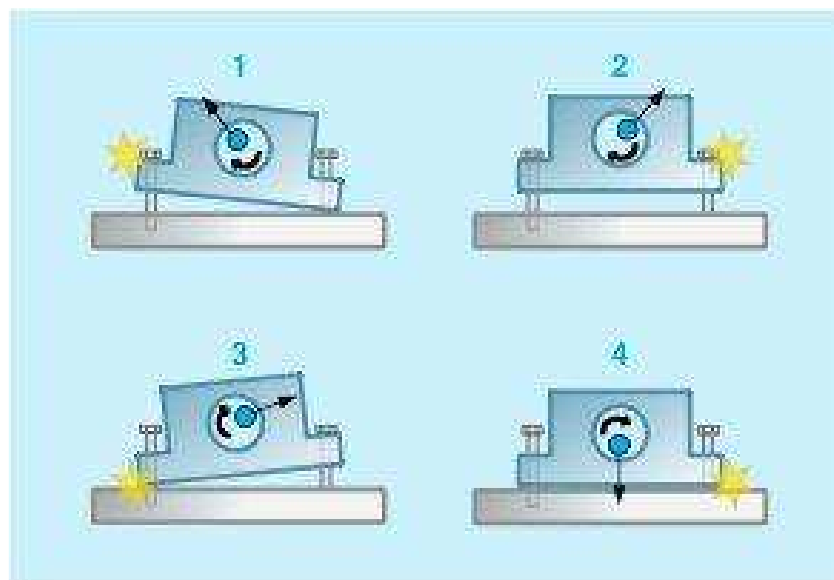


**Figura 4:** Desalineación paralela  
Fuente: Sinais ingeniería 2013



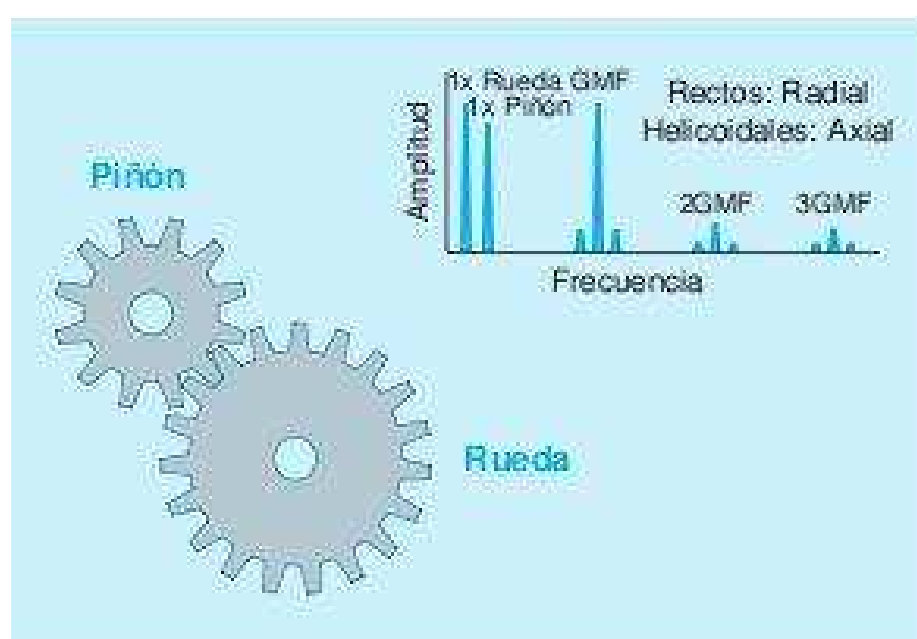
**Figura 5:** Desalineación en rodamientos y cojinetes  
Fuente: Sinais ingeniería 2013

- **Falta de apriete en elementos de unión:** la holgura puede crear una gran variedad de modelos de señales de vibración. El mas frecuente, originado con un componente de frecuencia primaria al 50 por ciento de la velocidad de rotación (  $\times 0.5$  ) generará múltiples armónicos de este componente primario. En otras palabras habrá frecuencias componentes a 5, 150, 25 por ciento, en otros casos será excitado el componente de velocidad real o fundamental (  $\times 1$  ). En casi todos los casos, habrá múltiples armónicos con casi idénticas amplitudes (Ver figura 6).



**Figura 6:** Holgura mecánica  
**Fuente:** Sinais ingeniería 2013

- **Desgaste mecánico:** muchas maquinas son susceptibles a la presencia de rozamientos, este fallo puede ser debido al roce del eje contra el metal antifricción de un casquillo de cojinete, los rodillos o un elemento rodante rozando contra las pistas, o alguna parte del rotor rozante contra la carcasa. La señal de vibración se desplazará a un pico de baja amplitud, normalmente entre 1 y 10 Hz, este pico extremo de baja frecuencia estará acompañado por un pico menor fijado entre el 25 y 40 por ciento de la velocidad de rotación del eje. Cuando se presenta el defecto, es casi seguro el fallo de la máquina; hay que advertir que muchos sistemas de monitorización no puede detectar este defecto ya que no captan correctamente frecuencias tan bajas (Ver figura 7). (Singiresu S., 2012)



**Figura 7:** Desgaste mecánico  
Fuente: [Sinais ingeniería 2013](#)

### **2.3 Análisis de Vibraciones**

El análisis de vibraciones la consideran como técnica de supervisión y diagnóstico de la maquinaria rotatoria a fin de establecer plan de mantenimiento predictivo. El análisis de vibraciones en máquinas rotatorias es la técnica fundamental para el diagnóstico de la mayor parte de los problemas mecánicos en los planes de mantenimiento predictivo de maquinaria crítica. En las inspecciones predictivas se localizan con facilidad los fallos de:

- Desequilibrio.
- Desalineación.
- Holguras de cojinetes y soportes.
- Roces de cojinetes.
- Problemas estructurales y operativos.

La prevención de posible fallas en maquinarias es necesaria para una operación confiable y segura de una instalación. El riesgo de fallas y el tiempo en que una maquinaria quede fuera de servicio pueden disminuirse solo si los problemas potenciales son anticipados y evitados. Una de las herramientas fundamentales con que se cuenta en la actualidad para el mantenimiento predictivo de la maquinaria es el análisis de vibraciones.

Las vibraciones son el efecto de realizar un trabajo de diagnóstico, siempre se busca el efecto para tratar de descubrir la causa. Este trabajo de diagnóstico esta compuesto de dos etapas:

- Obtención de los datos de una manera sistemática.
- Interpretar los datos e identificar los problemas.

Para cumplir con la etapa inicial, uno de los primeros pasos a seguir en el análisis de vibraciones en una máquina, es obtener un valor global de las vibraciones para poder determinar la condición general de la misma. Estas mediciones deben realizarse en distintos puntos y en tres direcciones, vertical, horizontal y axial.

Algunos puntos importantes para la medición de las vibraciones, son los ubicados sobre los cojinetes o cerca de ellos, porque a través de los cojinetes es por donde se transmiten las fuerzas de vibraciones y las mediciones en distintas direcciones son necesarias debido a que algunos problemas de máquinas rotatoria se manifiesta más en alguna dirección que en otra.

