

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 ESPOL 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.

CONTENIDO

Alineación.

Alineación es el proceso de posicionamiento de dos o mas máquinas de tal forma que sus ejes rotacionales estén colineales, recordando que existe

colinealidad cuando entre dos o más líneas no existe desplazamiento o angularidad entre ellas.

La angularidad es el ángulo entre dos líneas de centro del eje de la máquina y el desplazamiento es la distancia entre estas dos líneas medidas usualmente en el punto medio del acople, donde vemos las posibles desviaciones.

Las correcciones a estas desviaciones se pueden realizar de la siguiente manera:

Alzando o bajando el pie frontal y posterior de la máquina.

Moviendo los extremos frontal y posterior de la máquina hacia la izquierda o derecha.

Método de alineación mecánica.

La alineación de este sistema se la ha venido realizando mecánicamente. Para ejecutarla se usa aparatos de medición como el metro para alineación axial y relojes comparadores para alineación radial y angular. Estos comparadores son colocados en las bridas a través de soportes, los cuales dan rigidez y estabilidad.

Su procedimiento, mientras se determina la posición correcta respecto a la línea central del eje, consiste en determinar la distancia entre bridas; para luego proceder a la colocación de soportes con sus respectivos 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 alineación.

Alineación de máquinas mediante rayo láser y computadora.

En la actualidad existe alta demanda en cuanto a productividad, lo que implica exigencias en mayores velocidades de rotación y una mejor utilización de los márgenes de seguridad convencionales previstos para el dimensionamiento de ejes y rodamientos, por lo que se exige una gran precisión en la alineación de máquinas acopladas por sus respectivos ejes.

Por causa de la desalineación, las cargas axiales y radiales aumentan, alcanzando valores inaceptables, lo que nos da como consecuencia: la destrucción de acoplamientos, rodamientos y ejes.

En las máquinas en funcionamiento fácilmente se puede detectar la falta de alineación mediante un análisis vibratorio, mientras que, determinar el exacto desalineado, es más difícil para las máquinas en reposo, ya que emplear

útiles de medición, y teorías matemáticas y geométricas, reglas de precisión, comparadores, apreciación, métodos de tanteo, calculadoras manuales, etc. no es en general suficiente para determinar y corregir con exactitud la desalineación.

En función de lo escrito anteriormente se presenta como solución el empleo del sistema láser y computadora como herramientas de medición y cálculo.

Con este sistema las mediciones se realizan mediante el empleo de emisor y prisma, los mismos que son sujetados a los ejes o a las mitades del acoplamiento de las máquinas mediante brazos universales de fijación rápida.

Veamos sus componentes: en el sistema emisor se encuentra un láser de semiconductores (1) el cual lanza un rayo láser que es concentrado por un colimador formado por un sistema de lentes (2), para luego pasar por un refractor parcial (4) en su curso hacia el prisma (3), donde éste refleja el rayo con dirección hacia el receptor, en donde nos encontramos con un filtro (6) y un sistema de lentes (7) que proyectan el rayo hacia el detector fotoelectrónico (5) el mismo que determina la posición del punto de incidencia del rayo láser expresado en coordenadas (x, y).

Cuando hacemos girar ambos ejes conjuntamente o por separado, la desviación paralela del rayo láser produce un desplazamiento del punto de incidencia en la dirección del eje de la y; una desviación angular del rayo, desplaza el punto de incidencia en la dirección x.

El refractor dirige una porción del rayo hacia el suelo (8) donde sirve de punto de partida geométrico para la exacta determinación de las medidas de distancias.

Esta desviación es detectada por el sistema emisor y transferida automáticamente a la computadora de alineación por medio de un cable, para que esta computadora, en forma de dialogo, dé las indicaciones precisas al operador.

Las operaciones que deben ejecutarse son indicadas esquemáticamente por una pantalla de cuarzo líquido y el indicador digital incorporado es quien asume las funciones de reloj comparador.

PROCEDIMIENTO MECÁNICO, PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

REDUCTOR – MOTOR

1. Verificación de tolerancias.

Procedemos entonces a tomar mediciones con el fin de corroborar y registrar la necesidad de realizar un completo mantenimiento correctivo, ya que, al obtener los datos en las bases, notamos que éstos están fuera del rango dado por el Astillero.

