

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:

“Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de vibraciones y alineación láser en motores asíncronos para el Laboratorio de Electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo”.

AUTOR:

Baldeón Silva Carlos Arturo

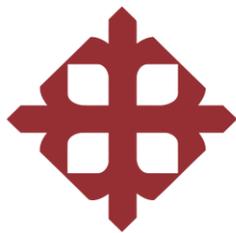
Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TUTOR:

Ing. Vallejo Samaniego Luis Vicente, M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

30 de Agosto del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO- MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **BALDEÓN SILVA CARLOS ARTURO**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico Mecánica**.

TUTOR

f. _____

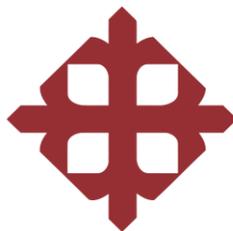
ING. VALLEJO SAMANIEGO LUIS VICENTE, M.Sc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

ING. HERAS SÁNCHEZ MIGUEL ARMANDO, M.Sc.

Guayaquil, 30 de Agosto del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Baldeón Silva Carlos Arturo**

DECLARO QUE:

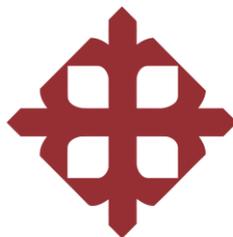
El Trabajo de Titulación, **Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de vibraciones y alineación láser en motores asíncronos para el Laboratorio de Electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo** previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 30 de Agosto del 2018

EL AUTOR

BALDEÓN SILVA CARLOS ARTURO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Baldeón Silva Carlos Arturo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de vibraciones y alineación láser en motores asíncronos para el Laboratorio de Electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 30 de Agosto del 2018

EL AUTOR:

BALDEÓN SILVA CARLOS ARTURO

REPORTE URKUND

Documento: Trabajo de Titulación

Título del Trabajo: ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS DE VIBRACIONES Y ALINEACIÓN LÁSER EN MOTORES ASÍNCRONOS PARA EL LABORATORIO DE ELECTRICIDAD DE LA FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO”***

Carrera: Ingeniería en Eléctrico Mecánica

Estudiante: CARLOS ARTURO BALDEÓN SILVA

Semestre: A-2018

Fecha: AGO/2018

The screenshot displays the URKUND interface. On the left, document details are shown: 'Documento: TTA18BALDEÓN.pdf (D41036345)', 'Presentado: 2018-08-29 13:15 (-05:00)', 'Presentado por: karlos_baldeons@hotmail.com', and 'Recibido: luis.vallejo.ucsg@analysis.urkund.com'. A progress bar indicates '4%' of the document has been analyzed. The main area shows a list of sources with columns for 'Lista de fuentes', 'Bloques', 'Categoría', and 'Enlace/nombre de archivo'. Sources include 'https://red.uao.edu.co/bitstream/120614/7026/1/T05109.pdf', 'http://www.ficturaser.com/Documents/Manuales/Ficturaser%20V4%20Manual_P-0243-45P%20Fin', 'TTA2018ARDCAO30818.pdf', 'A2018ARDCATEFIS.pdf', and 'https://www.f3b.utn.edu.ar/fbb/images/carreras/elementosdeமானuales/cao08-02.pdf'. The bottom section contains the text of the report, including university information and a declaration of responsibility by the student and tutor.

Conclusión: La revisión de coincidencias del resultado de la revisión, considera la desactivación de la información de texto de los formatos de presentación de trabajos de titulación en la UCSG. Se adjunta documento de Reporte URKUND de la Revisión Final en medio digital. Porcentaje de coincidencia final del 4%.

Atentamente,

Ing. Vallejo Samaniego Luis Vicente, M.Sc.

DOCENTE-TUTOR

AGRADECIMIENTO

Al culminar mi etapa universitaria, quiero dejar un profundo agradecimiento a mis compañeros de aula que semestre a semestre nos ayudamos a salir adelante, experiencias y anécdotas que quedarán marcadas en mi vida.

A toda mi familia que supieron darme consejos entregándome pautas y motivaciones para seguir estudiando esta carrera prestigiosa.

A mi tutor Ing. Luis Vallejo Samaniego, M.Sc. que supo darme su apoyo y colaboración, me brindó su conocimiento y su experiencia, así poder realizar mi trabajo de titulación.

DEDICATORIA

Primeramente a Dios por darme las fuerzas y el conocimiento para poder culminar mi carrera, a mis padres Lucía Silva y Arturo Baldeón que me dieron ánimos para culminar mi carrera, mi pilar fundamental que es mi mamita Alejandra Párraga por sus consejos día a día su amor y apoyo en todo momento, a mi hija Giulianna Baldeón me inspiró a salir adelante, a mis tías Patricia Silva por apoyarme en el momento que más necesite de mi vida, a mi tía Reyna Silva por su aliento, mi hermana Shirley Vera y José Riofrio por confiar en mí y nunca bajar los abrazos, guiándome hacia la excelencia, a mi tío Fernando Silva que me hizo amar mi carrera día a día.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA:

Ingeniería en Eléctrico Mecánica

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS M.Sc.

DECANO

f. _____

ING. RAÚL MONTENEGRO TEJADA, M.Sc.

COORDINADOR DE ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

ING. HERAS SÁNCHEZ MIGUEL ARMANDO M.Sc.

DIRECTOR DE CARRERA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO 1.....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Justificación y alcance	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Hipótesis.....	3
1.5 Tipo de investigación	3
1.6 Metodología	4
PARTE I MARCO TEÓRICO.....	5
CAPÍTULO 2.....	5
MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN ASÍNCRONOS	5
2.1 Introducción	5
2.2 Características de los motores asíncronos.....	6
2.3 Partes constitutivas de un motor asíncrono.....	8
2.4 Tipos de arranques para motores asíncronos	10

2.4.1	Arranque estrella-triángulo.....	10
2.4.2	Arranque por autotransformador	11
2.4.3	Arranque con resistencias en serie con el bobinado del estator.....	12
2.5	Bancos de pruebas para motores asíncronos	13
CAPÍTULO 3.....		14
DESALINEACIÓN Y DESBALANCE EN MOTORES ELÉCTRICOS		14
3.1	Desalineación en motores eléctricos.....	14
3.1.1	Causas de desalineación en motores eléctricos	14
3.1.2	Consecuencias de desalineación en motores eléctricos	15
3.2	Identificación de desalineamiento en motores eléctricos.....	15
3.2.1	Desalineación en paralelo.....	16
3.2.2	Desalineación angular	16
3.2.3	Desalineación mixta.....	17
3.3	Importancia del uso de acoplamientos en motores eléctricos	17
3.3.1	Tipos de acoplamientos	18
3.3.2	Aplicaciones de los acoplamientos	19
3.3.3	Causas de fallas en acoplamientos	20
3.4	Modelado gráfico de la desalineación en motores eléctricos.....	21
CAPÍTULO 4.....		22
DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN MOTORES.....		22
4.1	Uso de chapas calibradas	22

4.1.1	Especificaciones	22
4.1.2	Procedimiento para el uso del Fixturlaser	23
4.2	Diagnostico con tecnología láser	29
4.3	Señales de desalineamiento entre ejes.....	32
4.3.1	Rangos de tolerancia	32
4.3.2	Señales vibratorias del desalineamiento.....	34
4.4	Evaluación operativa del motor eléctrico.....	35
CAPÍTULO 5.....		36
NORMATIVAS DE ALINEACIÓN PARA MOTORES ELÉCTRICOS.....		36
5.1	Norma de suministro eléctrico Normativa internacional.....	36
5.2	Requerimientos internacionales	38
5.3	Normas de mantenimiento industrial	40
PARTE II APORTACIONES.....		41
CAPÍTULO 6.....		41
DISEÑO DEL BANCO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS DE ALINEACIÓN		41
6.1	Generalidades de diseño	41
6.2	Partes constitutivas del proyecto.....	41
CAPÍTULO 7.....		50
CONSTRUCCIÓN DEL BANCO PARA PRUEBAS DE ALINEACIÓN		50
7.1	Montaje de las partes del banco	50
CAPÍTULO 8.....		52

PRUEBAS OPERATIVAS DE ALINEACIÓN LÁSER	52
8.1 Pruebas para alineación en motores asincronos.....	52
8.2 Resultados obtenidos en las pruebas	61
8.2.1 Tolerancias recomendadas.....	61
8.2.2 Análisis de resultados	62
8.2.3 Plan de mantenimiento	65
CAPÍTULO 9.....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
9.1 CONCLUSIONES	66
9.2 RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

<i>Figura 2. 1 Motor eléctrico con acoplamiento mecánico</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2. 2 Flujo electromagnético en motores asíncronos</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2. 3 Curva característica motores asíncronos</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. 4 Partes de un motor asíncrono.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. 5 Estacionario de una bomba centrífuga</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. 6 Esquema de arranque estrella-triángulo manual y automático... 10</i>	
<i>Figura 2. 7 Curvas características del arranque estrella-triángulo..... 10</i>	
<i>Figura 2. 8 Esquema de arranque por autotransformador..... 11</i>	
<i>Figura 2. 9 Curvas características de un arranque por autotransformador... 12</i>	
<i>Figura 2. 10 Esquema de arranque con resistencias en serie..... 12</i>	
<i>Figura 2. 11 Banco de pruebas para motores asíncronos..... 13</i>	

Capítulo 3:

<i>Figura 3. 1 Motor con desalineación en paralelo..... 16</i>	
<i>Figura 3. 2 Motor con desalineación angular</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3. 3 Motor con desalineación mixta..... 17</i>	
<i>Figura 3. 4 Acoplamientos en ejes de un motor</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3. 5 Tipos de acoplamientos rígidos..... 18</i>	
<i>Figura 3. 6 Tipos de acoplamientos flexibles</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. 7 Modelado gráfico en equipo de alineación láser</i>	<i>21</i>

Capítulo 4:

<i>Figura 4. 4 Lainas o chapas calibradas para alineación de motores</i>	<i>22</i>
--	-----------

<i>Figura 4. 5 Alineación horizontal de ejes</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4. 6 Representación de montaje de FIXTURLASER.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4. 7 Ubicación vertical de V – block.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4. 8 Levantamiento de cadena.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4. 9 Ajuste de tornillo tensor.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4. 10 Dispositivos de sujeción.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4. 11 Alineación vertical de ejes.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4. 12 Representación de montaje vertical</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4. 13 Alineación horizontal con Fixturlaser.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4. 14 Alineación vertical con Fixturlaser.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4. 1 Sistema mono emisor-receptor.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4. 2 Sistema emisor-receptor dual</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4. 3 Sistema emisor-receptor dual</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4. 15 Guía de tolerancias para alineación de ejes</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4. 16 Generación de la onda compleja.....</i>	<i>34</i>
 Capítulo 6:	
<i>Figura 6. 1 Vista de planta del banco didáctico con medidas.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 6. 2 Modelado 2D acoplamientos SKF.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 6. 3 Modelado del estacionario con medidas</i>	<i>43</i>
 Capítulo 7:	
<i>Figura 7. 1 Medición para la ubicación de la base con el soporte</i>	<i>50</i>
 Capítulo 8:	
<i>Figura 8. 1 Montaje de los sensores Fixturlaser GO Pro.....</i>	<i>52</i>

<i>Figura 8. 2 Inicio del programa Fixturlaser GO Pro</i>	53
<i>Figura 8. 3 Rangos de tolerancias de desalineación por rpm</i>	54
<i>Figura 8. 4 Pantalla de ingreso de distancias Fixturlaser</i>	55
<i>Figura 8. 5 Medición de la distancia entre sensores</i>	55
<i>Figura 8. 6 Medición de la distancia pernos-sensor “M”</i>	56
<i>Figura 8. 7 Centrado del rayo láser motor-estacionario</i>	57
<i>Figura 8. 8 Activación de los sensores para la toma de datos</i>	57
<i>Figura 8. 9 Toma de la muestra de desalineación a 45°</i>	58
<i>Figura 8. 10 Toma de la muestra de desalineación posición vertical</i>	58
<i>Figura 8. 11 Datos obtenidos de la prueba de desalineación</i>	59
<i>Figura 8. 12 Sugerencia de chapas calibradas del Fixturlaser</i>	60
<i>Figura 8. 13 Colocación de chapas calibradas en las patas del motor</i>	60
<i>Figura 8. 14 Datos del motor alineado</i>	61
<i>Figura 8. 14 Puntos tomados en prueba de vibración</i>	63
<i>Figura 8. 15 Datos del motor alineado</i>	64

RESUMEN

En el presente proyecto de implementación se basa en el análisis experimental de un banco didáctico para pruebas de desalineación y vibración de la maquina rotativa con estacionaria para la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por lo cual se ha planteado información para lo que son las maquinas rotativas las fallas que pueden presentarse por un desalineamiento, como son: fallas en los rodamientos, deflexión en ejes, daños en los cojinetes. Como objetivo principal podremos presentar un protocolo adecuado para su debida alineación correcta dándole saber cómo se comporta la máquina fixturlaser parámetros adecuados por medios de las revoluciones del motor datos de placa y tablas de niveles de impedancia que son necesario para la alineación final. Finalmente podremos concluir, con una adecuada alineación podremos evitar paras inesperados en la máquina, aumentamos la vida útil y prevenir daños excesivos de los rodamientos.

PALABRAS CLAVES: MOTORES, ALINEACIÓN, VIBRACIÓN, LÁSER, MANTENIMIENTO

ABSTRACT

In the present project of implementation is based on the experimental analysis of a didactic bank for tests of misalignment and vibration of the rotary machine with stationary for the Catholic University of Santiago de Guayaquil, for which information has been raised for what are the machines rotating failures that can occur due to misalignment, such as: bearing faults, shaft deflection, bearing damage. As a main objective we will be able to present an adequate protocol for its proper correct alignment by letting you know how the machine behaves fixturlaser suitable parameters by means of engine revolutions plate data and tables of impedance levels that are necessary for the final alignment. Finally we can conclude, with an adequate alignment we can avoid unexpected stops in the machine, increase the useful life and prevent excessive damage of the bearings.

KEYS WORDS: ENGINES, ALIGNMENT, VIBRATION, LASER, MAINTENANCE

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación y alcance

El presente proyecto de diseño e implementación de un banco didáctico para pruebas de vibraciones y alineación láser, nace a partir de la necesidad mejorar la experiencia de los estudiantes en el Laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo. Con este proyecto busca fortalecer los conocimientos teóricos de mantenimiento predictivos y/o preventivos en motores industriales, mediante la puesta en práctica de los mismos.

Mediante prácticas en el Laboratorio, el estudiante podrá tener una perspectiva más amplia de lo que conlleva realizar mantenimientos a motores industriales, mismos que se los ha denominado como el corazón de la industria, puesto que son las máquinas que llevan a cargo los procesos; y una avería de estos podría ocasionar grandes pérdidas en la producción y costos de reparación por mantenimiento correctivo.

1.2 Planteamiento del problema

Con la inclusión de la carrera de Ingeniería en Electricidad, exige a que la Facultad Técnica para el Desarrollo, realice cambios y mejoras en los Laboratorios, lo cual crea la necesidad de implementar nuevos equipos y bancos didácticos para pruebas de campo, mismo que proporcione al estudiante una experiencia más cercana al campo laboral y profesional.

Generalmente las industrias invierten en el mantenimiento preventivo de las máquinas que usualmente les dan cada 6 meses por lo regular pero en algunas empresas los suelen dar cada año e incluso cuando ya la máquina deja de funcionar, para evitar paradas por averías y que esto sea motivo de pérdidas en cuanto a la producción, a partir de ello nace el concepto de análisis vibracional, mismo que mayormente se soluciona u evitadas problemas que suelen suceder en las industrias, con una correcta alineación de los ejes de los motores. Para ello el presente proyecto busca consolidar

con conocimientos prácticos, los procedimientos que se llevan a cabo a la hora de realizar este tipo de mantenimientos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un banco didáctico para pruebas de vibraciones y alineación láser en motores asíncronos con dicha estacionaria para el Laboratorio de Electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar mediante software un banco didáctico para pruebas de vibraciones y alineación láser en motores eléctricos.
- Construir un banco didáctico para pruebas de vibraciones y alineación láser para el laboratorio de electricidad de la Facultad Técnica para el Desarrollo
- Analizar las pruebas de desbalanceo y alineación a láser.

1.4 Hipótesis

Una de las mayores aplicaciones de la ingeniería eléctrica y mecánica es el mantenimiento de equipos y máquinas industriales, donde es de vital importancia conocer de manera práctica los conceptos estudiados en las diferentes asignaturas a lo largo de la carrera, por ello, el presente trabajo busca darle al estudiante una herramienta para su desarrollo profesional, obteniendo una experiencia en trabajos que requieran corregir una desalineación entre ejes para motores trifásicos y analizar las vibraciones que se produce.

1.5 Tipo de investigación

Para el presente trabajo se utilizará un tipo de investigación aplicada, explicativa con un enfoque experimental de lo que suelen suceder a diario en las industrias, para lo cual se hará uso de técnicas de investigación cualitativa

y cuantitativa, descriptivas y de campo laboral, lo cual es totalmente factible para cumplir con lo requerido por este proyecto.

1.6 Metodología

La metodología de investigación es de tipo documental y experimental, y está relacionada directamente con la construcción de un banco didáctico para pruebas de motores, la misma que se puede sustentar con un correcto diseño, garantizando una experiencia que sea de gran utilidad para los estudiantes de la Facultad Técnica para el Desarrollo. Como punto principal para lograr lo propuesto, será necesario conocer las características operativas que debe tener un banco para pruebas de motores en el análisis de vibraciones y alineación láser, para luego adecuarla a las necesidades del proyecto.

PARTE I MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2

MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN ASÍNCRONOS

2.1 Introducción

Los motores eléctricos son los de las máquinas e instalaciones eléctricas y también de muchísimas aplicaciones en todos los niveles de nuestra actividad, bien sean industriales como terciarios y domésticos (Roldán, 2008).

Un motor eléctrico puede definirse como un receptor que, al ser alimentado por una corriente eléctrica, tiene como respuesta realizar un movimiento giratorio en su eje, con la ayuda de acoplamientos mecánicos, que son necesarios a la hora de efectuar los distintos trabajos requeridos en la industria y el sector residencial (Martín & García, 2016, p. 106).

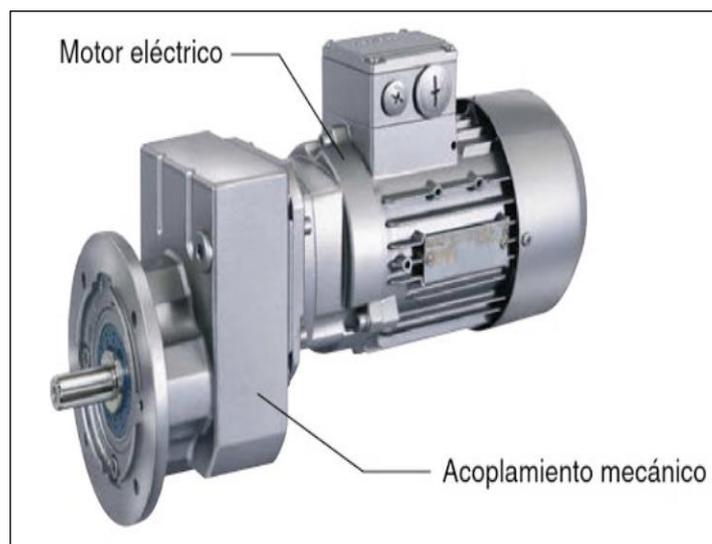


Figura 2. 1 Motor eléctrico con acoplamiento mecánico
Fuente: (Martín & García, 2016, p. 106)

En la figura 2.1 se ilustra un motor eléctrico el cual cuenta con un acoplamiento mecánico, el cual le da una característica especial al motor, ya que estos acoplamientos son diseñados con la finalidad de dotar al motor un funcionamiento mecánico diferente del diseño de fábrica.