En general las mediciones de vibraciones globales se realizan en forma de velocidad ( mm/seg ), debido a que la experiencia ha demostrado que las mediciones de velocidad son la mejor indicación para evaluar la severidad de las vibraciones, en el rango normal de frecuencias de giro de las máquinas rotatorias usualmente oscilan entre 10 y 1000 Hz . El valor global de vibraciones obtenido, comparado con los valores recomendados por el fabricante de la máquina, da una idea de la condición mecánica de la misma. (Daqui Mendoza, 2013)

En ausencia de valores recomendados por el fabricante, existen las Normas para vibraciones ISO 10816 e ISO 2372 según (Sinais, 2013) que se compone de los siguiente:

- ISO 10816-1: Evaluación de vibración de la máquina por las mediciones de las piezas de rotación. Directrices generales.
- ISO 10816-2: Evaluación de vibraciones en las máquinas y mediciones sobre la piezas no giratorias. Turbinas de vapor y generadores de más de 50MW con las velocidades normales de funcionamiento de 1500, 1800, 3000 y 3600 rpm.

- ISO 10816-3: Evaluación de vibraciones en las máquinas y mediciones sobre las piezas no giratorias. Máquinas industriales con potencia nominal superior a 15 kW y velocidades nominales entre 120 rpm y 15 rpm cuando se miden en el mismo sitio.
- ISO 10816-4: Evaluación de vibraciones en las máquina y mediciones de las piezas de rotación. Conjuntos movidos por turbinas de gas excluyendo las empleadas en aeronáutica.
- ISO 10816-5: Evaluación de vibraciones en las máquinas y mediciones de las piezas de rotación de la máquina de generación de energía hidráulica y las plantas de bombeo.
- ISO 2372-1: Es aplicable a los equipos rotativos cuyo rango de velocidades de giro está entre 600 y 12000 RPM.
- ISO 2372-2: Los datos que se requieren para su aplicación son el nivel global de vibración en velocidad - valor eficaz RMS, en un rango de frecuencia entre 10 y 1000 Hz, distinguiendo varias clases de equipos rotativos según las siguientes tablas:



**Tabla 1**  
**Clasificación de equipos en ISO 2372**

<b>CLASE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Clase I	Equipos pequeños hasta 15 kW.
Clase II	Equipos medios, de 15 a 75 kW o hasta 300 kW con cimentación especial.
Clase III	Equipos grandes, por encima de 75 kW con cimentación rígida o de 300 kW con cimentación especial.
Clase IV	Turbomaquinaria (equipos con RPM > velocidad crítica).

**Fuente:** <http://www.sinais.es/>: Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operaciones entre 100 y 200 REV/S.

Para utilizar la norma ISO 2372, basta con clasificar la máquina en estudio dentro de la clase correspondiente y una vez obtenido el valor global de vibración entre 600 y 60.000 CPM ( ciclos por minuto ), localizar en la siguiente tabla la zona en la que se encuentra.

Tabla 2

Severidad de la vibración en ISO 2372.

VELOCIDAD mm/s, rms	TIPOS DE MAQUINAS			
	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0,18 a 0,28	A: Buena			
0,28 a 0,45				
0,45 a 0,71				
0,71 a 1,12	B: Satisfactoria		C: Insatisfactoria	
1,12 a 1,8				
1,8 a 2,8	D: Inaceptable			
2,8 a 4,5				
4,5 a 7,1	E: Muy Inaceptable		F: Muy Inaceptable	
7,1 a 11,2				
11,2 a 18	F: Muy Inaceptable			
18 a 28				

**Fuente:** <http://www.sinais.es/>: Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operaciones entre 100 y 200 REV/S

## **2.4 Monotorizado de máquinas de producción**

Además de los modos de fallo, cada tipo de máquina tendrá requerimientos para monitorear sus condiciones de funcionamiento, una vez analizados los modos de fallo de equipos mecánicos, el siguiente paso consiste en determinar dónde y cómo monitorizar la máquina específica.

Para mantener la continuidad y sencillez, en monitorización y análisis se sugiere estructurar cada tren de máquina usando una aproximación consistente en un eje común para localizar los puntos de medida y establecer los parámetros de análisis.

Los puntos de medida deberán establecerse secuencialmente comenzando con el cojinete conductor exterior y acabando con el cojinete exterior de la máquina componente conducida. Además deberán usarse una serie de detalles consistentes numerados que faciliten la identificación de su posición y orientación ( vertical, horizontal, axial, etc.). (Singiresu S., 2012)

## **2.5 Instrumento para la medición de vibraciones**

El tipo de sensores y técnicas de adquisición de datos empleados en el programa de mantenimiento es un factor crítico que puede determinar su éxito o fracaso. Su precisión, correcta aplicación y apropiado montaje determinarán si los datos obtenidos son o no válidos.

Existen tres tipos de transductores de vibración que pueden utilizarse para monitorizar las condiciones mecánicas de una planta de maquinaria, cada uno con sus aplicaciones específicas en la planta y sus limitaciones.

- Sonda de desplazamiento.
- Captador de velocidad ( velocímetro ).
- Acelerómetro. (Singiresu S., 2012)

El instrumento para la medición de vibraciones que se utilizó en este proyecto fue el Acelerómetro.

### **2.5.1 Acelerómetro**

Los acelerómetros pueden estar basados en diferentes tecnologías:

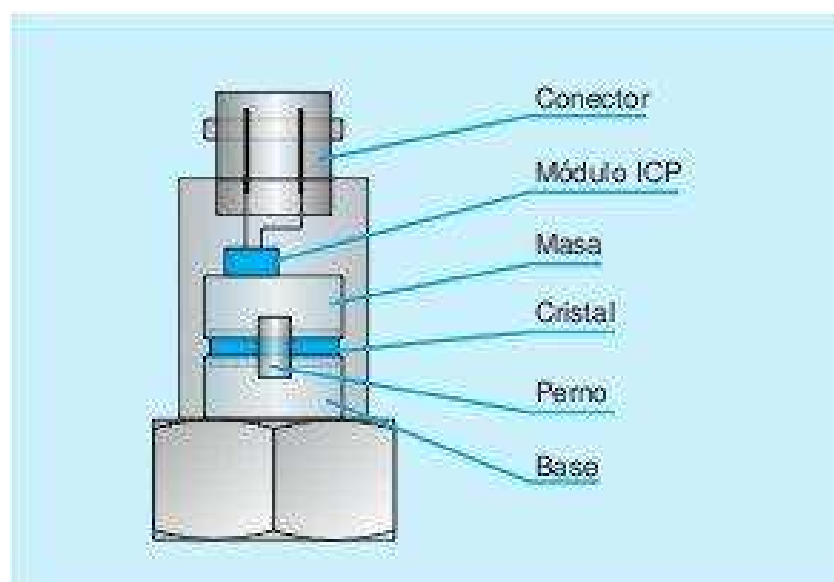
- Piezoeléctricos.
- Piezoresistivos.
- Capacitivos.

Los mas utilizados son los acelerómetros piezoeléctricos que a partir de un cristal con propiedades piezoeléctricas es decir convierten la energía mecánica del movimiento en señales eléctricas.

Por regla general, las aceleraciones por este tipo de sensores suelen venir expresadas en términos de aceleración de gravedad 9.8 m/s.

Los acelerómetros son susceptibles de averías térmicas; si se permite que un calor suficiente irradie al cristal, es posible que éste se averíe o destruya. Sin embargo como el tiempo de utilización recomendado es relativamente corto, el daño térmico es mínimo.

El rango efectivo de los acelerómetros de uso general es de 1 a 10 KHz; aunque pueden encontrarse acelerómetros ultrasónicos validos para frecuencias de hasta 1MHz (Singeresu S., 2012)(Ver figura 8).



