

EMPLEO DEL RAYO LÁSER EN BUQUES PARA ALINEACIÓN DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN MOTOR - REDUCTOR - EJE

Alberto Pasquel Guevara ¹
Freddy Cevallos Barberán ²

¹ Ingeniero Mecánico, 1999.

² Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1969, Msc. Ingeniería Mecánica, Ma. Comunicación Social, Profesor de ESPOLE desde 1969.

RESUMEN

La alineación tradicional del sistema (Motor – Reductor – Eje propulsor) a bordo de unidades a flote, se la ha venido haciendo mecánicamente y consiste en el uso de aparatos de medición como el metro, relojes comparadores, soportes, espejo, etc.

El procedimiento, mientras se determina la posición correcta respecto a la línea central del Eje, lo iniciamos con la determinación de la distancia entre bridas, para luego colocar soportes con sus respectivos relojes comparadores en la posición adecuada en las bridas y finalmente, la toma continua de medidas en las diferentes posiciones en grados al girar el árbol del Reductor para así realizar la corrección adecuada y poder llegar a la óptima posición.

El objetivo de la Tesis, se fundamenta en la realización de una guía para el procedimiento mecánico así como también para el procedimiento láser, tecnología que minimiza la intervención del hombre, que implica disminución de errores, tiempo y dinero, obteniéndose así una precisión mayor, pues todos los datos son procesados por una computadora. Para efectos del trabajo, emplearemos motores y reductores de 17.5 y 3.5 toneladas de peso respectivamente, y ejes mayores a 10 metros de longitud.

Se inicia el desarrollo dando una introducción sobre lo que es el láser, donde establecemos su principio y propiedades.

En la siguiente fase se describe al sistema alineador láser, el mismo que será parte elemental del trabajo. Referente a este sistema se estudia sus componentes, tales como computadora, prisma, etc. Este sistema, como cualquier otro, tiene limitaciones o parámetros a ser considerados por el usuario, razón por la cual también los describimos.

Posteriormente se procede a la ejecución del procedimiento mecánico, pruebas y análisis de resultados. El desarrollo de este capítulo, lo dividimos en dos tramos:

Primer tramo (Eje propulsor – Reductor), y segundo tramo (Reductor – Motor).

Para concluir realizamos el procedimiento láser donde el segundo tramo (Reductor – Motor) es el único a ejecutar. Durante este procedimiento obtenemos valores experimentales e información necesaria, los mismos que serán introducidos al ordenador para procesarlos y obtener resultados, que pueden coincidir con los rangos de tolerancia dados por el Astillero, y en caso contrario serán para corregir mecánicamente al sistema propulsor.

INTRODUCCIÓN

El rayo láser es uno de los avances considerables de la ciencia por su gran número de aplicaciones en diferentes áreas, como son: Medicina, Mecánica, Fuerzas Armadas, etc., sobrada razón por lo que es importante describir su principio de operación, propiedades, así como ventajas y desventajas al trabajar con este rayo.

Como antecedente tenemos que en nuestro medio, cuando se trata de alinear máquinas, pocas son las personas que ejecutan ésta labor, la mayoría lo hacen empíricamente, además cabe resaltar que el

procedimiento dado por el fabricante de máquinas para su instalación y luego su alineación da pasos a seguir demasiado generales.

Con la realización de este trabajo lo que buscamos es la elaboración de una guía del procedimiento de alineación de máquinas, en nuestro caso específicamente del sistema de propulsión Motor – Reductor - eje, de unidades a flote.

Realizaremos un procedimiento mecánico registrando toda la información teórica y datos que luego serán analizados al compararlos con aquellos que obtendremos al emplear el sistema láser. Además, veremos el mejoramiento del procedimiento mecánico.

GENERALIDADES

EL LÁSER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Es un emisor de radiación coherente y consiste básicamente de un medio activo, que puede ser sólido, líquido o gaseoso, excitado convenientemente y confinado en una cavidad resonante.

La radiación coherente se obtiene mediante la amplificación de la luz debido al proceso de emisión estimulada de radiación, llamada así por Einstein.