2.2 Características de los motores asíncronos

Los motores asíncronos, son los de mayor uso en la industria, principalmente por el tipo de alimentación, ya que al funcionar con corriente alterna, hace que su puesta en marcha para los procesos industriales sea sencilla en comparación con los de corriente continua, los cuales necesitan de una fuente de alimentación exclusiva.

Los motores asíncronos se caracterizan por poseer polos lisos, lo hace que en este tipo de máquinas se formen zonas por donde el flujo electromagnético salga desde la culata o también llamado *norte*; o por donde ingresa luego de recorrer el armazón, tal como se ilustra en la figura 2.2.

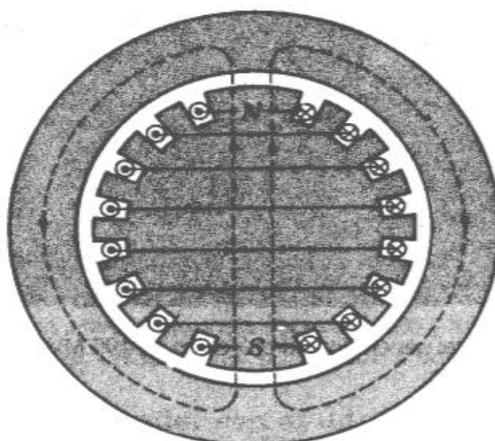


Figura 2. 2 Flujo electromagnético en motores asíncronos
Fuente: (Marino & Pernia, 2004)

El motor asíncrono trifásico es el motor eléctrico más utilizado en todo el mundo en instalaciones industriales y grandes edificios. Simple en términos de diseño y manejo, flexible en diversos campos de aplicación y económico de operar. Es la solución de propulsión más favorable en términos de precio y calidad.

Característica para el motor trifásico es la alta carga de corriente en el suministro de red con arranque directo en línea. Las altas corrientes de arranque, como se muestra en la figura 2.3, y de sobretensión se producen cuando se aplica la tensión total, lo que ocasiona problemas de caída de tensión en el suministro de red y efectos de torsión transitorios en los sistemas mecánicos.

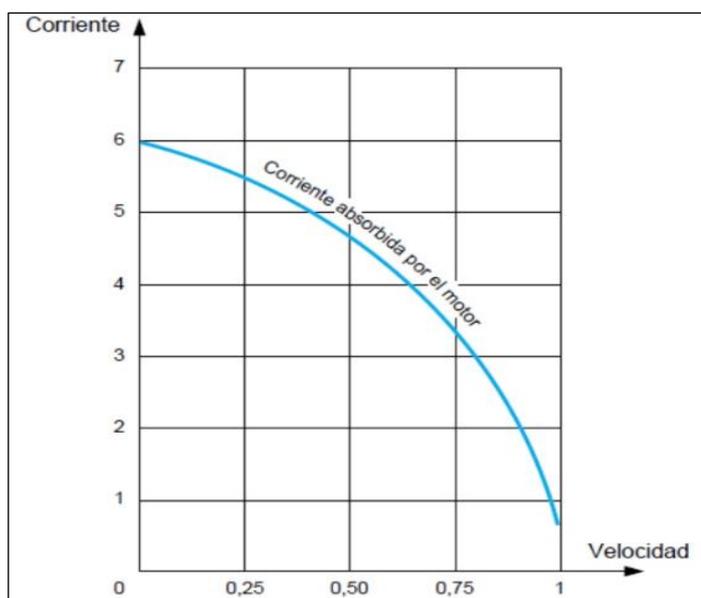


Figura 2. 3 Curva característica motores asíncronos
Fuente: (Yepez, 2017)

Desde la invención del motor asíncrono trifásico, se han diseñado muchos conceptos y formas para solucionar su puesta en marcha, las cuales tienen la intención de eliminar los desagradables efectos secundarios. Sin embargo, estos conceptos de solución satisfacen el deseo de una puesta en marcha satisfactoria, dejando de lado el óptimo rendimiento operativo, depende de la aplicación y, en última instancia, de los aspectos económicos que esto pueda generar, he ahí las ventajas e inconvenientes que presentan estos motores, mismas que se detallan a continuación en la tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Ventajas e inconvenientes en motores asíncronos trifásicos

Motores asíncronos trifásicos	
Ventajas del motores asíncronos trifásicos	<ul style="list-style-type: none"> - Posee mayor fiabilidad que los sincronicos. - Mayor robustez y bajo nivel de mantenimiento. - Ausencia de partes giratorias en tensión: escobillas conmutaciones, etc. - Mayor durabilidad y disponibilidad. - Menor costo, respecto de otros tipos de motores.
Inconvenientes en motores asíncronos trifásicos	<ul style="list-style-type: none"> - Necesitan que se le suministre energía reactiva. - Debe trabajar con un factor de potencia próximo a la unidad. - Dificultad de regular su factor de potencia. - Altos consumo, en su corriente de arranque directo.

Elaborado: El autor

2.3 Partes constitutivas de un motor asíncrono

El motor eléctrico asíncrono está constituido por las siguientes partes:

- Estator: Constituye la parte fija del motor, donde las bobinas que forman parte del estator producen un campo magnético que pueden así poder girar el motor a diversas revoluciones por minuto dependiendo del trabajo que se va a realizar dicho motor eléctrico, dichas bobinas están arrolladas sobre láminas magnéticas. (FILIU, 2014)
- Rotor: Forma la parte móvil del motor, la cual gira sobre su eje. El rotor se puede presentar de dos tipos, jaula de ardilla o rotor bobinado (FILIU, 2014)
- Entrehierro: Se refiere a la separación física existente entre el estator y el rotor, la cual debe ser mínima. Esta separación se da para evitar el rozamiento de la parte móvil y fija. (FILIU, 2014)
- Placa de bornes: Placa que facilita la conexión física entre la red eléctrica y las bobinas del motor. El número de bornes existentes en la placa varía de acuerdo a la máquina eléctrica, generalmente son seis bornes, siendo dos por cada bobina del motor y uno adicional para la protección de puesta a tierra (FILIU, 2014).
- Eje: Es la parte que permite observar el movimiento rotatorio del motor y va enlazado al rotor. Sobre el eje se hallan los rodamientos y el ventilador e incluso acople u poleas (FILIU, 2014)
- Rodamientos: Son los puntos que le dan soporte al eje, permitiendo su giro libremente. Cada motor posee dos rodamientos. (FILIU, 2014)
- Ventilador: Tiene la función de enfriar la parte interna del motor, está acoplado al eje para crear la circulación del aire (FILIU, 2014).
- Carcasa: Es la parte exterior que recubre las partes internas del motor. (FILIU, 2014)

Las partes descritas anteriormente pueden ser observadas de manera más detallada, en la figura 2.4, misma que contiene todas las partes constitutivas de un motor trifásico asíncrono tipo jaula de ardilla, que es uno de los más utilizados a nivel industrial globalmente, por la gran cantidad de aplicaciones que se puede ejecutar, y la flexibilidad al momento de su conexión y la robustez que posee para diferentes tipos de trabajo.

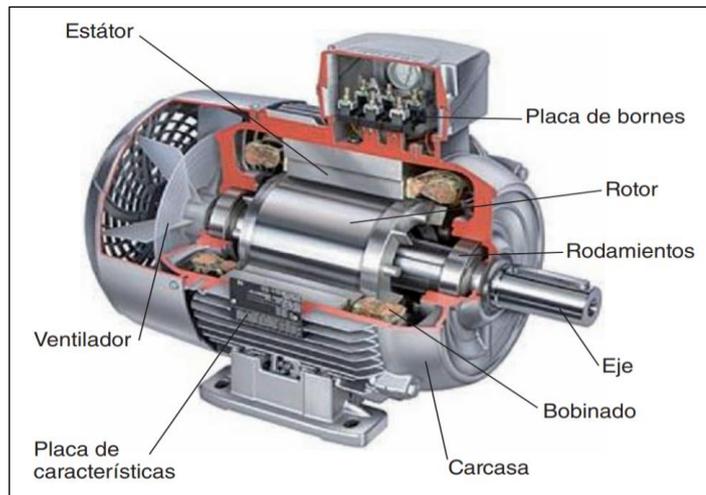


Figura 2. 4 Partes de un motor asíncrono
Fuente: (FILIU, 2014)

Para el caso de motores que requieran de otros componentes para ejecutar su trabajo como el caso de las bombas centrífugas, las cuales se caracterizan por poseer adicional a las partes elementales de un motor asíncronos trifásico, un dispositivo llamado estacionario, mismo que se muestra en la figura 2.5.

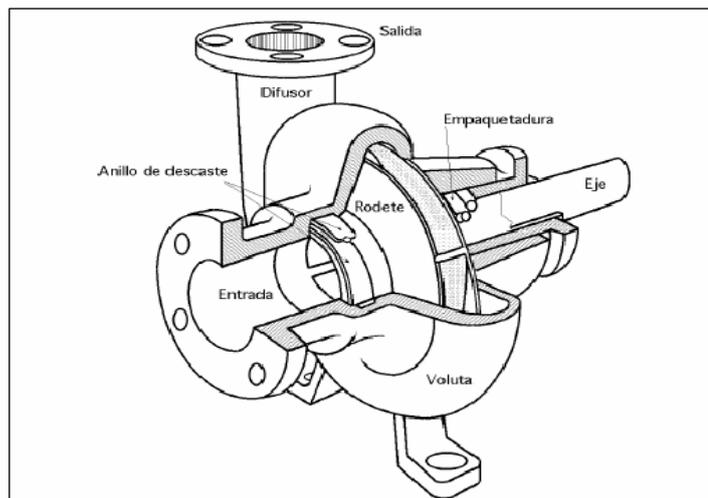


Figura 2. 5 Estacionario de una bomba centrífuga
Fuente: (Yepez, 2017)

El estacionario de una bomba, posee una cámara de entrada, o también conocido tubería de aspiración, que es por donde ingresa el fluido que se requiere impulsar, además de un rodete que se encuentra sólidamente acoplado al eje el cual realiza el movimiento, y una tubería de impulsión que es por donde sale el fluido con mayor presión debido a la energía cinética provocada por la voluta de bomba.

2.4 Tipos de arranques para motores asíncronos

2.4.1 Arranque estrella-triángulo

Según (Casals & Bosch, 2005), el arranque estrella-triángulo es uno de los arranques más utilizados en la industria por el hecho de que reduce de 6 a 7 veces la corriente de arranque de un motor, obligando a que el motor arranque en vacío o con poca carga, en la figura 2.6 se observa el esquema utilizado en un arranque estrella-triángulo, el cual se puede realizar de manera manual y automático.

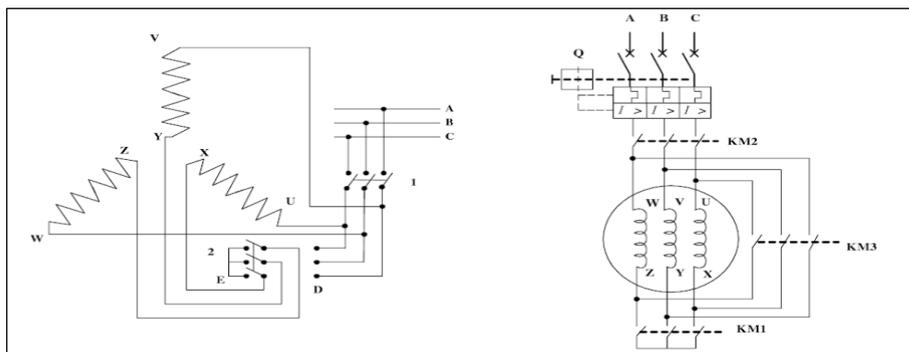


Figura 2. 6 Esquema de arranque estrella-triángulo manual y automático
Fuente: (Casals & Bosch, 2005)

En la figura 2.7 se aprecia la curva de intensidad del arranque estrella triángulo, en la cual cuando se pasa de la conexión estrella a triángulo, el motor se queda sin tensión por un corto tiempo; el tiempo medio del arranque del motor será de 3 a 7 s y respecto a la corriente de arranque, esta será de 1,8 a 2,6 veces la corriente nominal del motor. Además, se observa la curva de par, mediante la cual se puede notar que el par de arranque en carga del motor va de 0,2 a 0,5; correspondiendo a 1/3 del par nominal.

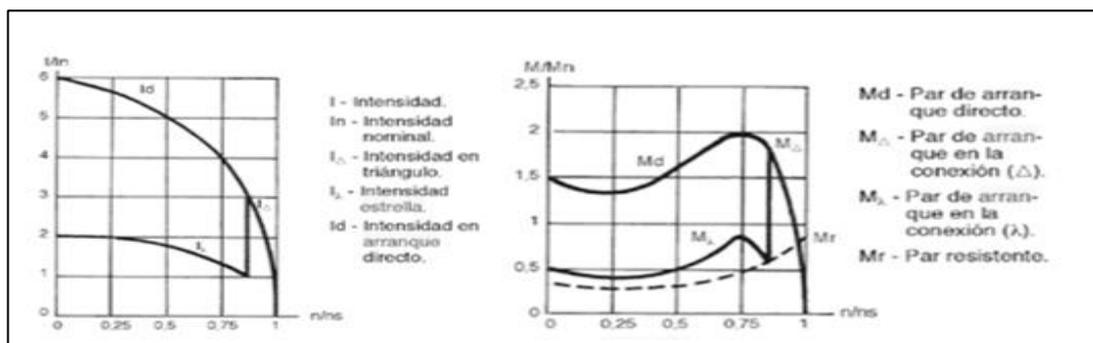


Figura 2. 7Curvas características del arranque estrella-triángulo
Fuente: (Viloria, 2003)

2.4.2 Arranque por autotransformador

Cuando se requiere delimitar la corriente inicial de arranque en motores de gran potencia, se reduce la tensión que se aplica en el mismo del tercio a la mitad del valor nominal, con la finalidad de que arranquen prácticamente en vacío, esto se logra gracias al uso de un autotransformador, una vez el motor se encuentra girando en sincronismo, se pasa a la tensión nominal. En la figura 2.8 se observa el esquema de arranque por autotransformador en las diferentes etapas de funcionamiento (Cherta, 1995).

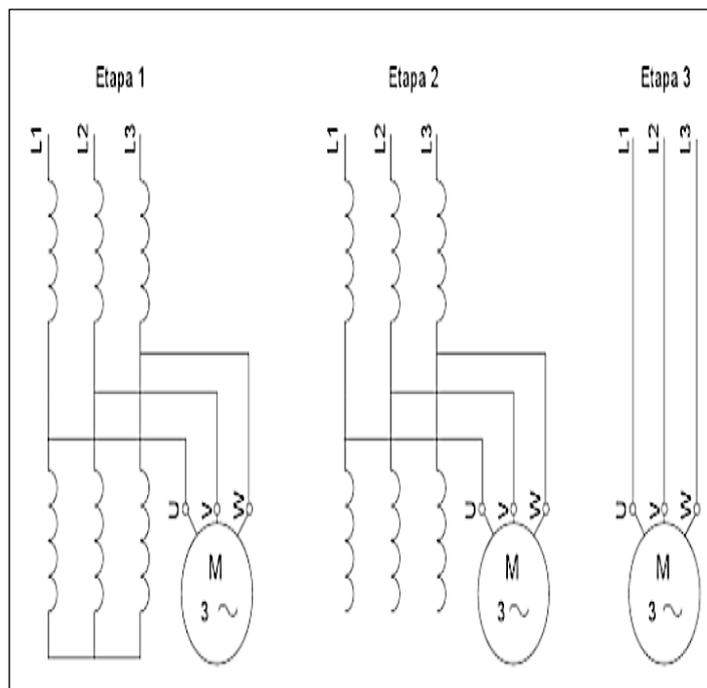


Figura 2. 8 Esquema de arranque por autotransformador
Fuente: (Fernández, Cerdá, & Bezos, 2014)

Un arranque por autotransformador no es más que un arranque indirecto que tiene como función primordial reducir la intensidad que será absorbida en el tiempo de arranque, esto permite que la corriente de arranque sea 1,7 a 4 veces la corriente nominal, con un tiempo medio en el arranque de 7 a 12 s. Cuando se realiza un arranque por autotransformador no existen limitaciones en el número de arranques que realiza el motor por hora y el dimensionamiento del autotransformador se realiza para un motor determinado. En la figura 2.9 se pueden observar las curvas características de un arranque por autotransformador (Viloria, 2003).

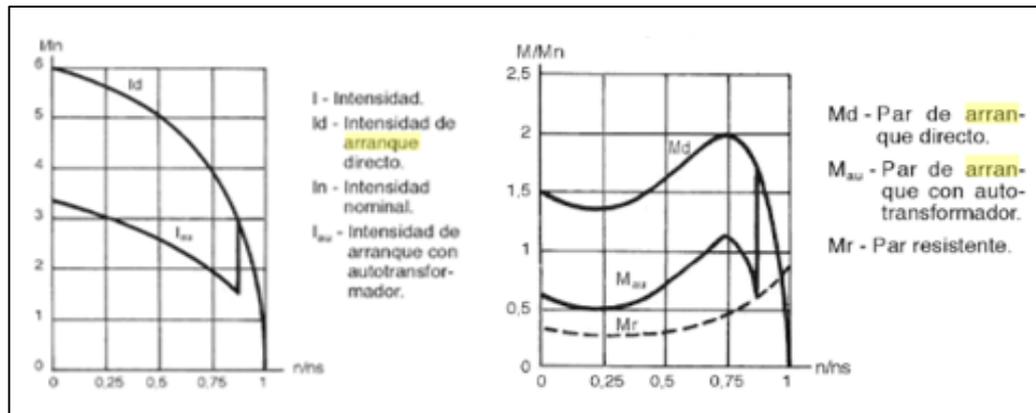


Figura 2. 9 Curvas características de un arranque por autotransformador
 Fuente: (Viloria, 2003)

2.4.3 Arranque con resistencias en serie con el bobinado del estator

Este tipo de arranque se fundamenta en la utilización de un reóstato o resistencias variables conectadas en serie con el bobinado perteneciente al estator. Para que este arranque de inicio a la marcha del motor el reóstato se debe encontrar en su máximo valor resistivo y luego se disminuye su valor paulatinamente hasta que el motor se conecta de forma directa a la tensión de la red de alimentación (Gallardo, 2013).

En la figura 2.10 se ilustra un esquema de conexiones del arranque de un motor con resistencias en serie con el bobinado del estator mismas por ley de Ohm se suman en cada línea que alimenta

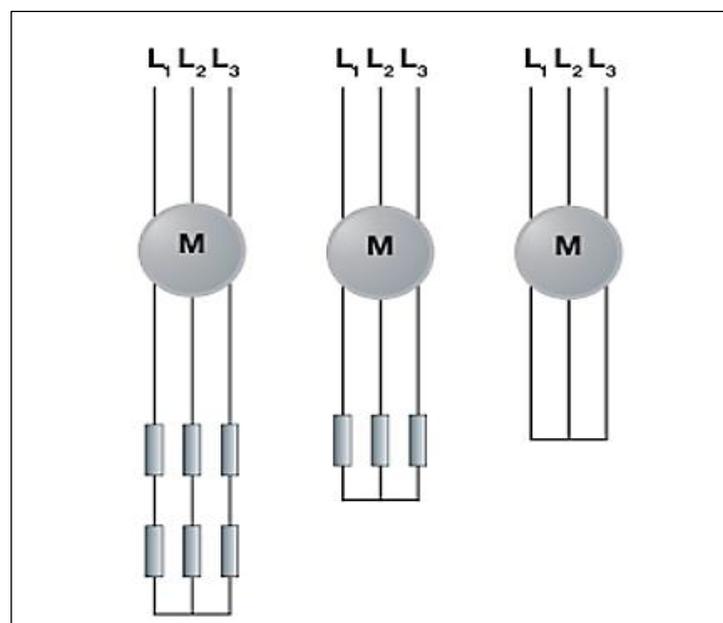


Figura 2. 10 Esquema de arranque con resistencias en serie
 Fuente: (Fidalgo, Fernández, & Fernández, 2016)

2.5 Bancos de pruebas para motores asíncronos

Un banco de pruebas para motores asíncronos sirve para realizar prácticas de funcionamiento y operación de una máquina, donde se pueden realizar todo tipo de ensayos como, arranques, mantenimientos, modificaciones de piezas, ajustes o calibración de partes mecánicas, etc. En la figura 2.11 se ilustra un modelo de un banco didáctico para pruebas de un motor asíncrono.