**Figura 8:** Acelerómetro Piezo eléctrico  
**Fuente:** Sinais ingeniería 2013

## 2.5.2 Técnicas de Montaje

Los programas de mantenimiento predictivo basados en el análisis de vibraciones deben tener datos precisos y repetitivos para determinar las condiciones operativas de la planta de maquinaria. Además de los transductores, tres factores afectan a la calidad de los datos:

- Punto de medición.
- Orientación del transductor.
- Carga de compresión.

La localización y orientación de los puntos clave de medición de la máquina son seleccionados; la desviación del punto exacto u orientación afectará a la exactitud del dato conseguido.

La fuerza de compresión aplicada al transductor deberá ser exactamente la misma en cada medición, es absolutamente necesaria una ligazón mecánica directa con la estructura de la máquina o con la tapa del cojinete.

El mejor método es afianzar fuertemente los detectores de vibración en los puntos de medición seleccionados; Transductores fijos que aumentarán el coste inicial del programa.

Un Conector rápido eliminará el costo asociado a transductores instalados de forma permanente; esta técnica consiste en conectar una clavija de desconexión rápida, para la obtención de datos un acelerómetro normal dotado de un manguito acoplable a la clavija; esta técnica brinda la misma seguridad y repetitividad que una técnica de montaje permanente pero a un menor costo.

Otra técnica de montaje que puede usarse es un Montaje magnético; se usa por debajo de 1 KHz. Como la base magnética, en principio, puede colocarse en cualquier lugar de la máquina, no puede garantizarse que la situación y orientación exacta se mantenga en cada medición. (Singeresu S., 2012)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

### **3 Enfoque y tipo de investigación**

#### **3.1 Enfoque de la investigación**

Para determinar las vibraciones existentes dentro de la maquinaria naval se procederá con los siguientes tipos de investigación: aplicada, experimental y descriptiva. Es decir para determinar las vibraciones en la maquinaria se procederá con una investigación aplicada puesto que se busca demostrar que con un programa de computadora de libre adquisición como lo es el LabView 2013, se puede dar lectura a vibraciones luego de ejecutar experimentalmente colocando un acelerómetro que obtenga los datos de las vibraciones que produce una maquinaria y demostrar así que, en un campo físico se puede llegar a determinar la gran variedad de vibraciones existentes y como consecuencia identificar una falla en una pieza específica debido a las propiedades y características otorgada por el programa de la computadora.

La investigación estará basada en un conocimiento filosófico, porque se busca demostrar que con pocos recursos podemos realizar una lectura de vibraciones para determinar una falla en la maquinaria naval.

El tipo de investigación utilizado será el cuantitativo, debido a que se necesitará la recopilación de datos para un análisis posterior efectuando una comparación entre equipos de similares características pudiendo así comprobar que, con pocos recursos se puede realizar la lectura de vibraciones de la maquinaria naval, dotando de una vital herramienta de diagnóstico para las unidades de la Armada del Ecuador.

### **3.2 Tipos de la investigación**

Para el efecto de este proyecto de investigación la técnica a emplearse será la experimental porque, obtendremos datos cuantitativos que nos proporcionará un equipo llamado acelerómetro el cual obtendrá gran cantidad de información tomada de una maquinaria naval en funcionamiento de acuerdo a sus vibraciones, estos datos mediante un circuito de procesamiento se logrará ingresar a una computadora, la cual dará lectura y realizara diagramas de curvas intensidad - tiempo aquí podremos comparar que nuestro equipo de bajo costo y un programa básico de lectura de datos de vibraciones puede realizar las mismas curvas de vibraciones que un equipo complejo con análisis de vibraciones

Con este equipo se busca proveer a la Armada del Ecuador de un equipo de bajo costo y fácil acceso para registro de vibraciones anómalas y poder determinar una falla dentro de la maquinaria naval existente en las diferentes unidades.

### **3.3 Nivel de la investigación**

De acuerdo al nivel de la investigación se tomará el holístico debido a que se tomarán datos efectuados en la práctica y la lectura que nos provea nuestro acelerómetro nos ayudará para un análisis en el programa llamado LabView 2013.



## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

#### **4 Título de la Propuesta**

Implementación de equipo que mida el comportamiento de la maquinaria de acuerdo al tiempo.

#### **4.1 Datos Informativos**

##### **4.1.1 Antecedentes de la Propuesta**

Los antecedentes propuestos para la ejecución de este proyecto de investigación fueron de campo, basándonos en un equipo implementado a bordo de un Submarino clase 209 “SHYRY” el cual fue remodelado en el 2012 en la República de Chile, contando con equipos de medición de medición de ruido y de vibraciones llamado “Manual de Mantenimiento IA-ONA” (Anexo A).

A bordo del Submarino SHYRY es utilizado el Sistema ONA para llevar un control periódico de cada maquinaria, y comprobar la variación de sus vibraciones en estado óptimo con respecto al tiempo, así llevar una base de datos de cada equipo, y de esta manera efectuar un mantenimiento predictivo, conservando un buen estado de la maquinaria.

El Sistema ONA utiliza hidrófonos y acelerómetro; para la implementación del equipo de medición de comportamiento de la maquinaria, utilizamos equipos similares a los del Sistema ONA, siendo un acelerómetro con numero de serie adxl335 (Anexo B) y una DAC (Tarjeta de Adquisición de Datos) (Anexo C), que mediante un software creado bajo requerimientos específicos dados por los autores de este proyecto; se puede obtener una lectura de las vibraciones existentes dentro de la maquinaria, graficándose en curvas de frecuencia vs amplitud.

### **4.1.2 Justificación**

La implementación de este proyecto de tesis es mediante el control del comportamiento de la maquinaria con respecto al tiempo, se podrá realizar un mantenimiento predictivo y de ser el caso de existir una vibración anormal, realizar una posterior evaluación con un equipo especializado en análisis de vibraciones para así conservar la vida útil de la misma.

La no existencia de un equipo que controle el comportamiento de las vibraciones de la maquinaria a bordo de las unidades de Superficie de la Armada del Ecuador, crea una falencia al no aprovechar al 100% la vida útil, debido a que no se realiza un mantenimiento predictivo producto de la carencia de un control periódico de las vibraciones existentes en ella.

Dentro de la Unidad Académica Especial Salinas-ESSUNA, se imparten materias en las cuales están enmarcadas las vibraciones, recibiendo la cátedra de una manera teórica, sería importante la implementación de un equipo que provea al estudiante un soporte práctico para un mejor entendimiento.

### **4.1.3 Objetivos**

Implementar un equipo y software que sean capaces de medir el comportamiento de la maquinaria con respecto al tiempo, y además que pueda crear una base de datos del equipo que se haya medido, para así poder definir un límite de comportamiento cuando la maquinaria se encuentre en su óptimo funcionamiento, que nos permita darnos cuenta cuando las vibraciones superen dicho límite; quiere decir que existe una perturbación dentro de ella y esta puede ser de que naturaleza.

Con la implementación de este equipo, sea factible su uso a bordo de las Unidades de Superficie de la Armada del Ecuador.

Dicho equipo en cuestión debe cumplir con requisitos básicos y didácticos, para su fácil empleo y manejo por parte de cualquier estudiante para así lograr un mejor aprendizaje de las materias impartidas.