Emisión espontánea.- Cuando un electrón en su estado fundamental de nivel de energía E1 pasa a un nivel superior E2 debe ganar una cierta cantidad de energía (cuanto de energía) (fig. 1.1); pero todo electrón excitado tiende a volver a su estado fundamental radiando su exceso de energía (teoría cuántica de Bohr).

Emisión estimulada.- Puede darse el caso que la radiación emitida espontáneamente por un átomo alcance a otro átomo excitado de la misma especie cuyo electrón periférico se encuentre en el estado de energía E2, produciéndose una amplificación (fig. 1.2).

FIG. 1.1
EMISIÓN ESPONTÁNEA

FIG. 1.2
EMISIÓN ESTIMULADA INTERFERENCIA

FIG. 1.6
CONSTRUCTIVA Y DESTRUCTIVA

Al caer dos piedras a un estanque generan ondas concéntricas que luego de cierto tiempo producen la superposición de ondas dando lugar a la interferencia constructiva al superponerse los máximos de amplitud de una onda con los máximos de amplitud de otra onda, e interferencia destructiva al superponerse los máximos de una onda con los mínimos de otra (fig. 1.6).

Luz monocromática.- El láser genera luz de un solo color lo que implica una sola longitud de onda.

Luz coherente.- Implica que las ondas están en fase, esto es iguales en frecuencia y longitud de onda.

ALINEACIÓN

Alineación.- Proceso de posicionamiento de dos o mas máquinas de tal forma que sus ejes rotacionales estén colineales (fig. 1.8).

Colinealidad.- Cuando entre dos o mas líneas no existe desplazamiento ni angularidad entre ellos.

Desplazamiento.- Distancia entre dos líneas, medidas usualmente en el punto medio.

Angularidad.- Angulo entre dos líneas de centro del eje de la máquina.

Desalineación.- Las cargas axiales y radiales aumentan, alcanzando valores inaceptables lo que implica destrucción de acoplamientos, rodamientos y ejes.

- a) Desplazamiento vertical (vista lateral).
- c) Angularidad vertical (vista lateral).

- b) Desplazamiento horizontal (vista superior).
- d) Angularidad horizontal (vista superior).

FIG. 1.8
ALINEACIÓN

DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA DE ALINEACIÓN LÁSER

FIG. 2.1
SISTEMA DE ALINEACIÓN LÁSER

Instrumento de medición de precisión, compuesto por:

- a) Computadora.
- b) Transducer.
- c) Prisma.
- d) Inclínómetro.
- e) Cadenas-soportes.

Principio de operación.- En el eje de la máquina estacionaria va el Transducer el que emite un rayo láser hacia el prisma que está montado sobre el eje de la máquina en movimiento y este refleja el rayo rumbo al detector de posición. Cualquier desalineación es detectado por el detector de posición en coordenadas X y Y en un rango máximo de (-9,+9) y enviados los datos a través de un cable a la computadora.

OFF aparecerá en pantalla cuando el rayo no se detecte por estar fuera de lugar o interrupción. END aparecerá cuando el rayo golpee el área exterior no linealizada del detector de posición. Diámetro de medición del detector de posición 6 mm. Las mediciones se ingresan con M(posición)ENT

Las posiciones de cálculo: 0°, 90°, 180° y 270°, y la temperatura de operación es de (10 a 50)°c para mantener la exactitud.

Desalineación del acople.- Al presionar vemos el desplazamiento vertical donde nos indica si la línea del centro de la máquina rotatoria es mayor (+) o menor (-) que la de la máquina estacionaria. Con ENT veremos el desplazamiento horizontal, angularidad vertical y horizontal (fig. 2.3;2.4).

Vertical Horizontal

FIG. 2.3
DESALINEACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO

Vertical Horizontal

FIG. 2.4
DESALINEACIÓN DE LA ANGULARIDAD

Correcciones al pie de la máquina.- En función del resultado del acople, si es necesario corregiremos verticalmente con láminas y horizontalmente con desplazamientos (fig. 2.5;2.6).

