

EL LASER Y SUS APLICACIONES
EN LA INDUSTRIA NAVAL*

Dra. Lía Zerbino**

Dr. Héctor J. Rabal***

Dr. Jorge O. Tocho****

Dr. Héctor F. Ranea Sandoval**

Dr. Mario Gallardo*****

Dr. Mario Garavaglia*****

- * Trabajo realizado en el CIOp, Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET-UNLP-LEMIT).
- ** Becario de Perfeccionamiento del CONICET.
- *** LEMIT y Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.
- **** Miembro de la Carrera del Investigador de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.
- ***** Profesor Titular de la UNLP y Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET. Director Adjunto del CIOp.
- ***** Profesor Titular de la UNLP y Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET. Director del CIOp.

I. GENERALIDADES

Recientemente fue publicado un informe sobre la primera aplicación del láser en la industria naval argentina (1). El empleo de esta herramienta, facilitada por la más moderna tecnología, hizo posible la realización de controles en un buque en construcción en el Astillero Río Santiago. La experiencia consistió en la verificación del estado de alineación del eje de un tubo de timón y del paralelismo entre los ejes de los dos tubos de timón de dicho buque. El largo de los tubos era de 300 cm y la distancia entre los ejes de ambos tubos era de 600 cm, aproximadamente.

El láser es un dispositivo que emite radiación de muy elevada intensidad y en un haz de reducidísima divergencia, lo que posibilita su utilización aún a grandes distancias. El láser empleado en las aplicaciones ya citadas, es uno del tipo mezcla gaseosa de He-Ne y que emite radiación en la región visible, más precisamente en el rojo y en una longitud de onda de $0,633 \mu\text{m}$.

El láser fue asociado a un dispositivo telescópico de enfoque, que permite obtener, a distancias requeridas, brillantísimos puntos luminosos ubicados sobre una recta. El sistema óptico completo puede instalarse fácilmente mediante soportes adecuados y el rayo de luz puede dirigirse, mediante espejos, a cualquier distancia y sorteando obstáculos, si es necesario.

El sistema telescópico de enfoque permite, entonces, enfocar el haz luminoso emitido por el láser sobre los blancos ("targets") que contienen marcas fiduciaras adecuadas, las que se ubican a distancias variables y son solidarios a las piezas o componentes que se deseen alinear durante su montaje o bien cuyo estado de alineación se desea verificar.

El haz del láser se puede concentrar hasta obtener diámetros mucho menores de $50 \mu\text{m}$, de manera que el punto luminoso sobre los blancos se hace tan brillante que permite la aplicación del método aun cuando existan grandes variaciones en la intensidad de la luz ambiente en las distintas zonas de trabajo. En efecto, la observación no presenta dificultad ya sea bajo iluminación directa del sol o artificial, en penumbra, o en total oscuridad.

Para materializar la recta representada por el haz del láser es suficiente determinar las coordenadas de por lo menos dos puntos contenidos en ella. La determinación de estos dos puntos puede realizarse empleando retículos o bien diafragmas de diámetro pequeño, ambos provistos de movimientos micrométricos según dos ejes de coordenadas. El haz del láser se enfoca sucesivamente sobre el plano de los diafragmas, por ejemplo, por medio del sistema telescópico, y

su posición exacta se determina mediante el movimiento de los tornillos micrométricos hasta conseguir la observación de un máximo de luz en una pantalla ubicada detrás del mismo. Es siempre posible facilitar la observación del máximo de intensidad luminosa, empleando algún sistema de detección fotoelectrónica.

Una vez determinada la recta entre los dos puntos, es muy simple determinar puntos intermedios y otros más alejados de ellos, con los ya mencionados blancos o diafragmas. Ellos se fijan a las piezas o componentes por alinear durante su montaje o cuya posición se desea verificar y se determinan sucesivamente sus respectivas coordenadas con la precisión deseada. Dicha precisión depende de la calidad del enfoque, del diámetro de los diafragmas empleados, de la intensidad del punto luminoso, del tipo del sistema de detección y, sin duda, de la aptitud de los operarios.

