



CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRÁCTICAS PARA ALINEACIÓN DE EJES EN MÁQUINAS ROTATIVAS PARA LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE CUCUTA

JUAN EDUARDO PINZÓN CASTRILLÓN

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica FIMEB

Programa de Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial

Cúcuta, Colombia

2020

CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRÁCTICAS PARA ALINEACIÓN DE EJES EN MÁQUINAS ROTATIVAS PARA LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE CUCUTA

JUAN EDUARDO PINZÓN CASTRILLÓN

Trabajo Integral de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Tecnólogo en Mantenimiento Electromecánico Industrial

Director Científico:

Ciro Antonio Carvajal Labastida

Ingeniero Mecánico – M. Sc. de Mantenimiento Industrial

Codirector:

Benjamín Otero Hernández

Ingeniero Mecánico - Esp. En Computación para la Docencia

Grupo de Investigación:

REM - Reseach in energy and materials

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica FIMEB

Programa de Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial

Cúcuta Colombia

2020

Si decides hacer solo las cosas que sabes que van a funcionar, dejarás un montón de oportunidades encima de la mesa.

Jeff Bezos, Fundador y CEO de Amazon

Agradecimientos

Mi agradecimiento más grande es para nuestro padre celestial DIOS, que toda la gloria sea para él, a mi esposa Karly Rossana Quintero Villada quién me apoyo incansablemente durante todo mi proceso tecnológico, a los profesionales de la Universidad Antonio Nariño que me brindaron todos sus conocimientos y me guiaron en mi proceso de formación, por último, a la empresa Termotasajero y Termotasajero dos donde me encuentro laborando actualmente.

Resumen

En el trabajo integral de grado presenta la construcción y ensamble de un banco didáctico para prácticas de alineación de ejes de máquinas rotativas y la elaboración de una guía de laboratorio para reforzar y complementar el conocimiento teórico práctico de los estudiantes en formación Tecnológica y de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño. Se especifican los diferentes métodos de alineación en ejes de máquinas, identificación de fallas, gastos por retrabajos y pérdidas por paros operativos no programados. Se hacen las recomendaciones respectivas en los procesos de mantenimiento aplicados en la industria. Se detalla el proceso de fabricación de la estructura metálica que soporta el conjunto de la bomba y el motor la cual se utiliza para el proceso de las prácticas de alineación en el laboratorio. El esquema del banco didáctico se realizó con el software SOLIDWORKS.

Palabras clave: Alineación de ejes, máquinas rotativas, diseño de eje, desalineación, GAP.

Abstract

In the integral work of degree the construction and assembly of a didactic bench for practices of alignment of axes of rotating machines and the elaboration of a laboratory guide to reinforce and complement the theoretical and practical knowledge of students in technological and engineering training are presented. Electromechanics of the Antonio Nariño University. The different methods of alignment on machine axes, identification of faults, rework costs and losses due to unscheduled operational stops are specified. The respective recommendations are made in the maintenance processes applied in the industry. The manufacturing process of the metal structure that supports the pump and motor assembly is detailed, which is used for the process of alignment practices in the laboratory. The schematic design of the didactic bench was carried out using SOLIDWORKS software.

Keywords: Shaft alignment, rotary machines, shaft design, misalignment, GAP.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XV
1. Construcción de un banco de prácticas para alineación de ejes en máquinas rotativas para los laboratorios de la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 Formulación del problema	6
1.4 Justificación.....	6
2. Referentes Teóricos	7
2.1 Marco Teórico	7
2.2 Alineación de ejes	7
2.2.1 Significados básico de alineamientos de ejes	7
2.2.2 Objetivos de una adecuada alineación	9
2.2.3 Duración de una alineación	9
2.2.4 Evaluación de un proceso de alineamiento.....	10
2.2.5 Factores que afectan el correcto alineamiento.....	10
2.2.6 Desalineación	12
2.2.7 Efectos de la desalineación entre ejes.....	12
2.2.8 Clases de desalineamiento	12
2.2.9 Modelos gráficos de la desalineación	14
2.2.10 Proceso para realizar un alineamiento.....	16
2.2.11 Modelo matemático para la metodología de alineación doble radial	21
2.2.12 Tolerancia de alineación entre ejes.....	22
2.3 Métodos tradicionales de alineación de ejes	25
2.3.1 Reglas/galgas.....	26
2.3.2 Indicador de aguja	26
3. Metodología	27
3.1 Reconocimiento de la necesidad.....	28
3.2 Construcción banco didáctico.....	28
3.2.1 Diseño de la estructura.....	28

3.2.2	Construcción de la estructura	32
3.2.3	Montaje de equipo	32
3.3	Materiales utilizados para la fabricación y ensamble del banco de prácticas....	33
3.4	Proceso de preparación y ensamble de los equipos del banco de prácticas	34
4.	Guía de procedimiento de alineación: Método: Cara-Lomo o Borde Cara.....	37
4.1	Antes de iniciar con el proceso.....	40
4.1.1	Tomar las medidas de referencia iniciales	41
4.1.2	Montaje de los accesorios del indicador de carátula.	42
4.1.3	Tomar las lecturas iniciales.....	42
4.1.4	Registro de las lecturas	43
4.1.5	Primera revisión: (Desalineamiento angular vertical)	45
4.1.6	Segunda revisión: (Desalineamiento paralelo vertical).....	46
4.1.7	Tercera revisión: (Desalineamiento angular horizontal)	46
4.1.8	Cuarta revisión: (Desalineamiento paralelo horizontal)	47
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	49
5.1	Conclusiones.....	49
5.2	Recomendaciones.....	49
	Bibliografía	58

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Alineación de ejes en tres dimensiones	8
Figura 2-2: Tipo de desalineamiento de ejes	9
Figura 2-3: Efectos de la temperatura	11
Figura 2-4: Tipos de desalineación entre ejes.....	13
Figura 2-5: Imagen visualizada lateralmente y vista de arriba de la máquina.....	14
Figura 2-6: Imagen de las medidas de los pernos en la base y las coordenadas (putos) de medidas.....	15
Figura 2-7: Instrumentación Método del indicador reverso.....	17
Figura 2-8: Instrumentación Método lateral - radial	18
Figura 2-9: Instrumentación Método doble radial Desenfocada hay que mejorarlas	19
Figura 2-10: Sistema de alineación de un solo emisor laser	19
Figura 2-11: Sistema de alineación de un solo emisor – receptor dual	20
Figura 2-12: Sistema de alineación de emisor con divisor láser.....	20
Figura 2-13: Semejanza de las medidas de la maquinaria y los datos indicados por ambos indicadores de carátula	21
Figura 2-14: Puntos flexibles en diversos tipos de acoples	22
Figura 2-15: Puntos flexibles en diversos tipos de acoples	23
Figura 2-16: Valores máximos de desalineación para máquinas conectadas por acoples flexibles.....	24
Figura 3-17: Estructura Metálica	29
Figura 3-18: Saliente-Extruir1	30
Figura 3-19: Análisis estático tensión nodal.....	30
Figura 3-20: Distribución de factor de seguridad FDS mínimo	31
Figura 3-21: Escala de deformación	31
Figura 3-22: Construcción estructura banco de alineación didáctico.....	32
Figura 3-23: Motor eléctrico marca Fuji Electric	33
Figura 3-24: Preparación y ensamble	34
Figura 3-25: Banco de prácticas ensamblado	35
Figura 4-26: Banco de alineación Vista superior.....	37
Figura 4-27: Medidas de seguridad o loto.....	38
Figura 4-28: Limpieza de área y equipo de trabajo	39
Figura 4-29: Herramientas necesarias para la actividad	40
Figura 4-30: Requerimientos de pre-alineación	41
Figura 4-31: Medición de las distancias A, B y C	41

Figura 4-32:	Montaje de los accesorios del indicador de carátula	42
Figura 4-33:	Lecturas del indicador de dial Desenfocada hay que mejorarlas.....	43
Figura 4-34:	Carta de progresión del alineamiento	44
Figura 4-35:	Carta de progresión del alineamiento	45
Figura 4-36:	Desalineamiento angular vertical	45
Figura 4-37:	Desalineamiento paralelo vertical	46
Figura 4-38:	Desalineamiento angular horizontal	47
Figura 4-39:	Desalineamiento paralelo horizontal	47
Figura 4-40:	Desviación paralela y angular.....	48
Figura 4-41:	Medicion del GAP	48

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Alineación equipos rotatorios a nivel mundial.....	25
Tabla 4-2: Tabla de desalineación permitida radial y axial por rpm	44

Introducción

Uno de los problemas que con frecuencia se encuentra en las máquinas industriales es el relacionado con la desalineación de ejes, que se producen con fuerzas externas las cuales apresuran el daño en las piezas giratorias a causa de la fatiga. Esto se debe a utilización excesiva de rodamientos autoalineables y acoplamientos elásticos, distorsiones en su operación que causan el desplazamiento del sistema conductor, entre otras.

La desalineación puede producir niveles de vibración que, que precipitan la degradación de los rodamientos y acoplamiento, así como el sobrecalentamiento del sistema conductor ocasionado por el acrecentamiento del consumo de energía eléctrica, además de otras causas, siendo la de mayor peso, los esfuerzos de los técnicos de mantenimiento que acrecientan su trabajo por corregirlo antes de que produzca daños irreparables que pueden llegar a la parálisis de equipos de forma imprevista por estas fallas, por tanto, es importante hacer el diagnóstico de las fallas de éstas fuerzas externas y los procedimientos de mejora.

El estudio del comportamiento a la respuesta vibratoria de máquinas desalineadas se origina en la actividad de mantenimiento que el autor del presente TIG, desempeña como Mecánico de Mantenimiento Industrial en Termotasajero II, Norte de Santander, lo que permite ampliar y profundizar los conocimientos la desalineación de ejes.

Uno de los pilares de mantenimiento industrial es su metodología para el monitoreo de las máquinas rotativas, lo que permite la racionalización de costos, optimización en la confiabilidad de las maquinas industriales y la identificación de los problemas este tipo de equipos.

Por otra parte, la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta, en los últimos años ha mejorado sus laboratorios con equipos adquiridos en años anteriores. En el laboratorio de Mecánica y Soldadura, se encuentran bancos de pruebas con características didácticas resultados de proyectos de grado a nivel de tecnología e ingeniería que son dispositivos pedagógicos para experimentación de los conocimientos teóricos.

Contar con un banco de ensayos de para alineación de ejes en máquinas rotativas proporciona un proceso de enseñanza - aprendizaje que permite la articulación de los conceptos teóricos con la práctica. Por lo tanto, este TIG de Mantenimiento Electromecánico Industrial presenta la construcción e implementación de un banco didáctico de alineación de ejes proyectado para la realización de ejercicios prácticos sobre el tema principal abordado.

1. Construcción de un banco de prácticas para alineación de ejes en máquinas rotativas para los laboratorios de la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

1.1 Planteamiento del problema

Un pilar importante en el departamento de mantenimiento en la industria es el monitoreo de condición en las máquinas rotativas, con la verificación de efectos en los equipos que sirven para reducir daños imprevistos. El reducir estos inconvenientes, permiten reducir los costos en paradas no programadas y en el mantenimiento correctivo de los equipos.

Según Benítez (2013), dentro de las técnicas para el monitoreo del estado de las maquinas rotativas, se encuentra el análisis de vibraciones, la cual ofrece un amplio rango de confiabilidad en el descubrimiento de fallas ocasionadas por la fatiga de elementos rodantes por problemas de fabricación. Por lo tanto, este análisis certifica el mantenimiento correctivo y avala el funcionamiento óptimo de la máquina.

Para este autor, la desalienación entre cuerpos rotativos es una de las fallas comunes en las máquinas industriales ocasionadas debido a fuerzas y precipita miento del debilitamiento por sobreesfuerzo en las piezas giratorias. De allí la importancia de analizar lo que los producen y establecer que métodos pueden corregir estas fallas.

Los conocimientos que adquieren los estudiantes del programa académico de Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial de la Universidad Antonio Nariño sobre los esfuerzos de los cuerpos en movimiento se deben apoyar en la experimentación y la práctica con dispositivos que les permitan visualizar los comportamientos de estas fallas, lo que permite una comparación entre lo teórico y experimental.

La Universidad Antonio Nariño cuenta con diversos dispositivos para alineación de elementos rotativos pero adolece de un banco didáctico integral que permita implementar prácticas de laboratorio sobre este tema, esto dificulta un aprendizaje práctico, que no realiza el futuro profesional en formación perdiendo el espacio de conocer el manejo y funcionamiento de la forma como se realiza la alineación de estos elementos, caso importante dentro de la profesión de la ingeniería electromecánica. El desarrollo del proyecto soluciona en parte el problema y dota aportando a los laboratorios de la UAN un banco didáctico de alineación de ejes.

La oferta que ofrecen varios modelos de bancos educativos para hacer pruebas de alineamiento tiene como primer fabricante, a Spectra Quest INC. (1998), que ha creado bancos de aprendizaje y detección fallas de alineamiento de ejes, poleas, resonancia, modos en vibraciones, y defectos en rodamientos, etc. En este contexto podemos encontrar maquinas de inversiones costosas que dependen de las simulaciones y facilidades que pueda realizar. Estos bancos son adquiridos por universidades con el objetivo de que los estudiantes realicen prácticas de laboratorio de los principios básicos del monitoreo de condición en maquinaria industrial (Tan, McNickle, & Timms, 2003).

Las actividades experimentales a través de dispositivos didácticos permiten a los estudiantes realizar prácticas con los conocimientos teóricos adquiridos que propician el aprendizaje significativo (Durán & Durán, 2013). Es decir, al combinar la parte experimental con la teórica, logran a mejorar la visualización y la comprensión de conceptos teóricos. Por lo tanto, la elaboración de este tipo de prototipos tiene la finalidad de fomentar el aprendizaje significativo en la formación integral de los estudiantes al combinar la práctica en las diversas actividades (Rojas, Moreno, & Calixto, 2012).

Así mismo, las prácticas de laboratorio permiten aprovechar la creatividad de los estudiantes ya que permiten la interacción con los principios teóricos y sus aplicaciones (Duarte, Gutiérrez, & Fernández, 2007). Además, la solución de una situación problemática experimental implica la utilización de una variedad de conceptos y modelos matemáticos dando paso al desarrollo de una actividad cognitiva compleja.

Con lo expuesto, el TIG consiste en construir un modelo de alineamiento para ejes y pruebas en laboratorio que tiene en cuenta el diseño ergonómico y adecuado a los estudiantes para realizar estas prácticas sobre fallas de desalineación, además de contar una guía de procedimiento para su desarrollo.

Ante esto surge la pregunta: ¿Cómo lograr que los Tecnólogos e Ingenieros Electromecánicos en formación puedan enfrentarse ante unas condiciones de operación de equipos muy similares a las presentes en la industria colombiana?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Construir un banco didáctico para prácticas de alineación entre maquinas rotativas utilizando una estructura de apoyo y dos elementos Bomba-motor dirigido a los laboratorios de la UAN sede Cúcuta.

1.2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar motor eléctrico, bomba centrífuga, tornillos, ángulos, laminas, herramientas de medición y ajuste, utilizando material dado de baja en la empresa y/o adquiriéndolo en los almacenes de la región para ensamblar el equipo de prácticas de alineación.
- Construir una estructura metálica base de apoyo en condiciones adecuadas de acuerdo con diseño en SolidWorks para soportar y anclar las máquinas rotativas de prácticas.
- Anclar los equipos Bomba y motor en el soporte de la estructura metálica dispuestos para las prácticas de alineación.
- Elaborar una guía de laboratorio con base en los procedimientos estándar para el apoyo y aprendizaje de las prácticas de alineación.

1.3 Formulación del problema

¿Es posible implementar en la Universidad Antonio Nariño un banco de prácticas de alineación de ejes en máquinas rotativas, para los estudiantes de Tecnología e Ingeniería en Mantenimiento Electromecánico Industrial?

Sí, es posible y el objetivo del proyecto es llevarlo a cabo, basado en la experiencia del autor, quien realiza este tipo de práctica en el desempeño de su labor, como mecánico de mantenimiento industrial en Termotasajero II, lo cual es de vital importancia para la reducción de costos, horas hombre, y pérdidas por pausas operativas.

1.4 Justificación

Los laboratorios de la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta se encuentran en un plan mejoramiento de su dotación, particularmente en prácticas en procesos mecánicos, este TIG aportará un equipo didáctico como herramienta pedagógica para detectar y corregir la desalineación de ejes de máquinas rotativas de gran importancia en la aplicación experimental de los conocimientos teórico-prácticos del mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo en la industria.

En consecuencia, la implementación de sistemas de simulación, monitoreo de alineaciones y vibraciones, son necesarios y prioritarios para la formación de Ingenieros competentes tanto en su proceso de formación universitario como en el ejercicio de su profesión en el sector industrial.

Tal como se ha visto, el desarrollo de un laboratorio de alineación de ejes representa un gran avance para la enseñanza de asignaturas integradoras que involucran temas en común, porque coadyuva a la formación del Ingeniero Electromecánico en una de las ramas con mayor futuro y perspectivas de desarrollo en el país como es el Mantenimiento Predictivo, el cual busca mediante el monitoreo y análisis de desalineaciones de ejes, los cuales derivan en vibraciones de los equipos, identificar cualquier posibilidad de falla en una máquina en ese campo.