Con esta clave la computadora nos cuantifica las correcciones e indica si debemos insertar láminas con una flecha hacia arriba o retirarlas mediante una flecha hacia abajo. El ENT cumple la función de mostrar la para frontal y posterior.

Frontal Posterior

FIG. 2.5
CORRECCIÓN VERTICAL

Frontal Posterior

FIG. 2.6
CORRECCIÓN HORIZONTAL

Pie suave.- Es cuando un pie o mas de la máquina no descansan completamente sobre la cimentación, produciendo un pie paralelo y/o angular (fig. 2.7), causado por:

- Superficies no coplanares.
- Pie de la máquina deformado.
- Colocación inadecuado de láminas.

Lo que implica vibración por lo tanto falla prematura de ejes y rodamientos.

Paralelo Angular
FIG. 2.7
PIE SUAVE

FIG. 2.8
DISTANCIAS DE LA MÁQUINA

Dimensiones.- Introduce las distancias entre:

Transducer y prisma.
Transducer y pie frontal de la máquina a ser movida.
Pie frontal y pie posterior de la máquina a ser movida.
Centro del acople y prisma.
Diámetro del acople.

PROCEDIMIENTO MECÁNICO, PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

TRAMO EJE PROPULSOR-REDUCTOR

FIG. 3.1
SILUETA DE LA UNIDAD

VISTA LATERAL (EB)

VISTA SUPERIOR

- | | |
|---|----------------------|
| 1. Reductor | 6. Brazo guía de eje |
| 2. Acoplamiento torsio elástico | 7. Inicio de eje |
| 3. Acoplamiento entre ejes compartimentos | 8. Cojinetes entre |
| 4. Cojinetes | 9. Brazo portahélice |
| 5. Tubo de codaste | 10. Hélice |

FIG. 3.2
VISTA GENERAL DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN

Características del gráfico:

Inclinación del sistema longitudinalmente: 4°16'30" referente a la quilla
Desplazamiento transversal: 0°43' 16" referente a la línea de crujía (fig. 3.3).

Reductor:

Base:

w = 3500kg a = 1188mm
l = 1840mm h = 1414mm

l = 1000mm h = 48mm
a = 130mm

FIG. 3.3
EJE PROPULSOR - REDUCTOR

1.- Verificación de tolerancias.

A los reductores se los retira de a bordo para un mantenimiento w6 (overhaul), luego de este mantenimiento se los instala a bordo en los respectivos fundamentos, pero entre este fundamento y reductor van las placas de ajuste, las que no necesitan ser modificados, pero si limpieza de todas sus superficies de contacto. Estos reductores tienen únicamente dos bases, una por banda (fig. 3.4;3.5).

Realizamos un sondeo visual y toma de medidas del paralelismo entre la brida de este y del eje, así como tanteo de los orificios entre bases del reductor, placas y cuna por donde debe pasar el perno de anclaje dando como resultado el reductor a Eb.

FIG. 3.4
FUNDAMENTO DEL REDUCTOR

FIG. 3.5
MONTAJE DEL REDUCTOR

2.- Desmontaje y montaje de placas de ajuste.

Retiro de pernos de anclaje con el fin de permitir el libre movimiento vertical del reductor a través de los pernos de elevación que son cuatro, uno en cada esquina, luego elevamos el reductor hasta que las placas tengan libre movimiento.

Registramos las posiciones de placas en los respectivos lugares, aunque roten entre si ya que son pequeñas y uniformes de espesor:

$l = 130\text{mm}$; $a = 100\text{mm}$; $e = 17\text{mm}$

Poseen 12 pernos, 6 a cada banda de los cuales 4 son guías y anclaje y los 8 restantes de anclaje únicamente. Los pernos guías tienen la finalidad de entrar a presión no exagerada y están a popa 2 por banda, cuando la desalineación es mínima no necesita que se levante el reductor sino que se corrija con estos, con la ayuda cónica del perno (fig. 3.6).