2. Desmontaje.

Luego de haberse cumplido con el requisito, según el punto anterior, damos inicio a los preparativos antes del desmontaje de motores, para lo cual primeramente desacoplamos y desmontamos todas las conexiones eléctricas y mecánicas, como son: controles, drenajes de fluidos, sensores, ductos, cañerías, etc.

3. Soportado elástico del motor.

El motor se encuentra soportado por sus seis bases, las que nos dan la idea de cuanto peso se distribuye a cada una de ellas. Y éstas a la vez descansan sobre el fundamento del motor.

Estas bases son un conjunto de componentes:

- a) Consolas de apoyo.
- b) Apoyos elásticos, y
- c) Placas básicas,

4. Acoplamiento de dientes torsio - elástico.

Como vemos, el acoplamiento de dientes torsio - elástico se encuentra montado como equipo de transmisión de fuerza entre el motor y el reductor. Este acoplamiento está constituido además de la caja de acoplamiento por varios componentes principales:

Cubos de acoplamiento.
Casquillo de torsión.

5. Montaje.

Cuando el W6 ha concluido y se ha dado mantenimiento a todos los accesorios retirados de la unidad, así como a la sala de máquinas; colocaremos a bordo, sobre los fundamentos, los motores, luego sus accesorios.

6. Instalación de topes.

Sobre la superficie del fundamento se sueldan placas de hierro común de 12 mm de espesor en el sentido transversal y longitudinal de éste con la finalidad que sirvan de soporte para el movimiento transversal y/o longitudinal del motor durante el proceso de alineación; se colocan estas placas para reemplazar la función de los gatos hidráulicos, y como vemos, en este caso, el fundamento no posee gatos, razón por la cual procedemos a la instalación de topes, estos topes son un total de 4 pares siendo ubicadas 1 par en cada extremo angular del fundamento.

7. Instalación de pernos de empuje y desmontaje de placas de ajuste.

Cuando el motor ha sido ingresado a bordo, este se asienta totalmente sobre su respectivo fundamento donde encontramos las placas de ajuste, las que se han mantenido como en su inicio, sin ningún cambio, ya que no podemos saber cuál es el espesor final del espacio donde deben ir y si éste espacio coincide con el espesor de las placas, caso que sería difícil, pero debemos considerar la posibilidad de que alguna de ellas no necesite ser confeccionada.

8. Aproximación sobre gatos.

Debemos tener en cuenta los siguientes rangos de tolerancia:

- a) Radial - desplazamiento horizontal (eje x): motor sin fluidos ni accesorios, rango (+/- 0.5) mm.

Punto de referencia "o": Es el centro de coordenadas de la posición inicial de la máquina (desalineada); mientras que el punto "0" (posición asumida) es el centro de coordenadas de la posición final de la máquina alineada

Cabe indicar que o´ puede encontrarse en cualquier punto de los 360° y a cualquier distancia del punto "o".

Tolerancias:

Radial eje x = (0.0 +/- 0.5) mm.

- b) Radial - desplazamiento vertical (eje y): (1.5+0.5) mm. sobre el reductor.

Esta longitud se acostumbra a dejar debido a que, al introducir los fluidos y accesorios al motor, éste se asienta y en ese momento su distancia disminuye a una altura no menor a la indicada.

Tolerancias:

Radial eje y = $(1.5 + 0.5)$ mm.

- c) Axial - Primeramente, con una regla metálica verificamos la distancia entre bridas (365 ± 1) mm

Tolerancias:

Distancia axial entre bridas = (365 ± 1) mm.

Torsio elástico = (364 ± 6) mm.

DESPLAZAMIENTO AXIAL

En la figura vemos las bridas lateralmente con los instrumentos de medición.

- Angular.- Tolerancias ± 20 centésimas de mm., aunque el rango dado por el Astillero como máximo es de ± 0.5 mm.

El área sombreada paralela al eje Z, es el rango en la cual tenemos ± 0.2 mm en el que puede fluctuar angularmente las bridas.

Tolerancia:

Fabricante: (0.0 ± 0.5) mm.

Real = (0.0 ± 0.2) mm.