2.Referentes Teóricos

2.1 Marco Teórico

Para Benítez (2013), las diversas innovaciones tecnológicas que actualmente se presentan, implican que las industrias han debido hacer cambios en sus procesos productivos para ser competitivos. Como resultado de ello, cada vez hay equipos rotatorios que giran a altas velocidades, elaborados materiales más livianos y con alta flexibilidad mecánica. Estos diseños han hecho necesario controlar los incrementos de las fuerzas estáticas y dinámicas en los equipos, lo que produce fatiga y desgaste en sus partes, y aumenta la posibilidad de fallas, por diversas causas y su intensidad depende de estas fuerzas, de las cuales algunas se pueden anticipar, pero otras son de carácter imprevisto

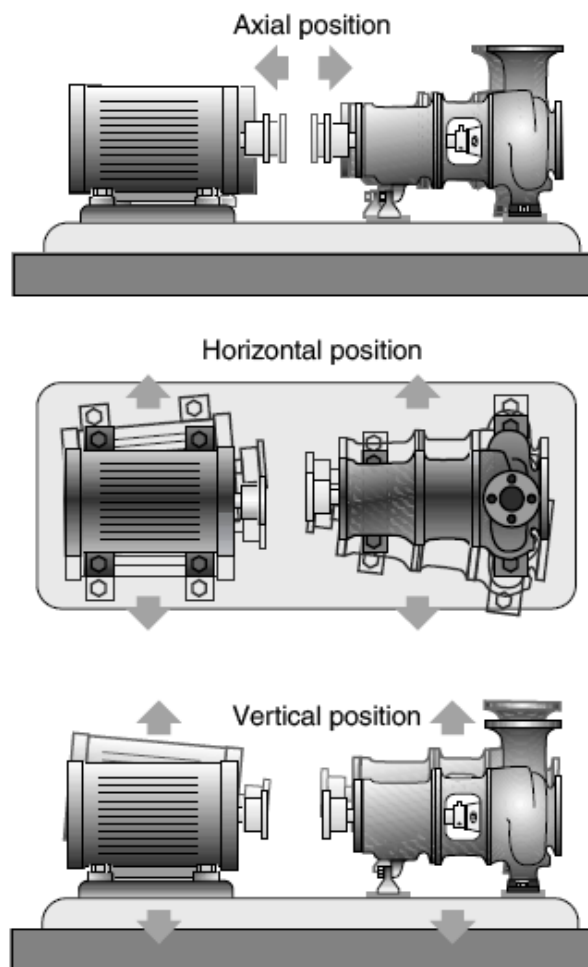
2.2 Alineación de ejes

2.2.1 Significados básico de alineamientos de ejes

El mejoramiento del tiempo productivo en las máquinas rotatorias empieza por el alineamiento preciso de los ejes ya que errores de este tipo pueden provocar diversas fallas, que van desde pérdidas de producción hasta tiempos de inactividad no planificados lo que ocasiona el aumento de los costos de mantenimiento. Esto se puede evitar debido al mantenimiento predictivo en el adecuado alineando de las máquinas durante la instalación y a un seguimiento adecuado a lo largo del tiempo. La alineación de los ejes prolonga la vida de la máquina, protege su disponibilidad y puede aumentar la calidad de la producción y su rendimiento, ya que los niveles de vibración se reducen al mínimo. Los motores mal alineados, producen calentamiento y daños en los acoples, los retenedores y las bolineras (Fluke Corporación, 2014, p. 2), y esta se produce cuando los ejes no están colineales (desalineación paralela u offset y desalineación angular) cuando se encuentran bajo condiciones normales de operación. Benítez (2013), replica con este

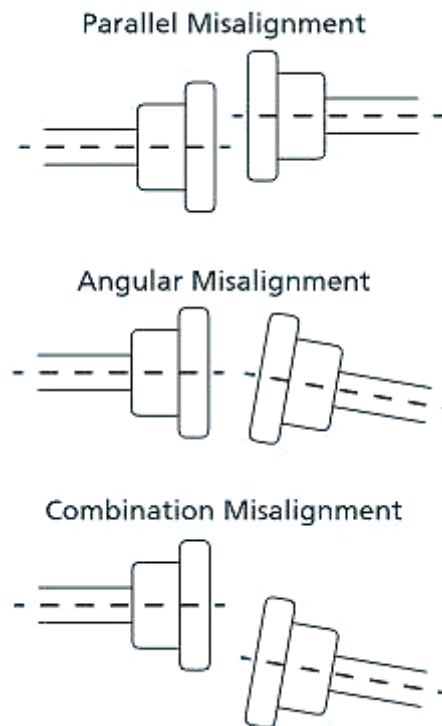
desalineamiento se produce en las indicaciones, horizontal y vertical. El desalineamiento vertical sirve para contar la postura del eje respecto con otro perpendicular en el marco del skit del motor, con esto decimos que el alto entre ejes, se puede ver en la figura 2-1.

Figura 2-1: Alineación de ejes en tres dimensiones



Fuente: Piotrowski, 2007, p, 292

El alineamiento axila es el ángulo que producen los ejes entre ellos. El alineamiento radial, es el desvío de centros que hay entre los centros de rotación de dos ejes de maquinaria (Benítez, 2013), como vemos en la imagen 2-2.

Figura 2-2: Tipo de desalineamiento de ejes

Fuente: Piotrowski, 2007, p. 343

2.2.2 Objetivos de una adecuada alineación

- Minimizar cargas axiales y paralelas.
- Quitar la probabilidad de daños repetitivos del eje.
- Conservar la holgura del rotor.
- Minimizar el gasto energético
- Bajar la escala de vibraciones y ruidos.
- Aumentar la seguridad de la maquinaria
- Incrementar la producción.

2.2.3 Duración de una alineación

Benítez (2013), indica que si se tiene el personal capacitado, las herramientas apropiadas, el stock de calzas, en una bomba típica de 60 HP, la alineación puede durar de 3 a 8 horas. Pero para ello no se deben tener detalles en acoples y eje, no existir

corrosión u elementos diferentes en las patas del motor y en el plato de apoyo y tener tornillos de empuje en los lados, entre otros.

Los resultados deseados en la alineación se consiguen con una movida excesivamente proporcional y otro para coa linear ambos planos (horizontal y vertical). Si se necesita otros movimientos para realizar la operación, significa que algo está mal.

Las maquinarias giratorias en su operación pueden sufrir variables debido a diversos factores por lo que si estas máquinas están recién instaladas deben chequearse entre los 3 y 6 meses al inicio de su marcha y luego se verifica de forma anual.

2.2.4 Evaluación de un proceso de alineamiento

El evaluador, además de revisar las lecturas en los comparadores, también se debe indicar la siguiente información:

- La posición relativa principal de los ejes.
- La mejora (si tubo) del pie cojo.
- Descripción sobre detalles en ejes o acoples.
- Los desplazamientos que se realizaron al motor.
- Las láminas usadas y la holgura final de alineamiento proporcionada.
- Los datos de operación del motor tales como vibraciones, calentamiento y consumo.

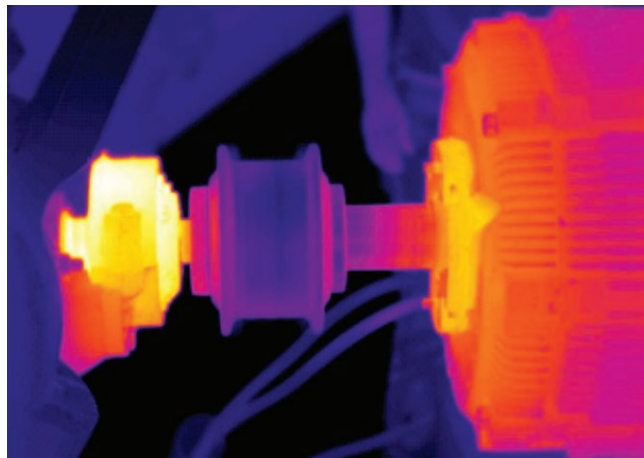
2.2.5 Factores que afectan el correcto alineamiento

Algunos factores relacionados con montaje y movimiento de la máquina, que afectan directamente el trabajo final de alineamiento (en cuanto a calidad, tiempo) son:

- **Pie cojo** (*soft foot*). Es un problema de montaje de la máquina; se presenta cuando alguno de los apoyos de la máquina no se encuentra en el mismo plano. Esto se debe a defectos de la cimentación en la base, a deformaciones térmicas, y al mal maquinado. Si no es verificado y corregido, afecta el funcionamiento final, y prolongan el tiempo de alineamiento, si no es que lo hace imposible.
- **Crecimiento térmico**. Un calentamiento alto es el primer indicador de un mal alineamiento de la máquina. Esto se debe a los cambios de temperatura en las

máquinas al alcanzar su operación permanente. Si no se conocen los valores de cambio dimensional en los planos horizontal y vertical en los apoyos del tren de máquinas, el resultado del trabajo de alineamiento será deficiente, es decir, el funcionamiento de las máquinas alineadas *frio* y su operación en *caliente* es diferente. Los ejes de rotación no son colineales (Benítez, 2013). En la figura 2-3 termográfica siguiente pueden observarse los efectos de la temperatura elevada como consecuencia de un mal alineamiento de los ejes.

Figura 2-3: Efectos de la temperatura



Fuente: Fluke Corporation, 2014, p. 2.

Así mismo, cuando los acoplamientos flexibles empiezan a calentarse la máquina trabaja a una temperatura más elevada, alrededor de los rodamientos.

- **Falta de herramientas para el movimiento de las máquinas.** Es necesario colocar tornillos de movimiento en cada apoyo de la máquina, así como el uso de lanas precortadas y calibradas, fabricados con materiales estables a la compresión (Santamaria, 2020).

Finalmente, el error humano, es uno de los factores que más genera la desalineación, en ciertas ocasiones debido a inexperiencia y a un mal un entrenamiento. Por esos es necesario que el personal técnico encargado de estas labores debe conocer y comprender todo lo relacionado con la precisión, que tenga en cuenta que existen

tolerancias que dependen de la clase de maquinaria y el acoplamiento para el alineamiento de los ejes (Benítez, 2013).

2.2.6 Desalineación

Para Best (s.f.), el desalineamiento se origina cuando el centro de giro de los ejes de las maquinarias no son colineales y se mide en dos planos: vertical (o vista de lado) y horizontal (vista de arriba). Esto podría producir (4) desvíos en un acople elástico, los cuales se toman medidas en paralelo (Centésimas de milímetro o Milésimas de in) y en angular (en Centésimas de milímetro/100 mm, en milésimas/pulg o en grados de ángulo).

2.2.7 Efectos de la desalineación entre ejes

Según Benítez (2013), la desalineación en una máquina rotativa produce momentos que crean esfuerzos de reacción entre las partes susceptibles de fallas (balineras, acoples, retenedores y ejes).

Si los acoples elásticos corrigen el desalineamiento, podemos decir que los ejes son elásticos y que cuando el desalineamiento es severo, estos empiezan a flexionarse y estarán en una deflexión continua cada vez que giren. Efectos del desalineamiento entre los ejes:

- El daño prematuro de las balineras, empaquetadura, retenedores acoples y ejes.
- El excesivo calentamiento cerca a las balineras.
- Pérdida abundante de la lubricación por retenedores mecánicos.
- Desgaste prematuro o quiebre en acoplamientos, los ejes por fatiga y los tornillos de la base.
- Debilitamiento y/o soldadura de la base de la máquina.
- aumento en las vibraciones angular y paralela de las maquinarias acopladas, así como el gasto eléctrico.

2.2.8 Clases de desalineamiento

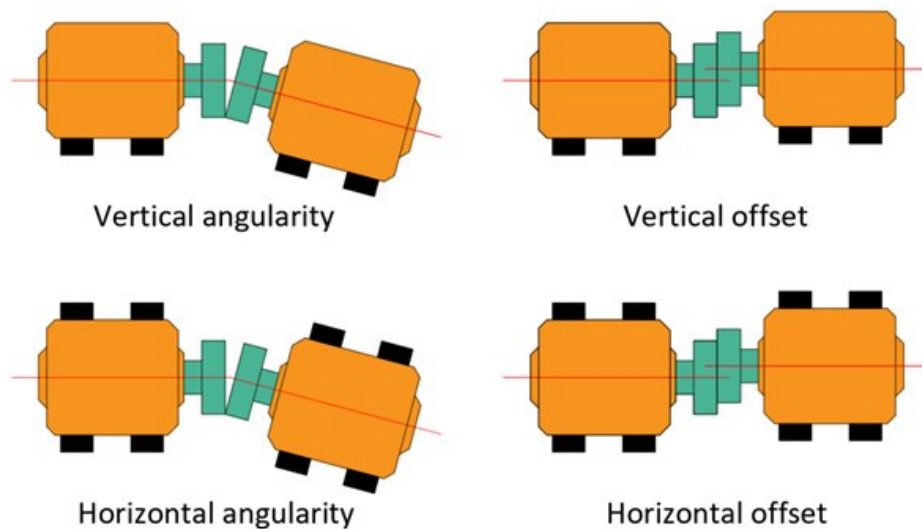
Para evitar los movimientos transmitidos a través de los ejes que causan averías al comportamiento de las máquinas se debe establecer con precisión los cambios que

soportan las máquinas desde sus estados en reposo hasta su puesta normal de funcionamiento. Es decir, al conocer estos cambios se considera que al dejar desalineadas las máquinas en condiciones ambiente, cuando adquieren su estado de funcionamiento dinámico, sus ejes queden alineados. En cuanto a la alineación, existen dos clases simples de desalineamiento en los ejes y estos son radial y axial.

Amu (2006), las define como:

- **Desalineamiento paralelo**, o distancia perpendicular entre la línea central de un eje y la misma línea central del otro eje, hay un desfase entre los ejes o un descompensamiento en cuanto a las distancias este fenómeno se corrige moviendo paralelamente la máquina. Los daños ocasionados por esta situación afectan los ejes de transmisión de potencia, acoples, sellos retenedores entre otros. Esto obliga a la maquina a realizar fuerzas de alta energía.
- **La desalineación angular**, produce un momento de flexión en cada eje, generando fuertes vibraciones axiales. Estas afectaciones las soportan directamente los rodamientos que logran el paralelismo en los acoples de los equipos. Esto produce sonido anormal que depende de la velocidad de la máquina. (p. 36). En la Figura 2-4, se pueden apreciar los tipos básicos de desalineación.

Figura 2-4: Tipos de desalineación entre ejes



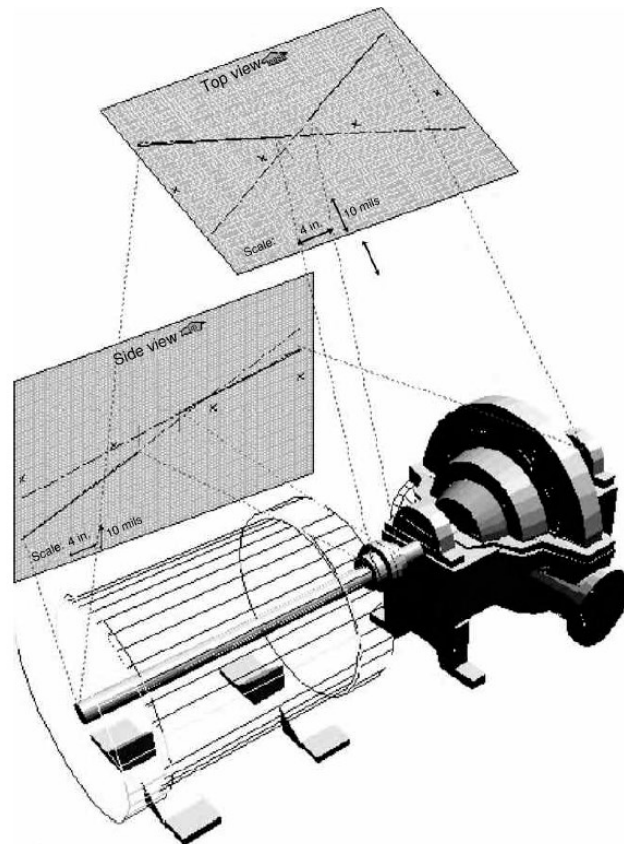
Fuente: Bannister, 2004, p. 7.

2.2.9 Modelos gráficos de la desalineación

Benítez (2013), manifiesta que los modelos ayudan a verificar la raya en centros de giro de ejes en su estado de desalineación, el cual mejora la decisión para el arreglo de los inconvenientes de alineamiento. Después de construir el modelo de alineamiento, se escoge la posición como se requiere el eje movable. Por ultimo utilizando (ecuaciones) se decide el número de los movidas a verificar y su dirección.

El mismo autor, indica que la imagen gráfica es el punto par calcular los métodos de alineamiento utilizados, uno se desalinea de otra teniendo en cuenta las herramientas usadas y de la ubicación de ellos. Este método se adquiere usando indicador de caratula, laminillas calibradas, módulos laser, que indican la ubicación de los ejes dentro del espacio, con esto podemos hacer un gráfico exagerado de las lecturas indicadas en el plano YX, y las unidades son in o mm. (Ver figura 2-5).