#### **4.1.4 Fundamentación de la Propuesta**

La aplicación de este equipo que mide del comportamiento de las vibraciones en la maquinaria con respecto al tiempo, dará como resultado la variación de las vibraciones existentes, que son producidas por su uso, tiempo, temperatura, etc; las cuales permiten realizar un mantenimiento preventivo de la maquinaria a bordo de las Unidades de Superficie de la Armada del Ecuador.

#### **4.1.5 Diseño de la propuesta**

Para dar la ejecución a la implementación del equipo que mide el comportamiento de las vibraciones en la maquinaria con respecto al tiempo, se debe realizar la adquisición de un acelerómetro con numero de serie adxl335, y que con la DAC enviar la información a un ordenador con un software que muestra las vibraciones mediante un gráfico de ondas en los diferentes ejes x, y, z.

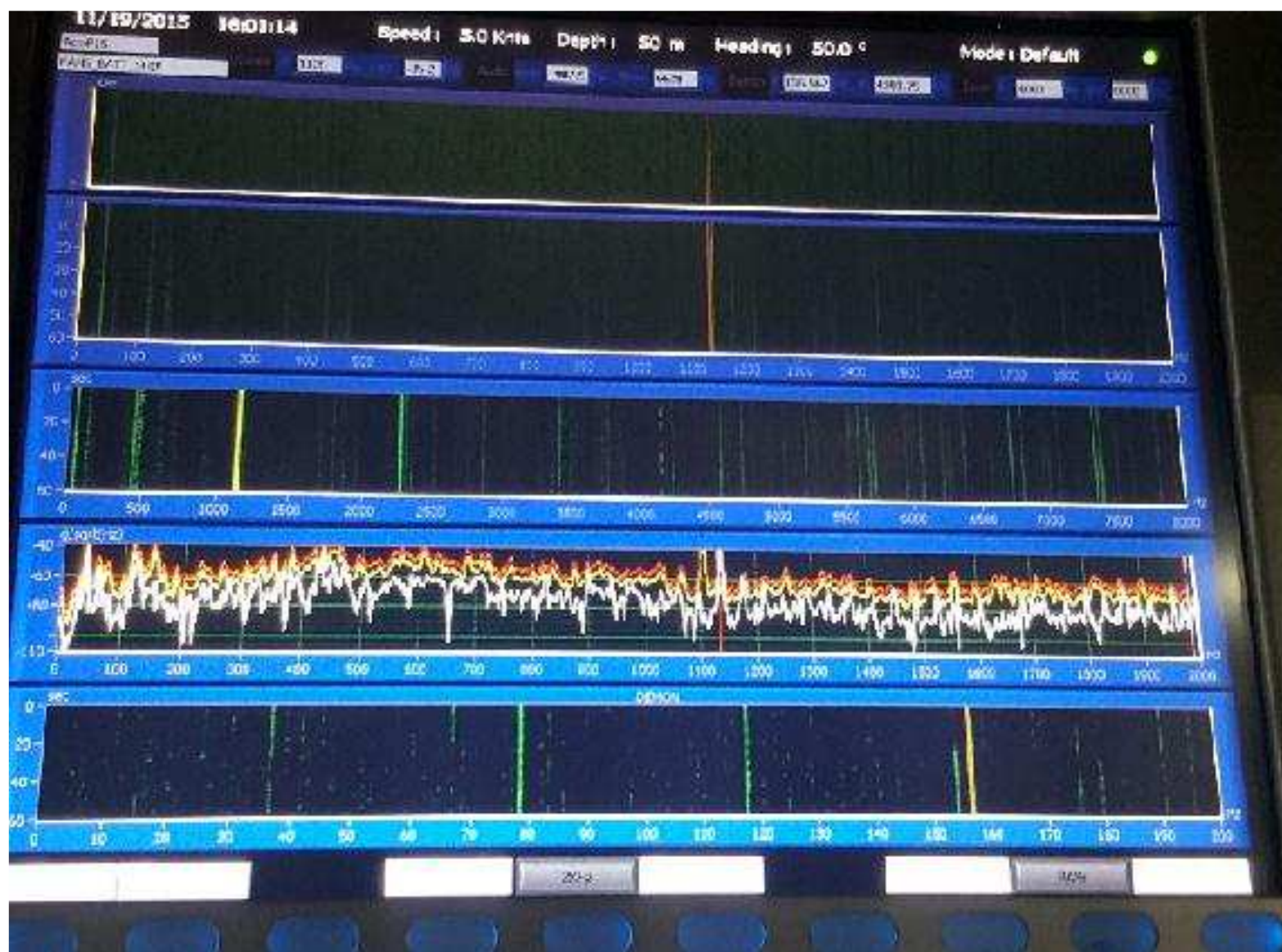
Este equipo debe tener una comparación base con otro equipo como lo es el Sistema ONA, que este operativo y tenga una certificación de validez que nos brinde la seguridad y confianza, que el equipo de bajo costo que crearemos trabajará en las mismas bandas de frecuencia, amplitudes y armónicas.

Una vez realizada la validez del equipo, se deberá proceder a las tomas de mediciones de comportamiento de la maquinaria y simular una avería en ella debido al transcurso del tiempo, para comprobar el cambio entre el óptimo funcionamiento y la nueva curva de vibración que presenta la maquinaria averiada.

#### **4.1.6 Metodología para Ejecutar la Propuesta**

Para comprobar el correcto y confiable funcionamiento del equipo de bajo costo (Anexo D) implementado en proyecto de investigación, debemos realizar una comparación con equipo de alto costo y certificado como lo es el Sistema ONA, ya a bordo de la unidad realizamos la toma de mediciones de 2 maquinas en correcto funcionamiento; el ventilador y la planta de aire acondicionado. Para la primera medición con la primera maquinaria se lo realizo por parte del ONA dándonos curvas que pudimos apreciar muy pronunciadas siendo el pico que mas sobresalía sobre el grafico uno de 1130 Hz (Ver Figura 9) esta seria nuestra pico base para la comprobación con nuestro equipo.