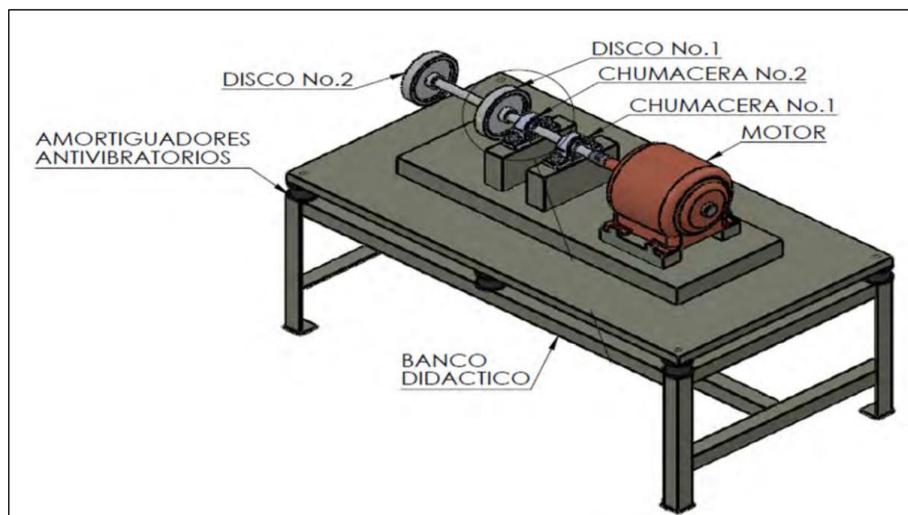


Figura 2. 11 Banco de pruebas para motores asíncronos
Fuente: (Benítez, 2013)

Las pruebas que se realizan en los bancos de prueba didácticos, dependen del tipo de análisis que se requiera realizar, y estos pueden ser vibratorios, desgaste, velocidad, entre otros. En el caso de las pruebas vibratorias se requieren equipos externos como los analizadores de vibraciones, el cual indica mediante gráficos de oscilaciones si la máquina presenta fallas, y poder determinar cuál es el método para la corrección de la misma.

Como es de conocimiento general, las pruebas vibraciones son fundamentales en mantenimientos rutinarios en todo tipo de industrias que posean maquinarias sometidas a un trabajo de producción en masa, las cuales tienen como factor común, un gran número de horas anuales de operación, y por tanto se requiere un control para garantizar un correcto funcionamiento y evitar paradas por averías.

CAPÍTULO 3

DESALINEACIÓN Y DESBALANCE EN MOTORES ELÉCTRICOS

3.1 Desalineación en motores eléctricos

Con los avances de la tecnología, el sector industrial ha debido hacer cambios e innovaciones en cuanto a sus procesos de producción, con la finalidad de elevar la competitividad. Resultado de ello, existen cada vez una mayor cantidad de motores que giran a altas revoluciones, diseñados con materiales que los vuelven más ligeros y con una mayor flexibilidad mecánica. Estas innovaciones hace que sea fundamental, todos estos cambios son fundamentales para controlar en forma eficiente cualquier incremento de las fuerzas dinámicas y estáticas de los equipos por lo que las misma llegue a producir fatiga y deterioros en sus diferentes partes de la máquina, acelerando daños e imprevistos en los sistemas. (Benítez, 2013).

Existen vibraciones producidas por diferentes daños en el grado de intensidad de las mismas es directamente proporcional a la a la interacción a las fuerzas dinámicas que se producen en las maquinas rotativas y su flexibilidad mecánica. Estudios realizados en las mismas identifican que las vibraciones producidas depende del desbalanceo, del 100% de las vibraciones el 30% es debido a su desalineamiento en 40% al desbalanceo y su restante a fallas estructurales, resonancia, rodamientos, entre otros(Benítez, 2013).

3.1.1 Causas de desalineación en motores eléctricos

Los motores eléctricos de algunas industrias trabajan en intervalos de tiempo como 12, 18, 24 horas al día o en algunas cuestiones no se detienen por la debida producción que tienen en ese momento, esto provoca un desgaste cuantitativo y cualitativo en sus partes rotativas en todo su proceso de operación, lo cual produce desbalance en sus partes rotativas asociados a las siguiente acciones:

- Daños en su funcionamiento de la maquina debido a la fuerza que ejerce los ejes horizontales desalineados.

- Calibración permanente de la máquina.
- Daños en los acoples.
- Daños en el rotor de la máquina.
- Daños en los cojinetes.

3.1.2 Consecuencias de desalineación en motores eléctricos

Cuando un motor presenta desbalance o desalineación en una de sus partes constitutivas; y en especial en las rotativas, este puede generar un grave problema, ya que puede afectar la producción de una industria. Las consecuencias que puede traer consigo la desalineación son las siguientes:

- Desgaste excesivo en los elementos rodantes.
- Desgastes en los cojinetes tanto posterior como delanteros.
- Desgastes en el eje.
- Alta temperatura en el rotor y en los rodamientos.
- Desajuste mecánico en la base y/o en la tornillería de la máquina.
- Vibración ambiental.
- Fallas por fatiga.
- Alto consumo energético.
- Reducción de la eficiencia productiva de la máquina.

Si se generalizan todas estas consecuencias que trae consigo la desalineación en los motores eléctricos, la respuesta es pérdidas económicas, puesto que no sólo puede provocar averías en las máquinas, sino que también aumenta el consumo de energía y provoca un gran desgaste en los componentes de la máquina.

3.2 Identificación de desalineamiento en motores eléctricos

Los motores eléctricos generalmente están sujetos a diversas cargas, mismas que provocan torsión, pérdida en la lubricación, calentamiento, y la suma de todos estos factores hace que la máquina sufra una desalineación en los ejes e incluso problemas de vibraciones, hecho que agrava las condiciones normales de trabajo. De acuerdo al tipo de esfuerzo a las que se encuentra sometido el motor, existen tres tipos de desalineamiento que son:

- Paralelo
- Angulares
- Mixtos

3.2.1 Desalineación en paralelo

En la desalineación en paralelo usualmente se observa un desplazamiento o una pequeña separación radial de los acoplamientos en los ejes del motor, como se observa en la figura 3.1.

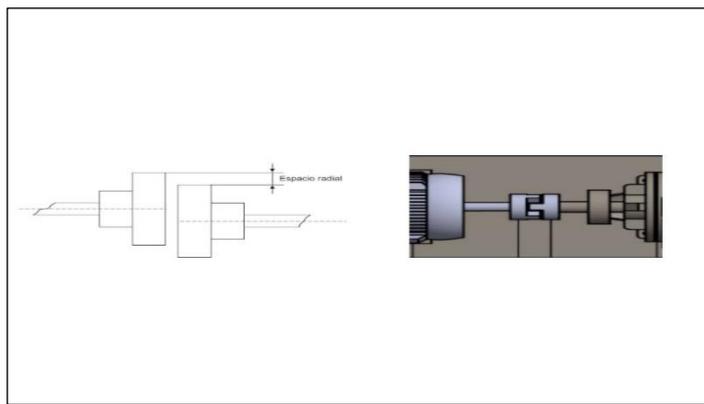


Figura 3. 1 Motor con desalineación en paralelo
Fuente: (Lita, Beltrán, & Mañes, 2006)

3.2.2 Desalineación angular

En la desalineación angular usualmente se observa un desplazamiento o una considerable separación axial de los acoplamientos en los ejes del motor, como se observa en la figura 3. 2

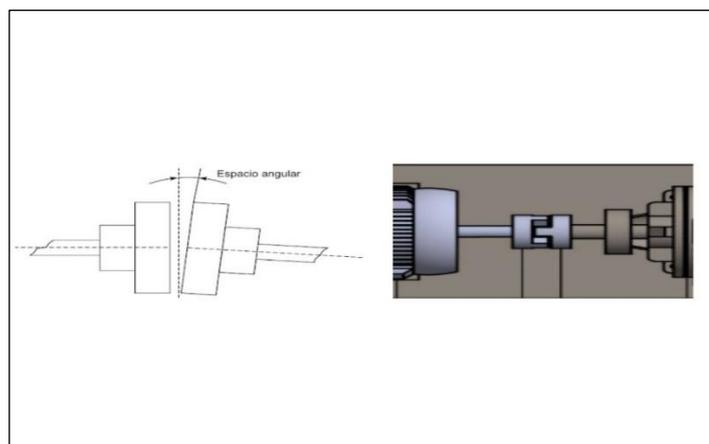


Figura 3. 2 Motor con desalineación angular
Fuente: (Lita et al., 2006)

3.2.3 Desalineación mixta

En la desalineación mixta usualmente se observa un desplazamiento o una considerable separación axial y radial de los acoplamientos en los ejes del motor, como se observa en la figura 3. 3

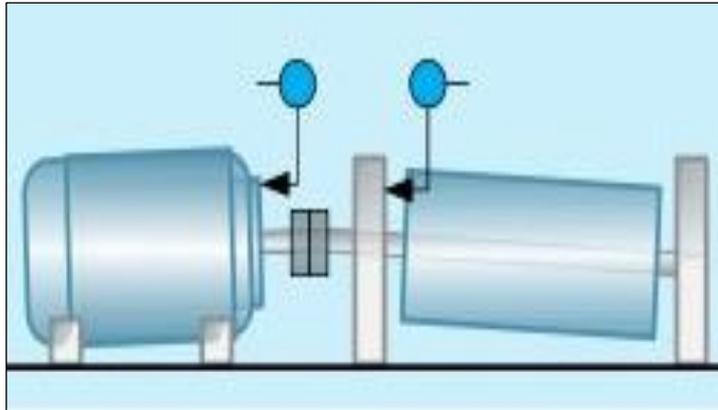


Figura 3. 3 Motor con desalineación mixta
Fuente: (Portilla, 2017)

3.3 Importancia del uso de acoplamientos en motores eléctricos

En motores eléctricos, el uso de elementos tales como acoplamientos mecánicos para ejes es de crucial importancia, ya que aumenta la transmisión de ejes conectados con diferente tipos de acoples, estén alineados entre sí mismo. En la figura 3.4 se ilustra dos ejes unidos por acoples.

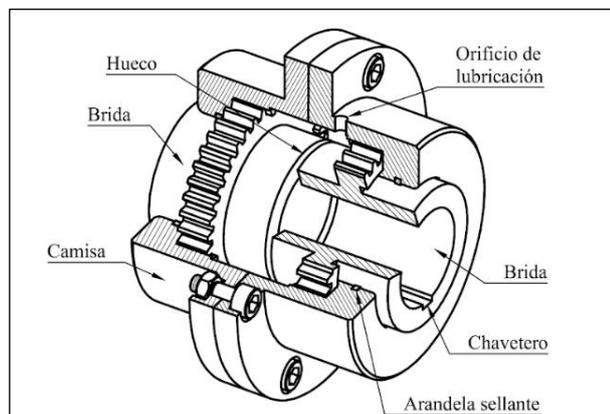


Figura 3. 4 Acoplamientos en ejes de un motor
Fuente: (Pérez, Rodríguez, & Sancho, 2007)

3.3.1 Tipos de acoplamientos

En cuanto a los tipos de acoplamientos existentes se tienen una gran cantidad de variantes, a continuación, se podrán describir los más utilizados y comunes para el uso industrial:

Acoplamientos rígidos: Se utilizan generalmente para unir dos ejes para bloquear el movimiento relativo entre ellos y se subdividen en tres tipos principales que son:

- Acoplamiento rígido de manguito con prisionero.
- Acoplamiento rígido de anillo de bloqueo.
- acoplamiento rígido para cargas pesadas.



Figura 3. 5 Tipos de acoplamientos rígidos
Elaborado: El autor

Acoplamientos flexibles: Este tipo de acoplamiento es la forma más sencilla de transmisión ya que opera uniéndolos dichos acoplos, son diseñados y utilizados más comúnmente para transmitir el torque con mayor suavidad y amortiguar las vibraciones que son en base de la desalineación en equipos rotativos y se subdividen en tres grupos principales que son:

- Acoplamiento de engranajes.
- Acoplamiento de cadenas.
- Acoplamiento de rejilla de acero.



Figura 3. 6 Tipos de acoplamientos flexibles
Elaborado: El autor

3.3.2 Aplicaciones de los acoplamientos

Cada tipo de acoplamiento es montado en el eje del motor para que realice una función específica según la aplicación para la que esté destinada la maquina rotativa.

- Los acoplamientos rígidos de manguito con prisionero se utilizan generalmente para aplicaciones a bajas revoluciones en donde las vibraciones mecánicas son mínimas.
- Los acoplamientos rígidos de anillo de bloqueo se utilizan para obtener una simetría en la transmisión del movimiento entre el motor y sus distintos tipos de estacionario.
- Los acoplamientos rígidos para cargas pesadas se usan en maquinarias que realizan grandes esfuerzos, y por lo tanto poseen un par torsión elevado, donde se requiere transmitir todo ese trabajo por medio del eje.
- Los acoplamientos de engranaje son utilizados en maquinarias que realizan grandes esfuerzos a bajas velocidades, absorbiendo vibraciones y reduciendo desalineaciones.
- Los acoplamientos de cadenas son utilizados para absorber el desalineamiento angular y paralelo en motores de gran torque y que giran a bajas revoluciones.

- Los acoplamientos de rejilla de acero posee las mismas características de los de engranjes, sólo que en lugar de dientes, posee muelles metálicos, generalmente se utiliza para los motores que tiene una gran cantidad de torque para su funcionamiento con la estacionario o por lo general las cajas reductoras que se puede aprecia en las diversas industrias.

3.3.3 Causas de fallas en acoplamientos

Los acoplamientos pueden presentar fallas, las mismas que se dividen en dos grupos:

Estas fallas suelen darse por el uso de materiales defectuosos en la construcción, así como el mal dimensionamiento de diseño y la lubricación inadecuada; esto ocasionará problemas de concentricidad y de tolerancia respecto a los diámetros que se usan como guías.

En otras fallas podremos encontrar la mala utilización de los acoples motores con torque excesivamente alto, colocando acoples que no pueden soportar dicho torque que conlleva a esto una rotura de acoples y paros en la industrial.

Estas fallas surgen por la selección inadecuada del acoplamiento a utilizarse, lo cual ocasiona un desalineamiento excesivo. La desalineación puede ser:

- Desalineación paralela: Cuando surge este tipo de desalineación el espectro de vibraciones normales presentará un índice de vibraciones elevadas. Si la desalineación paralela es grave se generan picos elevados en los armónicos de la frecuencia. En condiciones normales, esta desalineación es facil de medir y corregir.
- Desalineación angular: Surge cuando las líneas de centro de ambos ejes se fragmentan dando lugar a la formación de un ángulo, esta desalineación se caracteriza por las bajas amplitudes que presentan los armónicos de la velocidad de giro del eje.

3.4 Modelado gráfico de la desalineación en motores eléctricos

El modelado gráfico de la desalineación en motores eléctricos se lleva a cabo mediante la ayuda de la innovación tecnológica desarrollada en la última década de la cual van avanzando cada vez más y en la actualidad podremos observar una variedad de equipos de alineación a laser, la cual permite mediante sensores láser donde podremos observar que en un sensor tendremos un letra S que ese será de la estacionaria y en el otro sensor podremos observar que tenemos la palabra M que ese será colocado en el motor, visualizar el motor e indicar datos para realizar correcciones en la alineación entre ejes acoplados con diversos acopes, tal como se ilustra en la figura 3.7, donde se puede observar un dispositivo para alineación láser el cual presenta un modelado 3D en tiempo real de un motor, viene incluido su software con el que lleva a cabo su alineación el programa se llama Gopro.



Figura 3. 7 Modelado gráfico en equipo de alineación láser
Fuente: (SKF, 2017)

Este tipo de modelado hace que la utilización de estos equipos sea fácil al momento de corregir desalineaciones que causan vibraciones en los motores e incluso causa daños en los rodamientos, cojinetes, acoples, estacionarias, etc. Ya que le indica al operador del instrumento después de haber tomado las medidas respectivas del motor junto con la estacionaria el tipo de chapa o laina calibrada que debe usar lo que llamamos verticalmente y en donde debe ser ubicado el motor que en ese caso es la parte horizontal para que lado debe estar correctamente ubicado; lo que reduce el tiempo del mantenimiento, fallos inesperado que usualmente ocurre en las industrias y su precisión.

CAPÍTULO 4

DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN MOTORES

4.1 Uso de chapas calibradas

4.1.1 Especificaciones

Para las máquinas montadas horizontalmente existe un elemento más comúnmente utilizado para cambiar la altura o el paso de una carcasa de la máquina es el calzo. El material de estas chapas o también llamadas "lainas" es el metal laminado o rectificado, a un espesor que varía de 0.05 hasta 2 mm. Las lainas de más de 2 mm generalmente se conocen como "espaciadores" o "placas". La reserva de cuñas está comúnmente disponible en latón, acero al carbono o acero inoxidable, pero puede fabricarse con prácticamente cualquier metal (o plástico) Si es deseado. La precisión del grosor es normalmente del 5% del espesor nominal. Por ejemplo, una cuña de 0.10 podría oscilar entre 0.08 y 0.12 mm. Las lainas se venden típicamente en anchuras de las lainas son de 50x50 mm, 75x75 mm, 100x100mm, hasta 125x125 mm.

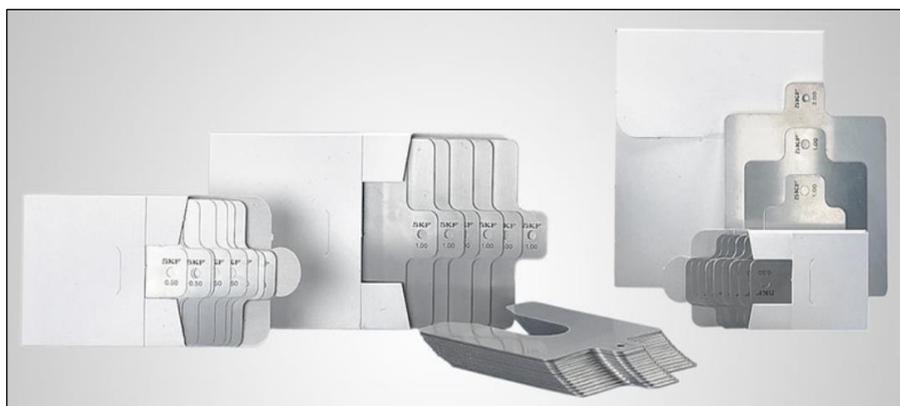


Figura 4. 1 Lainas o chapas calibradas para alineación de motores
Fuente: (SKF, 2018)

En cuanto a la venta de kits de chapas calibradas para alineación, existen diversos fabricantes, y uno de ellos es SKF, empresa líder en los Estados Unidos, la cual provee de este tipo de suministros localmente y a nivel mundial, en la tabla 4.1 se muestran las especificaciones de uno de los kits más completos para alineación del cual constan de diversas dimensiones de las lainas para motores pequeños medianos y grandes, del cual tendremos

diámetros diferentes de 0.05 milímetros, 0.010 milímetros, 0.20 milímetros, 0.25 milímetros, 0.50 milímetros, 0.70 milímetros, 0.75 milímetros, 1 milímetro, 2 milímetros de motores montados horizontalmente, llamado TMAS 720.