Figura 2-5: Imagen visualizada lateralmente y vista de arriba de la máquina

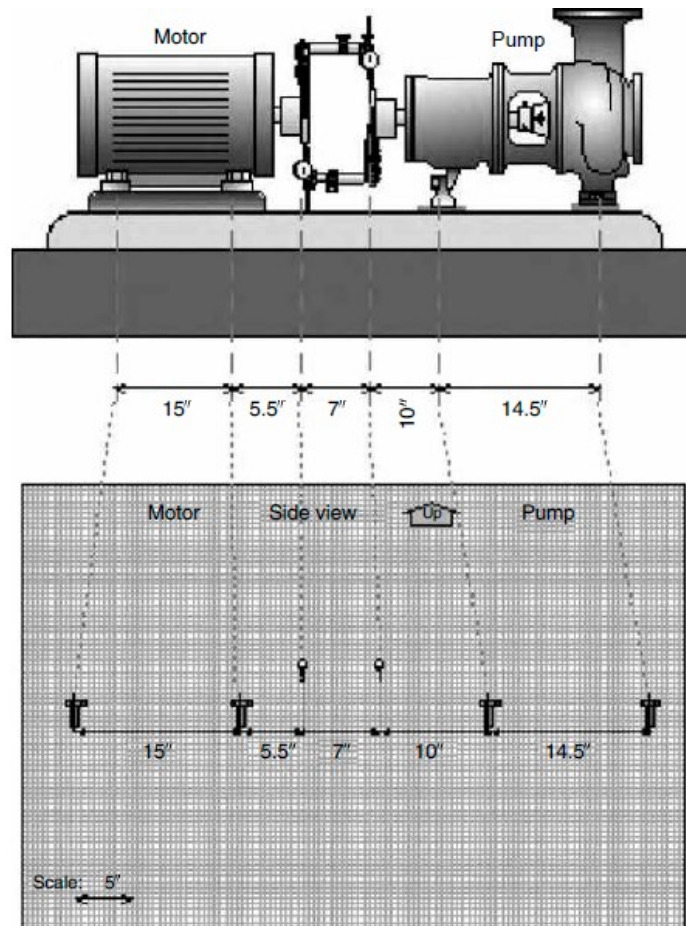


Fuente: Piotrowski, 2007, p. 323

Benítez (2013), dice que los posicionamientos principales en el motor para hacer la gráfica son las medidas entre los pernos de la base y puntos para medir respecto a los pernos en la base.

Por lo cual, estas medidas se dibujan en X (eje), verificando las lecturas en los relojes y se realiza una escala aumentada en Y (eje), con este método se puede verificar el desalineamiento entre los ejes, y tener los resultados de modificación (Ver figura 2-6).

Figura 2-6: Imagen de las medidas de los pernos en la base y las coordenadas (putos) de medidas.



Fuente: Piotrowski, 2007, p. 324

A todo esto, Benítez (2013) manifiesta que para realizar el modelo gráfico con las notas sacadas de dos indicadores de caratula, se realizan los siguientes puntos:

- graficamos medio resultado de la lectura de los indicadores de carátula.
- reiniciamos los indicadores de caratula llegando a cero en la parte superior del indicador.
- Si la medida en el indicador de carátula es positiva (+), se dibuja como un (valor) negativo en Y. “el eje que se está verificando está bajo con respecto al otro eje)
- Si la resultante en el indicador de carátula es negativo (-), se dibuja como un valor más (+) en Y (eje). “el eje que se está verificando está levantado respecto al otro).
- Ubicar una raya imaginativa para corregir el alineamiento.

2.2.10 Proceso para realizar un alineamiento

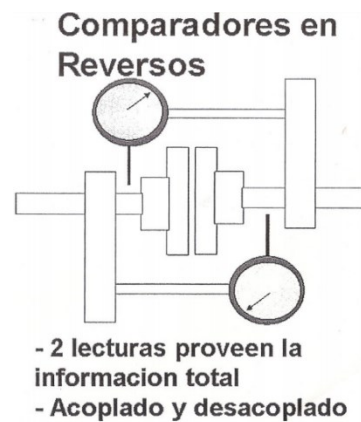
Benítez (2013), indica que estos procesos se diferencian entre sí de acuerdo con el método de obtener los valores, el proceso para verificar y corregir el desalineamiento, la exactitud y la repetición de las medidas.

- **Método para indicadores reversos.** Este método con indicador de carátula más escogido para realizar el alineamiento de ejes y puede ser usado entre el 59% - 69% de la maquinaria rotativa. Uno de los mejores métodos usado teniendo las longitudes de los puntos de medidas varían por 3” y hasta 30” in.

Una de varias ventajas se puede decir que es más efectivo que un proceso de borde – cara, ya que las distancias de los puntos de mediciones son mayor.

Otra cosa, que se destaca y se debe decir es que los dos ejes deben girar de igual manera. También, es complicado ver las lecturas en el indicador de carátula por las ubicaciones. Por último, tenemos cuidados en el apriete de los barrajes y indicadores de carátula, debido a que cualquier variación falsa nos dará malos resultados.

La verificación de elementos de medición se visualiza en la imagen 2-7.

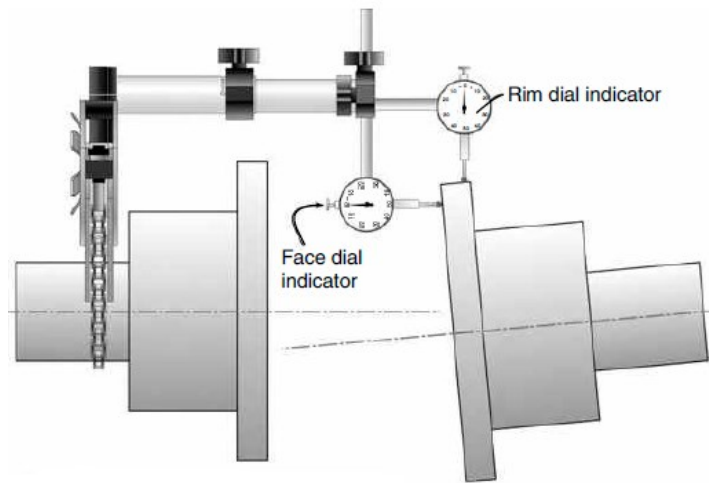
Figura 2-7: Instrumentación Método del indicador reverso

Fuente: Primera, 2014, p. 20.

- **Proceso de verificación cara y lomo.** Según Benítez (2013), es el primer método de alineamiento usando un indicador de carátula. Este método es utilizado para realizar el procedimiento de alineación después del montaje. La exactitud en este proceso es finalmente indicada por el diámetro por el cual se están tomando las medidas.

Algunas ventajas que recomiendan usar para esta técnica en procesos donde un eje de estos no gira, o esta con dificultad de girar (ej: un caja reductor muy grande). También, el personal que utiliza este proceso sobreentienden que el indicador de caratula paralelo indica el desalineamiento radial, y el indicador de caratula axial nos muestra un desalineamiento axial que está presente. Por último, este proceso se utiliza cuando las mediciones radiales dejan ser verificadas en un θ superior a 7.59" pulgadas.

Dentro de las desventajas, podemos decir que es bastante exacto como el proceso de comparadores reversos si los dos ejes pueden girar y singularmente las medidas axiales son realizadas con un diámetro inferior a 7.59". También, si un eje del motor, bomba, ventilador, etc, está montado en cojinetes babitados. Es frecuente que el eje se mueva axialmente cuando se gire, y estas lecturas no puedan ser reales. Por último, verificar el apriete en los puntos de posición de las varillas y indicadores de caratula, porque cualquier desajuste no da una lectura falsa. Podemos ver en la imagen 2-8, la medida axial la podemos realizar en cualquier lado del acoplamiento.

Figura 2-8: Instrumentación Método lateral - radial

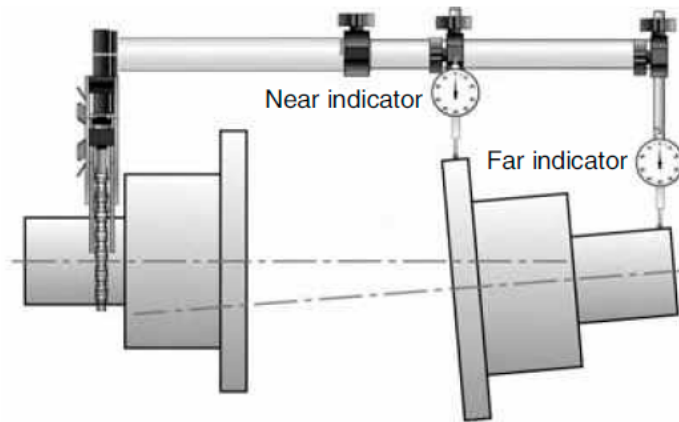
Fuente: Piotrowski, 2007, p. 370

- **Proceso de doble radial.** Benítez (2013), nos muestra que este proceso es realizado si la lejanía de los puntos donde se mide es superior a 2.59" in y su exactitud mejorara cuando el distanciamiento entre puntos de toma de medidas se aumenta.

Un beneficio que podemos indicar es que es un proceso para utilizar en condiciones cuando un eje no gira, o está complicado de girar. También, si un eje se corre paralelamente, o porque se gira el eje en el momento del alineamiento, esta movida paralela no influye en la toma de medidas. Por último, también podemos tomar medidas en piezas redondas internamente.

Por otro lado, indica el autor que entre los inconvenientes puede que no haya mucha parte del eje para poder tomar la toma de medidas. También, debemos verificar el apriete de los puntos de las varillas y los relojes de indicadores, porque un mal ajuste nos da una lectura falsa. Por último, tenemos poca superficie del eje para la toma de medidas, también verificamos en la imagen 2-9.

Figura 2-9: Instrumentación Método doble radial Desenfocada hay que mejorarlas

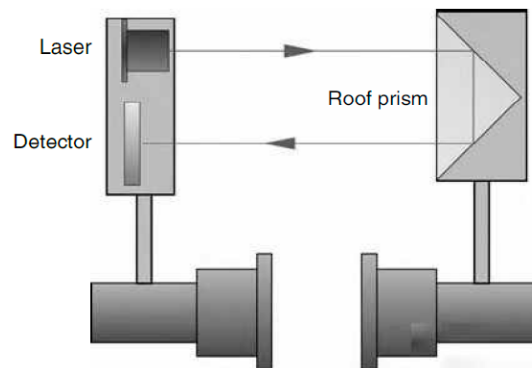


Fuente: Piotrowski, 2007, p. 390

- **Sistema de medición láser.** Comprenden los siguientes componentes generales: un transmisor, un receptor, las bases para montar y un localizador de ejes, también un PC de operaciones con un software instalado. Podemos mencionar tres métodos para alineamiento con láser, que utilizan la transmisión y recepción de las señales del sistema laser (Benítez, 2013).

Un emisor y receptor. Tiene un único proyector laser instalado en el eje que envía el láser al prisma, al siguiente eje. Un prisma devuelve la emisión láser a 180 grados para ser recogido por una foto diodo instalado en el punto del proyector (Benítez, 2013).. Este proceso se puede verificar en la imagen 2-10.

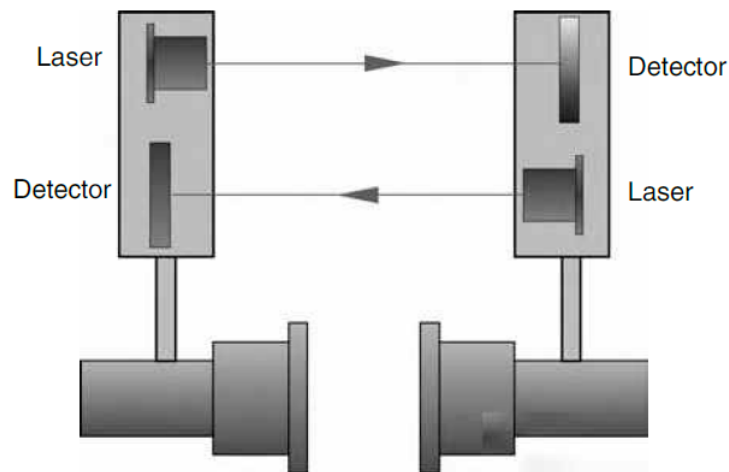
Figura 2-10: Sistema de alineación de un solo emisor laser



Fuente: Piotrowski, 2007, p. 412.

Emisor - receptor dual. Es la postura de un proyector de rayo láser y un receptor en ambos ejes (Benítez, 2013). El proyector láser se ubica en la parte superior del receptor que está posicionado en la mitad del receptor que está en el otro eje. (ver Figura 2-11).

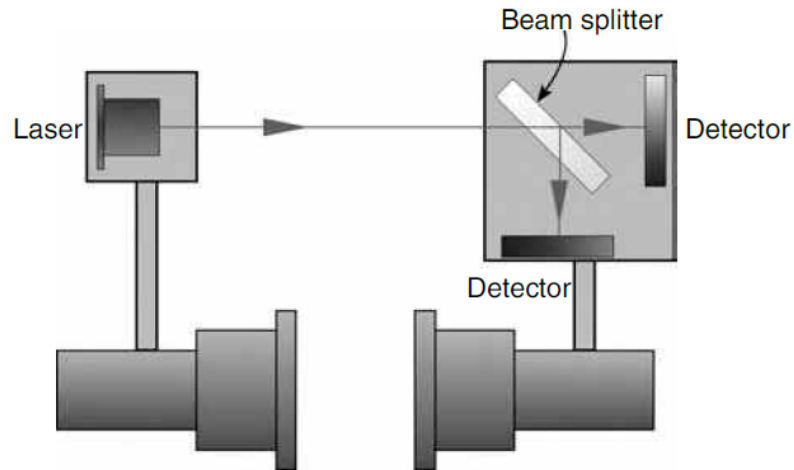
Figura 2-11: Sistema de alineación de un solo emisor – receptor dual



Fuente: Piotrowski, 2007, p. 413.

Proyector láser y dos receptores. Esta enviando para el divisor laser, que envía la luz láser a ambos receptores instalados a 90 grados entre los dos. (ver Figura 2-12).

Figura 2-12: Sistema de alineación de emisor con divisor láser

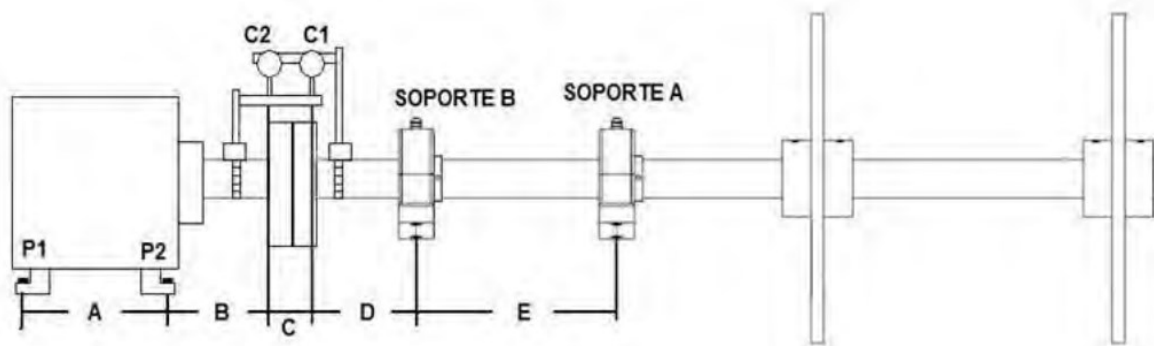


Fuente: Piotrowski, 2007, p. 413.

2.2.11 Modelo matemático para la metodología de alineación doble radial

La semejanza de las medidas de la maquinaria y los datos indicados por ambos indicadores de carátula se puede ver en la imagen 2-13.

Figura 2-13: Semejanza de las medidas de la maquinaria y los datos indicados por ambos indicadores de carátula



Fuente: Piotrowski, 2007, p. 413.

P1 y P2 (ver Ecuación (2.1) y (2.2)) son los valores (milímetros o en pulgadas) requeridos para arreglar el desalineamiento de los ejes, que muestra el número de laminillas verificadas a instalar o sacar de las patas del motor. El alineamiento axial se debe calcular en base a la tangente (ver Ecuación (2.3) de un ángulo mostrado en el desalineamiento de ambos ejes. (Benítez, 2013)

$$P1 = \left[\left[\frac{\left(\frac{C1}{2}\right) - \left(\frac{C2}{2}\right)}{C} \right] * (C + B + A) \right] - C1 \quad (2.1)$$

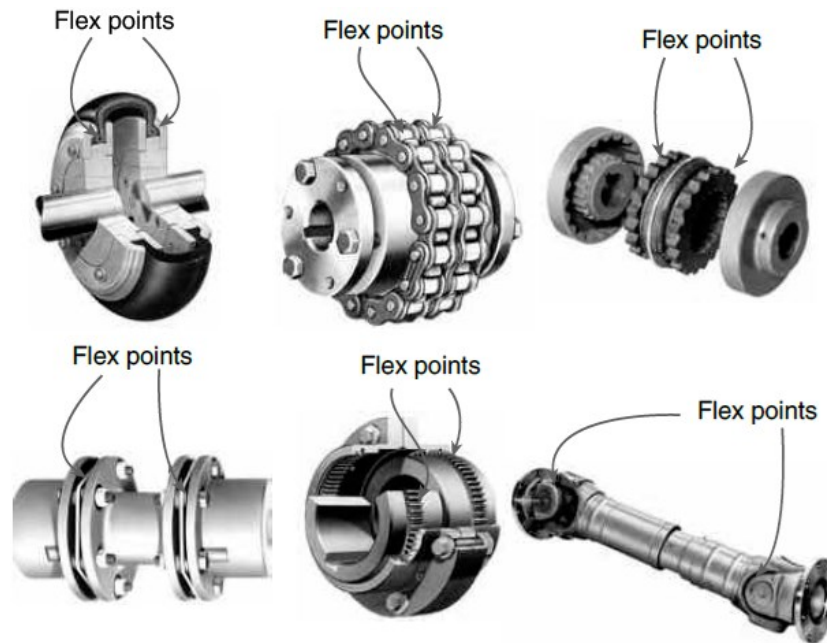
$$P2 = \left[\left[\frac{\left(\frac{C1}{2}\right) - \left(\frac{C2}{2}\right)}{C} \right] * (C + B) \right] - C1 \quad (2.2)$$

$$\tan \theta = \frac{\left(\frac{C1}{2}\right) - \left(\frac{C2}{2}\right)}{C} \quad (2.3)$$

2.2.12 Tolerancia de alineación entre ejes

Para aceptar una desalineación paralela y angular y que se dé un acoplamiento flexible hay que tener como mínimo 2 partes (figura 2-14) cuando el eje se deje flexar o posicionar en las condiciones de desalineamiento, permitiendo el transporte del potencial de rotación de uno de los ejes a su paralelo. La exactitud en el alineamiento es autonomía de cada acople instalado y es mencionado como funcionamiento de la ubicación del eje, y no con el funcionamiento de los limitantes de deflexión mecánico de los sistemas de acoplamiento (Benítez, 2013).