## VENTILADOR DE BATERÍAS DEL SUBMARINO SHYRY - 1130HZ



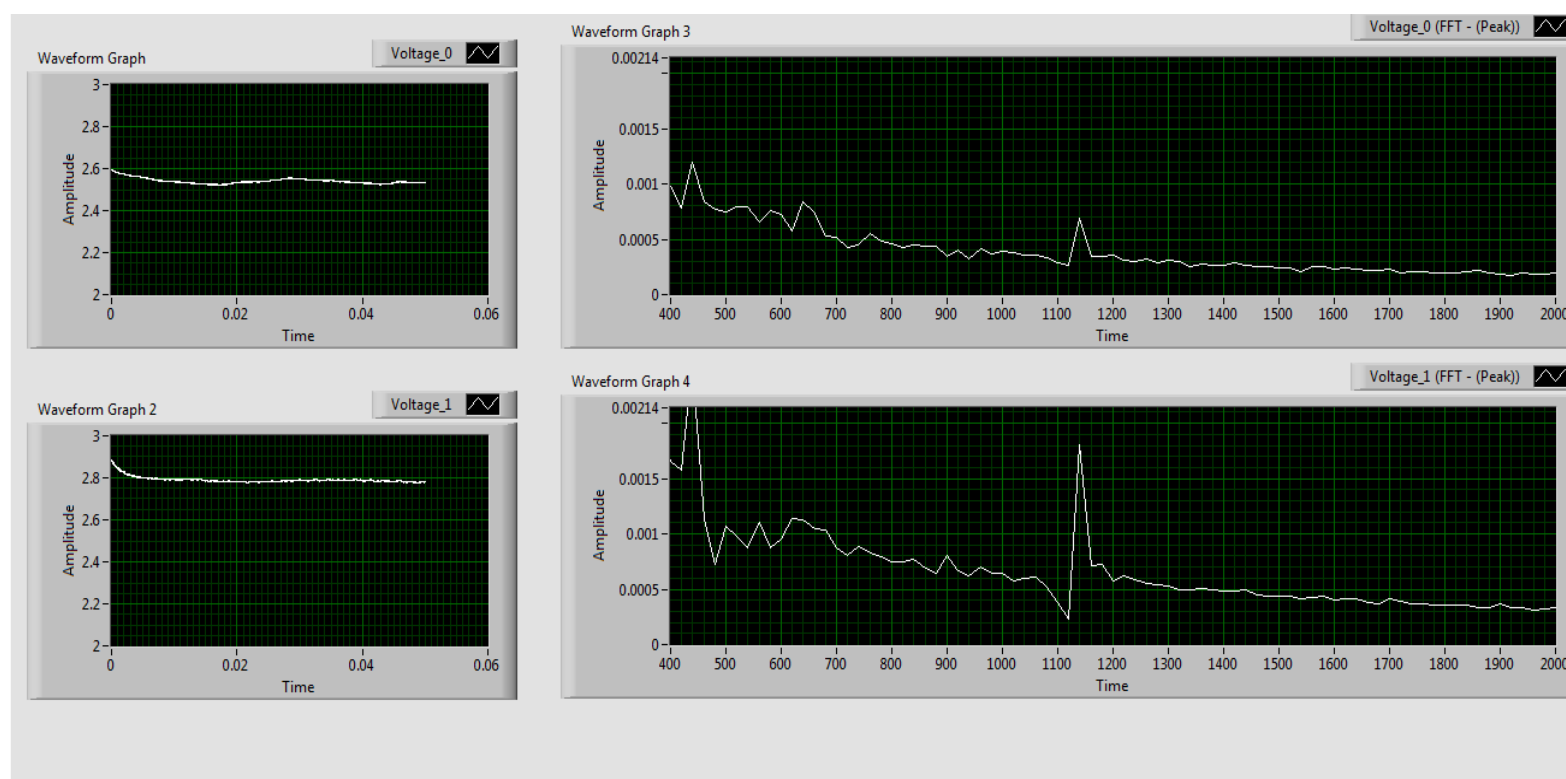
**Figura 9:** Curvas de vibraciones del ventilador de baterias del Submarino

Luego con la grafica del Sistema ONA se procede a llevar nuestro acelerómetro a colocar en el lugar exacto donde tiene el sensor el Sistema IA-ONA y así asemejar lo mas posible las mediciones entre los dos equipos (Ver Figura 10).



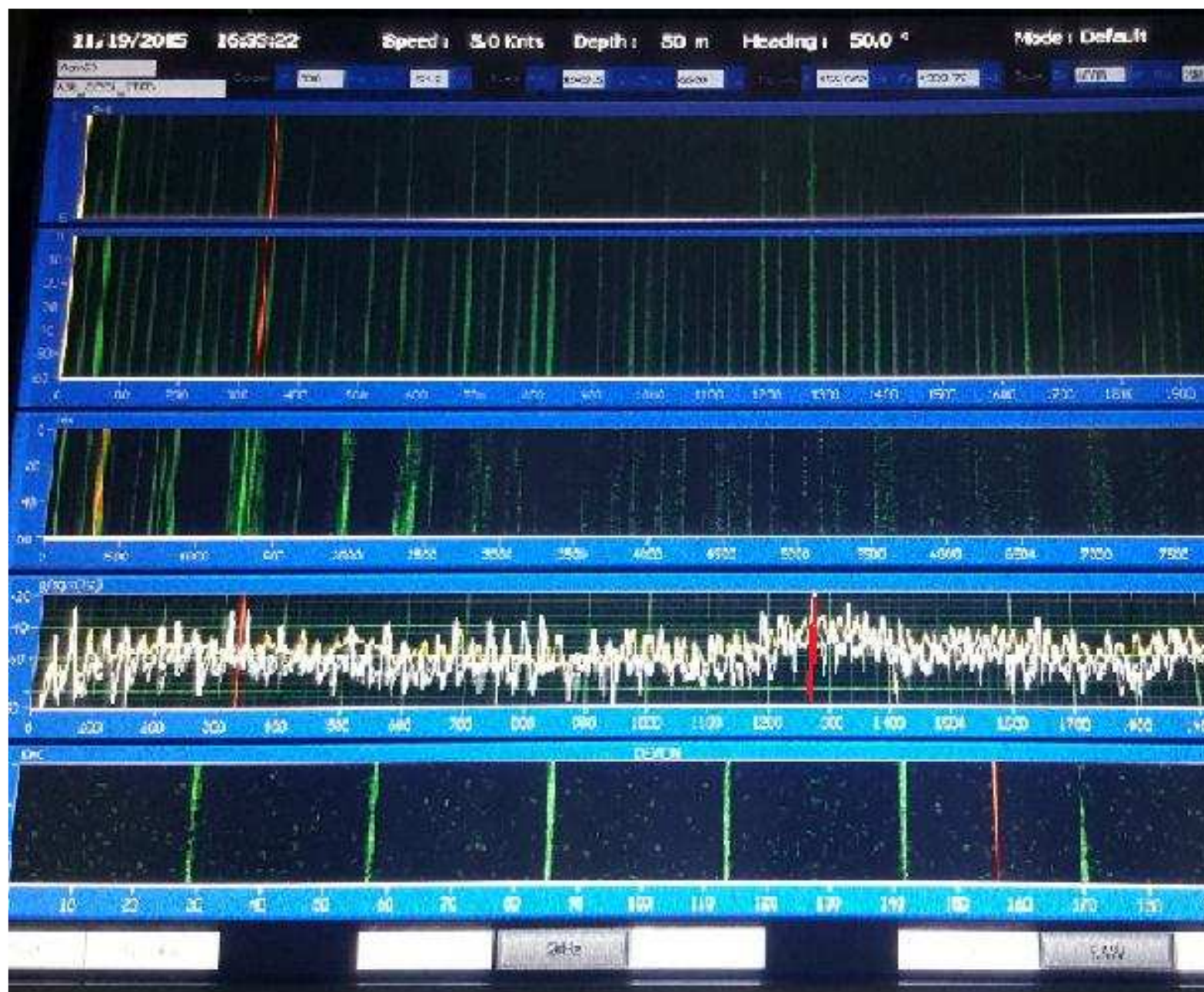
**Figura 10:** Toma de medidas en el sector de fuerza - comprobación 1

Una vez tomada las mediciones con el equipo de bajo costo se determino una curva de iguales características ubicando el mismo pico que el Sistema ONA con la diferencia que este equipo tomo con una medida de 1140 Hz (Ver Figura 11).



**Figura 11:** Curva de vibraciones con equipo de bajo costo - comprobación 1

Ya para la ejecución de la segunda comprobación el Sistema IA-ONA muestra una gráfica de curvas de otro equipo en funcionamiento como lo fue la planta de aire acondicionado de estribor del Subamrino SHYRI; en la cual se pudo reconocer el pico mas pronunciado dentro de la gráfica, el cual mostraba una medida de 1277HZ (Ver Figura 12).