Tabla 4. 1 Especificaciones del kit de chapas calibradas para alineación

Designación	<u>TMAS 720</u>		
<i>Tamaño de chapa calibrada (mm)</i>	50 x 50 mm		
	75 x 75 mm		
<i>Cantidad por grosor</i>	20		
<i>Grosor (mm)</i>	0,05	0,25	0,70
	0,10	0,40	1,00
	0,20	0,50	2,00
<i>Tamaño de chapa calibrada (mm)</i>	100 x 100 mm		
	125 x 125 mm		
<i>Cantidad por grosor</i>	20		10
<i>Grosor (mm)</i>	0,05	0,40	2,00
	0,10	0,50	
	0,20	0,70	
	0,25	1,00	
<i>TMAS 720 se suministra en 2 maletines de transporte; TMAS 340 y TMAS 380</i>			

Fuente: (SKF, 2018)

4.1.2 Procedimiento para el uso del Fixturlaser

Fixturlaser es un dispositivo que permite ajustar la posición correcta en la que se encuentra acoplada motor con estacionaria, esto permitirá que los centros de giro de los ejes estén colineados cuando las máquinas inicien su funcionamiento a una temperatura normal. La alineación de los ejes se puede hacer en máquinas horizontales o verticales.

La alineación horizontal de dos máquinas acopladas se realiza al deslizar las patas delanteras como las patas posteriores del motor como horizontal lo cual se observa en la figura 4.2, hasta que los ejes se encuentren en rangos de tolerancias aceptables.



Figura 4. 2 Alineación horizontal de ejes
Fuente: (Elos Fixturlaser, 2014)

Cuando ya se han girado los ejes a posiciones diferentes como se muestra en la figura 4.3, se calcula la distancia referente entre los ejes en dos planos, para ello se debe introducir en el sistema las mediciones entre laser la medición entre los acoples y las mediciones pies de la máquina, una vez ingresados estos datos se obtiene la alineación real y la posición de los pies.

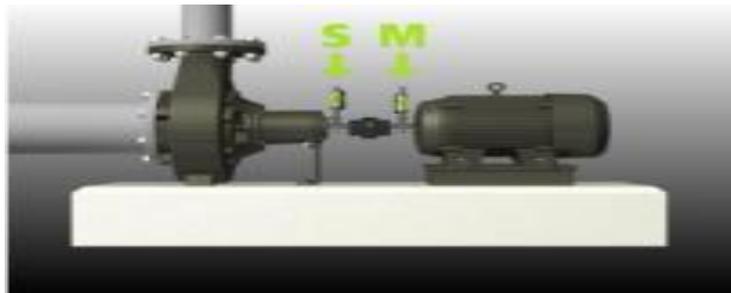


Figura 4. 3 Representación de montaje de FIXTURLASER
Fuente: (Elos Fixturlaser, 2014)

El montaje de Fixturlaser en los ejes de los motores es el siguiente:

Fixturlaser posee sensores, uno de ellos está etiquetado con una "M" el mismo que será colocado en la máquina móvil en este caso motor eléctrico; el otro sensor se encuentra etiquetado con "S" por ende será colocado en la máquina fija en este caso sería la estacionaria. Los sensores antes mencionados deben encontrarse en el dispositivo V – block a cada lado de los acoplamientos. Se debe posicionar de manera vertical el V – block y ubicarlo en los ejes de las máquinas tan como se muestra en la figura 4.4.



Figura 4. 4 Ubicación vertical de V – block.
Fuente: (Elos Fixturlaser, 2014)

Se debe alzar el extremo accesible de la cadena tal como se muestra en la figura 4.5; tensandola para que se elimine el aflojamiento y lograr fijar el gancho del cual vamos a moverlos para tomar las diversas mediciones que son en 3 tipos de angulos diferentes.



Figura 4. 5 Levantamiento de cadena.
Fuente: (Elos Fixturlaser, 2014)

Despues, se debe apretar la cadena con el tornillo que funciona de tensor tal como se muestra en la figura 4.6. No debe ser tensado en exceso osea un ajuste adecuado para no dañar la cadena, además si

el diametro del eje es mucho mas grande las cadenas se alargan mediante cadenas de extensión.



Figura 4. 6 Ajuste de tornillo tensor.
Fuente: (Elos Fixturlaser, 2014).

Se debe realizar el ajuste de la altura a la cual se encontrará el sensor, para lo cual se debe deslizar sobre los montantes hasta conseguir una línea visual para los láseres. En la figura 4.7 se observa que la ubicación es sostenida mediante dos dispositivos de sujeción, los mismos que se encuentran en la parte trasera del dispositivo.



Figura 4. 7 Dispositivos de sujeción
Fuente: (Elos Fixturlaser, 2014)

Para realizar la corrección de alineamiento vertical de ejes, se debe mover la brida de la máquina tal como se muestra en la figura 4.8, hasta que

se logre conseguir una alineación dentro del rango de las tablas de tolerancia, las cuales vienen dadas en los sistemas de alineación.



Figura 4. 8 Alineación vertical de ejes
Fuente: (Elos Fixturlaser, 2014)

Una vez se giran los ejes a posiciones de medida distintas como se muestra en la figura 4.9, el software de este dispositivo calcula la distancia de ambos ejes en dos planos; para ello se debe introducir en el sistema las distancias entre los planos de medición, la distancia al acoplamiento, el número de pernos y el diámetro del círculo, una vez ingresados estos datos se obtiene la alineación real.



Figura 4. 9 Representación de montaje vertical
Fuente: (Elos Fixturlaser, 2014)

En la alineación mediante Fixturlaser se debe comprobar si el motor ha sido ajustado de manera vertical en la pantalla de ajuste de suplementos, de ser el caso se realiza directamente la alineación horizontal.

En la alineación en sentido horizontal, se deben girar los ejes a una posición 3 o 9 para realizar los respectivos ajustes de sentido horizontal. Mediante el ángulo guía de logra establecer la posición correcta.

Tal como se muestra en la figura 4.10, el motor debe ser ajustado hasta de los valores de alineación angular y paralela se encuentre dentro de los rangos de tolerancia aceptados.

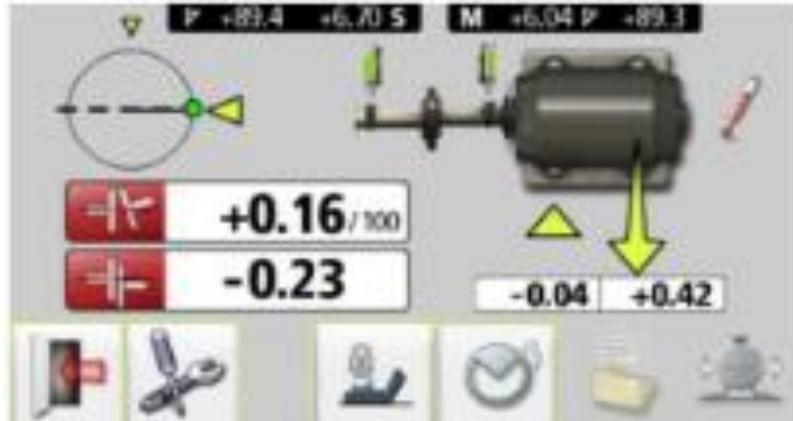


Figura 4. 10 Alineación horizontal con Fixturlaser.
Fuente: (Elos Fixturlaser, 2014)

En la alineación en sentido vertical, los ejes de los motores deben encontrarse en posición 12 o 6 para realizar los respectivos ajustes de sentido vertical. Mediante el ángulo guía de logra establecer la posición correcta.

Tal como se muestra en la figura 4.11, el motor debe ser ajustado verticalmente hasta de los valores de alineación angular y paralela se encuentre dentro de los rangos de tolerancia aceptados.

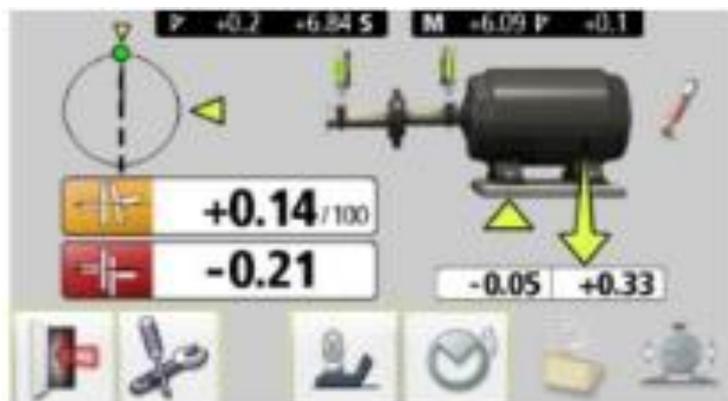


Figura 4. 11 Alineación vertical con Fixturlaser
Fuente: (Elos Fixturlaser, 2014)

Los técnicos encargados de realizar la alineación de ejes mediante Fixturlaser deben realizar control y repeticiones en las mediciones, para ello deben estar comprobando girando los ejes en diversos tipos de ángulos de un

plano cartesiano, la máquina se encuentra perfectamente alineada dentro de los rangos tolerancias establecidas.

Para obtener una correcta alineación de ejes se deben determinar planes correctivos, los cuales permitan una mayor eficiencia de las máquinas.

Para realizar la alineación láser de ejes mediante Fixturlaser se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Ajuste aproximadamente la posición axial de la máquina asegurando que el extremo del eje a la distancia del extremo del eje sea de +2.54 mm de la dimensión final deseada.
- Realice un gran movimiento hacia arriba y hacia abajo agregando o extrayendo calzas entre las patas de la maquinaria y la placa base.
- Haga un movimiento bastante grande en la dirección lateral (de lado a lado) en uno o todas las máquinas.
- Realice un pequeño movimiento (recorte) hacia arriba y hacia abajo agregando o quitando laines entre las patas de la maquinaria y la placa base.
- Realice un pequeño movimiento (recorte) en dirección lateral (de lado a lado) en una o todas las máquinas.
- Ajuste la posición axial de la maquinaria asegurando que el extremo del eje al extremo del eje la distancia es +10 mils de la dimensión final deseada.

4.2 Diagnóstico con tecnología láser

Las maquinas rotativas están expuestas a sufrir problemas de desalineación, lo cual genera altos costos a las industrias por motivos de mantenimiento correctivo o en casos paras inesperadas. La alineación de precisión láser permite que se alargue la vida útil de los motores, además de aumentar el tiempo en que suceden fallos en los mismos, del cual dan tiempo a crear un cronograma de manteamiento para el motor. Al realizar esta alineación se garantiza:

- Reducción en el consumo de energía.

- Menor cantidad de fallos relacionados con el rodamiento, junta, eje y acoplamiento.
- Disminución en las temperaturas de los rodamientos y acoplamientos.
- Reducción de las vibraciones.
- Ausencia de aberturas en los ejes.

Los sistemas de alineación láser poseen cuatro elementos: un emisor láser, un detector láser, herramienta de montaje láser y detector a los ejes, además de un módulo de operación. Estos sistemas pueden ser alámbricos o Wireless vía Bluetooth para establecer la comunicación de los dispositivos.

Existen tres tipos de sistemas de alineación láser, los cuales dependerán de la forma de emisión y recepción de la señal láser:

- Sistema de mono emisor-receptor
- Sistema de emisor-receptor dual
- Sistema de alineación de un emisor con divisor láser

Para el sistema de mono emisor-receptor, el láser montado en uno de los ejes es proyectado hacia un prisma, que se encuentra sobre el otro eje. El rayo es reflejado de vuelta en 180°, para luego ser detectado por un fotodiodo. Para cumplir con este propósito, se debe centrar en la posición de las 12 en punto del reloj, deslizando el prisma hacia arriba o hacia abajo sobre las barras de soporte y en ángulo horizontal para que el haz reflejado golpee en el centro del objetivo del fotodiodo, como se ilustra en la figura 4.12.

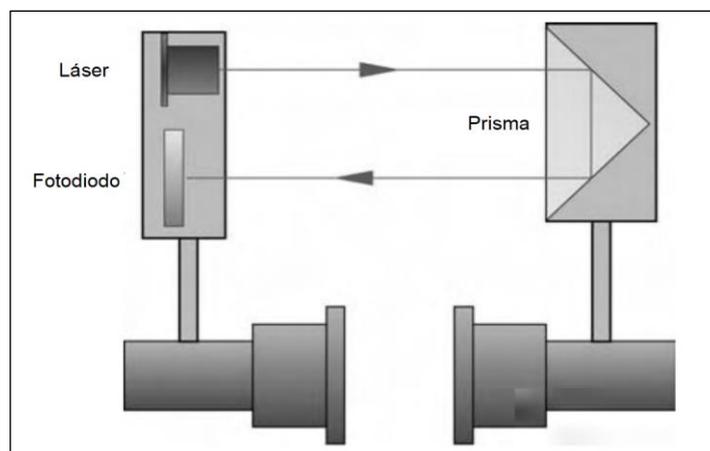


Figura 4. 12 Sistema mono emisor-receptor
Elaborado: El autor

Para el sistema emisor-receptor dual, el ensamblaje de detector de láser debe ir montado en un eje con el láser hacia arriba y el detector hacia abajo. El otro conjunto de detector de láser está montado en el otro eje con el láser hacia abajo y el detector hacia arriba. Cada haz es centrado en el objetivo opuesto del fotodiodo al lanzar cada láser hacia arriba o hacia abajo y de lado a lado con los tornillos de ajuste, lo cual se ilustra en la figura 4.13.

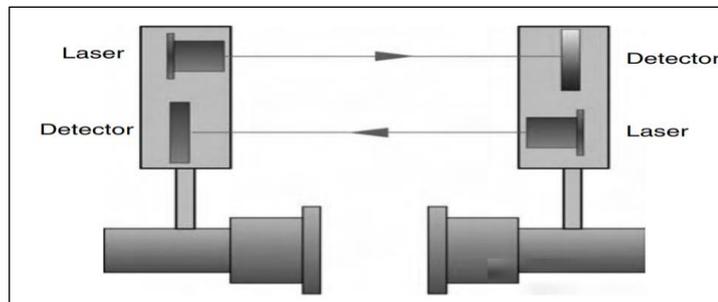


Figura 4. 13 Sistema emisor-receptor dual
Elaborado: el autor

En la figura 4.14 se ilustra un sistema en el que se proyecta un sólo láser a un divisor de haz donde parte de la luz pasa directamente a un fotodiodo y el resto se refleja en un ángulo de 90° a otro fotodiodo. Los láseres visibles se utilizan en los sistemas actualmente ofrecidos. Algunos de los sistemas emplean dos láseres y dos detectores. Algunos de los sistemas tienen un cable que se conecta desde el módulo de interfaz del operador a los láseres y detectores que suministran la energía necesaria para disparar los láseres y recibir la señal de los detectores. Algunos de los sistemas tienen baterías dentro del gabinete del láser o del detector y los datos se transmiten de manera inalámbrica al módulo de interfaz del operador a través de transmisiones de datos infrarrojos.

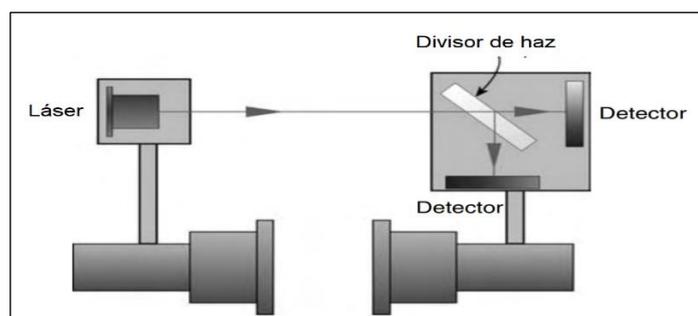


Figura 4. 14 Sistema emisor-receptor dual
Elaborado: el autor

Cuando se unen a ejes montados horizontalmente, muchos de los sistemas también tienen un sensor de posición angular que determina la posición del láser o detectores a medida que los ejes se rotan para capturar las mediciones posicionales del eje.

4.3 Señales de desalineamiento entre ejes

En motores existen varias señales que indican el desalineamiento entre los ejes; entre estas señales se tienen:

- Fallas tempranas en sellos, acoplamientos o ejes.
- Vibraciones radiales y axiales excesivas.
- Mayor cantidad de fugas de aceites en sellos de los descansos.
- Pernos flojos en fundaciones y acoplamientos.
- Temperaturas elevadas en los acoplamientos al ser detenidos.
- Mayor consumo eléctrico del motor.

4.3.1 Rangos de tolerancia

Si bien es cierto que los equipos con tecnología láser, poseen una gran precisión, también es de conocimiento que por las diferentes condiciones que presentan cada uno de los equipos no existen alineaciones perfectas, para ello existen rangos de tolerancias en los que se garantiza que la maquinaria va a funcionar sin problemas, y reduciendo al mínimo las vibraciones; ya que cada motor posee su propio rango de acuerdo a la velocidad de giro esto quiere decir las revoluciones por minuto rpm y a la desalineación angular a la que está expuesto por motivo del esfuerzo, el tipo de acoplamiento seleccionado, dado que pueden ser de un eje intermedio mayor a los 500 mm o de ejes directamente acoplados, además de la vibración mecánica que produce el giro del eje y el desgaste en los rodamiento que también puede producir las vibraciones.

El criterio llamado CSI de la compañía fabricante Emerson, la cual se es especialista en análisis de vibraciones y alineación, basaron su criterio en las revoluciones de giro en (rpm), la desalineación angular en (mrad), y la desalineación paralela en (mm), en la figura 4.6 se muestran los diagramas con los rangos aceptables y excelentes de alineación, y a partir de ello los

valores que se encuentran fuera del rango establecido, como se muestra en la figura 4.15 donde podremos observar la curva de desalineación por el cual nos figuremos para nuestro proyecto la cursa c comparando con la tabla 4.2 podremos obtener rangos de tolerancia para la alineación a laser.

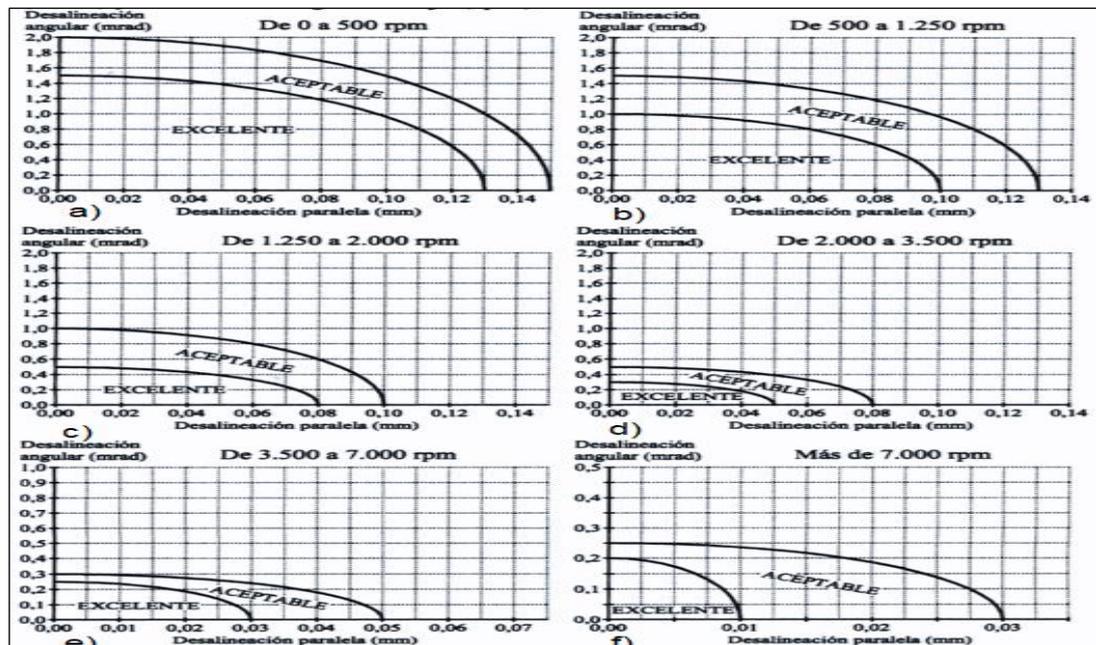


Figura 4. 15 Guía de tolerancias para alineación de ejes Fuente: (Lita et al., 2006)

En caso de que no existan tolerancias recomendadas emitidas por el fabricante de los motores se puede utilizar la tabla 4.2, la cual es una guía en la que se establecen las desviaciones máximas permitidas.