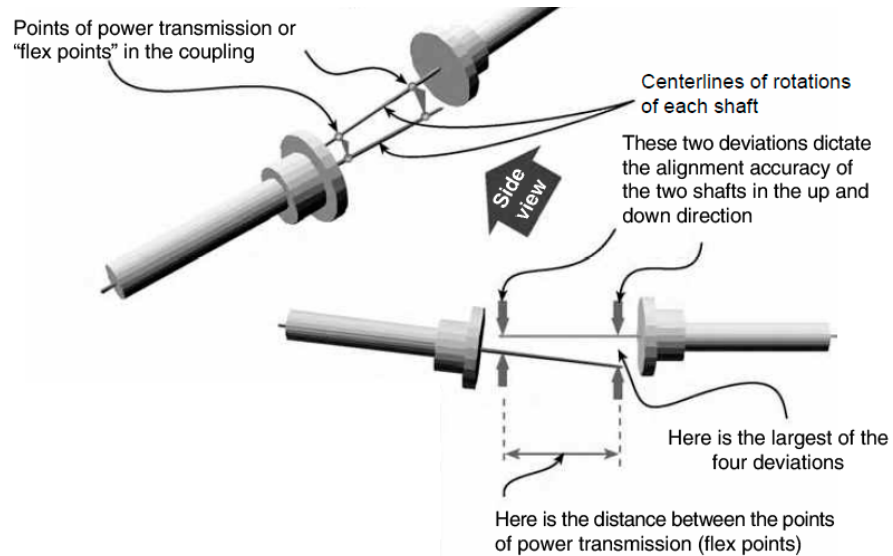
Figura 2-14: Puntos flexibles en diversos tipos de acoples



Fuente: Piotrowski, 2007, p. 344.

Por lo cual, el autor indica que debemos tener en cuenta la medición del desalineamiento en las partes deflectoras, esto porque el acoplamiento es esforzado a ubicarse con el desalineamiento, por donde pasa, la fatiga, y la transmisión de potencial por medio del acoplamiento. Con la imagen 2-15, evidenciamos la posición de las partes de deflexión que realizan un lineamiento en los ejes, lo que muestra los desvíos de un eje con el otro. El alineamiento identifica las partes de deflexión dentro de las escalas permitidas para la maquinaria, para disminuir el desviamiento de forma menor, teniendo en cuenta las diferentes velocidades de las máquinas, la máxima desviación encontrada y las distancias entre las partes de deflexión.

Figura 2-15: Puntos flexibles en diversos tipos de acoples



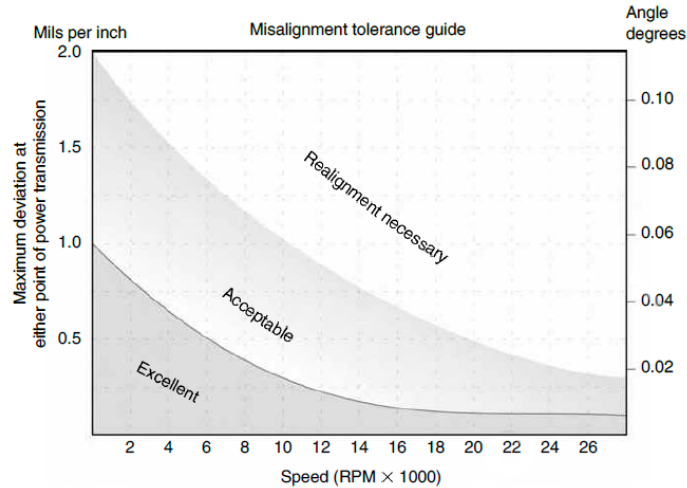
Fuente: Piotrowski, 2007, p. 346.

De acuerdo a la imagen 2-16, se tiene que valorar la holgura en la medición vertical y horizontal. Un ángulo de desalineamiento verificable en la coordenada Y, se saca utilizando la formula (2.4). Con el eje X y se asimilan las velocidades de rotación de las maquinarias (Benítez, 2013).

$$\emptyset = \frac{\left(\frac{C1}{2}\right) - \left(\frac{C2}{2}\right)}{C}$$

(2.4)

Figura 2-16: Valores máximos de desalineación para máquinas conectadas por acoples flexibles.



1

Fuente: Piotrowski, 2007, p. 349.

Alineamiento de maquinarias dentro de las holguras especificadas. Prüftechnik, (2011), evidencio que < 10% de las 160 máquinas seleccionadas al azar estaban alineadas dentro de los límites aceptables (Tabla 2 -1). Sólo el 7% se encontraban en las tolerancias (para equipos que giran a 3000 rpm) de alineación aceptables.

Tabla 2-1: Alineación equipos rotatorios a nivel mundial

Desalineación radial (mm)	Máquinas analizadas (%)	
0,00 - 0,05	7%	ALINEACIÓN ACEPTABLE
0,06 - 0,10	10%	FUERA DE TOLERANCIA
0,11 - 0,20	23%	
0,21 - 0,50	31%	
0,51 - 1,00	18%	
> 1,00	11%	

2.3 Métodos tradicionales de alineación de ejes

Las máquinas actuales requieren el alineamiento de precisión para permanecer dentro de un rango de tolerancia recomendado por lo que métodos convencionales no son apropiados ya que se obtienen alineamientos deficientes.

2.3.1 Reglas/galgas

Es un método común que utiliza reglas o galgas, que dependen del ojo humano. La indicación de 1/10 mm es inadecuada, para muchas de máquinas, para el correcto diagnóstico de problemas de alineamiento.

2.3.2 Indicador de aguja

Este método requiere de complejas operaciones matemáticas para determinar los errores de alineamiento debido a que ofrecen una resolución de 1/100 mm. También es susceptible a errores humanos por lecturas incorrectas en los valores y errores ocasionados durante cálculos.

3. Metodología

Como el proyecto es de tipo pedagógico, se establecieron unos objetivos donde la meta proyectada es el diseño un banco didáctico de alineación de ejes para el desarrollo de prácticas de laboratorio del programa de tecnología en mantenimiento electromecánico industrial e ingeniería electromecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

Además, La investigación está enfocada en el desarrollo de un proyecto factible, consiste en realizar un método factible, dirigido a suplir necesidades puntuales teniendo de una revisión.

Dubis (2002), plantea que un proyecto factible consiste en investigar, realizar y desarrollar de un modelo funcional factible para arreglar inconvenientes, necesidades requeridas de sociedades o sectores sociales que pueden pronunciarse a la reglamentación de políticas, repertorios, procesos tecnológicos y metodologías.

Del mismo modo, Arias 2006, resalta: “Que esto es una propuesta de un proceso para corregir inconvenientes fácilmente o cumplir con las necesidades. Es de suma importancia que las recomendaciones se acompañen de investigaciones, que verifiquen su veracidad o capacidad de realizarse” (p. 134).

Para cumplir con los objetivos del proyecto se tendrá en cuenta las siguientes etapas:

- Reconocimiento de la necesidad
- Construcción banco didáctico
- Materiales utilizados para la fabricación y ensamble del banco de prácticas
- Proceso de preparación y ensamble de los equipos del banco de prácticas

3.1 Reconocimiento de la necesidad

Un banco de pruebas es una base para experimentación de investigaciones de gran desarrollo. los bancos de pruebas brindan una forma de comprobación rigurosa, transparente y repetible de teorías científicas, partes computacionales, y otras nuevas tecnologías.

El significado es usado en varias disciplinas para describir un ambiente de mejora que está protegido de los riesgos de las pruebas en un ambiente de producción. es un método para probar un módulo particular (función, clase, o biblioteca) en forma aislada. puede ser implementado como un entorno de pruebas, pero no necesariamente con el propósito de verificar seguridad.

Este banco de pruebas es una maquina industrial que sirve para realizar evaluaciones previas en los diferentes tipos de arranques y manejos en motores trifásicos. los bancos de pruebas para arranques de motores trifásicos pueden estar automatizados con diferentes tipos de control.

Se diseñara un banco educativo para reforzar los conocimientos de alineamiento de los ejes, utilizando los elementos disponibles en la empresa donde labora el autor los cuales serán donados por su empleador para su uso académico en las prácticas de laboratorio para la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

3.2 Construcción banco didáctico

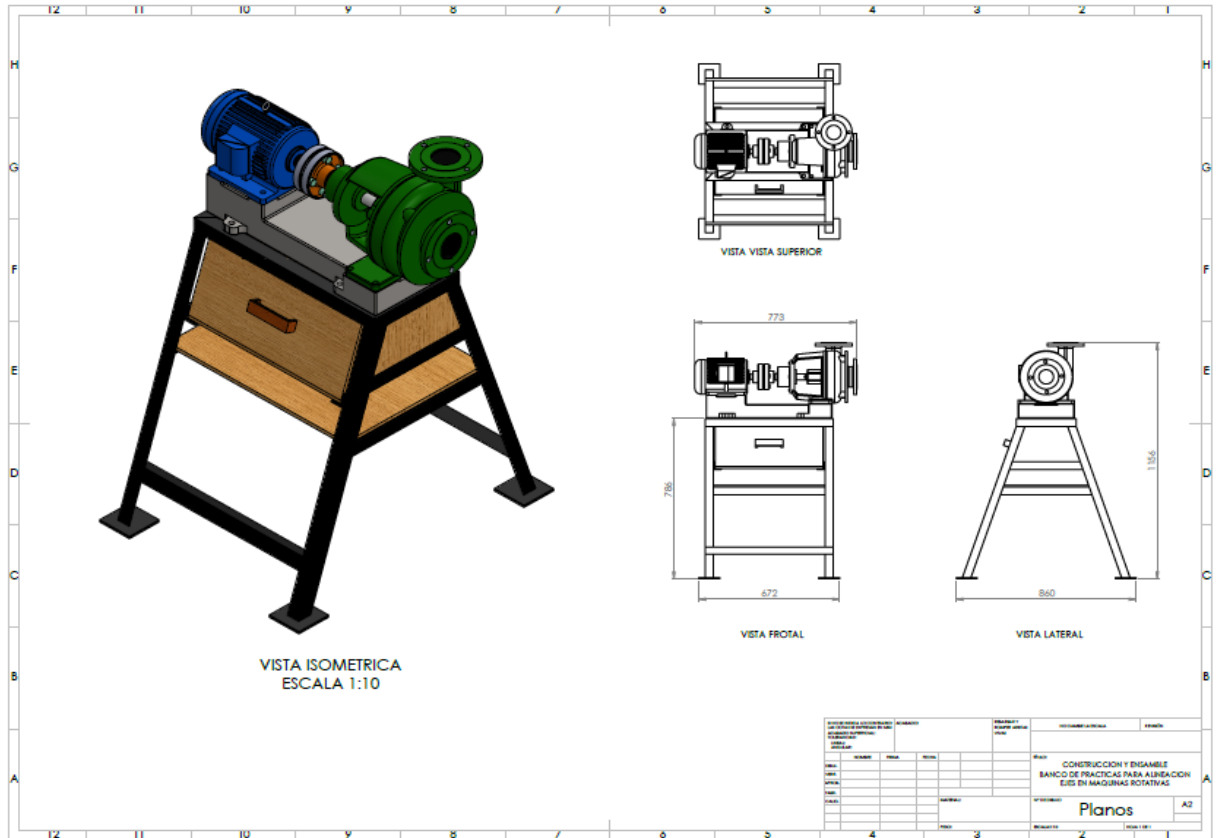
Se realiza la construcción del banco didáctico para prácticas de alineación ejecutando las siguientes actividades.

3.2.1 Diseño de la estructura

Se tomaron las dimensiones de los equipos a utilizar en el banco didáctico para prácticas de alineación de ejes de máquinas rotativas, teniendo como base estas dimensiones se realizó el diseño de la estructura metálica con la ayuda de un ingeniero mecánico especializado en diseño gráfico, se monta el diseño en un software llamado SolidWorks (ver anexo A y anexo B) para realizar los cálculos de carga, esfuerzos y distribución del

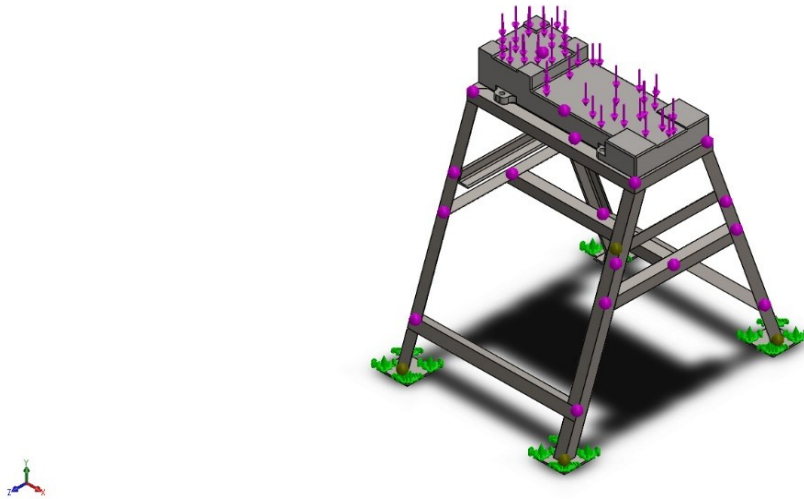
banco determinando las medidas pertinentes para cada sección y el material a utilizar (ángulo de 1/8" * 1 1/8", rodachines de 2", platina de 4" * 1/4") la cual podemos observar en la Figura 3-17.