Marcar a estas placas guías, que son la referencia exacta y garantía de la correcta posición de alineación para lo cual marcamos de popa a proa en forma numérica ascendente independientemente con "A" a Bb. y "B" a Eb., además señalar el número de la máquina a la que pertenecen ejm:

A1-M4 = Bb. máquina 4

B1-M4 = Eb. máquina 4

Para una desalineación considerable usamos gatos mecánicos para su movimiento transversal y/o longitudinal.

FIG. 3.6
ALINEACIÓN DEL REDUCTOR

3.- Ajuste final.

No hay movimiento axial sino únicamente movimiento radial y esto se debe a que posee 04 pernos guías, además que sus bases no tienen elemento alguno de amortiguación.

Instalación de gatos mecánicos.

Se verifica la alineación con los pernos guías, pero no existe un total asentamiento en una de las bases.

La conclusión era que la placas de ajuste se encontraban instaladas erradamente por lo que se retiran e inicia la colocación de las placas referenciales y de allí las otras.

TRAMO REDUCTOR - MOTOR

Características:

$w = 17570 \text{ kg.}$

$l = 5120\text{mm}$

$a = 1600\text{mm}$

$h = 3247\text{mm}$

$w = \text{torsio elástico} = 546\text{kg.}$

FIG. 3.7
REDUCTOR - MOTOR

1.-verificación de tolerancias.

Medidas en las bases elásticas, las que indican estar fuera del rango dado por el Astillero.

2.- Desmontaje.

Aquí es importante estar presente, debido a que debemos saber cuales son las condiciones de los diferentes elementos implícitos en la alineación, ejm: placas, las que no deben ser confundidas.

3.- Soportado elástico del motor

El motor se encuentra soportado por 6 bases, donde cada base esta compuesta por:

Consolas de apoyo.
Apoyos elásticos, y
Placas básicas.

Cuya función es el soportado y amortiguamiento del motor (fig. 3.8).

Consolas de apoyo.- Son 6 y van adosadas al motor longitudinalmente con 14 pernos, 7 a cada lado, además tienen 2 guías.

Apoyos elásticos.- Van entre las consolas de apoyo y placas básicas y tienen en su interior un perno goma metal cuya finalidad es absorber los golpes y sacudidas del motor cumpliendo la función de amortiguador.

En su interior posee un orificio para drenaje de fluidos como combustible, aceite, etc.

Placas básicas.- Son atornilladas a las consolas.

FIG. 3.8
BASE DEL MOTOR

4.- Alineación del soportado elástico del motor.

Se realiza en los talleres luego de haberlos desmontados del motor, donde aflojamos los tres tornillos de compresión, tuerca caperuza y contratuerca, para girarlo en sentido antihorario hasta que encuentre resistencia y de allí giramos en sentido horario, una sola vuelta, garantizando el libre movimiento del perno, con un avance de 4mm de profundidad.

El espesor del intersticio circular entre los apoyos elásticos y las placas bases debe ser de 14mm para lo que nos ayudamos con los pernos de compresión.

5.- Acoplamiento de dientes torsio elástico.

Es un equipo de transmisión de fuerza entre el motor y reductor, la finalidad de este acoplamiento es la de neutralizar vibraciones compensando el desplazamiento axial del árbol en servicio normal y al producirse choques, así como al montar o desmontarlo de su posición (fig. 3.9).

Constituido por:

Caja de acoplamiento.- consta de un aro con engranajes y sus tapas.

Cubos de acoplamiento.- También con engranajes que engranan a la caja de acoplamiento.

Casquillo de torsión.- Es el elemento elástico del acoplamiento.

FIG. 3.9
ACOPLAMIENTO DE DIENTES TORSIO - ELÁSTICO

6.- Montaje

FIG. 3.10
FUNDAMENTO DEL MOTOR

7.- Instalación de topes.

Sobre el fundamento se sueldan placas de hierro común de 12 mm de espesor, en sentido transversal y longitudinal con la finalidad que sirvan de soporte para el movimiento transversal y/o longitudinal del motor durante el proceso de alineación en un total de 4 pares, un par a cada ángulo del fundamento en reemplazo de gatos hidráulicos; pero estas placas deben estar paralelas a la superficie de contacto del motor (fig. 3.11).