**PLANTA DE AIRE ACONDICIONADO 1 ESTRIBOR 1277HZ**

**Figura 12:** Curva de vibraciones de la Planta de aire acondicionado de estribor

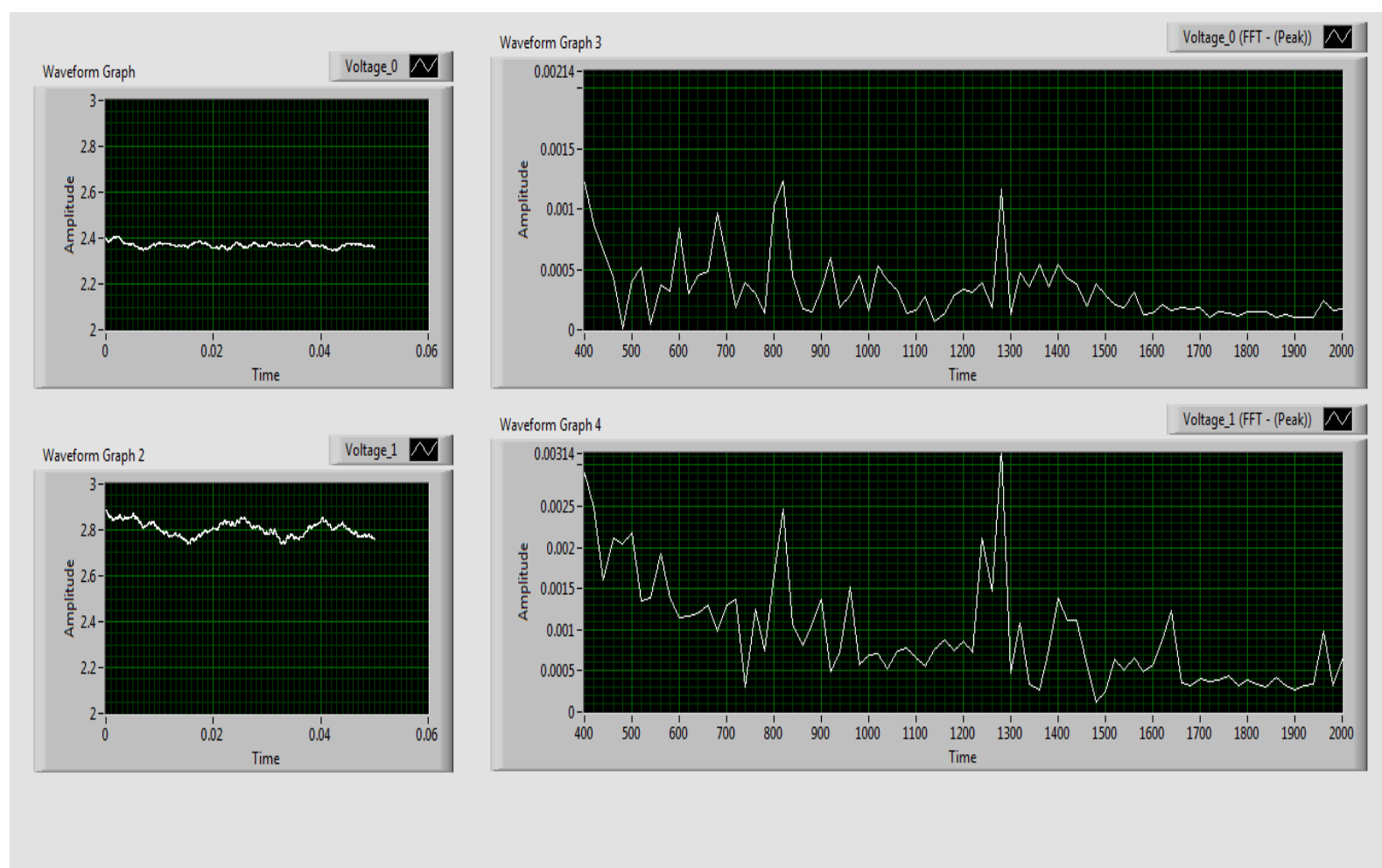
Para el efecto del funcionamiento de este equipo necesitamos colocar el sensor junto al del Sistema ONA del Submarino SHYRY para una lectura mas exacta y acertiva (Ver Figura 13).





**Figura 13:** Toma de medidas en la base del compresor - comprobación 2

Una vez tomada las mediciones con este equipo se determinó una curva de iguales características ubicando el mismo pico que el Sistema ONA con la diferencia que el equipo tomó con una medida de 1277 Hz (Ver Figura 14).



**Figura 14:** Curva de vibraciones con equipo de bajo costo - comprobación 2

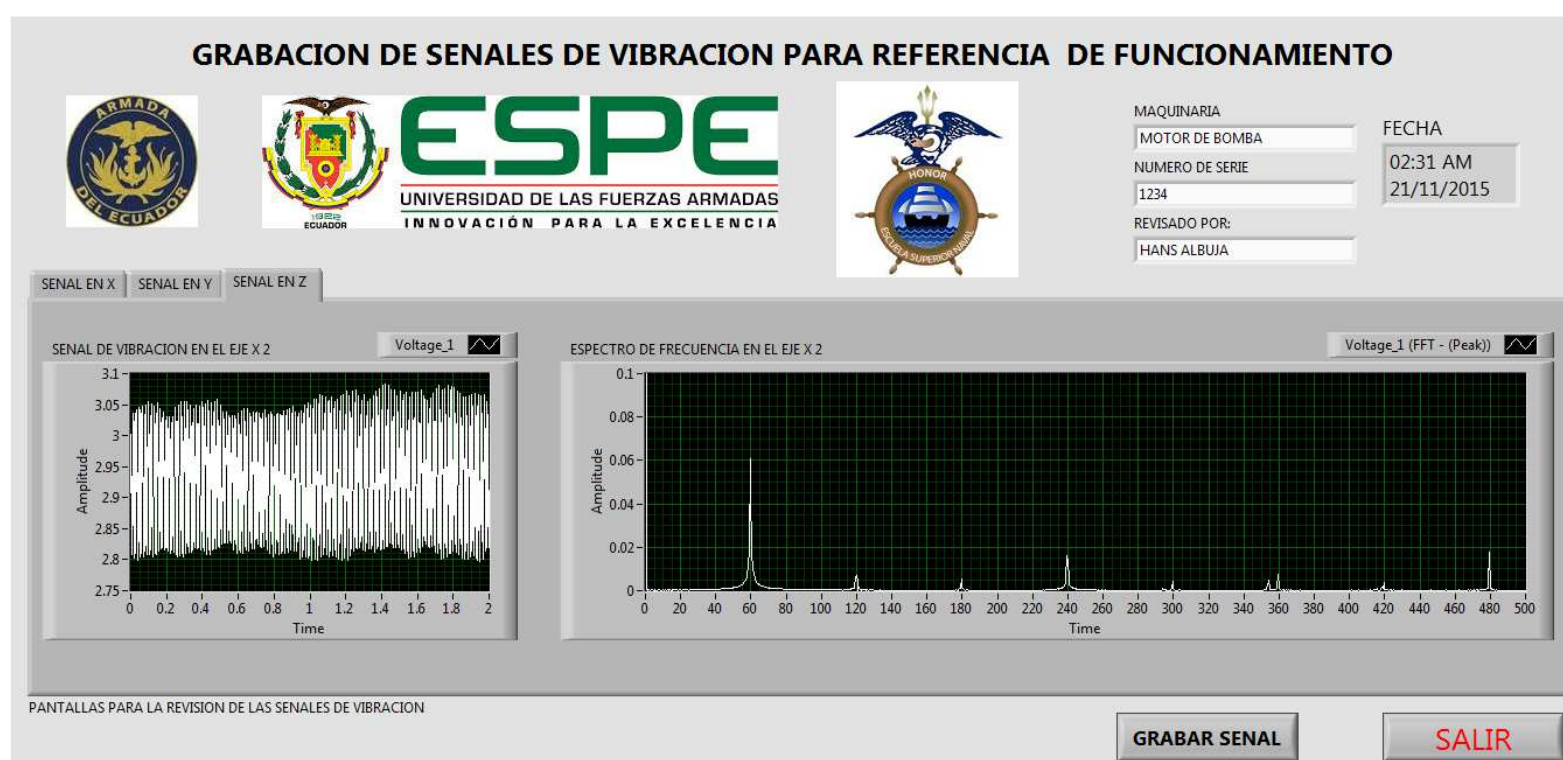
Luego de haber realizado la comprobación de este equipo a bordo del Submarino SHYRI, se pudo realizar pruebas en una bomba de agua en la Escuela Superior Naval.