Figura 3-17: Estructura Metálica



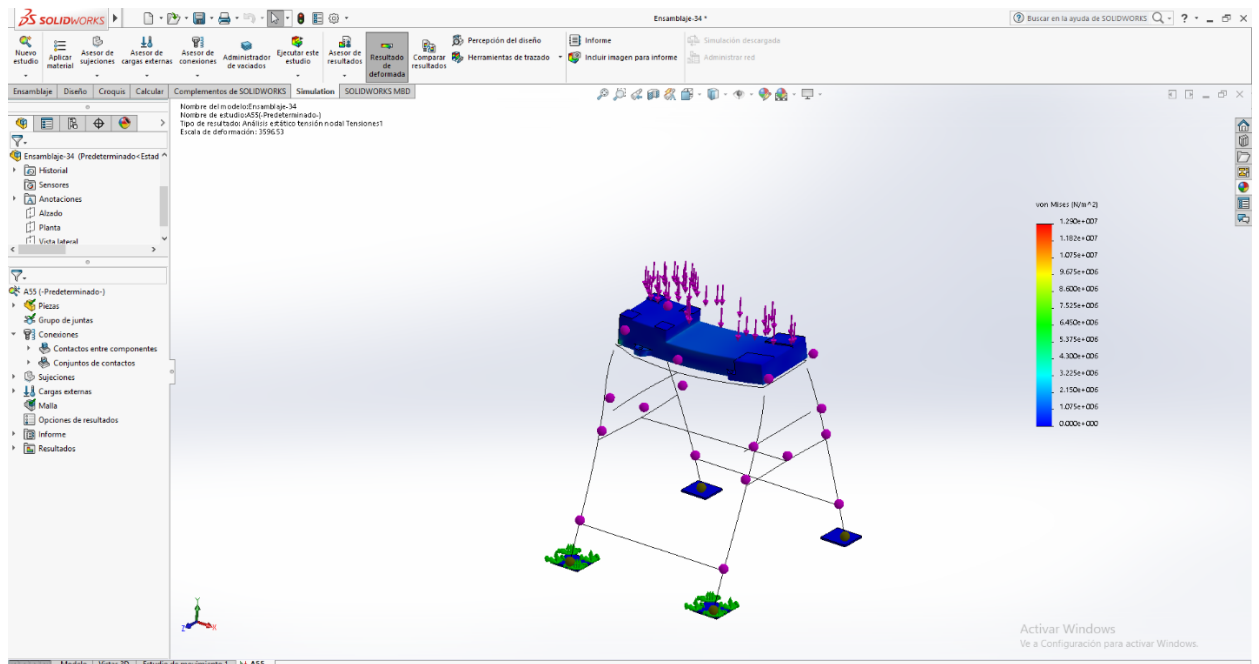
Fuente: Ingeniero Jesús Méndez

Figura 3-18: Saliente-Extruir1



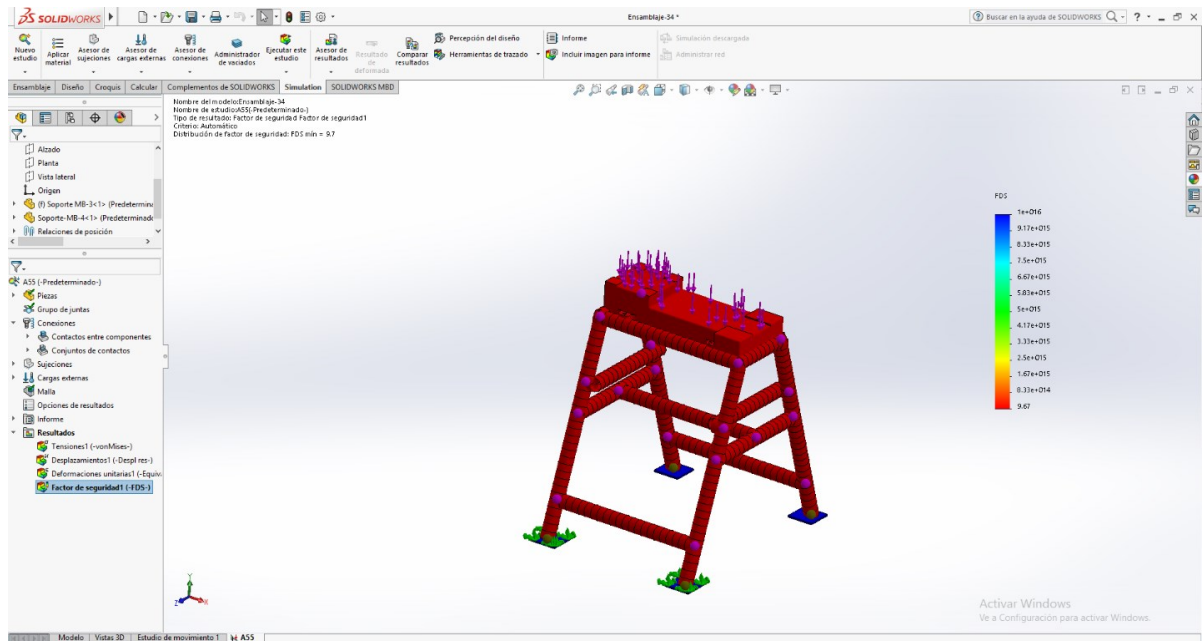
Fuente: Ingeniero Jesús Méndez

Figura 3-19: Análisis estático tensión nodal



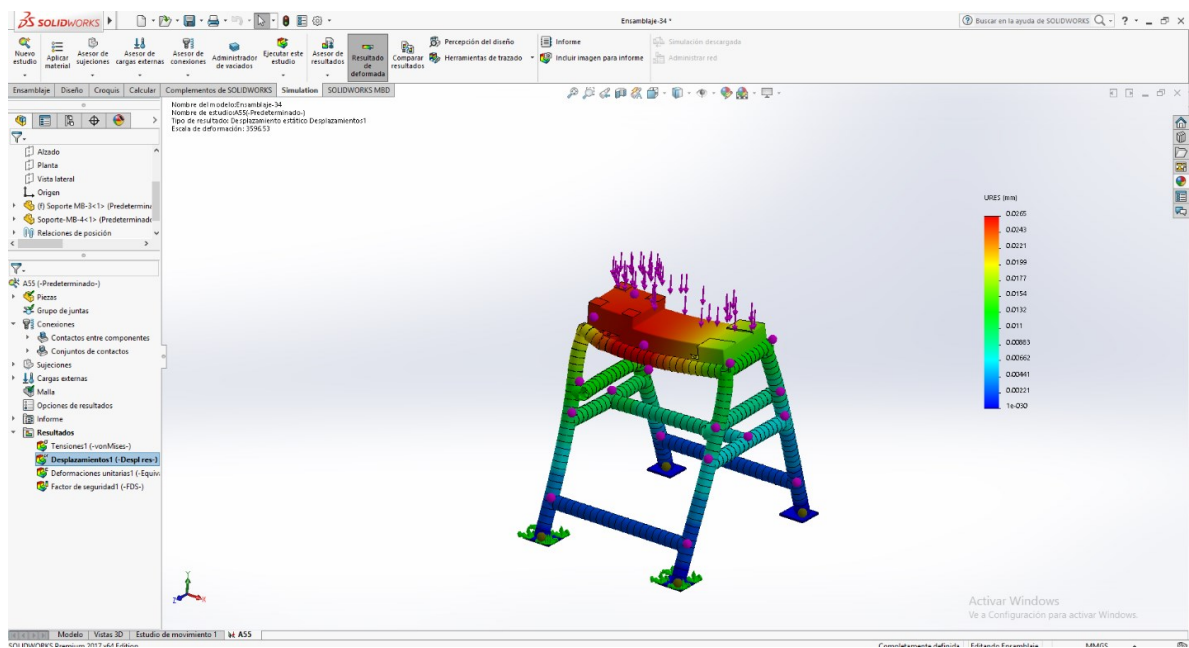
Fuente: Ingeniero Jesús Méndez

Figura 3-20: Distribución de factor de seguridad FDS mínimo



Fuente: Ingeniero Jesús Méndez

Figura 3-21: Escala de deformación



Fuente: Ingeniero Jesús Méndez

3.2.2 Construcción de la estructura

Fundamentando en el diseño realizado se adquieren los materiales necesarios y se ejecuta la construcción del banco en el taller de soldaduras de la empresa donde labora actualmente el autor. En la Figura 3-22, contemplamos el proceso de construcción de la estructura.

Figura 3-22: Construcción estructura banco de alineación didáctico



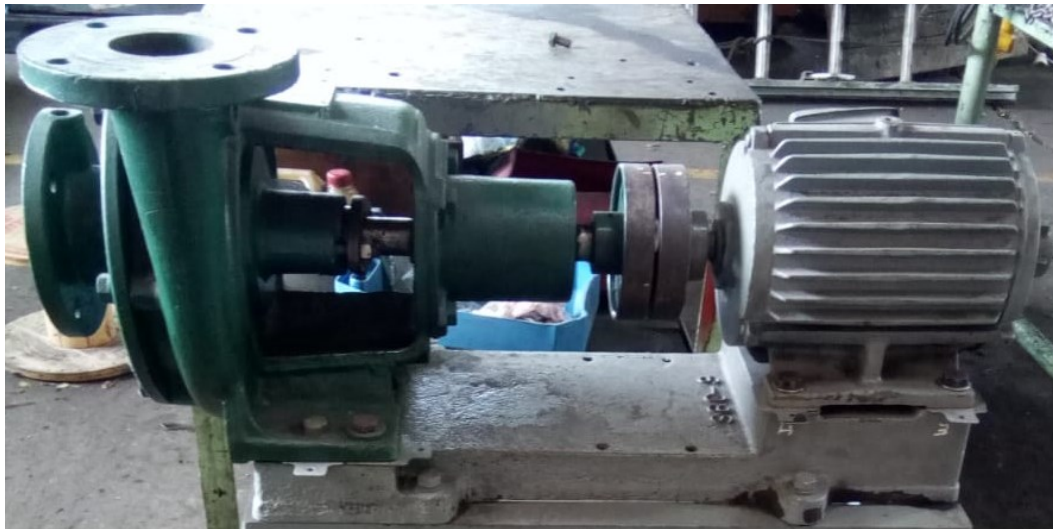
Fuente: Autor

3.2.3 Montaje de equipo

Montaje de láminas de madera. Se toman medidas de las caras, gaveta y entrepaño de la estructura, para realizar los cortes de láminas de madera (MDF), realizado los respectivos cortes se ensambla la gaveta y se instalan las láminas de madera en la estructura metálica.

Selección de equipos. Se selecciona un conjunto de motor eléctrico marca Fuji Electric (de 3 fases, 5.5 KW - 7.375 hp de salida, 60 HZ, 460 Voltios, 9.7 Amp, 1755 rpm, 4 POLOS) y una bomba marca Kyokuto Machinery (de una etapa, Modelo SMF, Capacidad 65M³/H, CAbeza 20M, Temperatura de operación AMB/70°C, Frecuencia HZ, Velocidad 1750 RPM, Salida 2.2 KW), instalados sobre una base de fundición gris, los cuales pertenecían al sistema de enfriamiento del aire acondicionado de la central termo eléctrica Termotasajero Colgener estos equipos fueron dados de baja por mejoramiento del sistema y donados al autor para contribuir a la realización de su proyecto de grado.

Figura 3-23: Motor eléctrico marca Fuji Electric



Fuente: autor

3.3 Materiales utilizados para la fabricación y ensamble del banco de prácticas

Se utilizó 16 tornillos de 1/2" * 2", 4 tuercas de 1/2", 8 arandelas planas, 8 arandelas de presión, 500gr de soldadura 7018 de 1/8", 1/2 galón de fondo para pintura anticorrosivo gris, 1 grata para pulidora, 3 pliegos de lija 400, 1/4 de galón de pintura negra brillante, 1/8 de galón de pintura verde máquina, 1/8 de galón de pintura gris brillante, 1/8 de galón de pintura azul, 1 galón de thinner, 4 rodachines de 2", 16 tornillos de 1/4", madera MDF, ángulo de 1/8 * 1 1/2" 8.40m, motor eléctrico y bomba centrífuga de una etapa.

3.4 Proceso de preparación y ensamble de los equipos del banco de prácticas

Figura 3-24: Preparación y ensamble



Fuente: autor

Después de adquirir los equipos, materiales, diseño y medidas de la estructura metálica se procede a realizar los cortes del ángulo de $\frac{1}{8} * 1\frac{1}{2}$ " para la fabricación de la mesa, una vez obtenidas todas las piezas cortadas, se arma la estructura aplicando soldadura 7018 y se detallan las uniones.

Se preparó el motor, la bomba, la base del motor – bomba, la estructura metálica y demás componentes, para realizar limpieza profunda con grata, pulverizadora y lija.

Después de realizar la limpieza se procedió a aplicar el fondo en anticorrosivo gris, una vez secado este fondo se pintó cada componente con su respectivo color.

Se instalaron rodachines de 2" en las patas de la estructura, se ensambla la base del motor-bomba a la estructura metálica, utilizando 4 tornillos de 1/2" * 2" con sus respectivas tuercas, arandelas planas y arandelas de presión. Se instaló el motor y la bomba en la base anteriormente mencionada para realizar el proceso de alineación.

Con las partes de madera (MDF) se construyó la gaveta donde se guarda las herramientas que se usan en la práctica de alineación, las otras partes de madera se utilizaron para el entrepaño, tapas laterales y frontal.

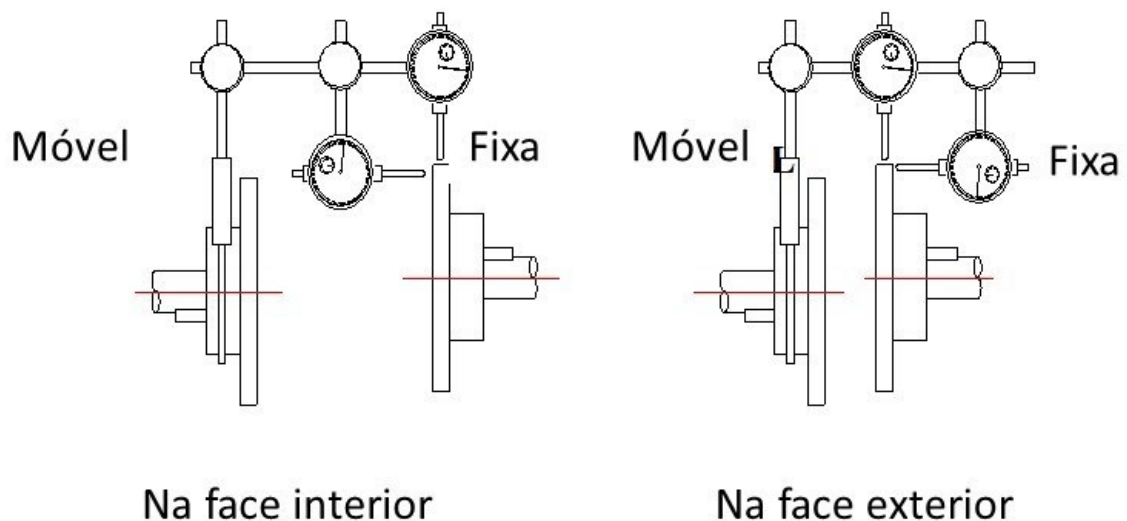
Figura 3-25: Banco de prácticas ensamblado



Fuente: autor

4. Guía de procedimiento de alineación: Método: Cara-Lomo o Borde Cara

Figura 4-26: Banco de alineación Vista superior



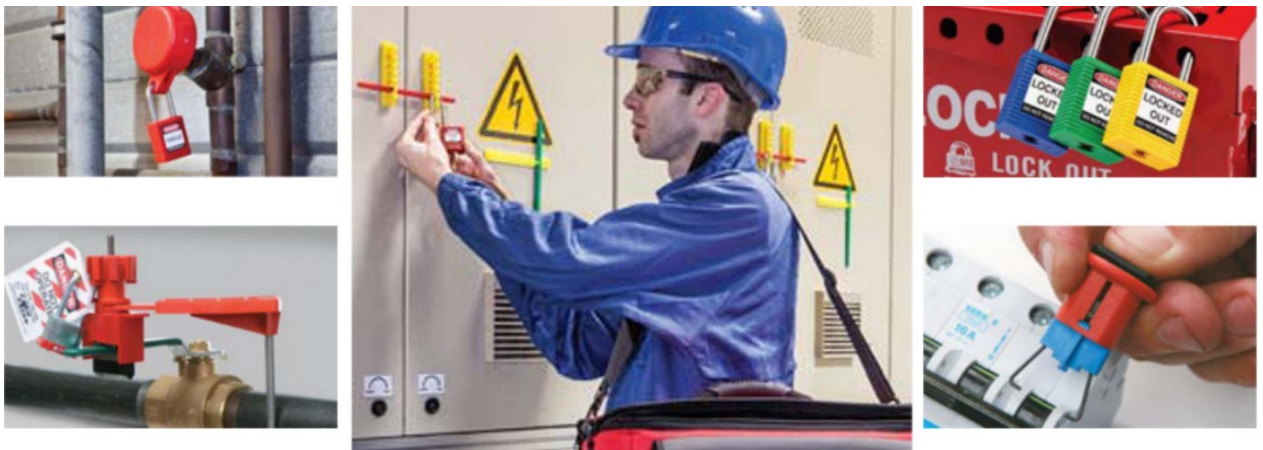
Fuente: DMC, 2020.

El método cara-lomo o borde cara es uno de los métodos más tradicional, sencillo y usado para realizar la alineación entre ejes de máquinas rotativas. Consiste en tomar parámetros de desalineación o desviaciones de la cara como del borde extremo de un eje con el cual se debe alinear.

Para alinear correctamente usted deberá:

Implementar las debidas medidas de seguridad en el equipo a intervenir:

1. Uso de EPP necesarios para la tarea relacionada como:
 - Casco de seguridad.
 - Mono gafas.
 - Tapa oídos, según el área.
 - Guantes “tipo Kimberly”.
 - Botas de seguridad.
 - Ropa adecuada.
2. Revisión y alistamiento de herramientas.
3. Implementar las medidas de seguridad o loto para intervenir la máquina:
 - Desenergizar, condensar y tarjetear el interruptor.
 - Recibir el equipo libre de carga.
 - Bloquear, tarjetear válvulas de los elementos neumáticos e hidráulicos.
 - Realizar drenaje de tuberías.

Figura 4-27: Medidas de seguridad o loto

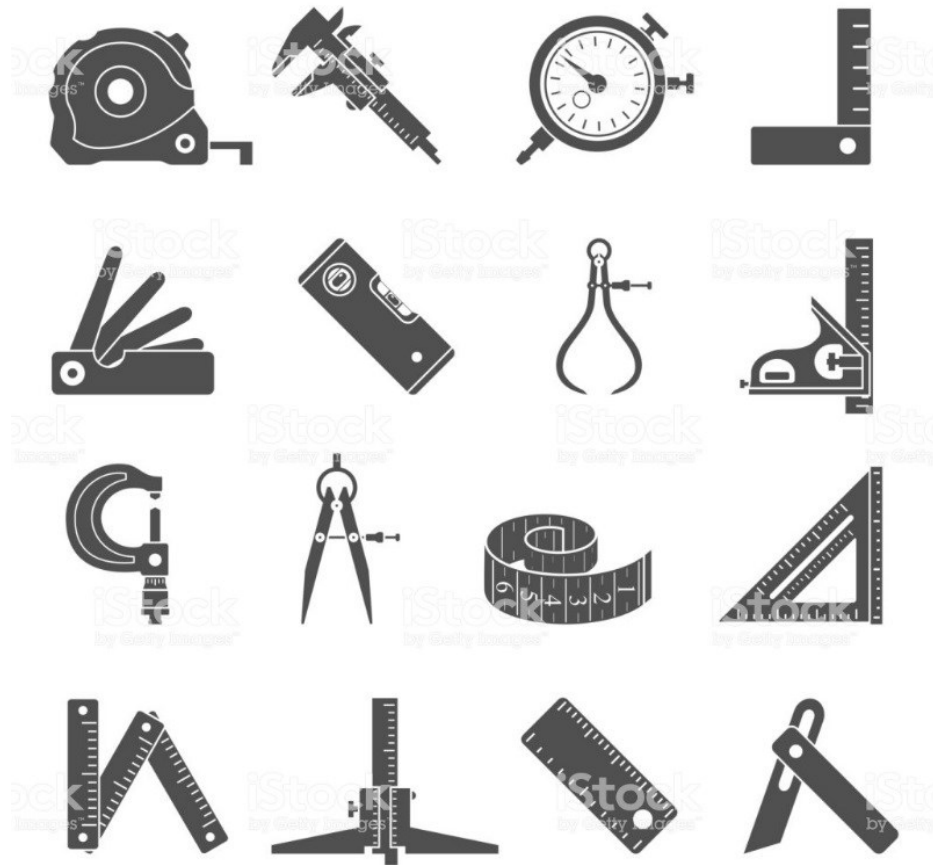
Fuente: SIGMA IMECSA, 2016.