Tabla 4. 2 Tolerancias de desalineamiento recomendadas según Ludeca

	[RPM]	Tolerancias			
		métricas [mm]		pulgadas [mils]	
Pie cojo	cualquiera	0.06 mm		2.0 mils	
Acoplamiento corto flexible		Acceptable	Excelente	Acceptable	Excelente
		OK	😊	OK	😊
Paralelo 	600			9.0	5.0
	750	0.19	0.09	6.0	3.0
	900			4.0	2.5
	1200				
	1500	0.09	0.06	3.0	2.0
	1800				
	3000	0.06	0.03	1.5	1.0
	3600				
	6000	0.03	0.02	1.0	0.5
	7200				
Angularidad (Correspondiente a la diferencia entre los bordes del acoplamiento por cada 100 milímetros o cada 10 pulgadas de diámetro del acople) 	600			15.0	10.0
	750	0.13	0.09	10.0	7.0
	900			8.0	5.0
	1200	0.07	0.05	5.0	3.0
	1500				
	1800	0.04	0.03	3.0	2.0
	3000	0.04	0.03	3.0	2.0
	6000	0.03	0.02	2.0	1.0
7200					

Fuente: (Torres, 2015)

4.3.2 Señales vibratorias del desalineamiento

Las vibraciones que proceden de las máquinas no siempre tienen señales sinusoidales, ya que pueden estar conformadas por varias fuerzas variables creadas en diversas frecuencias, estas fuerzas se suman originando una forma de onda mucho más compleja.

En la figura 4.16 se muestra en el literal a) desalineamiento en el cual se considera que por cada giro del eje que tenga desalineación en paralelo, solo en una de las trayectorias radiales, ello generará una componente que sea igual a la velocidad de giro de la máquina ocasionado por el desbalance existente; en el literal; b) se observa que debido al cambio en la rigidez del acople originado por el desalineamiento, se produce una segunda componente, es decir que por cada vuelta del eje se originan dos eventos; en el literal; c) se visualiza una onda compleja la cual se origina de la sumatoria de las componentes, esta onda compleja varía de forma de acuerdo a la relación de fases que existe entre una componente y otra.

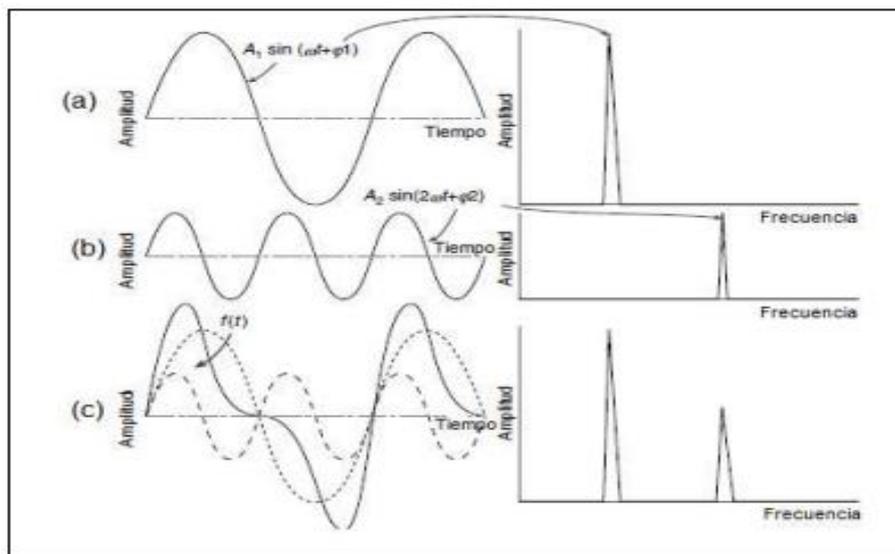


Figura 4. 16 Generación de la onda compleja
Fuente: (Torres, 2015)

Entre las señales de vibración por desalineamiento se tiene las siguientes:

- Formas de onda repetitivas en cada vuelta del eje, lo cual permite diferenciarla de soldaduras mecánicas.

- Cuando el desalineamiento ocurre en un mismo plano, se producirán mayor cantidad de vibraciones, debido a esto se pueden originar diversos espectros ya sea en la dirección axial, vertical u horizontal.
- Al existir desalineamiento, se producen sobrecargas que aumentan la temperatura del metal blanco de cada descanso hidrodinámico en la zona de carga.

4.4 Evaluación operativa del motor eléctrico

Las evaluaciones operativas se basan en el rendimiento del motor y sus condiciones de funcionamiento ya sea en vacío o con carga, para lo cual se realizan una serie de procedimientos, mismos que sirven para detectar el deterioro, o fallos cuando este se encuentra trabajando.

La detección de fallas consiste en medir (de forma continua o discreta) los parámetros (directos o indirectos) que caracterizan el estado técnico del motor en servicio; parámetros que llevan a establecer el estado real de un artículo en particular y establecer su posible tiempo de utilización, hasta el instante en que alcance su estado límite. Todo esto, se conoce como mantenimiento, mismo que se realiza de acuerdo a las necesidades de cada industria y pueden presentarse en tres etapas distintas.

- **Mantenimiento predictivo:** Es una técnica no invasiva, la cual toma parámetros tanto eléctricos como mecánicos para ser comparados con los datos de placa o valores iniciales de funcionamiento de la máquina y anticiparse a un posible deterioro de la máquina.
- **Mantenimiento preventivo:** Es una técnica invasiva, misma que para ser realizada debe detenerse la operación de la máquina para evaluar sus componentes y realizar ajustes de piezas, alineación, entre otras.
- **Mantenimiento correctivo:** Es una técnica de carácter invasivo, ya que se trata de la corrección de un fallo, en donde es enteramente posible reemplazar la pieza o elemento afectado por un nuevo o reconstruido, y así poner nuevamente en funcionamiento la máquina. Podemos concluir que el análisis de vibración y una alineación a laser entre ejes en los motores podremos alargar la vida útil del motor eléctrico.

CAPÍTULO 5

NORMATIVAS DE ALINEACIÓN PARA MOTORES ELÉCTRICOS

5.1 Norma de suministro eléctrico Normativa internacional

- Norma de suministro eléctrico Norma ISO 2372

En 1974, la Organización Internacional de Normalización emitió su Norma ISO 2372 ('Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación de 10 a 200 revoluciones por segundos, el cual sirve como base para especificar estándares de evaluación), que especifica el máximo aceptable gravedad de la vibración de acuerdo con el tipo y tamaño de la máquina.

La experiencia ha demostrado que cuando se exceden estos valores para períodos de tiempo más largos, daño de la máquina (especialmente daño) debe ser esperado.

Aunque este estándar ISO fue uno de los primeros en aparecer en la industria, ha ganado amplio reconocimiento y aceptación. Como resultado, muchas otras organizaciones han ideado estándares basados en esta especificación.

ISO 2372 define la resistencia a la vibración de una máquina como el mayor valor efectivo de la velocidad de vibración que se produce en ubicaciones funcionalmente importantes dentro de un rango de frecuencia de 10 Hz a 1000 Hz. Este valor efectivo es la media cuadrática de la velocidad de vibración. Este valor se compara luego con las tolerancias establecidas como observemos en la tabla 5.1 la distribución de rangos para seis clases diferentes de máquinas definidas de la siguiente manera:

- Clase I: Máquinas pequeñas y partes individuales de motores y máquinas, conectadas integralmente con la máquina completa en su condición de funcionamiento normal. (Los motores de producción eléctrica de hasta 15 kW son ejemplos típicos de máquinas en esta categoría).

- Clase II: Los motores eléctricos típicamente los de potencia entre 15kw a 75kw, sin cimientos especiales, motores montados rígidamente (hasta 300 kW) en funcionamiento especiales.
- Clase III: Los motores eléctricos primario u otras máquinas de rotación pueden estar montadas en bases rígidas las cuales se puede tomar mediciones por medio de un análisis de vibración.
- Clase IV: motores primarios grandes y otras máquinas grandes con masas giratorias montadas sobre cimientos que son relativamente suaves en la dirección de medición de la vibración (por ejemplo, conjuntos de turbogeneradores, especialmente aquellos con subestructuras livianas).
- Clase V: Máquinas y sistemas de transmisión mecánica con esfuerzos de inercia no balanceables (debido a las piezas recíprocas), montados en cimientos que son relativamente rígidos en la dirección de medición de la vibración.
- Clase VI: Máquinas y sistemas de accionamiento mecánico con efectos de inercia desequilibrables (debido a las piezas recíprocas), montados en cimientos que son relativamente suaves en la dirección de las mediciones de vibración; máquinas con masas rotativas flojas, tales como ejes batidores en molinos de trituración; máquinas, como máquinas centrífugas, con desequilibrios variables capaces de funcionar como unidades autocontenidas sin componentes de conexión; cribas vibratorias, máquinas dinámicas de prueba de fatiga y excitadores de vibración utilizados en plantas de procesamiento.

Tabla 5. 1 Rangos de vibraciones en máquinas rotativas

Rango de Velocidad Efectiva (mm/s RMS)	Tipo de Máquina			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,18 - 0,28	A	A	A	A
0,28 - 0,45				
0,45 - 0,71				
0,71 - 1,12	B	B	B	B
1,12 - 1,8				
1,8 - 2,8	C	C	C	C
2,8 - 4,5				
4,5 - 7,1	D	D	D	D
7,1 - 11,2				
11,2 - 18				
18 - 28				

Fuente: (Ortega, 2007)

Las clases V y VI describen máquinas especiales que son difíciles de categorizar. Por ejemplo, una centrífuga debe ser capaz de ceder a altas fuerzas dinámicas. Esto hace que sea difícil especificar una tolerancia de severidad de vibración particular. La tabla de tolerancia está por lo tanto limitada a los equipos encontrados más comúnmente de las clases I a IV.

5.2 Requerimientos internacionales

- Norma de suministro Norma MIL-STD-167-1 y MIL-STD-167-2

Normas militares proporcionan criterios para un nivel de vibraciones límite.

- Norma MIL-STD-167-1 establece requisitos y criterios de aceptación para: pruebas de vibración ambiental de los equipos, equilibrar las máquinas rotatorias que han sido sometidas a vibraciones inducidas internamente en el funcionamiento de las mismas. Los métodos de prueba que se establecen en esta norma se aplican a equipos instalados en buques sometidos a vibraciones mecánicas del medio y a la excitación interna provocada por los componentes rotativos que no se encuentran balanceados.
- Norma MIL-STD-167-2 establece requisitos y criterios que cubran a la maquinaria recíproca, vibraciones laterales y longitudinales del sistema de propulsión y ejes de máquinas medianas.

- Normas de suministro eléctrico NEMA

National Electrical Manufacturers Association, se trata de una organización de normalización de Estados Unidos, que informa estándares técnicos y regulaciones de mantenimiento, montaje e instalación de máquinas para aplicaciones industriales.

Los estándares presentados hacen referencia a la protección de las personas en cuanto al contacto involuntario con objetos pertenecientes al equipo y a factores externos que puedan surgir. Para ello NEMA cuenta con una clasificación dependiendo del grado de protección, la cual se presenta en la tabla 5.2.

Tabla 5. 2 Clasificación NEMA de los grados de protección

Grado de protección	Descripción
NEMA 1	Instalación interior, protege contra la caída de suciedad
NEMA 2	Instalación interior, protege contra la caída de suciedad y el goteo de agua
NEMA 3	Instalación exterior, protege contra lluvia, aguanieve y polvo transportado por el viento; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario
NEMA 3R	Instalación exterior, protege contra lluvia, aguanieve; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario
NEMA 3B	Instalación interior o exterior, protege contra lluvia, aguanieve y polvo transportado por el viento; además, los mecanismos externos permanecen operativos a pesar de la formación de hielo
NEMA 4	Instalación interior o exterior, protege contra el polvo transportado por el viento y la lluvia, salpicaduras de agua y agua proyectada; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario
NEMA 4X	Instalación interior o exterior, protege contra el polvo transportado por el viento y la lluvia, salpicaduras de agua, agua proyectada y corrosión; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario
NEMA 5	Protección interior contra caída de suciedad, acumulación del polvo del aire ambiental, así como contra el goteo de líquidos no corrosivos
NEMA 6	Protección interior o exterior contra caída de suciedad, chorro de agua y entrada de agua a causa de la inmersión parcial, limitada a una profundidad determinada; así como protección contra daños provocados por la formación de hielo
NEMA 6P	Protección interior o exterior contra proyección de agua y entrada de agua a causa de la inmersión prolongada a una profundidad determinada; así como protección contra daños provocados por la formación de hielo
NEMA 12	Protección interior contra caída de suciedad, acumulación del polvo del aire ambiental, así como contra el goteo de líquidos no corrosivos.
NEMA 13	Protección interior contra polvo, caída de suciedad, salpicaduras de agua y aceite, así como medios refrigerantes no corrosivos

Fuente: (Rittal Disprel S.A, 2018)

5.3 Normas de mantenimiento industrial

- Norma de suministro Norma EASA AR100 – 2015

El objetivo de esta norma es establecer prácticas recomendadas durante cada etapa de los procesos de mantenimiento, rebobinado y reconstrucción de motores. Además, describe la importancia de los archivos de registros, pruebas, análisis y criterios generales que deben tomarse para la reparación y mantenimiento de motores eléctricos rotativos de inducción, síncronos y de corriente continua, siguiendo también las especificaciones particulares de los fabricantes de los motores.

- Norma de suministro Norma IEEE 43 – 2013

Norma avalada por Institute of Electrical and Electronics Engineers, en la cual se describe el procedimiento utilizado en la comprobación de la resistencia del aislamiento de las bobinas de los motores de potencias mayores a 750 w, que utilizan corriente continua.

Además, en esta norma se mencionan las características propias que presenta la resistencia del aislamiento de las bobinas y como estas características inciden en las condiciones del bobinado, recomendando así valores mínimos de resistencia de aislamiento que sean aceptables.

- Norma de suministro Norma IEEE 95 – 2016

Norma avalada por Institute of Electrical and Electronics Engineers, la cual recomienda diferentes prácticas para aplicarse a las bobinas de motores de corriente alterna de 2300 V o más; mediante estas prácticas se establecen métodos funcionales para las pruebas de aislamiento con alto voltaje directo.

Entre los objetivos de realizar estas prácticas se tienen las siguientes:

- Dotar de procedimientos que permitan realizar pruebas de aceptación de HiPot DC y pruebas de rutina para el mantenimiento del aislamiento de las bobinas de los motores AC, darnos un diagnostico claro y preciso.
- Proporcionar una pauta para analizar las variaciones que pueden existir entre la corriente medida y el voltaje que se aplica.

PARTE II APORTACIONES

CAPÍTULO 6

DISEÑO DEL BANCO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS DE ALINEACIÓN

6.1 Generalidades de diseño

Para el presente proyecto de diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de alineación láser de motores eléctricos, se seleccionó un software para diseño de equipos y elementos industriales, llamado Autodesk Inventor, con la finalidad de detallar en un plano tridimensional cada una de las partes constitutivas del proyecto con sus respectivas cotas de diseño y el despiece de armado, mismo que luego fue exportado para su visualización en AutoCAD.

6.2 Partes constitutivas del proyecto

En el diseño de cada una de las partes se consideró los elementos que más se acercan a las aplicaciones en industrias como es el caso de las bombas las cuales son utilizadas para impulsar fluidos aumentando su presión de salida con respecto a la de entrada. A continuación, se describen las partes de mayor importante que se incluyeron en el diseño: La estructura principal del banco es de hierro, cuyas medidas de diseño son de 100,1cm. x 71,0cm, donde serán montadas otras partes constitutivas del banco didáctico. En la figura 6.1 se ilustra una vista de planta de la estructura de soporte con su respectiva base que tiene dimensiones de 60cm. x 25.5cm. y la bomba instalada con todos sus elementos.

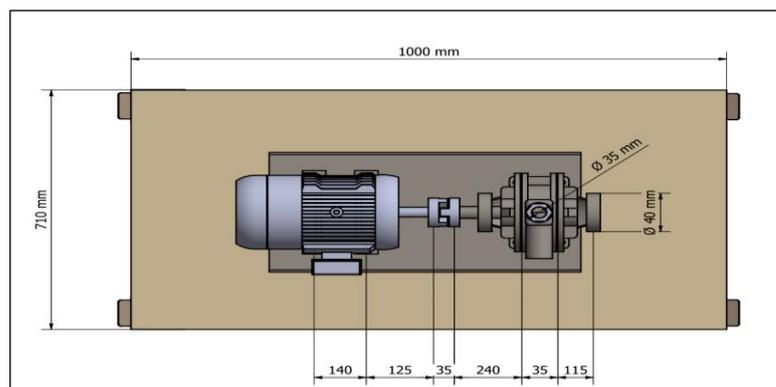


Figura 6. 1 Vista de planta del banco didáctico con medidas
Elaborado: El autor

La bomba a utilizar presenta dos partes que son, el motor como tal o también conocido como parte móvil, y el estacionario, que es donde se transfiere el trabajo del motor por medio de ejes debidamente acoplados para impulsar los fluidos. El equipo es marca Baldor y sus especificaciones técnicas de fábrica se detallan en la tabla 6.1

Tabla 6. 1 Datos de placa del motor marca Baldor

Especificaciones técnicas del Motor	
H.P	5
Voltaje	208-230/460
Amperaje	14-13.6/6.9
R.P.M	1720
Eficiencia	87.5%

Elaborado: El autor

El estacionario de la bomba se instala al motor mediante acoples en ejes, donde para el diseño se utilizó acoplamiento flexibles de tipo mordaza marca SKF modelo L090 (*véase especificaciones en la tabla 6.2*).

Tabla 6. 2 Especificaciones técnicas del acoplamiento SKF-L090

Atributo	Valor
Calibre	9mm
Diámetro de salida	54mm
Longitud	21mm
Tipo de cierre	Tornillo de fijación
Material	Nitrilo

Elaborado: El autor

El acoplamiento de tipo mordaza seleccionado en el diseño para el banco didáctico tiene como característica principal su fácil instalación y su versatilidad para múltiples aplicaciones, tales como bombas, ventiladores y

transportadoras, que normalmente son de altas revoluciones, ya que el modelo SKF-L090 soporta hasta 31000 rpm. En la figura 6.2 se ilustra un modelado en 2D del acoplamiento tipo mordaza utilizado en el montaje del banco didáctico de pruebas.

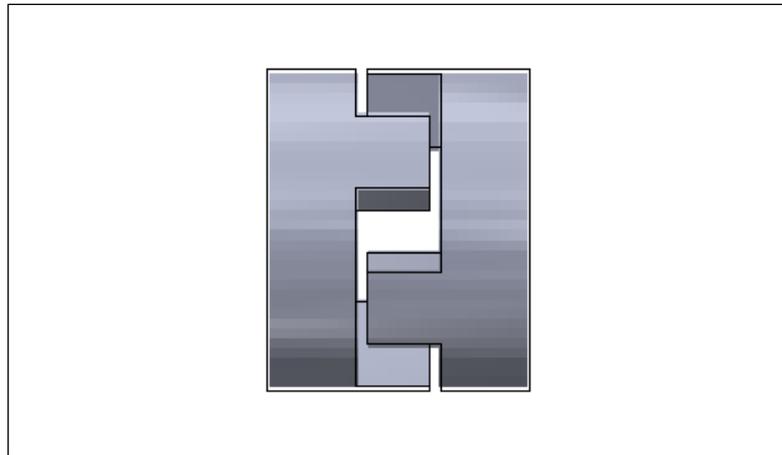


Figura 6. 2 Modelado 2D acoplamientos SKF
Elaborado: El autor

El estacionario posee dos tomas, una correspondiente a la entrada que posee un diámetro de 40mm, una toma de salida de 35mm y una distancia entre pernos de sujeción de 60mm, la cual se ilustra en la figura 6.2.