9. Medición de placas.

Para realizar este paso previamente retiramos las placas de ajuste pero registrando en las mismas su posición ya que, como son varias y de diferentes espesores las de estribor y babor, nos daría problemas al confundirlas

10. Confección de placas de ajuste.

De ser necesario el aumento de pequeños espesores debemos colocar láminas de latón, pero en el caso de ser de un espesor considerablemente mayor a estas láminas, se colocaran placas del mismo material que las placas de ajuste originales.

11. Instalación de placas de ajuste y medición.

Recordemos que el motor se encuentra alineado sobre el fundamento a través de los pernos de elevación, quedando el espacio exacto entre las plataformas de las bases y el fundamento donde debe introducirse las placas luego de ser corregidas.

PROCEDIMIENTO LÁSER, PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Operación

Previa a la operación con láser realizamos una preparación de la maquinaria, la misma que debe ser hecha antes de empezar cualquier alineación.

La máquina al ser asentada directamente sobre la cimentación, no va a tener un movimiento vertical hacia abajo, por lo cual dejamos aproximadamente 2 mm de espacio con láminas bajo las bases de la máquina, y así poder hacer las correcciones.

Todo el pie de la máquina debe estar en contacto con la cimentación, ya que cimentaciones irregulares y pies sucios o corroídos pueden dejar a la máquina asentada solo en tres pies, o sea la corrección del pie suave es elemental previa la alineación.

Antes de encender la computadora debemos acoplar todo el equipo láser, como son: montaje de abrazaderas, transducer, prisma, conexión de cables, etc.

Cuando se enciende la computadora por primera vez, esta muestra el número de serie, el que debe ser igual al número de serie de la parte posterior de la envoltura del transducer, caso contrario las lecturas de alineación pueden ser presentadas de manera inexacta.

Los resultados serán mostrados en unidades métricas, si queremos trabajar en pulgadas debemos aplastar (/) slash.

Procedimiento en tramo (Reductor - Motor).

En cuanto al procedimiento de alineación con láser, tenemos que al iniciar de cero, es decir sin haber realizado la anterior parte mecánica; no podríamos utilizar esta tecnología ya que los primeros pasos del procedimiento mecánico son parte fundamental en la operación con láser; siendo estos pasos la verificación de tolerancias, desmontaje, montaje, instalación de topes,

instalación de pernos de elevación y desmontaje de placas de ajuste. De allí la importancia del conocimiento y aprendizaje de los dos métodos y la razón por lo cual en este capítulo vamos a obviar estos pasos, evitando redundar sobre lo mismo, pero debemos tener presente que deben ser ejecutados en el caso de aplicar directamente el método de alineación con láser.

Recordemos que en cuanto a la verificación de tolerancias como primer punto realizamos una inspección a la máquina con la finalidad de ver si ésta se encuentra dentro del rango de tolerancia proporcionado por el Astillero que es el $(1.5 + 0.5)$ mm. sobre el reductor eje Y, y $(+/-0.5)$ mm. para el eje X, pudiendo así soportar luego el peso de la instalación de ductos de descarga y demás accesorios del motor.

En cuanto al paralelismo o distancia entre bridas en el plano axial la angularidad no debe exceder de 0.50 mm., pero en nuestros talleres optimizamos este valor y consideramos un rango no mayor a 0.20 mm.

Dentro de nuestro tramo a alinear Motor – reductor - eje, con láser solamente, amerita la alineación entre el reductor y motor, mas no entre eje y reductor, ya que en este último tramo el reductor tiene su posición fija debido que carece de sistemas de amortiguación, o sea que no hay posibilidad de desalineación en cuanto a su procedimiento, recordando que el único método a aplicar aquí es el mecánico.

Luego de haber concluido con la instalación de pernos de elevación y desmontaje de placas de ajuste realizamos la primera medición con el alineador láser obteniéndose la tabla (4.1), la que nos indica las respectivas correcciones a los pies de la máquina para llegar a los rangos de tolerancia axial y radial antes mencionados, basados en el desalineamiento

En la primera medición cuando la computadora del alineador láser indica las correcciones, inmediatamente corregimos con los pernos de elevación debido a que previamente habíamos comprimido los pernos de compresión dejando el intersticio de 14mm.

Cálculos en alineación láser.