Realizar limpieza del área y equipo de trabajo.**Figura 4-28:** Limpieza de área y equipo de trabajo

Fuente: Olivera, s.f., p. 4.

Alistar las herramientas necesarias para la actividad.

- Flexómetro o cinta métrica
- Comparador de caratula (2 unidades)
- Base magnética
- Juego de galgas de 0,06 mm a 1.1 mm
- Regla metálica de 7" / 16 cm
- Llaves mixtas (milímetros o pulgadas)
- Palanca pata de cabra de 3/4" x 24"
- Calzas o shims (0,05 mm a 2 mm)

Figura 4-29: Herramientas necesarias para la actividad

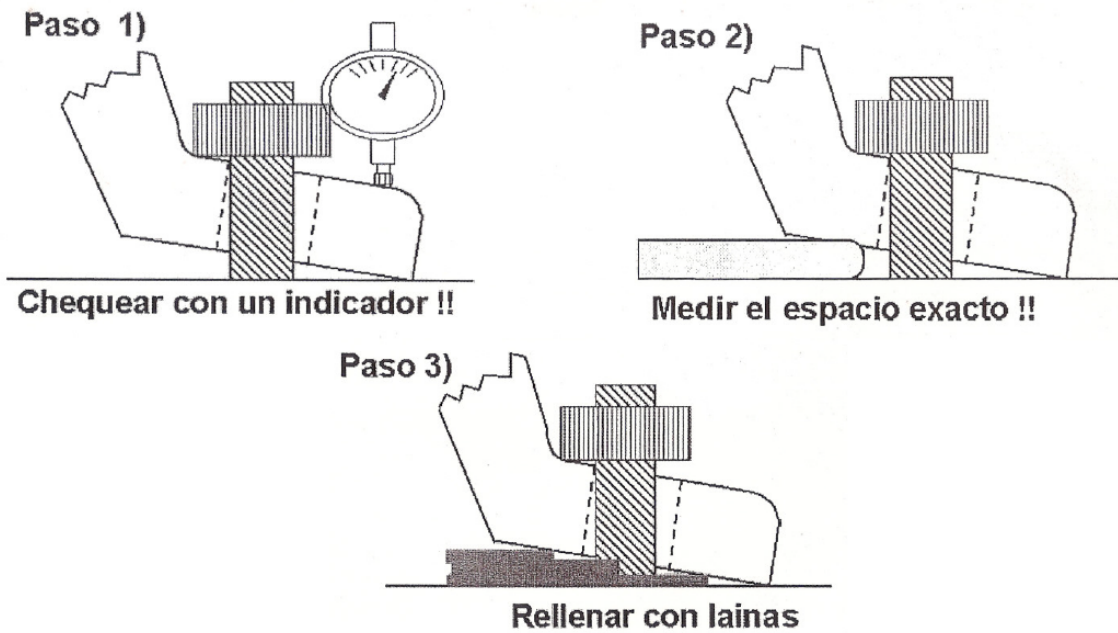
Fuente: <https://www.istockphoto.com>

4.1 Antes de iniciar con el proceso

- Limpie el equipo y sus bases.
- Inspeccione golpes o abolladuras en las partes rotativas.
- Realizar RUN OUT en el acople y eje.
- Revisar pata coja.
- Verificar estado de calzos o suplementos.
- Chequear esfuerzos de elementos en el equipo conducido (tuberías, bandas transportadoras, etc.)

Figura 4-30: Requerimientos de pre-alineación

Corrección de Pata Coja:

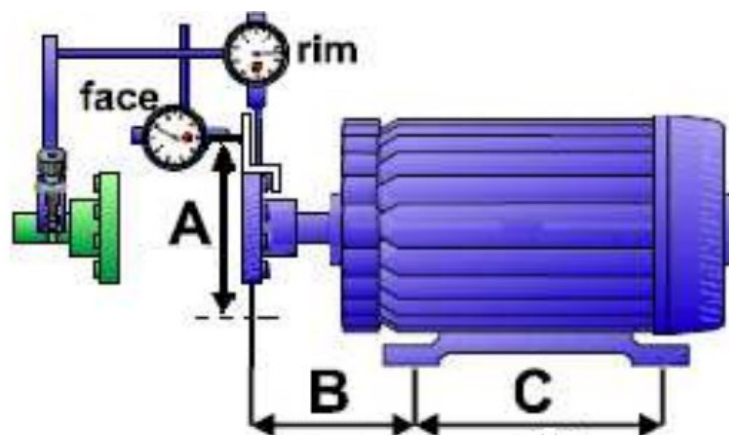


Fuente: Primera, 2014, p. 6.

4.1.1 Tomar las medidas de referencia iniciales

1. Diámetro del acople entre acoples (A)
2. Distancia entre patas de la maquina móvil (C)

Figura 4-31: Medición de las distancias A, B y C



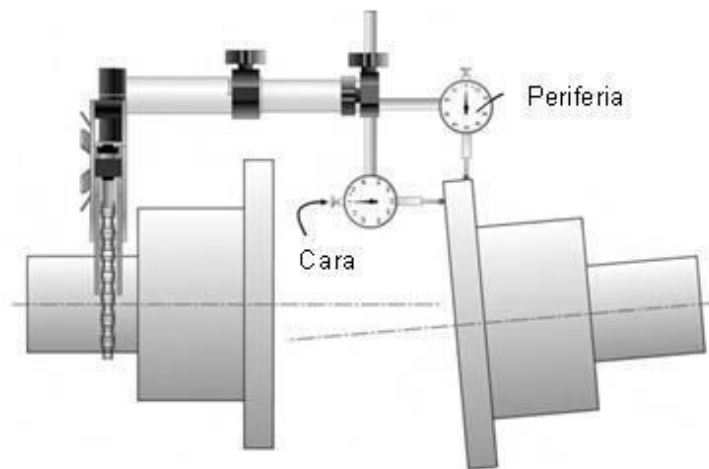
Fuente: SENATI, 2013, p. 64.

4.1.2 Montaje de los accesorios del indicador de carátula.

Para ubicar los accesorios seguir estos pasos:

1. Montar la base del comparador en el eje (acople) de maquina móvil.
2. Alcance el acople el eje (acople) con una varilla extensión.
3. Fije el indicador de caratula palpando el eje (acople) estacionario y coloque en cero.
4. Fije el indicador de carátula en el borde interno del acople fijo (Lomo o borde).
5. Gire el eje (acople) móvil con el reloj. Debe volver a cero en el punto de inicio.
6. Fije el indicador de caratula en el borde interno del acople fijo (Lomo o borde).
7. Gire el eje (acople) móvil con el reloj. Debe volver a cero en el punto de inicio.

Figura 4-32: Montaje de los accesorios del indicador de carátula

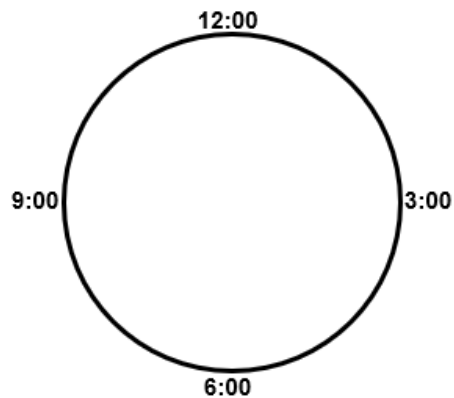


Fuente: SENATI, 2013, p. 62.

4.1.3 Tomar las lecturas iniciales

1. Recorrido angular axial (0° - 90° 180° - 270°).
2. Recorrido paralelo radial (0° - 90° 180° - 270°).
3. Centrado axial (90° - 270°).
4. Centrado radial (90° - 270°)

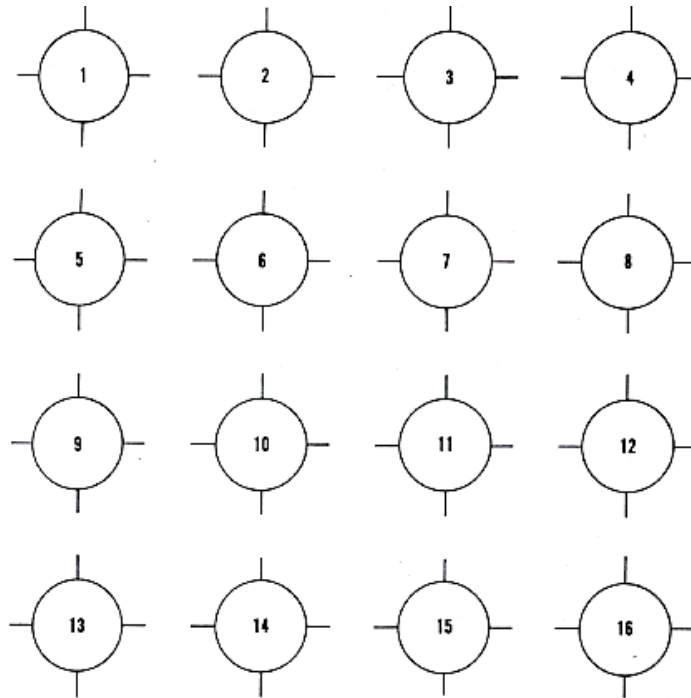
Figura 4-33: Lecturas del indicador de dial Desenfocada hay que mejorarlas



Fuente: Waukesha Engine Division, 2013, p.

4.1.4 Registro de las lecturas

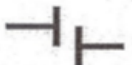

1. La lectura superior (las 12:00 del sentido del reloj o 0°) inicia en 0 (cero).
2. La primera lectura lateral (las 3:00 del sentido del reloj o 90°) es a la derecha (vista trasera del motor).
3. La lectura inferior (las 6:00 del sentido del reloj o 180°) es el resultado de la suma de las lecturas laterales.
4. La primera lectura lateral (las 9:00 del sentido del reloj o 270°) es a la izquierda (vista trasera del motor)

Figura 4-34: Carta de progresión del alineamiento

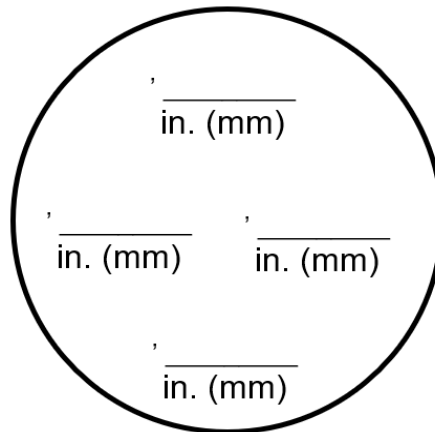
Fuente: Waukesha Engine Division, 2013, p. 51.

NOTA: Las lecturas permitidas para una buena alineación deben estar igual o inferior a 0,05 mm (0,002") o según las especificaciones del fabricante.

Tabla 4-2: Tabla de desalineación permitida radial y axial por rpm

		
R p m	M m	Mm /100mm
0 - 1000	0 ,13	0 ,10
1000 - 2000	0 ,10	0 ,08
2000 - 3000	0 ,07	0 ,07
3000 - 4000	0 ,05	0 ,06
4000 - 6000	0 ,03	0 ,05

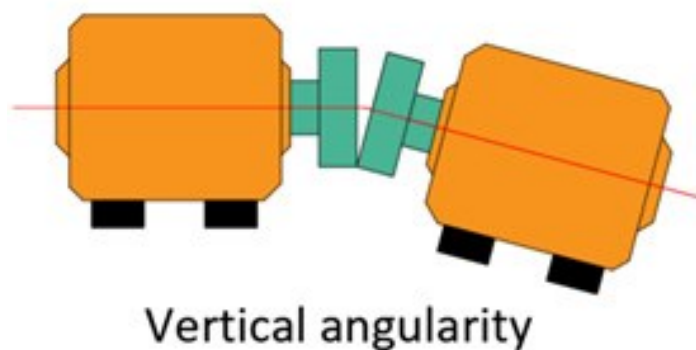
Fuente: Primera, 2014, p. 24.

Figura 4-35: Carta de progresión del alineamiento

Fuente: Waukesha Engine Division, 2013, p. 46.

4.1.5 Primera revisión: (Desalineamiento angular vertical)

1. Tome las respectivas lecturas de 0° a 180° axialmente.
2. Se mide el acople, la distancia entre patas y se multiplica por la lectura obtenida a los 180°.
3. Identifique la lectura y según corresponda agregue calzas en las patas delanteras o traseras.

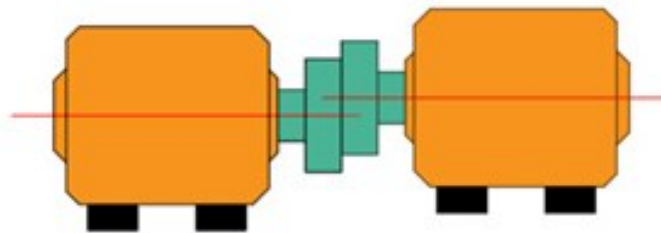
Figura 4-36: Desalineamiento angular vertical

Fuente: Bannister, 2004, p. 7.

4.1.6 Segunda revisión: (Desalineamiento paralelo vertical)

1. Tome las respectivas lecturas de 0° a 180° radialmente.
2. Se mide el acople y se mide la distancia entre patas. Se dividen ambos datos anteriores entre sí en su orden y se multiplica por la lectura obtenida a los 180° .
3. Identifique la lectura y según corresponda agregue calzas en todas las patas. Se agrega la cantidad que representa la mitad de la lectura obtenida.

Figura 4-37: Desalineamiento paralelo vertical

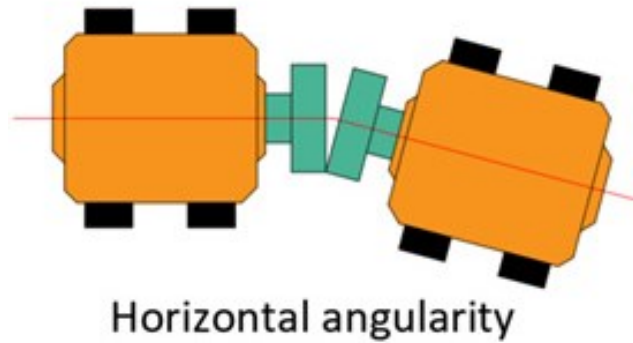


Vertical offset

Fuente: Bannister, 2004, p. 7.

4.1.7 Tercera revisión: (Desalineamiento angular horizontal)

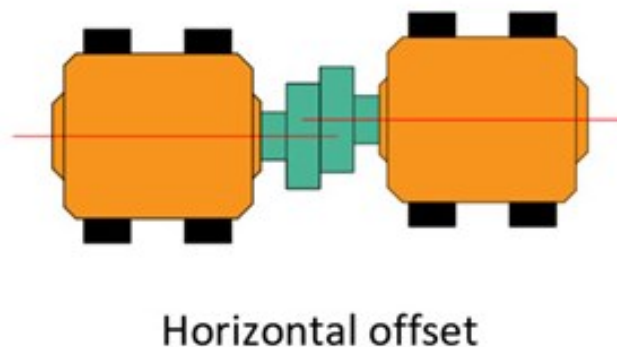
1. Tome las respectivas lecturas de 90° a 270° axialmente.
2. Identifique la lectura y según corresponda desplace la maquina móvil (Patas delanteras o traseras).
3. Verifique la lectura angular y observe que quede dentro de los rangos permitidos.

Figura 4-38: Desalineamiento angular horizontal

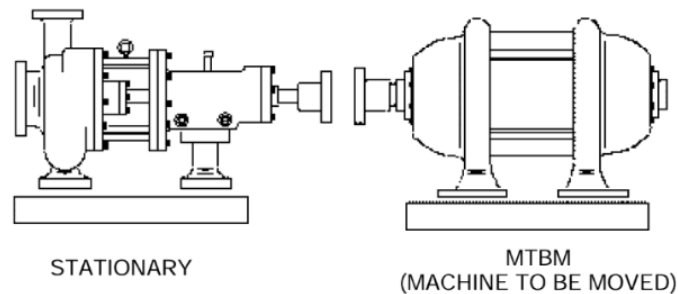
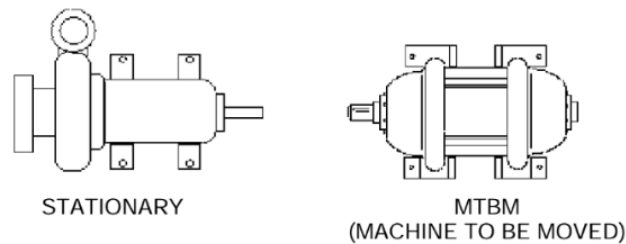
Fuente: Bannister, 2004, p. 7.

4.1.8 Cuarta revisión: (Desalineamiento paralelo horizontal)

1. Tome las respectivas lecturas de 90° a 270° radialmente.
2. Identifique la lectura y según corresponda desplace la maquina móvil (Patas delanteras y traseras parejo).
3. Verifique la lectura paralela y observe que quede dentro de los rangos permitidos

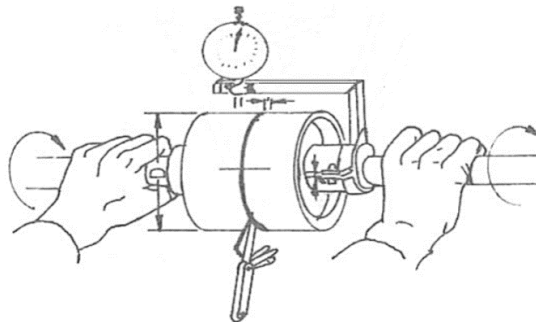
Figura 4-39: Desalineamiento paralelo horizontal

Fuente: Bannister, 2004, p. 7.