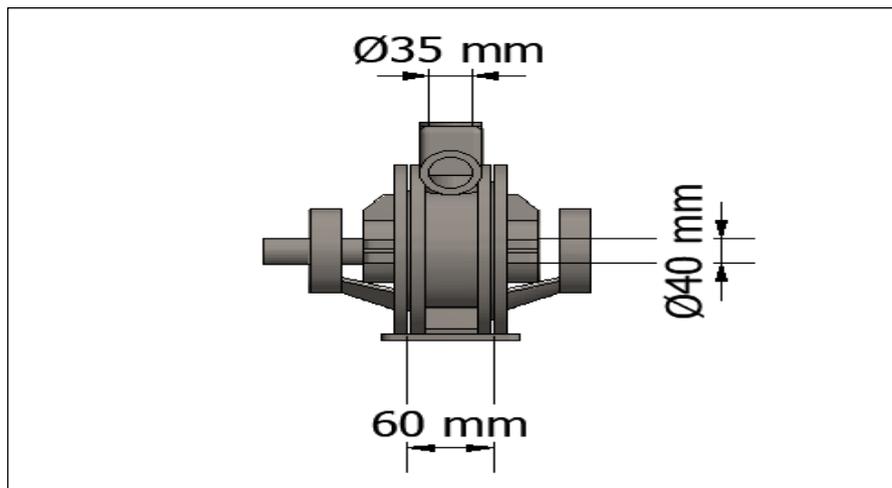
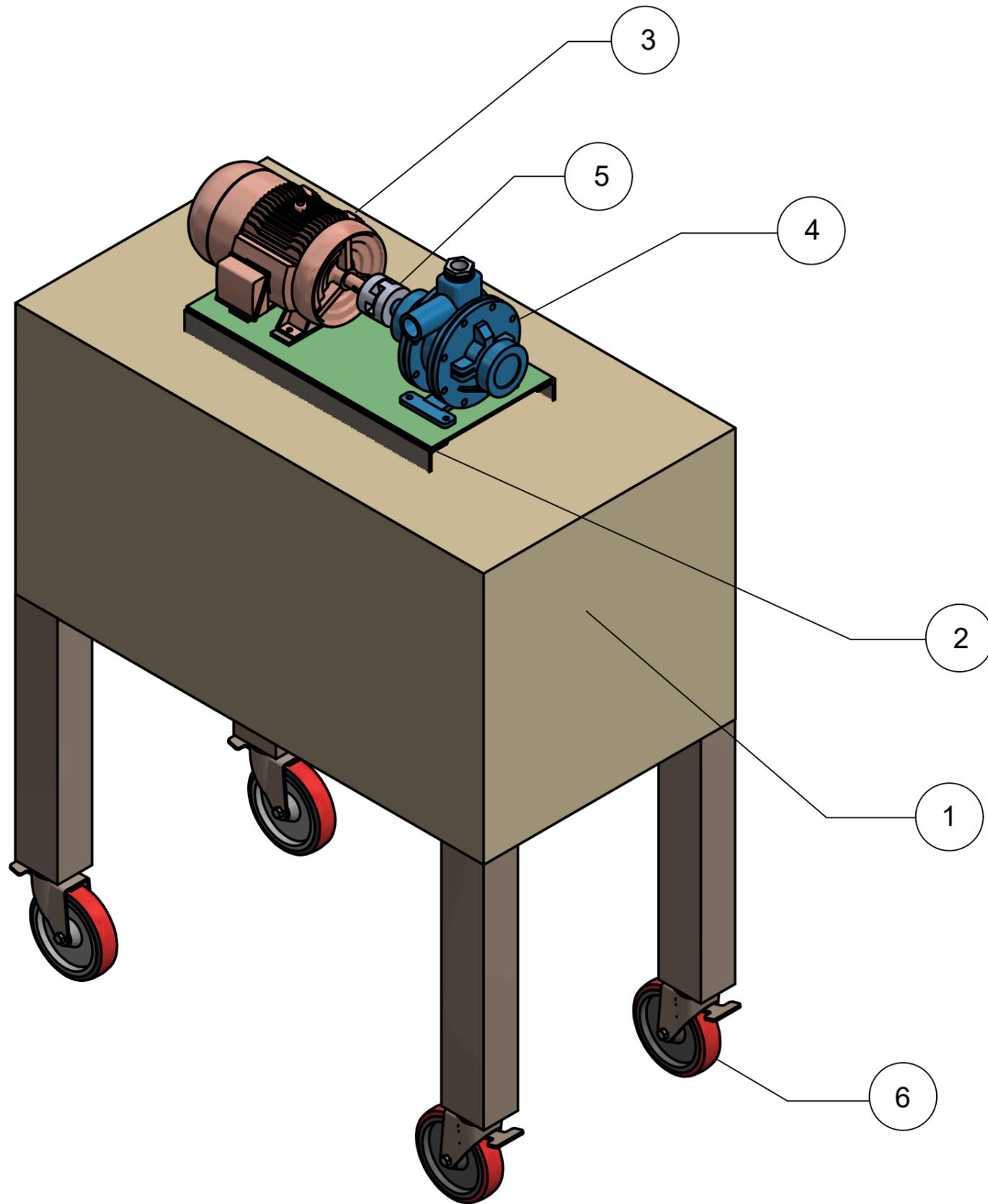


Figura 6. 3 Modelado del estacionario con medidas
Elaborado: El autor

Todas las partes descritas, forman parte del diseño del banco didáctico para pruebas de alineación láser. A continuación, se presentan los planos realizados en el software Inventor, los cuales serán la guía para la construcción y montaje del mismo.

Plano 1. Vistas laterales de las partes del banco didáctico de pruebas



NÚMERO	CANTIDAD	ELEMENTO
1	1	SOPORTE
2	1	BASE DEL MOTOR
3	1	MOTOR
4	1	ESTACIONARIO
5	2	ACOPLES
6	4	RUEDAS CON FRENO



PROYECTO:
BANCO DIDÁCTICO PARA ALINEACIÓN LÁSER

UBICACIÓN:
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

ELABORADO Y DISEÑADO POR:

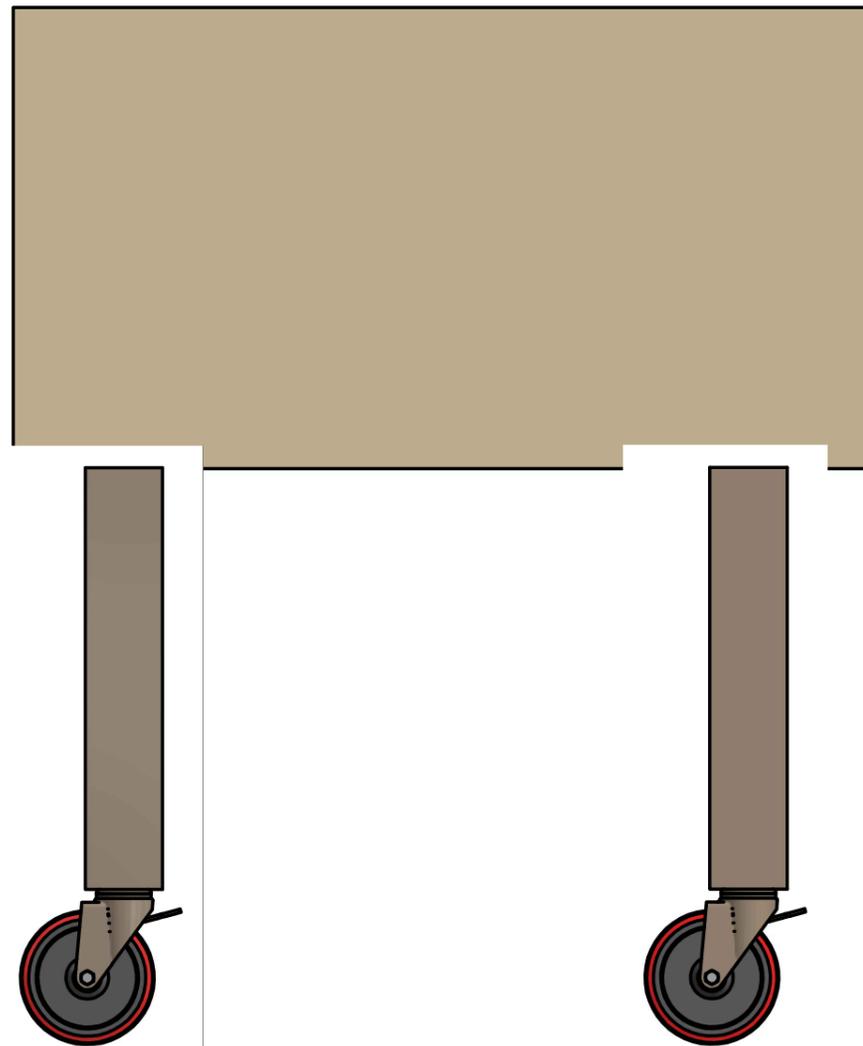
BALDEON SILVA, CARLOS ARTURO

DETALLES:

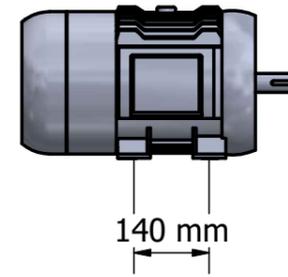
VISTAS EN 3D DEL BANCO DIDÁCTICO PARA
PRUEBAS DE ALINEACIÓN LÁSER CON
TODAS SUS PARTES MONTADAS.

Plano 2. Vista de planta de las partes del banco didáctico para pruebas

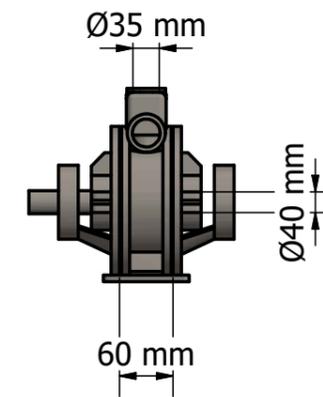
BASE



MOTOR



BOMBA



ACOPLE



PROYECTO:
BANCO DIDÁCTICO PARA ALINEACIÓN LÁSER

UBICACIÓN:
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

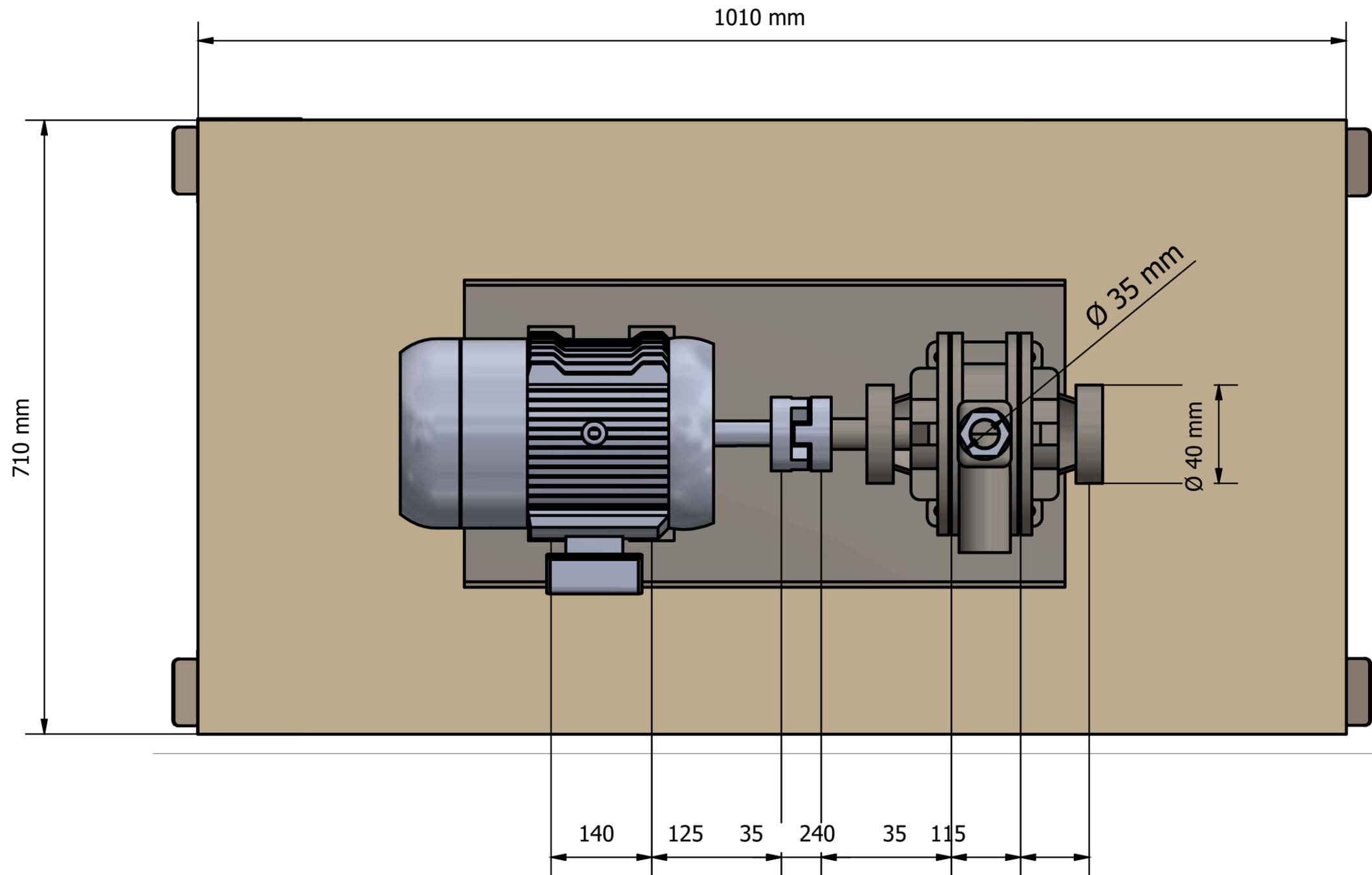
ELABORADO Y DISEÑADO POR:

BALDEON SILVA, CARLOS ARTURO

DETALLES:

VISTAS LATERALES DE LAS PARTES
CONSTITUTIVAS DEL BANCO DIDÁCTICO
PARA PRUEBAS DE ALINEACIÓN LÁSER.

Plano 3. Vista en 3D del banco didáctico para pruebas de alineación



PROYECTO:
BANCO DIDÁCTICO PARA ALINEACIÓN LÁSER

UBICACIÓN:
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

ELABORADO Y DISEÑADO POR:
BALDEON SILVA, CARLOS ARTURO

DETALLES:
VISTA DE PLANTA DEL BANCO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS DE ALINEACIÓN LÁSER.

CAPÍTULO 7

CONSTRUCCIÓN DEL BANCO PARA PRUEBAS DE ALINEACIÓN

7.1 Montaje de las partes del banco

Una de las primeras partes que se deben montar en un banco es el soporte y la base donde se sujetará el motor, siguiendo los planos de diseño los cuales nos detallan el posicionamiento de cada una de las partes que formaran parte del montaje de las mismas. A continuación, se mostrarán imágenes tomadas, donde se aprecia el montaje de las partes que conforman el banco didáctico para pruebas de alineación láser. En la figura 7.1 se toman medidas para la ubicación de la base del motor, para su posterior sujeción con el soporte.



Figura 7. 1 Medición para la ubicación de la base con el soporte
Elaborado: El autor

Una vez que fue realizado el montaje del motor se deberá montar el estacionario el cual se deberá juntar con el motor, mediante los acoples tipo mordaza. Para ello se debe ubicar el estacionario en el lugar establecido de manera que los acoples queden correctamente acoplados y ajustar los pernos a la base de igual manera que se hizo con el motor, y de esta manera quedaría montado el banco para realizar pruebas de alineación como observamos en la figura 7.2.



Figura 7. 2 Montaje del estacionario con la base y acoplamiento
Elaborado: El autor

Una vez ya hecho todo el procedimiento del montaje del motor con estacionaria procedimos a instalar las tuberías donde va a recircular el agua para así no poder dañar el sello mecánico de $\frac{1}{4}$ de cerámica, una vez instaladas las tuberías procedemos a la parte eléctrica donde instalaremos un arrancador directa para poder demostrar nuestro principio de alineación y vibración que ocasionaría como observaremos en la figura 7.3.



Figura7.3 Banco didáctico para pruebas de alineación a láser
Elaborado: El autor

CAPÍTULO 8

PRUEBAS OPERATIVAS DE ALINEACIÓN LÁSER

8.1 Pruebas para alineación en motores asincronos

Para las pruebas operativas de alineación entre ejes, se utilizó un equipo de alineación láser de la marca Fixturlaser GO Pro, el cual es un equipo completamente certificado, ya que tiene una gran precisión y un entorno amigable con el operador. Para efectuar la alineación en el banco didáctico, se deberá considerar una serie de pasos que el dispositivo requiere.

Como primer punto, una vez realizado el montaje del motor en el banco de pruebas se procede a colocar en los ejes, los dos sensores que incluye el kit del dispositivo. Estos sensores están marcados con una letra “M”, que indica que éste debe ser montado en la parte móvil o eje del motor; y otro sensor, marcado con la letra “S”, que no indica que debe ser colocado en el eje del estacionario. Para la sujeción de los sensores se deberá utilizar unas cadenas las cuales se ajustan de acuerdo a las necesidades, o diámetros de los ejes. En la figura 8.1 se muestra el montaje de los sensores en los ejes tanto en el motor, como en el estacionario.

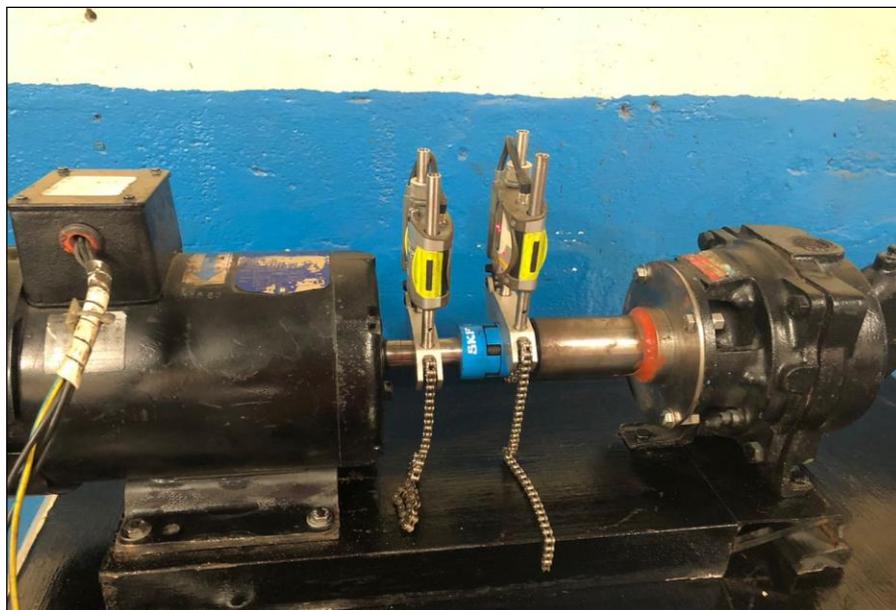


Figura 8. 1 Montaje de los sensores Fixturlaser GO Pro
Elaborado: El autor

Una vez montados los sensores, se procede a encender el dispositivo principal, donde se muestran tres opciones que son: alineación de ejes en máquinas horizontales, alineación de ejes en máquinas verticales, y Datos definidos por máquina.