II. EL TRABAJO DE VERIFICACION REALIZADO EN EL BUQUE FRIGORIFICO AREMAR

El buque frigorífico AREMAR, de un porte bruto de 3 255 toneladas, tiene 99,60 m de eslora, 13,60 m de manga y 8,80 m de puntal, con un calado de 5,40 m.

Posee 3 bodegas frigoríficas con 140 000 pies cúbicos de capacidad y está propulsado por un motor Fiat 4212 ESS de 4 800 CV de potencia continua a 375 RPM, 12 cilindros en V simple efecto 4 tiempos.

Por haber sufrido un desperfecto, fue necesario rectificar los ocho muñones del cigüeñal del motor. Fue decidida la rectificación "in situ" de dichos muñones en razón de la imposibilidad de desmontar la tapa de cilindros del motor y retirar el cigüeñal para rectificarlo en un taller de la especialidad. Antes de proceder a su rectificado, se realizaron una serie de controles, mediciones y verificaciones, entre las que se contó la verificación de la alineación de las pistas de lubricación de los muñones del cigüeñal en dos posiciones angulares separadas por un cuarto de vuelta. Las pistas de lubricación estaban sin gran deterioro y por ello se las eligió como superficies de referencia para las mediciones.

Las posiciones angulares se eligieron adecuadamente para que las palanquillas y contrapesos del cigüeñal no bloqueara el paso del haz del láser. La elección de una rotación de un cuarto de vuelta era procedente por cuanto se deseaba verificar si el cigüeñal habría quedado alabeado y con una deformación permanente.

El sistema de enfoque y el láser fueron montados adecuadamente

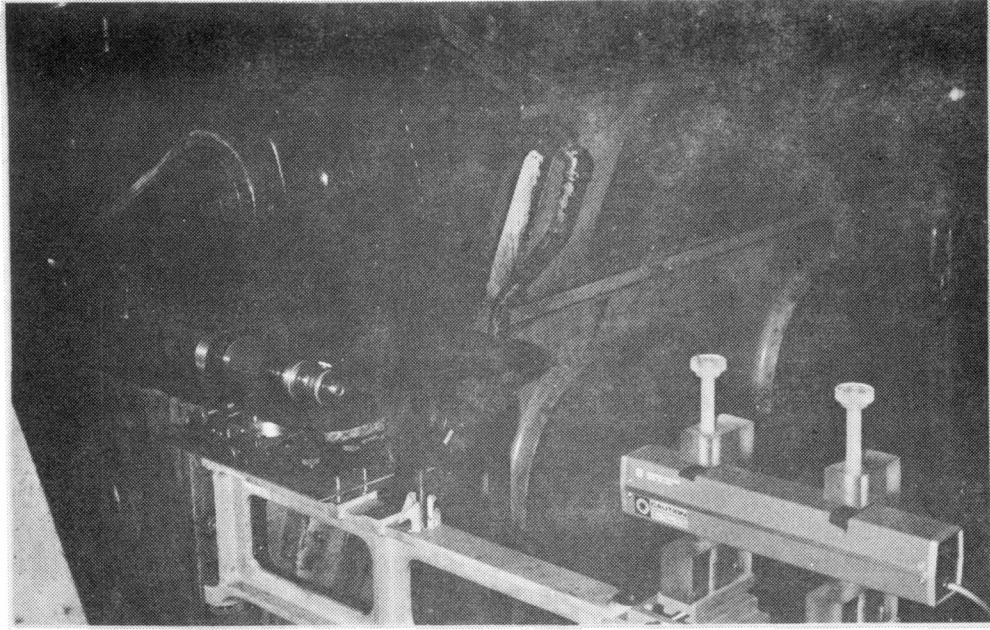


Fig. 1.- El láser, el polarizador y el sistema óptico montados en un lateral del motor