Figura 4-40: Desviación paralela y angular*Vertical misalignment.**Horizontal misalignment.*

Fuente: Turmero, s.f.

NOTA: No olvide verificar la separación entre acoples (GAP) según el fabricante o de instalación hallada, antes de ajustar el equipo móvil. Finalmente verifique nuevamente todas las lecturas (axial y paralelo tanto vertical como horizontalmente). Deben estar dentro de los paralelos permisibles.

Figura 4-41: Medicion del GAP

Fuente: Nieto & López, 1985, p. 34.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- En el desarrollo del Trabajo Integral de Grado (TIG), el autor aporta su valiosa experiencia profesional de muchos años operando equipos de alineación, conjugada con los conocimientos adquiridos en la etapa lectiva de la formación como Tecnólogo en Mantenimiento Electromecánico Industrial.
- El Trabajo Integral de Grado ilustra el diseñar y construir un banco de pruebas con carácter didáctico para la alineación de partes rotativas, con el apoyo y recursos del autor y la empresa Termotasajero II, para el desarrollo de prácticas de laboratorio con ejercicios relacionados con el tema de alineación entre ejes.
- Se construyó una estructura metálica de apoyo con las condiciones adecuadas de acuerdo con el diseño en *SolidWork* para soportar y anclar las máquinas rotativas de práctica.
- Se elaboró una guía de laboratorio para el apoyo y aprendizaje de las prácticas de alineación que servirán a estudiantes, profesores y personal de laboratorio, que permitirán la innovación en materia de visualización, métodos, estrategias y prácticas pedagógicas.

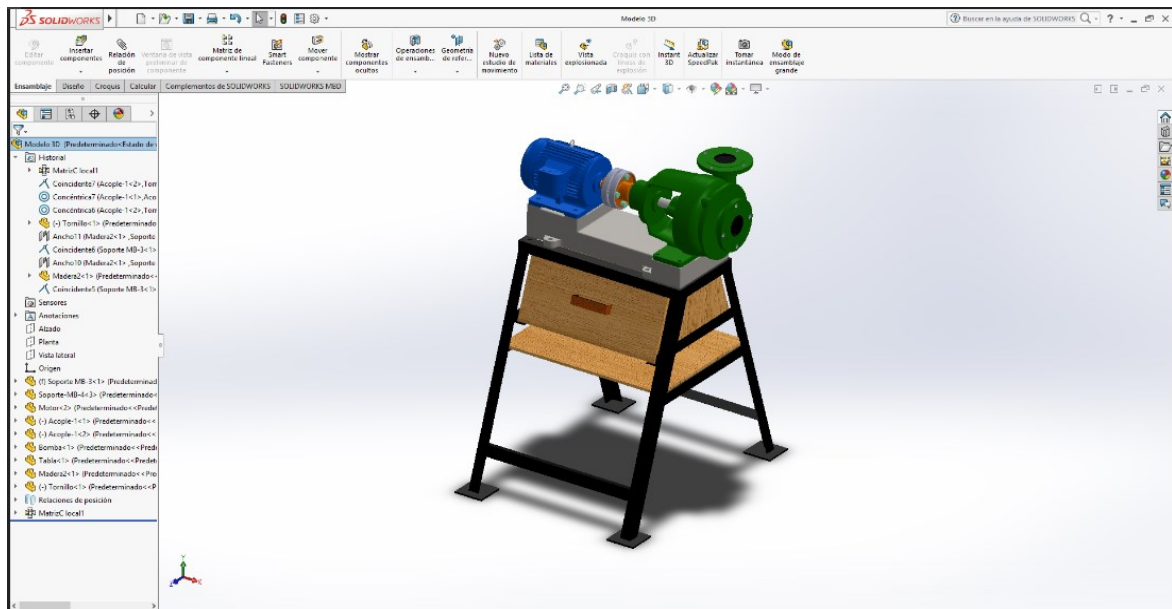
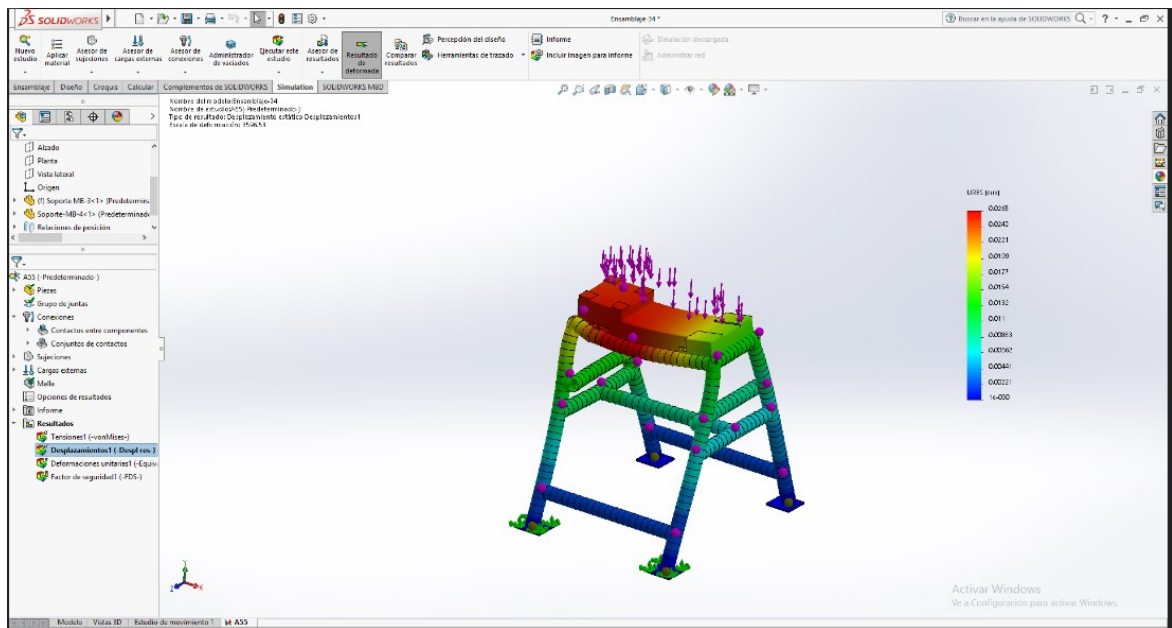
5.2 Recomendaciones

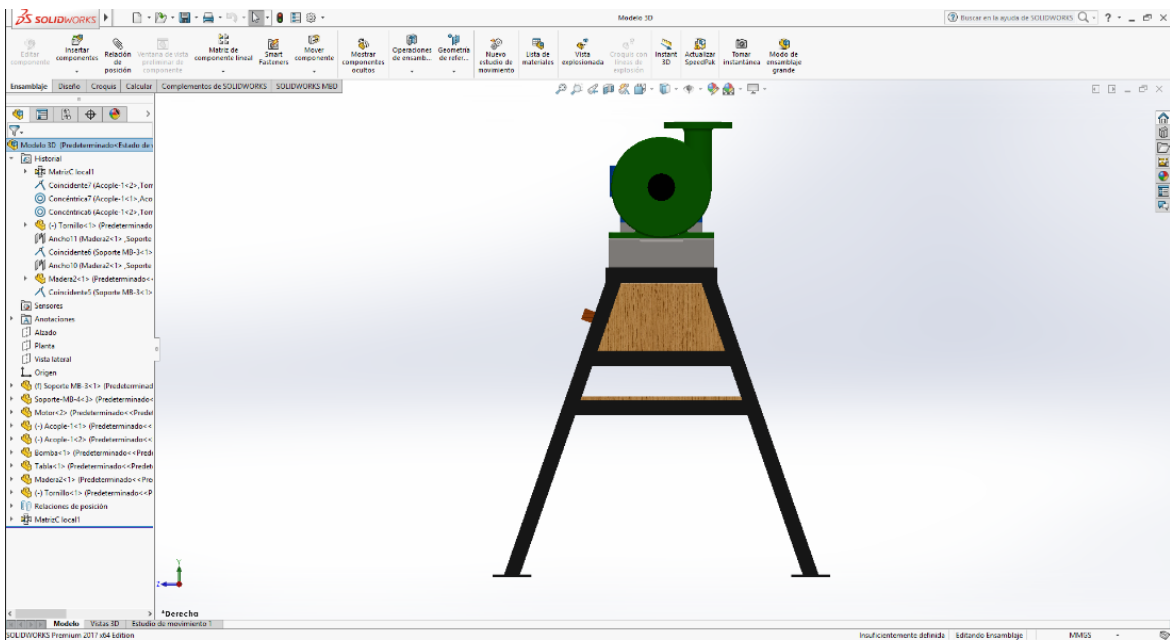
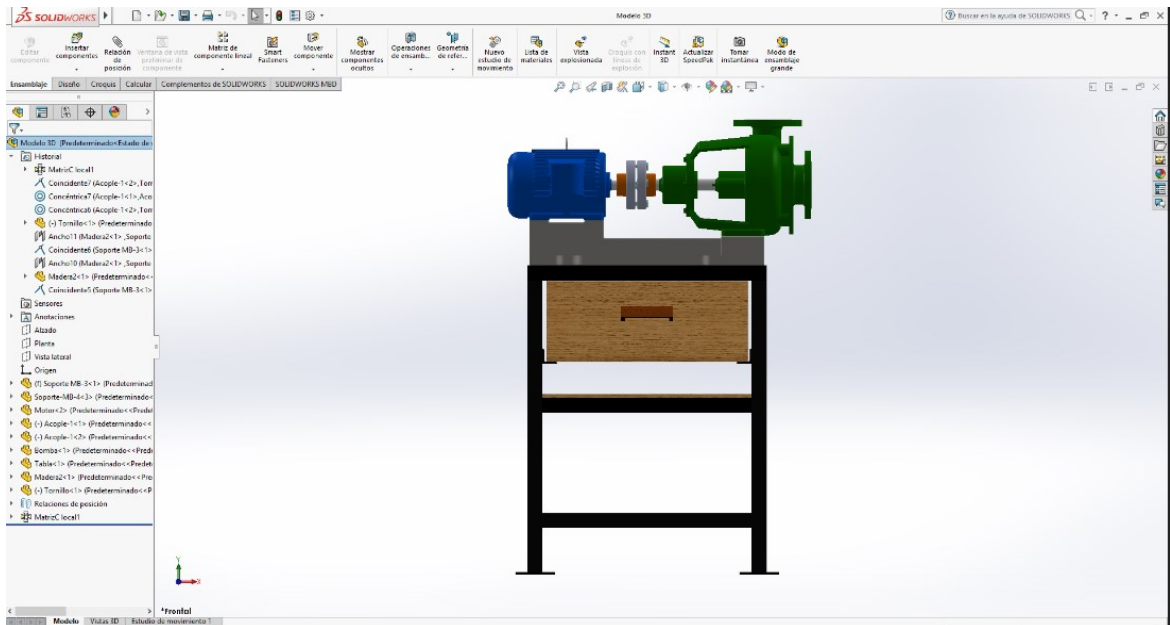
La implementación un banco de pruebas con carácter didáctico permitirá realizar simulaciones relacionados con el tema de alineación entre ejes, pero se recomienda estar actualizando el diseño para su actualización y que esté vigente para las necesidades y requerimientos de los estudiantes de tecnología de la Universidad, como dispositivos eléctricos y electrónicos que permitan realizar la variación de la velocidad rotacional para realizar los análisis de la vibración en el eje del motor, mediante el uso de sensores para el desplazamiento que permitan calcular valores de deflexión y velocidad.

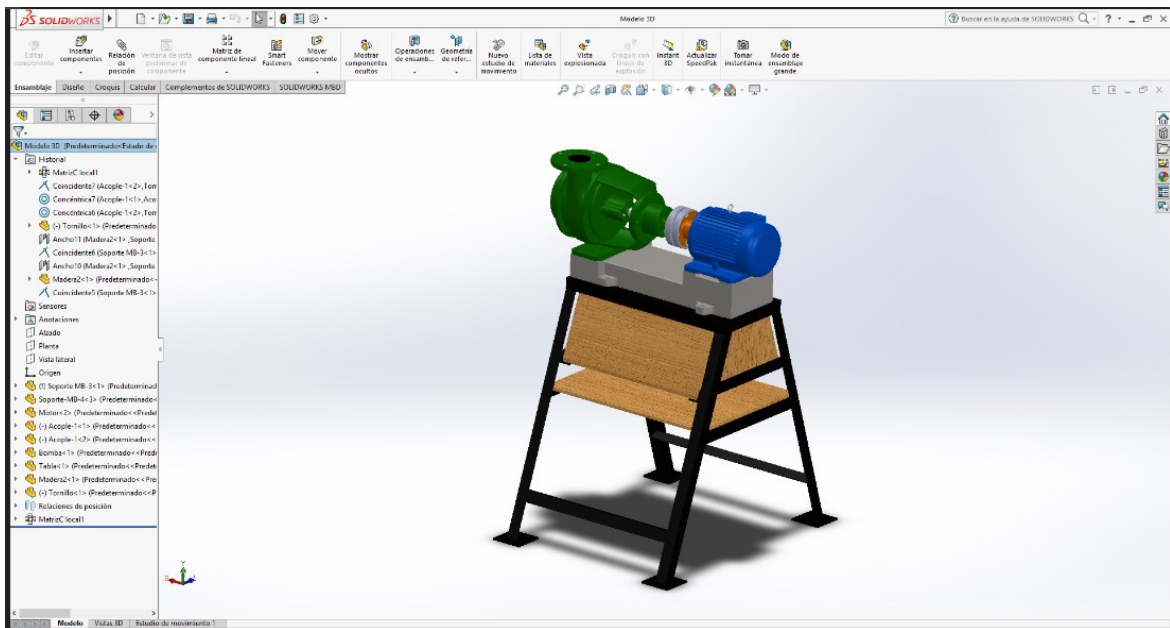
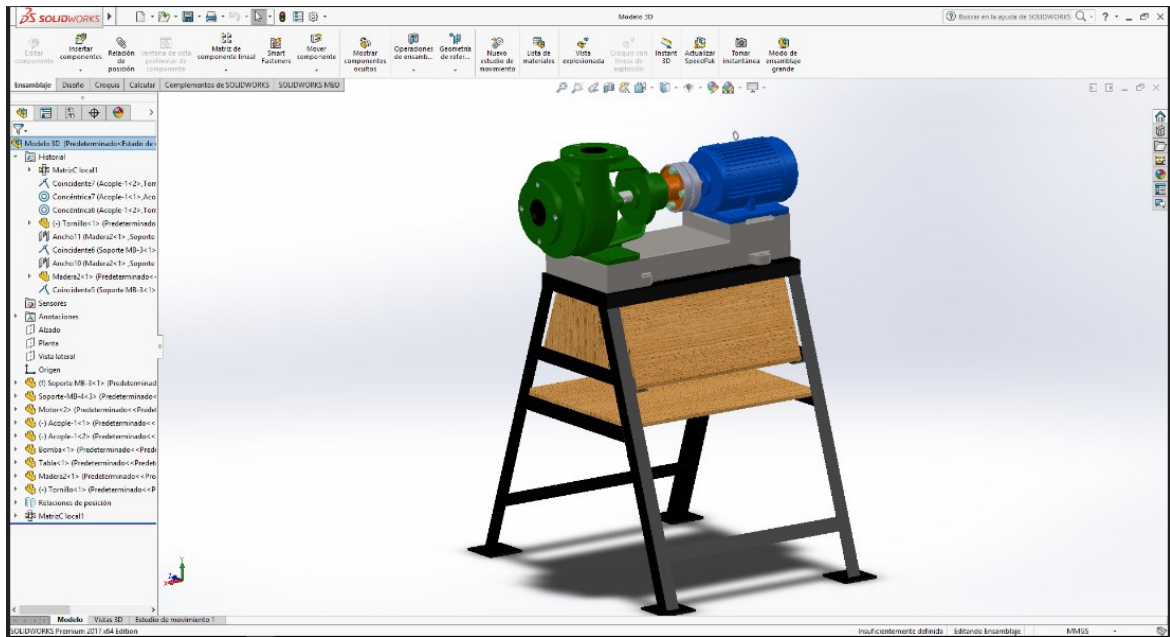
El desarrollo de las prácticas diseñadas, deben realizarse siempre bajo la supervisión del tutor o auxiliar de laboratorio, para que se cumpla a cabalidad las prácticas correspondientes y se buen uso a los equipos de medición, herramientas especializadas y elementos didácticos, conservando ante todo la seguridad del estudiante y de los mismos equipos.