Para el caso del banco didáctico se selecciona la opción de alineación de ejes en máquinas horizontales, presionando el botón "OK", sobre la opción sombreada de color verde. En la figura 8.2 se muestra el entorno de inicio del programa.

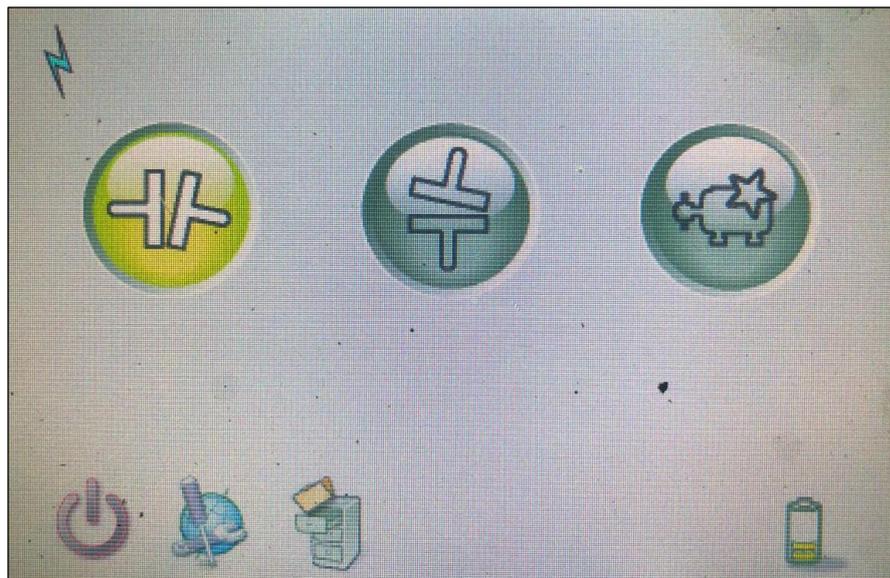


Figura 8. 2 Inicio del programa Fixturlaser GO Pro
Elaborado: El autor

Una vez seleccionado la opción de alineación de ejes en máquinas horizontales, automáticamente aparecerá en la pantalla del programa los rangos de tolerancia para las diferentes velocidades de giro del motor en rpm, y los rangos máximos de desalineación tanto horizontal, como vertical, dados en mm/100.

Para seleccionar uno de estos valores el operador se debe guiar directamente con la placa del motor, donde indica la velocidad de giro, para el caso del banco didáctico para pruebas de alineación de ejes, se utilizó un motor marca Baldor, el cual posee una velocidad de giro de hasta 1720 rpm, si por motivo alguno no tendría datos placa se utilizaría en este caso lo que son los tacómetros que son utilizado también para las revoluciones por minuto rpm.

Lo que nos indica que se deberá seleccionar la opción de 0-2000 rpm. En la figura 8.3 se muestra la tabla de tolerancias estándar, que provee el programa del dispositivo Fixturlaser GO Pro.

	rpm	mm/100	mm
▶	0-2000	0.08	0.10
	2000-3000	0.07	0.07
	3000-4000	0.06	0.05
	4000-6000	0.05	0.03
	USERDEF	-1.00	-1.00

Figura 8. 3 Rangos de tolerancias de desalineación por rpm
Elaborado: El autor

Cuando se requiera alinear un motor superior a 6000 rpm, se deberá seleccionar la opción “USERDEF”, donde se deberá ingresar manualmente la velocidad de giro del motor.

Una vez seleccionada la velocidad de giro del motor, aparecerá en pantalla un modelo en 3D del motor donde se deberá ingresar cuatro distancias diferentes, también debemos observar que los grados deben estar los próximo posible tanto de la estacionaria como la del motor y la altura también debemos observar ya que esa nos va a indicar cuantas laines debemos coloras tantos en las patas traseras como de las patas delanteras del motor. Dependiendo de las distancia podremos observar cuantas son las laines que se deberán utilizar al momento que tomar las mediciones respectivas para el motor En la figura 8.4 se muestra la pantalla donde se ingresarán los datos de las distancias con las respectivas indicaciones.

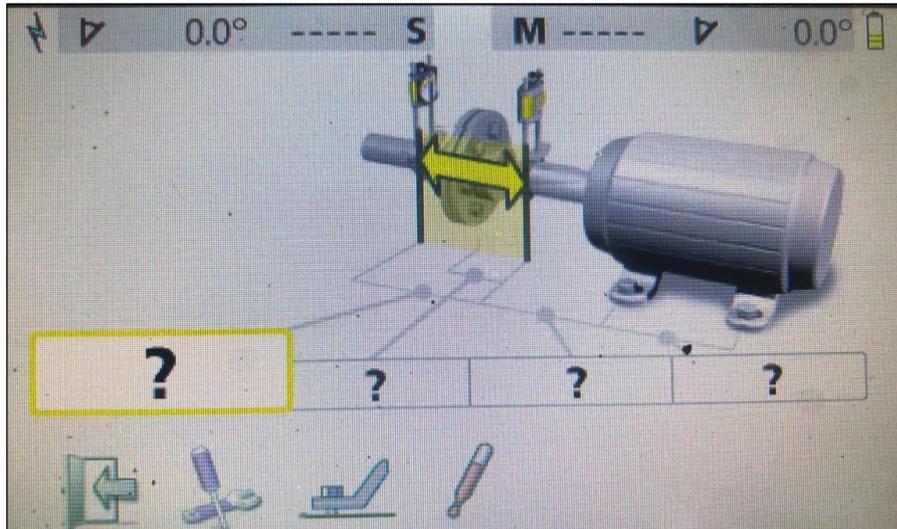


Figura 8. 4 Pantalla de ingreso de distancias Fixturlaser
Elaborado: El autor

La primera medida se refiere a la distancia en milímetros que existe entre los dos sensores la ubicación de uno de ellos que es la estacionaria está colocado en cima de una acople y el otro sensor está colocado en el eje del motor la ubicación no implica mucho pueden estar tanto en los acoples como en sus ejes respectivos. En la figura 8.5 se muestra la toma de la distancia existente entre los sensores con la ayuda del flexómetro.



Figura 8. 5 Medición de la distancia entre sensores
Elaborado: El autor

La segunda medida, se refiere a $\frac{1}{2}$ de la distancia que existe entre los sensores, también dada en milímetros por ende la maquina automáticamente saca la relación que existen $\frac{1}{2}$ la distancia requerida. La tercera medida a ingresar es la distancia desde los pernos delanteros del motor, hasta el sensor con la marca "M", la cual se toma ingresa como la diferencia, que existe entre la distancia que existe desde los pares de pernos posteriores-el sensor "M", y la distancia entre los dos pares de pernos. En el caso del banco didáctico la distancia del par de pernos posteriores hasta el sensor "M" es de 215 mm, y la distancia entre los dos pares de pernos es 140 mm; dando como resultado una distancia de 75mm, los cuales deberán ser ingresados.

La ultima que se debe ingresar, es la distancia existente entre los dos pares de pernos que sujetan el motor. En la figura 8.6 se muestra la medición que sirve para el ingreso tanto de la segunda, como de la tercera medida. Este método de medición favorece al cálculo de la desalineación por la concordancia que se crea al ingresar datos a partir de una medida y hallar la siguiente por medio de la misma.



Figura 8. 6 Medición de la distancia pernos-sensor "M"
Elaborado: El autor

Acto seguido, se procede a realizar la prueba de desalineación, encendiendo los sensores tanto del motor, como del estacionario, los cuales se sincronizan automáticamente por medio de Bluetooth con el dispositivo principal o pantalla del Fixturlaser GO Pro. Luego deben ser alineados los sensores de tal manera que el rayo que se proyecta desde el motor hacia el

estacionario se encuentre centrado, el grado de inclinación también debe ser centrado o lo más aproximado posible para poder tomar muestras correctamente, como se muestra en la figura 8.7.



Figura 8. 7 Centrado del rayo láser motor-estacionario
Elaborado: El autor

Una vez centrado el rayo láser y tener los ángulos también listos con las distancias requeridas en milímetros estén correctamente ingresadas en la máquina, se debe presionar en la pantalla del dispositivo principal, la opción de prueba de desalineación ubicado en la parte inferior derecha de la pantalla. De inmediato aparecerá un recuadro rojo y blanco con un plano de coordenadas en su interior, que significa que los sensores están listos para realizar la toma de datos del cual podremos observar el ángulo que se debe de tomar que es, como se ilustra en la figura 8.8.

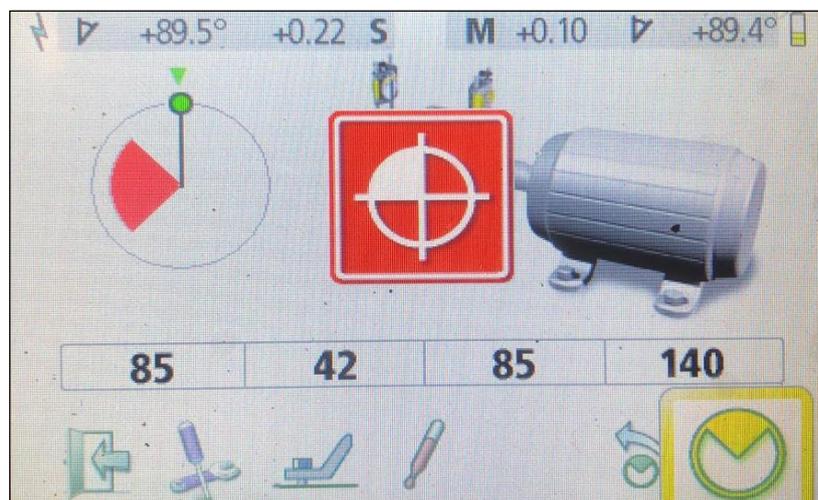


Figura 8. 8 Activación de los sensores para la toma de datos
Elaborado: El autor

Luego de aquello, se procede a girar lentamente el eje a 45° en posición de 3 o 9 en punto, tomándolo desde el acoplamiento para obtener la primera referencia de datos de la prueba, posición que se muestra en la figura 8.9.



Figura 8. 9 Toma de la muestra de desalineación a 45°
Elaborado: El autor

Luego de aquello, se procede a realizar el mismo procedimiento, pero ahora ubicando los sensores en posición vertical, en posición de 6 o 12 en punto según se presenten las condiciones del montaje del motor, para el caso del banco didáctico, se tomó la posición de las 12 en punto (véase en la figura 8.10), ya que no se puede posicionar a las 6 en punto por la falta de espacio que existe entre en eje y la base.



Figura 8. 10 Toma de la muestra de desalineación posición vertical
Elaborado: El autor

Luego de aquello, procedemos a girar lentamente hacia favor de las manecillas del reloj a un grado de 180° donde será nuestra última lectura de la cual ya nos mostraran los resultados que se podrá dar de la alineación, cabe recalcar que las dos medidas horizontales que se tomaron se verá para donde debe ir empujado el motor tanto como derecha como para la izquierda



Figura 8.11 Toma de muestra de desalineación posición horizontal
Elaborado: El autor

Una vez tomadas las dos muestras, aparecerán en pantalla los resultados de la prueba de desalineación, donde se puede observar desalineación tanto vertical, como horizontal (marcados en rojo), debemos guardar la primera alineación por lo que ese será nuestro punto de referencia de que será la alineación completa una vez guardada automáticamente la maquina arrojará lo que se debe colorar en laines y para donde debe ir ubicado el motor, como se muestra en la figura 8.11, lo que indica que excede los rangos de tolerancia establecidos para este motor.

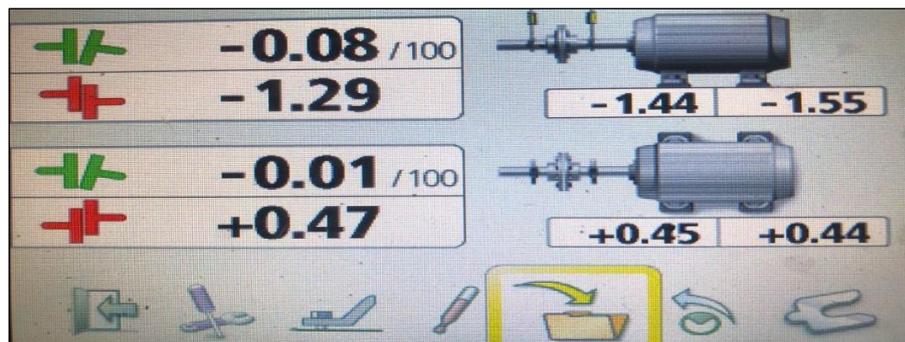


Figura 8. 11 Datos obtenidos de la prueba de desalineación
Elaborado: El autor

Una vez guardado los datos de desalineación del motor, el dispositivo entrega datos de las laines o chapas calibradas que deberán ser colocadas para corregir la desalineación, para el caso de esta desalineación se deberán colocar laines luego se observará en otro plano en qué posición debe estar el motor que quede perfectamente alineado, donde podemos observar tal como se ilustra en la figura 8.12.

En este caso podremos observar que tenemos 1.55 en la pata posterior y 1.45 en la pata de delantera de inmediatamente debemos colocar las laines que nos piden en milímetros que se maneja para lo que son la alineación

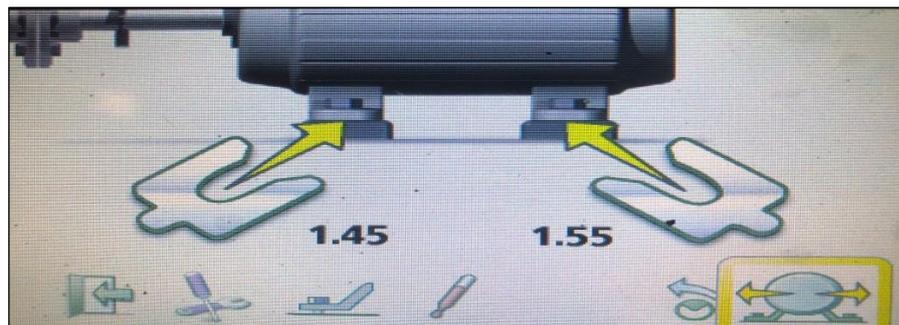


Figura 8. 12 Sugerencia de chapas calibradas del Fixturlaser
Elaborado: El autor

A continuación, se colocan las chapas calibradas o también llamadas laines que son de marca skf cabe recalcar que las laines son en milímetros, en concordancia con la figura anterior 8.12 donde nos indica que tipo de laines debe ser utilizada para el alineamiento tanto para la pata de delantera 1.45 milímetros como para la posterior 1.55 milímetros en concordancia con la sugerencia en cuanto a las medidas como se ilustra en la figura 8.13, la cual muestra las chapas instaladas en una de las patas del motor.



Figura 8. 13 Colocación de chapas calibradas en las patas del motor
Elaborado: El autor

Una vez instaladas las chapas calibradas sugeridas por el programa del Fixturlaser, volvemos al principio donde vamos a tomar medida nuevamente de los tres paso que se menciona anteriormente donde tomamos mediciones horizontalmente -90° de ahí verticalmente que es a $+90^\circ$ y para terminar la última medición que así mismo es horizontalmente $+180^\circ$ luego de haber tomados esas medidas, aparecerá una pantalla indicando la situación actual del motor (véase en la figura 8.14), donde se puede apreciar que se han alineado de manera perfecta 3 patas que se encuentran en color verde y una en color naranja, donde se da por finalizada la alineación, ya que la pata de color naranja se encuentra dentro de los rangos de tolerancias aceptables para este tipo de motor de baja velocidad.

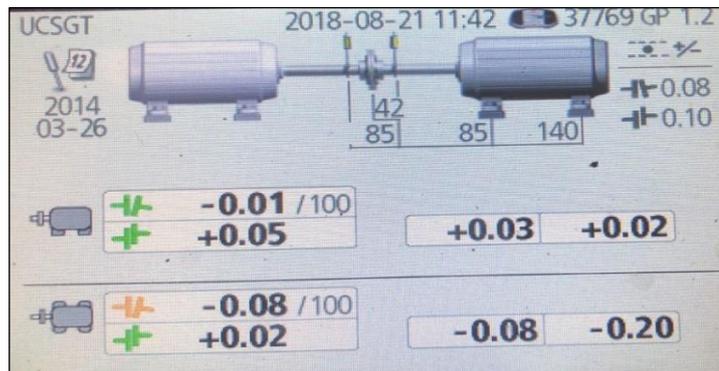


Figura 8. 14 Datos del motor alineado
Elaborado: El autor

8.2 Resultados obtenidos en las pruebas

8.2.1 Tolerancias recomendadas

Para este tipo de maquinaria- motor acoplado con una estacionaria se recomienda una tolerancia menor de $0,08 \text{ mm} / 100$ para el des-alineamiento angular y una tolerancia menor de $0,10 \text{ mm}$ para el des-alineamiento paralelo, según como se puede observar en la tabla 8.1, los grados de tolerancia para la alineación por medios de la revolución del motor que se vayan alinear.

Tabla 8. 1 Tolerancias de alineación

Valores nominales para motores de (1000-2000)rpm (mm)	
Angular	Paralelo
0.08	0.10
0.08	0.10

Elaborado: El autor

Cuando se ejecuta una alineación de motores, se deben analizar cada una de las variables existentes en una desalineación, como la desviación angular y paralela, que son datos que se obtienen de las respectivas mediciones.

8.2.2 Análisis de resultados

En la siguiente imagen nos muestra los grados de desalineación que se ha obtenido por medio de las mediciones de FIXTULASER donde podremos observar detalladamente en qué punto tendremos que colocar las linternas y que cuantos grados de impedancia donde observamos en la tabla 8.2.

Donde obtenemos de las pruebas horizontales y verticales el grado de impedancia por medio de software GO PRO de la versión 1.2 cabe recalcar de las unidades son en milímetros.

Tabla 8. 2 Resultados de las pruebas de alineación

Resultados de las pruebas alineación del motor 1720 rpm							
Valores nominales para motores de (1000-2000)rpm (mm)		Valores medidos del motor desalineado (mm)		Valores medidos del motor alineado (mm)		Mejora (%)	
Angular	Paralelo	Angular	Paralelo	Angular	Paralelo	Angular	Paralelo
							
0.08	0.10	-0.08	-0.01	0.01	-0.08	7.00%	10.13%
0.08	0.10	-1.29	0.47	0.05	0.02	25.74%	23.29%
					Total (%)	32.74%	33.41%

Elaborado: El autor

Dadas todas las pruebas realizadas si no se obtiene una alineación correcta, el motor con la estacionaria puede generar problemas lo cuales podremos obtener lo siguiente:

- Daños en los cojinetes en ambos lados tanto delanteros como posterior.
- Daños de los rodamientos “en ambos”.
- Generan altas vibraciones.
- Calentamiento del motor por la fuerza que ejerce el mal alineamiento.
- Desequilibrios del motor con estacionaria.
- Doblamiento del eje horizontal incluso hasta roturas.

- Daños en los acoples.
- Daños en la estacionaria como este caso el impulsor.

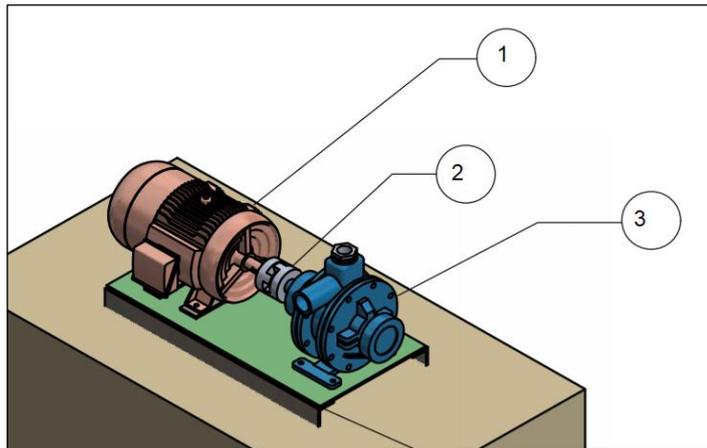


Figura 8. 15 Puntos tomados en prueba de vibración
Elaborado: El autor

Cuando se realiza una prueba de vibraciones para contrastar con el diagnóstico de la desalineación, se toman diferentes puntos, que, para el caso del banco didáctico, fueron tres de los más importantes, y los datos obtenidos de las mediciones de esta se presentan en la tabla 8.3, donde se detalla la vibración de cada punto en el plano horizontal, vertical, y su vibración angular en mm/s RMS, en referencia a los puntos detallados en la figura 8.15.