El empuje lo hará un perno que pasará por un orificio de una placa de acero.

FIG. 3.11
TOPES

8.- Instalación de pernos de empuje y desmontaje de placas de ajuste.

El motor se encuentra a bordo sobre las placas de ajuste sin saber cual es el espesor final del espacio donde deben ir las placas de ajuste, siendo necesario para esto que el motor haya recuperado sus características elásticas, pues la variación del espesor podrá ser en centésimas, décimas e inclusive milímetros mismos (fig. 3.12).

Para obtener el espesor final con el cual deberán quedar las placas se obtiene al medir el espacio entre las placas básicas y el fundamento, esto se logra al levantar el motor con los pernos de elevación, así como también con sus pernos de compresión hasta que el intersticio tenga 14 mm. Además el hecho de estar el motor asentado sobre los pernos implica menor área de contacto, menor área de fricción lo que no ayudará al desplazamiento del motor.

FIG. 3.12
DESMONTAJE DE PLACAS DE AJUSTE

9.- Aproximación sobre gatos.

El motor debe estar sin fluidos ni accesorios.

a.- Radial.

FIG. 3.13
DESPLAZAMIENTO RADIAL

FIG. 3.14
APROXIMACIÓN SOBRE GATOS

Desplazamiento horizontal (eje x):

Tolerancia: (0.0+/-0.5)mm

Punto de referencia "o" máquina desalineada

Punto de referencia "o' " máquina alineada, en cualquier punto de los 360° y a cualquier distancia de "o"

Posición inicial en eje x, (x_1):

$$x_1 = (|R_{2x}| + |R_{4x}|) / 2; \quad (3.1)$$

$$(-0.5 \leq x_1 \leq 0.5)$$

$|R_{2x}| \cong |R_{4x}|$ referencia.

Desplazamiento en eje x, (ΔR_x):

$$\Delta R_x = (|R_{2x}| - |R_{4x}|) / 2; \quad (3.2)$$

$\Delta R_x = + \rightarrow$ corrección en eje x, será positivo.

$\Delta R_x = - \leftarrow$ corrección en eje x, será negativo.

Desplazamiento vertical (eje y):

Tolerancia: (1.5+0.5)mm sobre el reductor.

Posición inicial en eje y, (Y_1):

$$Y_1 = (|R_{1y}| + |R_{3y}|) / 2; \quad (3.3)$$

$$Y_1 = (|R_{3y}|) / 2$$

Posición final en eje y, (Y_2):

$$Y_2 = (|R_{1y'}| + |R_{3y'}|) / 2 \quad (3.4)$$

$$Y_2 = (|R_{3y'}|) / 2$$

$$Y_2 = (1.5 + 0.5);$$

$$1.5 \leq Y_2 \leq 2;$$

$$Y_2 = 1.75$$

Desplazamiento en y, (ΔR_y):

$$\Delta R_y = Y_2 - Y_1 \quad (3.5)$$

Si $\Delta R_y = +$ \uparrow corrección en eje y, será positivo.

Si $\Delta R_y = -$ \downarrow corrección en eje y, será negativo.

b.- Axial.

Tolerancias:

Distancia axial entre bridas = (365 +/- 1) mm.

Torsio elástico = (364 +/- 6) mm.

FIG. 3.15
DESPLAZAMIENTO AXIAL

Colocamos al comparador radial sin ser necesario el axial debido al peso de la máquina pues su desplazamiento transversal es mas fácil que el desplazamiento longitudinal.

Elaboramos la tabla 3.1 donde registramos los datos obtenidos y la misma nos dará las correcciones para llegar a la óptima posición.

c.- Angular.

FIG. 3.16
DESPLAZAMIENTO ANGULAR

Tolerancia:

Fabricante: (0.0 +/- 0.5) mm.

Real = (0.0 +/- 0.2) mm.