Dentro de esta práctica, se realizó la toma de medidas desde dos puntos diferentes simulando dos situaciones; para el primer ejercicio se toma en cuenta que, la bomba de agua se encontraba en un óptimo funcionamiento tomando como base su curva de vibraciones (Ver Figura 15).



**Figura 15:** Medición de vibraciones sobre la bomba con soportes de goma

Una vez realizadas la toma de medidas sobre la bomba de agua el equipo muestra las siguientes curvas de vibraciones (Ver Figura 16).



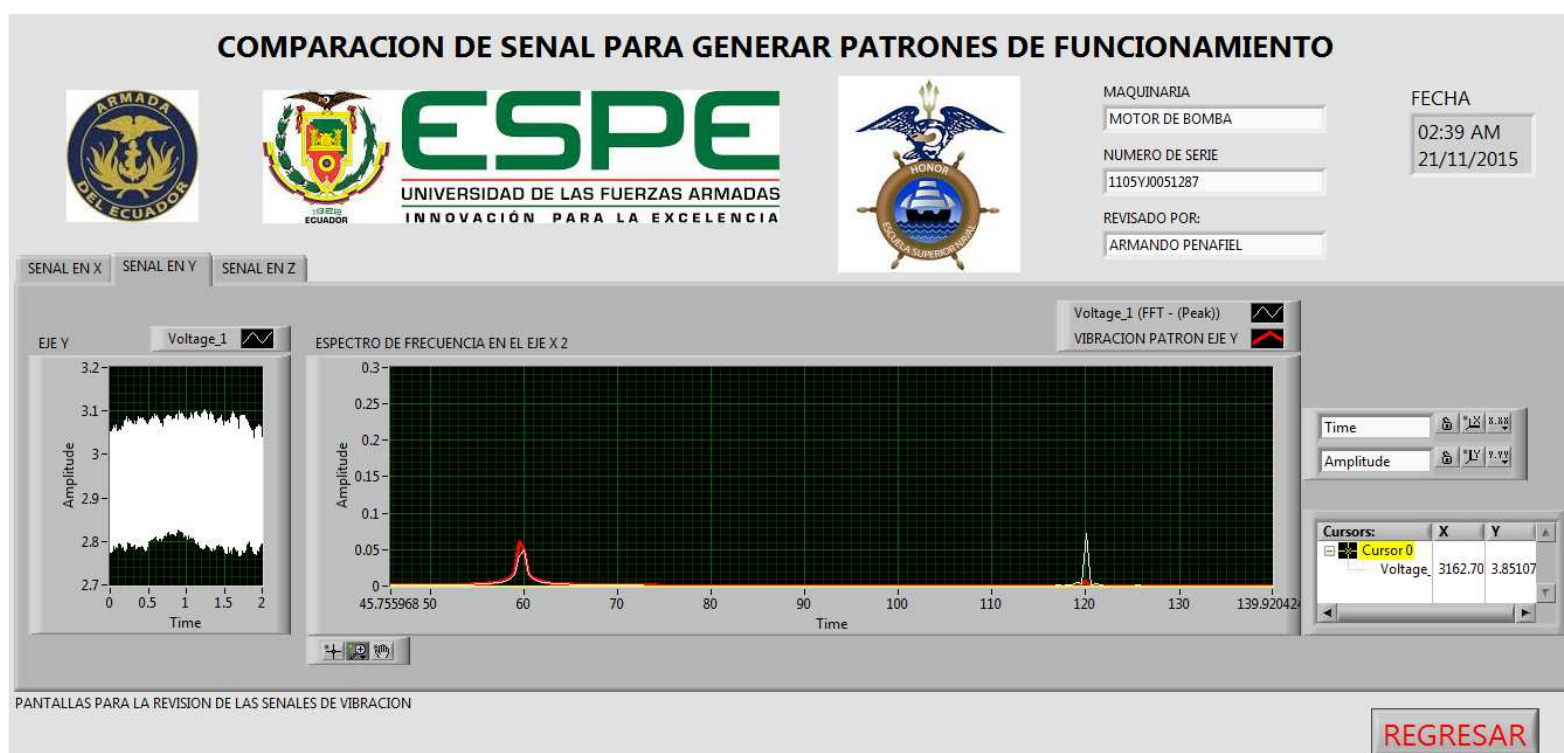
**Figura 16:** Curba de vibraciones de la bomba con soportes de goma

Luego de la primera toma de medidas, se procede a simular fallas o averías, que normalmente son producidas por su uso, desgaste, el medio, tiempo, etc. En el equipo se retira los aisladores de goma para que exista mayor vibración (Ver Figura 17).



**Figura 17:** Medición de vibraciones sobre la bomba sin soporte de goma

Al realizar las dos tomas de mediciones se pudo comparar que las curvas de vibración de la segunda práctica, cuando se simuló una falla, eran curvas mas pronunciadas sobre pasando su límite de normal comportamiento en óptimas condiciones (Ver Figura 18).