Escala:

Vertical = $(1\text{cm} = 1\text{mm})$.

Horizontal = $(1\text{cm} = 500\text{mm})$.

- Longitud eje reductor (b):
- $b = 1840\text{mm} / 500 \text{ mm} = 3.68 \text{ cm}$.

- Distancia entre bridas Motor- Reductor(g):
- $g = 365\text{mm} / 500 \text{ mm.} = 0.73 \text{ cm.}$
- Distancia entre pie frontal y brida del motor(d):
- $d = 597\text{mm} / 500 \text{ mm.} = 1.194\text{cm.}$
- Distancia entre pie frontal y posterior del motor(c):
- $c = 3105\text{mm} / 500 \text{ mm.} = 6.21\text{cm.}$
- Longitud eje motor(f):
- $f = d + c = 1.194 + 6.21 = 7.404\text{cm} = 3702\text{mm}$
- Referencia radial eje y:
- $Y_2 = 1.75\text{mm}$

Luego de haber realizado todas las correcciones radiales en el eje X y eje Y, se verificará la posición final de la máquina, realizando una segunda medición para seguridad de nuestro trabajo.

En esta medición nuestra posición relativa es la correcta, por lo tanto procedemos a la toma de medidas del intersticio dejado por las bases y fundamento del motor para registrarlas y compararlas con las placas de ajuste retiradas de a bordo, procedimiento idéntico al mecánico, así como confección e instalación de placas de ajuste.

Si el espacio coincide con las placas colocamos las mismas.

Si el espacio es menor que las placas de ajuste, estas serán maquinadas.

Si el espacio es mayor a las placas de ajuste adicionaremos con laminas.

Medición final.

Luego de haber instalado las placas maquinadas, procedemos al asentamiento del motor aflojando los pernos de elevación y posteriormente las de compresión, y así tomamos una nueva medición con el alineador láser con el fin de comparar los resultados con los datos de referencia (figuras 4.5 a 4.8).

En esta tercera medición encontramos un pie suave, por supuesto en la misma base que fue detectada en la parte mecánica, pero con la diferencia que aquí la computadora directamente nos da el valor a corregir el que vemos en la tabla 4.1.

En cuanto al ajuste final de pernos lo realizamos de manera idéntica al explicado en la parte mecánica con la diferencia que en este método la verificación de alguna variación la hacemos con la computadora.

Luego de corregir, verificamos las veces que fueron necesarias la posición de la máquina mediante mediciones con el alineador hasta que los resultados obtenidos se encuentren dentro del rango de la referencia.

Luego de haber concluido la alineación realizamos una cuarta medición, pero únicamente para registrar en las hojas de reportes la posición final.

CONCLUSIONES

- 1 - Al comparar los dos métodos concluimos que es importante ir a la par con el avance de la tecnología, sin jamás dejar pasar por alto los principios y su procedimiento mecánico, y por mucho que dominemos un método tecnológico, los equipos y sistemas están expuestos a fallas ajenas a nosotros, pero igual debemos dar solución al problema.

La manera más rápida de alinear una máquina es la combinación de ambos métodos, ya que el uno va de la mano con el otro. En cuanto a los datos obtenidos en los puntos donde se ha podido utilizar el alineador láser, definitivamente ésta información es más exacta y por supuesto la rapidez es mayor, así mismo la transferencia de datos se la realiza de manera directa desde el emisor a la computadora, con lo cual evitamos:

Errores de lectura.
Errores de registro.
Errores de signos.

- 2 - Concluimos falla en el diseño y montaje de las cunas de motores, a las que luego de analizarlas se determinó variaciones en su inclinación y espesor de planchas, lo que asegura haber sido trabajadas luego de habérselas montadas.
- 3 - El punto más importante es aquel en que tiene que ver el criterio e ingenio de una persona, por cuanto en nuestra vida nos encontramos con situaciones en las cuales no habrá nada escrito y más aún serán improvisadas en algún momento y allí es donde se debe tener la capacidad y seguridad para ordenar, disponer y/o ejecutar el mejor plan de acción para superar el problema el jefe de un proyecto, quien debe estar al frente de todo acontecimiento tanto administrativo como operativo, siempre dispuesto a aceptar criterios.

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).