(-0.2 \leq ΔA_x , $\Delta A_y \leq$ 0.2)

Posición en eje X y Y, (ΔA_x , ΔA_y):

$$\Delta A_x = ((A_{2x}) + (A_{4x})) / 2 \quad (3.6)$$

$$\Delta A_y = ((A_{1y}) + (A_{3y})) / 2 \quad (3.7)$$

$$\Delta A_y = (A_{3y}) / 2$$

Mediciones:

Tabla 3.1

- 1.- Motor a encuentra a Bb., determinado al sondear en 90° y 270°, al girar el árbol del reductor. Sentido de trabajo será Reductor- Motor y sentido de giro antihorario. Movimiento transversal y longitudinal de la máquina será con gatos, pero al llegar ésta a su posición se dejará de hacer presión. El signo del comparador está dado en función de la posición de éste, en nuestro caso será negativo (-).
- 2.- Hemos realizado con bastante aproximación el centrado del eje de la máquina, pero no de la máquina, vemos que la alineación radial es bastante buena pero con la máquina en posición inferior a la referencia.
- 3.- Con el perno de elevación corregimos 206 a 250 centésimas de milímetro en el eje Y, lo que implica un desplazamiento involuntario hacia el eje positivo.
- 4.- Elevamos el motor para corregir: $350-288=62/2=31$ controlando con el comparador en el eje Y.
- 5.- Motor a Bb., en función del sondeo a 90° y 180°, para corregir 43 a Eb.
- 6.- Máquina y eje centrado razón por la que trabajaremos en el axial. Signo de comparador es importante :
 - (+) Implica se están cerrando las bridas.
 - (-) Implica se están abriendo las bridas.
- 7.- Radial está dentro de la tolerancia, en cuanto al axial no nos importa que los signos sean diferentes.

10.- Medición de placas.

Retiro de placas con el debido registro de su posición, previo a la toma de espesores entre placas básicas y fundamento con patrones, calibrador vernier, paquete de cuchillas (fig. 3.17). Estas placas tienen las siguientes medidas:

$l = 37,5 \text{ cm}$

$a = 25 \text{ cm.}$

$e =$ espesores diferentes e inclusive dentro de una misma placa

Si la diferencia de espesores es mínima usaremos láminas de latón para aumentar este espesor y si debemos disminuir entonces maquinamos a las placas.

**FIG. 3.17
MEDICIÓN DE PLACAS**

11.- Confección de placas.

Esto se debe a la falla en el diseño y montaje del fundamento por parte del Astillero, determinada al medir espesores y nivel en el fundamento, longitudinal y transversalmente (fig. 3.18).

Las bases al momento del montaje se encuentran con su máxima elasticidad y se considera no haber correcciones a futuro en otro montaje por ser realizado en talleres y mano de obra propia.

**FIG. 3.18
CONFECCIÓN DE PLACAS**

12.- Instalación de placas de ajuste y medición.

Comprimir los pernos de compresión con la finalidad de ampliar el espacio para que las placas entren con facilidad, luego colocar los pernos de anclaje de las bases para proceder a aflojar los pernos de

compresión, por último verificamos con los pernos de anclaje su fácil introducción y con el patrón sondeamos el intersticio de 14 mm (fig. 3.19).

FIG. 3.19
INSTALACIÓN DE PLACAS DE AJUSTE Y LÁMINAS

13.- Ajuste y medición final.

Mediciones:

8.- Σ eje X \cong Σ eje Y.

Al aflojar los pernos de elevación y realizar el ajuste de pernos de anclaje, se van a realizar variaciones para lo cual usaremos 02 comparadores el axial y radial donde obtenemos:

$X_1 = 189 + 186 / 2 = 187.5$ Desplazado hacia 90° , casi centrado.
 $\Delta R_x = (189 - 186) / 2 = +1.5 \rightarrow$ corrección en eje x, es positivo.