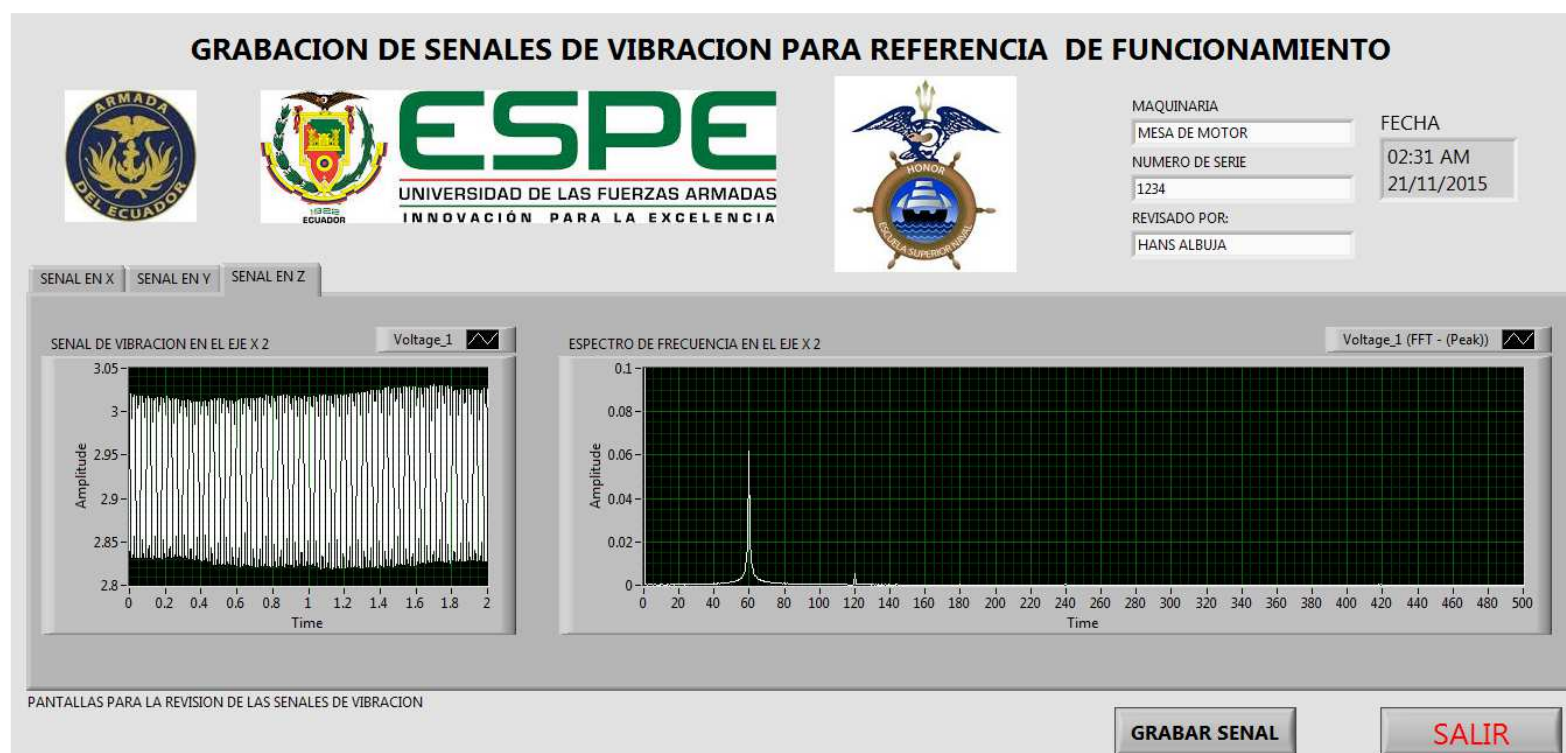
**Figura 18:** Curva de vibraciones de la bomba sin soportes de goma

Para realizar la segunda práctica se tomará las mediciones desde la mesa donde se encuentra ubicada la bomba de agua simularemos las mismas condiciones (Ver Figura 19).



**Figura 19:** Toma de vibraciones sobre la mesa cuando la bomba esta con soporte de goma

En esta primera condición con aisladores se pudo tomar las siguientes medidas (Ver Figura 20).



**Figura 20:** Curva de vibraciones de la mesa cuando la bomba esta con soporte de goma

Simulamos condiciones de falla de la bomba quitando los aisladores y se sigue tomando las medidas (Ver Figura 21).



**Figura 21:** Toma de vibraciones sobre la mesa cuando la bomba esta sin soportes de goma

En esta segunda condición sin aisladores se pudo tomar las siguientes medidas.



**Figura 22:** Curva de vibraciones de la mesa cuando la bomba esta sin soportes de goma

## 5 CONCLUSIONES

En base a los análisis, observaciones y resultados podemos concluir que:

- La comparación realizada entre nuestro equipo de bajo costo (Anexo D) con el Sistema ONA que es un equipo certificado y en óptimas condiciones, permitió comprobar que las curvas de vibraciones tomados por ambos equipos mostraron la misma frecuencia, haciendo que la implementación del equipo que mide el comportamiento de las vibraciones en la maquinaria con respecto al tiempo tenga un acertado funcionamiento.
- Una vez realizada las tomas con este equipo de medición del comportamiento de las vibraciones en la maquinaria con respecto al tiempo, sobre una bomba de agua a la cual realizamos diferentes pruebas simulando fallas producidas por el uso, el tiempo, la temperatura, etc, permitió comprobar el funcionamiento asertivo del equipo debido a las diferentes curvas de vibraciones mostradas en el software creado bajo requerimientos.
- El fácil acceso y manejo del software creado bajo requerimiento que es implementado para el equipo, permitirá su empleo en el campo teórico-práctico de la Unidad Académica Especial Salinas-ESSUNA.



## 6 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones indispensables para complementar este proyecto son:

- Que se implemente este equipo como una herramienta de trabajo para el W4, W5, W6, en cada una de las Unidades de Superficie de la Armada del Ecuador, para que mida el comportamiento de la vibraciones en la maquinaria para su análisis.
- Se recomienda la implementación de este equipo como una herramienta didáctica de fácil empleo para su total aprovechamiento por parte de los estudiantes de la Unidad Académica Especial Salinas-ESSUNA, que será una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las materias donde sea útil este proyecto, como Maquinaria Naval I, II, III, Construcción Naval.
- Que se complemente este proyecto para estudio de otras opciones de aplicación como son, la detección de ondas vibratorias producto del sonido, para el desarrollo e implementación de un hidrófono para control del nivel de ruido de una determinada área y contribuir a la Seguridad Operacional.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

*Federación Europea de Sociedades Nacionales de mantenimiento.* (18 de Enero de 2005). Obtenido de <http://www.efnms.org/What-EFNMS-stands-for/m13l2/What-EFNMS-stands-for.html>

Benites, J. (2007). *Alineamiento de máquinas.*

Daqui Mendoza, A. X. (8 de Diciembre de 2013). *Estudio del Sistema de propulsión principal del Buque Escuela Guayas y sus fases de mantenimiento en la ruta Boston - Cadiz.*

González Álvarez, R. (Julio de 2012). *Diseño del Plan de Mantenimiento para una embarcación de 32 metros.* Obtenido de <http://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/836/Rub%C3%A9n%20Gonz%C3%A1lez%20%C3%81lvarez.pdf?sequence=1>

Jiménez Rivero, D. E. (20 de Febrero de 2013). *Vibraciones mecánicas.* Obtenido de <http://es.slideshare.net/dimasjimenezrivero/vibraciones-mecanicas>

Pablo, J. I. (2009). *Renove Tecnología S.L.* Recuperado el 27 de Abril de 2015, de Ingeniería de Mantenimiento: [www.ingenieriadelmantenimiento.com](http://www.ingenieriadelmantenimiento.com)

Renovetec. (2013). *Ingeniería del mantenimiento.* Recuperado el 2015, de <http://www.ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/19-mantenimiento-predictivo>

Sinai. (2013). *Sinai*. Obtenido de Norma ISO 10816-1995:

<http://www.sinai.es/Recursos/Curso-vibraciones/normativa/iso10816.html>

Singiresu S., R. (2012). *Vibraciones mecánicas*. México: Pearson Educación.

Obtenidode[http://www.imac.unavarra.es/web\\_imac/pages/docencia/asignaturas/emyv/pdfdoc/vib/vib\\_predictivo.pdf](http://www.imac.unavarra.es/web_imac/pages/docencia/asignaturas/emyv/pdfdoc/vib/vib_predictivo.pdf)