Tabla 8. 3 Resultados de las pruebas de vibración

PUNTO 1 - Horizontal	1.158	1.285	mm/s RMS
PUNTO 1 - Vertical	1.102	1.311	mm/s RMS
PUNTO 1 - Axial	1.101	1.122	mm/s RMS
PUNTO 2 - Horizontal	1.051	1.409	mm/s RMS
PUNTO 2 - Vertical	1.07	1.806	mm/s RMS
PUNTO 2 - Axial	1.09	1.123	mm/s RMS
PUNTO 3 - Horizontal	1.459	1.899	mm/s RMS
PUNTO 3 - Vertical	0.6861	0.6326	mm/s RMS
PUNTO 3 - Axial	8.3	1.908	mm/s RMS

Elaborado: El autor

Al corroborar que efectivamente existe una vibración axial en el punto 3, correspondiente al estacionario de la bomba se procede, que no afecta al funcionamiento de la bomba, ya que el balance de vibración general es mínimo, lo cual responde a la correcta alineación de la máquina; mediciones y resultados que se detallan en la tabla 8.4.

Tabla 8. 4 Mediciones realizadas en las pruebas de alineación

Resolution Angle:	Resolution Offset:	Distancias				Results							
		Dist S-M (mm)	Dist C-M (mm)	Dist M-F	Dist F-F	Horizontal				Vertical			
						Vertical Angle	Vertical Offset	Vertical Foot1	Vertical Foot2	Horizontal Angle	Horizontal Offset	Horizontal Foot1	Horizontal Foot2
0.08	0.10	85	42	85	140	-0.08	-1.29	-1.44	-1.55	-0.01	0.47	0.45	0.44

Elaborado: El autor

Por ende dado el buen alineamiento podremos obtener que tanto el motor como la estacionaria alargamos la vida útil de la maquina sin tener fallos algunos en lo que se considera el mantenimiento, donde también se evita paros inesperados para las empresas evitando así las perdidas por producción en la figura 8.16 podremos observar cómo queda en una óptimas condiciones el motor para que trabaje normalmente y su capacidad total, podemos observar que queda un naranja pero está en su rango de tolerancia la figura naranja que observamos es debido que el motor no se puede desplazar horizontalmente pero está en un rango tolerablemente debido a que el motor marca baldor en de bajas revoluciones por minuto rpm.

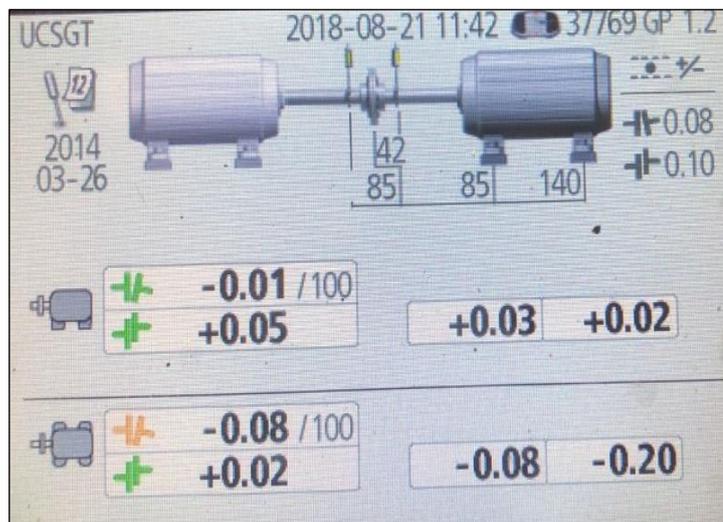


Figura 8. 16 Datos del motor alineado

Elaborado: El autor

8.2.3 Plan de mantenimiento Preventivo

Cuando se requiere realizar un mantenimiento integral de motores eléctricos es necesario tener en cuenta un plan de procedimientos, para garantizar un óptimo desempeño de los equipos y procesos a los que se encuentran destinados:

- Antes de realizar una alineación de ejes, se debe verificar que los sellos del estacionario no se encuentren rotos, y en caso de estarlo, notificar inmediatamente al departamento de mantenimiento antes de intervenir la máquina.
- Realizar giros del eje de forma manual con el fin de detectar si existe problemas en los rodamientos del motor, ya que este es uno de los síntomas más frecuentes cuando existe una desalineación crítica.
- Tener una hoja de vida del motor monitoreando las pruebas constante que se les hace en cada mantenimiento para así poder tener un diagnóstico del motor como evoluciona o como empeora.
- También se puede considerar realizar pruebas en vacío y con cargas leves, y mediante una medición con cámara termográfica, analizar si existe calentamiento en las partes móviles del motor, que, en el caso de existir, se trata de una señal grave de desalineamiento, la cual debe ser sometida a mantenimientos correctivos, que incluyen cambios en elementos como rodamientos, acoples, e inclusive el bobinado del motor.
- Revisar la estacionaria también son frecuente los daños en el sello mecánico y el rodamiento que está ubicado en esa parte pueden generar las vibraciones altas.
- Siempre tomar en cuenta las vibraciones o el desalineamiento al momento de montar los motores pueden llegar a tener lo que es llamado la pata coja.
- Se les recomienda hacer un mantenimiento preventivo cada 6 meses para así poder alargar la vida útil del motor.

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

Con el presente proyecto de titulación se pueden extraer varias conclusiones tanto técnicas, como del beneficio que éste representa para los estudiantes, mismos que se describen, a continuación:

- El banco de pruebas didáctico para alineación de motores eléctricos trifásicos, podrá ser utilizado para realizar mantenimientos integrales de motores, mediciones de parámetros eléctricos de puesta en marcha del motor, y los diferentes arranques que se pueden ejecutar con el mismo.
- El análisis de vibraciones es y seguirá siendo una herramienta fundamental para el diagnóstico de las fallas de las máquinas como en este caso motor y estacionaria.
- Conocer métodos de montaje y desmontaje de motores eléctricos, y poner en práctico el cambio de piezas que presenten desgaste por causa de desalineación y de vibraciones mecánicas.
- Se podrán analizar las causas y los efectos que provocan una desalineación o desbalanceo, cuando equipo se encuentra montado de manera incorrecta o inadecuada, para la aplicación requerida.
- Podrán realizar pruebas de alineación con métodos convencionales y con tecnología láser.
- Se incrementará el perfil de egreso de los estudiantes, ya que a nivel de las industrias, es requerido el conocimiento de este tipo de pruebas, que ahorran costos de mantenimiento a las empresas.

9.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda incluir en el pensum académico de la carrera de Electricidad de Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, las pruebas de mantenimiento integral para motores eléctricos, donde se encuentran circuncritas tanto alineaciones, pruebas vibracionales, termografía, análisis predictivos, etc.
- Es fundamental, gestionar la adquisición de equipos y herramientas para pruebas eléctricas y mecánicas para motores eléctricos, para que la experiencia de los estudiantes sea la más óptima al momento de realizar las prácticas.
- Se recomienda capacitar a los estudiantes en áreas como la seguridad industrial, para pruebas específicas, y de esta manera se conozcan los riesgos que conlleva cada actividad.
- Es importante que en futuros trabajos se realice un protocolo de seguimiento a un conjunto de motores de una empresa, incluyendo las prácticas de pruebas alineación y análisis vibracional.
- Es importante que los estudiantes de la carrera de Electricidad de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil sepan el funcionamiento del Fictulaser, para el ámbito laboral tenga un pleno conocimiento de lo que puede ocasionar no tener bien alineados los motores y estacionarios, para así poder minimizar los costos de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benítez, R. (2013). *Diseño e implementación de un banco didáctico para alineación de elementos rotativos y balanceo de masas en cantiléver*. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali. Recuperado de <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/7026/1/T05109.pdf>
- Casals, P., & Bosch, R. (2005). *Máquinas eléctricas: aplicaciones de ingeniería eléctrica a instalaciones navales y marinas : prácticas*. Univ. Politèc. de Catalunya.
- Cherta, M. C. (1995). *Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas*. Reverte.
- Elos Fixturlaser. (2014). Manual de usuario de Fixturlaser. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de https://drive.google.com/file/d/1LpiAmci66yM9gnwNgjoXnExPekPhfZ_4/view?usp=sharing_eip&ts=5b724070&usp=embed_facebook
- Fernández, J., Cerdá, L., & Bezos, R. (2014). *Automatismos industriales*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Fidalgo, J., Fernández, M., & Fernández, N. (2016). *Tecnología Industrial II*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- FILIU, L. M. C. (2014). *Instalaciones eléctricas y automatismos*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Gallardo, S. (2013). *Técnicas y procesos en instalaciones domóticas y automáticas*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Lita, R. L., Beltrán, F. F., & Mañes, Á. D. (2006). *La comunicación corporativa en el ámbito local*. Publicacions de la Universitat Jaume I.

Marino, A., & Pernia, C. (2004). Motores Asíncronos. *ResearchGate*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/235752013_MOTORES_ASINCROS

Martín, J. C., & García, M. P. (2016). *Motores eléctricos (Automatismos industriales)*. Editex.

Ortega, J. (2007). *Manual de procedimientos para análisis vibracional en equipos rotativos y planificación del mantenimiento con el sistema ExpertALERT™ de DLI Engineering Co., de acuerdo a las normas ISO 9001-2000 para la empresa Ivan Bohman C.A. ESPE*. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2247/1/T-ESPE-014930.pdf>

Pérez, A., Rodríguez, P., & Sancho, J. (2007). *Mantenimiento mecánico de máquinas*. Publicacions de la Universitat Jaume I.

Portilla, E. (2017, septiembre 19). Análisis Vibracional - Mantenimiento Predictivo. Recuperado el 23 de julio de 2018, de <https://predictivo.ec/mantenimiento-predictivo/analisis-vibracional/>

Rittal Disprel S.A. (2018). Grados de protección NEMA. Recuperado el 1 de agosto de 2018, de https://www.rittal.com/es-es/content/es/support/technischeswissen/qminformiert/schutzarten/nema/nema_1.jsp

Roldán, J. (2008). *Motores Eléctricos Automatismos de Control* (9na ed.). Madrid, España: Paraninfo, SA.

Viloria, J. R. (2003). *Manual del electromecánico de mantenimiento*. Ediciones Paraninfo, S.A.

Yepez, V. (2017). Bombas [Universitat Politècnica de València]. Recuperado el 27 de agosto de 2018, de <http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/tag/bomba-centrifuga/>

ANEXOS

Anexo 1: Alineador fixtulasi y sus especificaciones técnicas figura 3.4.



M1 Art. Núm.: 1-0754

S1 Art. Núm.: 1-0755

Material de la caja	Aluminio anodizado y plástico ABS de gran resistencia a los impactos, sobremoldeado con goma TPE
Temperatura operativa	de -10 a 60 ° C (de 14 a 140 ° C)
Temperatura de almacenamiento	de -20 a 70 ° C (de -4 a 158 ° F)
Humedad relativa	10 - 90%
Peso	186 g (6,56 oz)
Dimensiones	79 mm x 77 mm x 33 mm (3,1 pulg. x 3,0 pulg. x 1,3 pulg.)
Protección medioambiental	IP 65
Láser	Diodo clase II de 650 nm
Ángulo de línea del ventilador de radiación láser	6°
Ancho de línea de radiación láser (1/e ²)	1,6 mm

Divergencia de línea de radiación láser (ángulo completo)	0,25 mrad
Potencia del láser	< 1 mW
Distancia de medición	Hasta 10 m
Detector	CCD
Longitud del detector	30 mm (1,2 pulg.)
Detector angular subtenso	30 mrad/m (3 mm/100 mm por metro)
Resolución del detector	1 µm
Precisión de mediciones	0,3% ± 7 µm
Protección contra luz ambiente	Filtración óptica y supresión señales luz ambiente
Resolución del inclinómetro	0.1°
Precisión del inclinómetro	±0.5°
Indicadores LED	Indicadores de transmisión y estado del láser

Anexo 2: Cámara termográfica, identificación del problema.



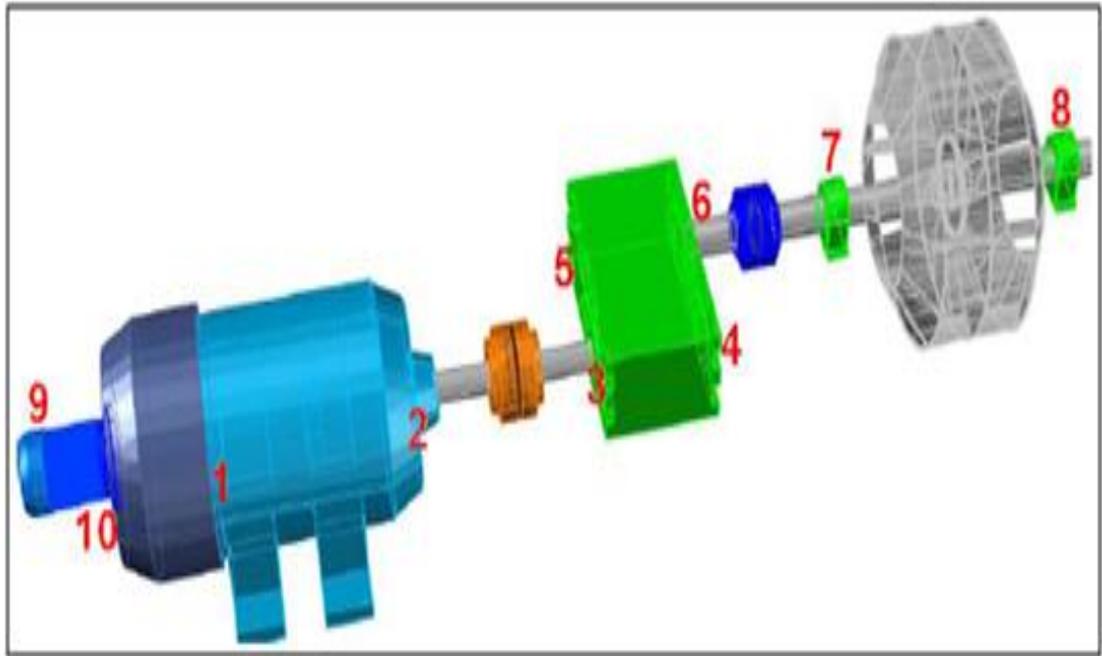
Problemas ocasionados por desalinamiento aumento de temperatura cámara termo gráfica.

Anexo 3: Rangos de mediciones de vibración.

Location	06-09-17	12-10-17	Units	PRECAUCION	ALERTA	PELIGRO
Valores de vibración total						
PUNTO 1 - Horizontal	1.158	1.285	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 1 - Vertical	1.102	1.311	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 1 - Axial	1.101	1.122	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 2 - Horizontal	1.051	1.409	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 2 - Vertical	1.07	1.806	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 2 - Axial	1.09	1.123	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 3 - Horizontal	1.459	1.899	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 3 - Vertical	0.6861	0.6326	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 3 - Axial	8.3	1.908	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 4 - Horizontal	1.403	0.8592	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 4 - Vertical	1.123	1.286	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 4 - Axial	1.465	1.2	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 5 - Horizontal	1.72	1.25	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 5 - Vertical	0.5698	0.9885	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 5 - Axial	5.946	3.535	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 6 - Horizontal	0.9628	0.9868	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 6 - Vertical	0.915	0.7044	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 6 - Axial	1.929	2.452	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 7 - Horizontal	0.8552	0.9946	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 7 - Vertical	0.4407	0.532	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 7 - Axial	1.967	1.938	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 8 - Horizontal	1.396	1.45	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 8 - Vertical	0.2887	0.7489	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 8 - Axial	1.286	1.088	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 9 - Horizontal	7.519	8.273	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 9 - Vertical	6.528	6.425	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 9 - Axial	8.64	8.825	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 10 - Horizontal	3.765	3.773	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 10 - Vertical	3.025	3.261	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1
PUNTO 10 - Axial	5.378	5.406	mm/s RMS	2.3	4.5	7.1

Rangos de mediciones de vibración por medio del análisis de vibración.

Anexo4: Muestra de mediciones en diferentes puntos.



Muestra de puntos donde se realizara las pruebas de vibración.

Anexo 5: Rangos de severidad para las vibraciones de las máquinas.

RANGOS DE SEVERIDAD PARA LA VIBRACIÓN DE MÁQUINAS

Tabla de Severidad, ISO 2372						
RANGO DE VIBRACIÓN			CLASES DE MÁQUINAS			
VELOCIDAD RMS (mm/s)	VELOCIDAD 0-P (mm/s)	VELOCIDAD 0-P (µl/s)	Máquinas Pequeñas	Máquinas Medianas	Máquinas Grandes	
					Soporte rígido	soporte flexible
			CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0.28	0.396	0.016		BUENO		
0.45	0.636	0.025				
0.71	1.004	0.040				
1.12	1.584	0.062				
1.80	2.546	0.100		ACEPTABLE		
2.80	3.960	0.156				
4.50	6.364	0.251		INSATISFACTORIO		
7.10	10.041	0.395				
11.20	15.839	0.624				
18.00	25.456	1.002	INACEPTABLE			
28.00	39.598	1.559				
45.00	63.640	2.505				
71.00	100.409	3.953				

ING. Contreras Acosta



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **BALDEÓN SILVA, CARLOS ARTURO**, con C.C: # 093103013-4 autor del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de vibraciones y alineación láser en motores asíncronos para el Laboratorio de Electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo”**, previo a la obtención del título de **Ingeniería en Eléctrico – Mecánica**, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 30 de Agosto del 2018

f. _____

Nombre: **BALDEÓN SILVA, CARLOS ARTURO**

C.C: **093103013-4**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	"Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de vibraciones y alineación láser en motores asíncronos para el Laboratorio de Electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo".	
AUTOR(ES)	CARLOS ARTURO BALDEÓN SILVA	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	ING. VALLEJO SAMANIEGO, LUIS VICENTE, M.SC	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo	
CARRERA:	Ingeniería en Eléctrico Mecánica	
TITULO OBTENIDO:	Ing. En Eléctrico Mecánica	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	30 de agosto de 2018	No. DE PÁGINAS: 100
ÁREAS TEMÁTICAS:	Mantenimiento preventivo, alineación láser	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Motores, alineación, vibración, láser, mantenimiento	
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):		
<p>En el presente proyecto de implementación se basa en el análisis experimental de un banco didáctico para pruebas de desalineación y vibración de la maquina rotativa con estacionaria para la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por lo cual se ha planteado información para lo que son las maquinas rotativas las fallas que pueden presentarse por un desalineamiento, como son: fallas en los rodamientos, deflexión en ejes, daños en los cojinetes. Como objetivo principal podremos presentar un protocolo adecuado para su debida alineación correcta dándole saber cómo se comporta la maquina fixturlaser parámetros adecuados por medios de las revoluciones del motor datos de placa y tablas de niveles de impedancia que son necesario para la alineación final. Finalmente podremos concluir, con una adecuada alineación podremos evitar paras inesperados en la máquina, aumentamos la vida útil y prevenir daños excesivos de los rodamientos.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono:	E-mail:
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Philco Asqui, Luis Orlando	
	Teléfono: (04) 2 20933 ext 2007	
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec/ute@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		