$Y_1 = 375 / 2 = 187.5$ posición superior a la referencia.
 $\Delta R_y = 175 - 187.5 = -12.5 \downarrow$ corrección en eje y, es negativo.

$$\begin{aligned} \Delta A_x &= ((A_{2x}) + (A_{4x})) / 2; & (3.6) \\ \Delta A_x &= ((-23) + (-18)) / 2 \\ \Delta A_x &= -20.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta A_y &= ((A_{1y}) + (A_{3y})) / 2; & (3.7) \\ \Delta A_y &= (0 + (-43)) / 2 \\ \Delta A_y &= -21.5 \end{aligned}$$

9.- Tomada en un instante durante su asentamiento

10.- Al motor ya en su posición final.

Se encontró su posición inferior a su referencia vertical. Durante su posicionamiento final no debe haber variaciones en los relojes comparadores.

Elevamos nuevamente el motor y al proceder a bajarlo se determinó variación de posición en la base de Eb. a popa del motor determinándose que la misma tenía todas sus esquinas de diferentes espesores (fig. 3.20).

Fig. 3.20
PLACA CON PIE SUAVE

Toma de espacio con el calibrador de láminas

$X_1 = (1.37 + 124) / 2 = 62.685$ Desplazado al 270° .
 $\Delta R_x = (1.37 - 124) / 2 = -61.315 \leftarrow$ corrección en eje x, es negativo.

$Y_1 = 261 / 2 = 130.5$ posición inferior a la referencia.
 $\Delta R_y = 175 - 130.5 = +44.5 \uparrow$ corrección en eje y, es positivo.

$$\begin{aligned} \Delta A_x &= -24 \\ \Delta A_y &= -24 \end{aligned}$$

Finalmente tenemos:

$X_1 = (176 + 174) / 2 = 175$ Desplazado hacia 90° , casi centrado.

$\Delta R_x = (176 - 174) / 2 = +1 \longrightarrow$ corrección eje x positivo.

$Y_1 = 352 / 2 = 176$ posición superior a la referencia.

$\Delta R_y = 175 - 176 = -1 \downarrow$ corrección eje y negativo.

$\Delta A_x = -17$

$\Delta A_y = -18$

PROCEDIMIENTO LÁSER, PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

OPERACIÓN

La máquina al asentarla directamente a la cimentación va a tener movimiento hacia abajo por lo que debemos dejar 2 mm de espacio con láminas bajo las bases de la máquina, además debemos considerar que:

La cimentación sea regular.

Las bases estén limpias y asentadas totalmente.

Acoplar el equipo láser antes de encender el mismo.

Pasos:

- Medir dimensiones de la máquina.
- Ingreso de desalineamiento.
- Ajuste de transducer y prisma.
- Lectura de alineación.
- Condición del acople.
- Correcciones al pie de la máquina.
- Colocación de láminas en las máquinas.

Las unidades por el computador son presentadas en mm.

TRAMO REDUCTOR - MOTOR

El procedimiento manual es fundamental como verificación de tolerancias, desmontaje, montaje, instalación de topes, instalación de pernos de elevación y desmontaje de placas de ajuste, razón por lo cual obviamos estos pasos en este capítulo para evitar la redundancia.

El método láser lo usamos cuando sea la alineación entre reductor y motor, mas no entre eje y reductor, ya que en este último tramo el reductor tiene su posición fija debido a que carece de sistemas de amortiguamiento.

Aproximación con láser sobre gatos.

Luego del desmontaje de placas y elevación del motor procedemos a medir con el alineador láser.

Tabla 4.1

Primera medición:

Introducimos a la computadora la información de distancias para luego hacer las correcciones indicadas por la computadora.

- Transducer y prisma=500mm.
- Transducer y pie frontal de la máquina a ser movida=970mm.

- Pie frontal y pie posterior de la máquina a ser movida=3105mm.
- Centro del acople y prisma=250mm.
- Diámetro del acople=480mm.
-

**FIG. 4.1
PRIMERA MEDICIÓN CON LÁSER**

Gráficos:

Escala: vertical 1cm=1mm.

Horizontal 1cm=500mm.

b= Longitud eje reductor.

g= Distancia entre bridas motor - reductor.

d= Distancias entre pie frontal y bridas del motor.

c= Distancias entre pie frontal y posterior del motor.

f= d+c =Longitud eje motor.