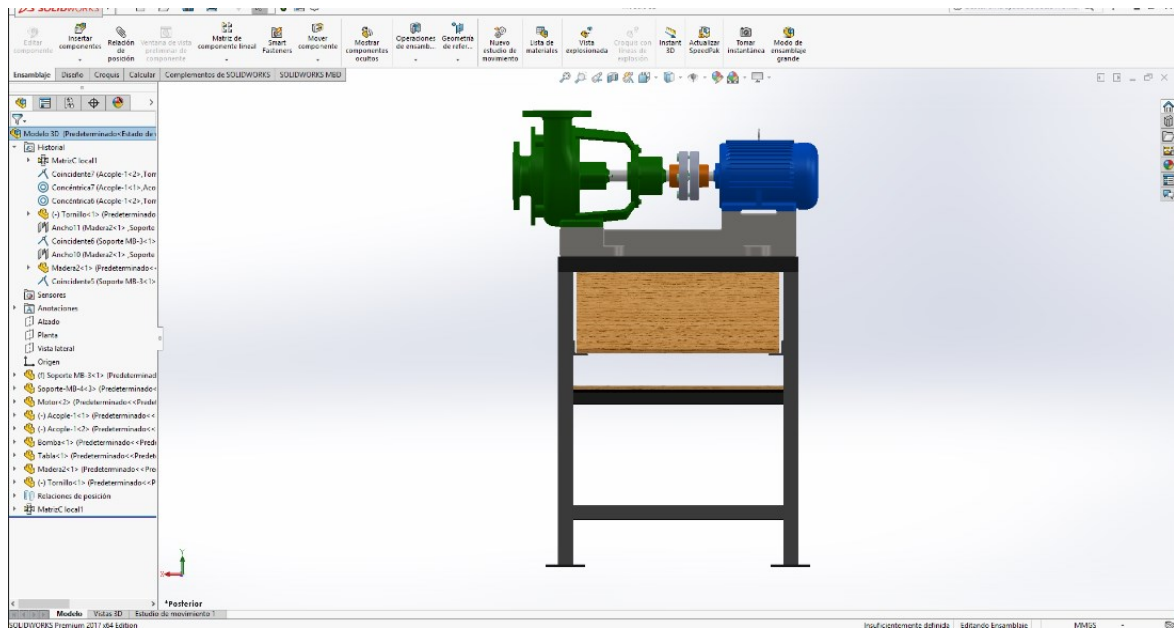
Se hace necesario ubicar el banco didáctico en un espacio físico que mejore la distribución de los equipos, muebles, herramientas y otros dispositivos del laboratorio, para crear un ambiente de aprendizaje óptimo que permita aplicar los conceptos teóricos en las prácticas por parte de los estudiantes.

A. Anexo: Planos de diseño, esfuerzo, factor de seguridad y carga

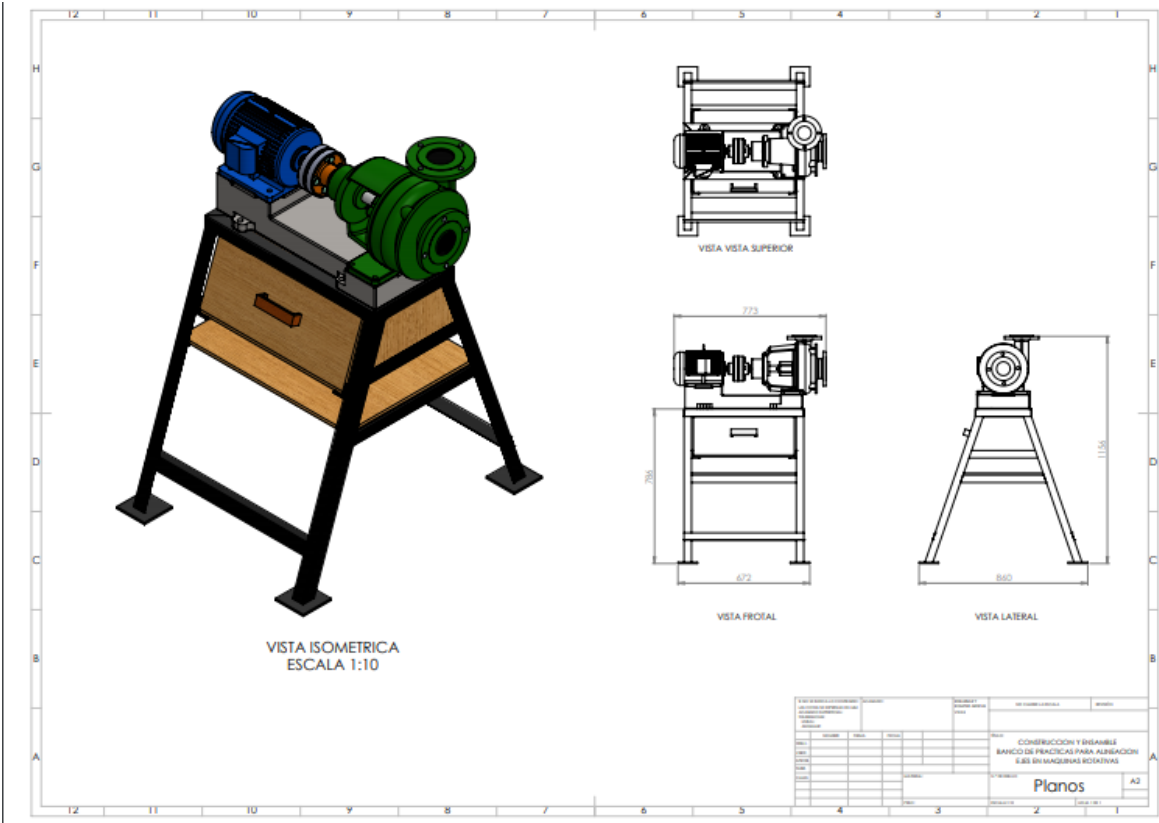


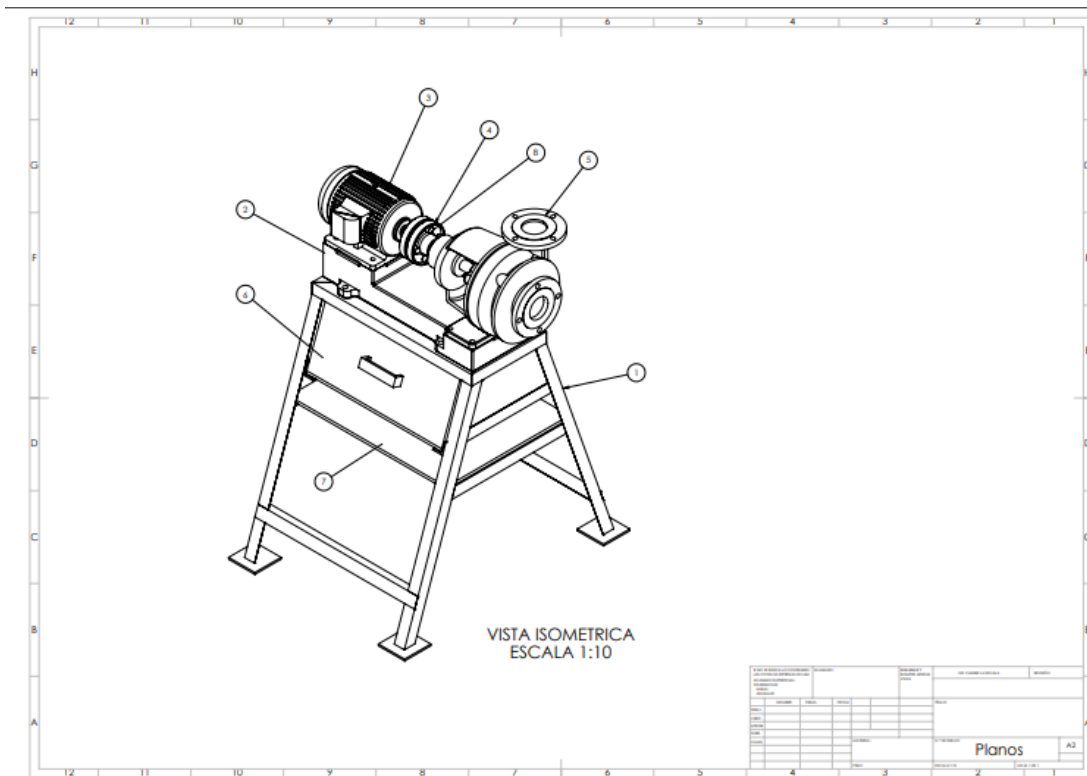
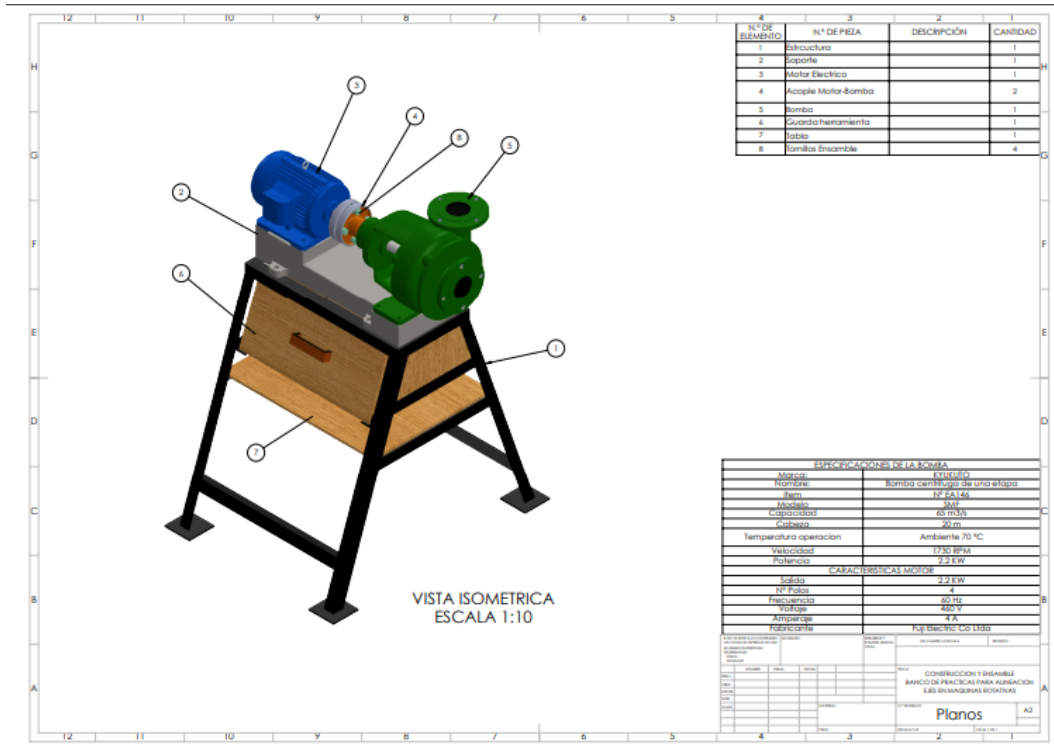


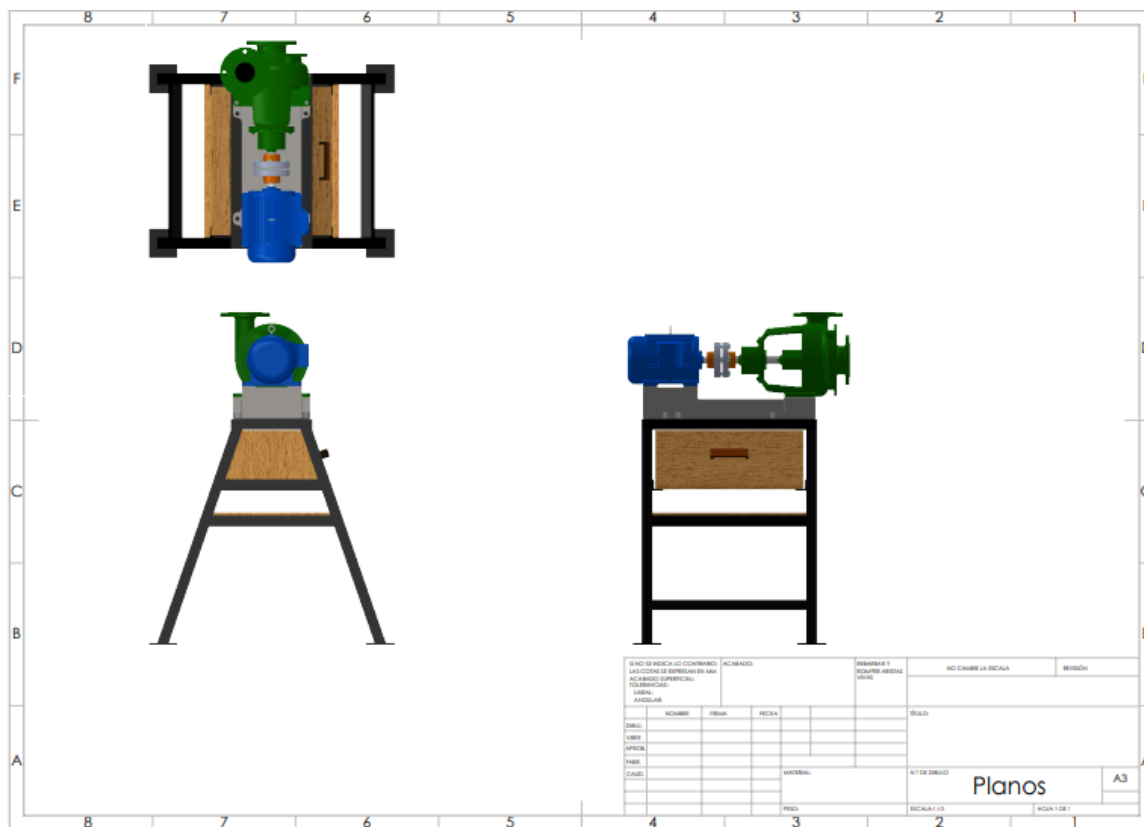




B. Anexo: Montaje del diseño en el software: SolidWorks







Bibliografía

- Amu, E. (2006). *DISEÑO E IMPLEMENTACION dE UN BANCO DIDACTICO PARA ALINEACION DE ELEMENTOS ROTATIVOS (Trabajo de pregrado)*. Universidad Autónoma de Occidente: Santiago de Cali. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/7026/1/T05109.pdf>
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica*. Caracas: Episteme.
- Bannister, E. (octubre de 2004). *Guía sobre el alinamiento de ejes en máquinas rotatorias, fundamentos y tecnología láser*. Obtenido de PDFslide: <https://pdfslide.net/documents/guia-de-alineamiento-bannister.html>
- Benítez, R. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACION dE UN BANCO DIDACTICO PARA ALINEACION DE ELEMENTOS ROTATIVOS y balanceo de masa en Cantiléver*. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/7026/1/T05109.pdf>
- Best, J. (s.f.). Por qué importante la alineación de ejes. *Instituto de Mantenimiento Productivo E.I.R.L.*, 1-4. Obtenido de http://imantenimientoproductivo.com/files/art_AL.pdf
- DMC. (2020). *Ejes de alineación*. Obtenido de <https://www.dmc.pt/es/alinhamento-de-veios/>
- Duarte, J., Gutiérrez, G., & Fernández, F. (2007). Desarrollo de un prototipo didáctico como alternativa pedagógica para la enseñanza del concepto de inducción electromagnética. *Ted: Tecné, Episteme y Didaxis*(21), 77-83. doi:<https://doi.org/10.17227/ted.num21-364>
- Dubis, R. (2002). El Proyecto Factible: Una modalidad de investigación. *Sapiens. Revista Universitaria de Investigación*, 3(2).

- Durán, M., & Durán, E. (2013). La termodinámica en los estudiantes de tecnología: una experiencia de aprendizaje cooperativo. *Enseñanza de las ciencias*, 31(1), 45-59. Obtenido de <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/285703>
- Fluke Corporation. (2014). *Alineamiento de ejes: ¿por dónde empiezo y qué ventajas me ofrece?* Madrid: Fluke Ibérica, S.L. Obtenido de <http://www.apliquem.com/adjunts/documents/93.pdf>
- Nieto, C., & López, R. (1985). *Metalmecánica Elementos de Máquinas. Ajuste y montaje de maquinaria. Montaje y alineación de acoplamientos*. Bogotá: Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Obtenido de https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/vol9/volumen09.html#
- Olivera, E. (s.f.). *Caida del mismo nivel*. Obtenido de <https://docplayer.es/49139371-1-caida-al-mismo-nivel.html>
- Piotrowski, J. (2007). *Shaft Alignment Handbook*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Primera, E. (24 de agosto de 2014). *Alineamiento*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/sancoronel/102098844-alineamiento>
- PRÜFTECHNIK. (2011). *Porqué alinear las máquinas: La fiabilidad comienza por una alineación precisa de los ejes*. Alemnia: PRÜFTECHNIK Alignment Systems GmbH. Obtenido de <https://www.cpifppiramide.com/doc/pon9.pdf>
- Rojas, B., Moreno, A., & Calixto, E. (2012). Elaboración de un prototipo didáctico para el desarrollo de competencias en jóvenes de bachillerato. *Innovación educativa*, 12(60), 63-75. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732012000300005
- Santamaria, R. (2020). *Consideraciones prácticas y económicas del Alineamiento de Maquinaria*. Obtenido de Reliabilityweb.com: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/consideraciones-practicas-y-economicas-del-alineamiento-de-maquinaria>
- SENATI. (2013). *Alineación y balanceo de máquinas y mecanismos*. Obtenido de <https://docplayer.es/72916579-Programa-de-complementacion-para-titulacion.html>
- SIGMA IMECSA. (2016). Obtenido de <https://www.sigmaimecsa.com/>
- Turmero, P. (s.f.). *Alineación y balanceo*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos102/alineacion-y-balanceo/alineacion-y-balanceo.shtml>

Waukesha Engine Division. (16 de julio de 2013). *Instalación de motores Waukesha y sistemas Enginator: Montaje y alinemiaiento*. Obtenido de <https://de.slideshare.net/Otorongosabroso/manual-de-montaje-y-alineamiento-de-grupos-electrgenos-con-motores-waukesha?nomobile=true>