Y2= Referencia radial eje Y

Octava medición

Toma de medidas de los intersticios dejados por las bases y fundamento del motor para comparación con las placas de ajuste, procedimiento idéntico al mecánico así como confección e instalación de placas de ajuste.

Espacio = espesor de placas las colocamos sin alteración alguna.

Espacio < espesor de placas, estas serán maquinadas.

Espacio > espesor de placas, a estas adicionaremos láminas.

Se instala las placas de ajuste y se afloja los pernos de elevación y posteriormente los de compresión.

**FIG. 4.2
OCTAVA MEDICIÓN CON LÁSER**

Décima medición

Identifico pie suave y aquí la computadora nos da la corrección directa de la misma.

Se procede a colocar los pernos de compresión.

**FIG. 4.3
DÉCIMA MEDICIÓN CON LÁSER**

Décimo primera medición

Medición final para registro e impresión.

**FIG. 4.4
DÉCIMO PRIMERA MEDICIÓN CON LÁSER**

CONCLUSIONES:

1. Al comparar los dos métodos vemos cuan importante es tratar de ir a la par con el avance tecnológico, sin dejar pasar por alto, tanto el procedimiento tradicional como sus principios de alineación.

En los puntos donde se utilizó el sistema láser podemos ver la rapidez en cuanto a la obtención de datos y precisión de los mismos, hecho que se logra al transferirse la información directamente a una

computadora, evitando así posibles errores de lectura, registro, signos, entre otros; Por lo que la manera más rápida y eficiente de alinear una máquina es la combinación de los métodos mecánico y sistema láser; por encontrarse íntimamente ligados.

2. Poco personal y de mucha experiencia realiza la función de alineación.

3. Falla tanto en el diseño como en el montaje de las cunas de los motores, a las que luego de analizarlas se determinó variaciones en su inclinación y espesor de planchas; asegurando haber sido trabajadas luego de haberlas montado.

RECOMENDACIONES:

1. El personal que realiza la función de alineación es de basta experiencia en cuanto al método tradicional, pero es importante proporcionarles asistencia técnica a cerca de nueva tecnología, tanto teórica como práctica lo que implicaría obtener una mayor precisión en el menor tiempo posible; por lo que se recomienda la adquisición de un equipo de alineación láser.

2. Cuando un determinado procedimiento es realizado por pocas personas y más aún cuando no existe un registro del mismo, es extremadamente importante el realizar un documento guía de los diferentes pasos a seguir, donde se describa hasta los detalles más simples.

3. La falla en las cunas debe ser considerada como referencia fundamental en una próxima alineación en todas las unidades a flote de este tipo, por ser construidas por el mismo Astillero.

REFERENCIAS

1. GARAVAGLIA, MARIO Y EL CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS DE ARGENTINA, El láser (Washington, D.C., 1976).
2. MARSHALL, SAMUEL L, Láser: Tecnología y aplicaciones (editorial reverté, S.A., España, 1972).
3. MOTOREN-UND TURBINEN-UNION FRIEDRICHSHAFEN GmbH, Motor Diesel 20v 956 TB 92 Descripción e instrucciones de servicio (Germany).
4. MOTOREN - UND TURBINEN - UNION FRIEDRICHSHAFEN GmbH, Motor Diesel 20v 956 TB 92 (planos) (Germany).
5. Optalign System 2 Lite Permalign, Prüftechnik Ag. Product catalog 1994/95, Edition Order Number Ali 9300, Germany, December 1993.
6. , Prüftechnik Ag, Optalign Operating Instructions (Germany, July 1993).
7. BUREAU VERITAS, ECUADOR, Reportes de alineamiento (Guayaquil, Julio de 1997).
8. ARMADA DEL ECUADOR, Talleres M.T.U. Apuntes, Folletos, Reportes, etc (sobre procedimientos, equipos y sistemas).
9. VILLAVICENCIO, GRACE MARGOTH A, "Aplicaciones del rayo láser y pruebas experimentales con un láser de Helio – Neón" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1989).