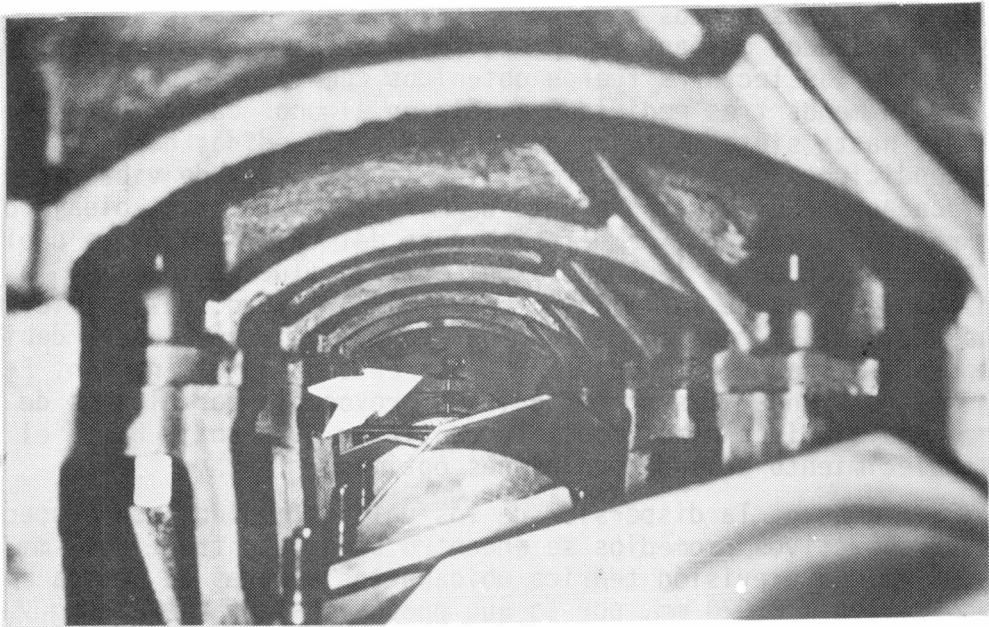


Fig. 2.- Vista interior del cárter del motor. El cigüeñal ha sido rotado de modo que el haz del láser que se reflejará en el espejo (señalado por la flecha) se propagará sin dificultades a lo largo de la zona de trabajo

y en forma solidaria a uno de los laterales del motor. La fig. 1 muestra una fotografía del sistema ya instalado y del espejo que refleja el haz del láser dirigiéndolo al interior del motor, mientras que en la fig. 2 ilustra sobre la situación de trabajo en el cárter del motor. Al fondo de esta fotografía se observa el espejo ya aludido y el camino del haz del láser totalmente libre de obstáculos.

La alineación de la posición superior de las pistas de lubricación se efectuó empleando como accesorio un soporte tipo trípode cuyas patas, previamente calibradas, asentaban en el plano medio del bloc a la altura de las bancadas. El soporte estaba provisto de un buje cuyo eje era perpendicular al plano determinado por los extremos de las tres patas de aquél. Se aseguró dicha perpendicularidad por rotación. El buje alojaba un vástago, cuya superficie frentada inferior apoyaba sobre las pistas de lubricación durante las mediciones y sobre cuya superficie frentada superior se ubicaba una escuadra que llevaba fijo el soporte con movimiento micrométrico vertical del diafragma de medir.

El montaje descrito aseguraba que las mediciones fueran realizadas sobre la vertical al plano de bancadas. Por ello los diafragmas de medir sólo poseían movimiento micrométrico vertical.

La recta de referencia fue determinada enfocando el haz del láser sobre los diafragmas ubicados en las posiciones de las bancadas 2 y 8. Los puntos correspondientes a las otras bancadas fueron determinados mediante el procedimiento ya descrito. Todos los valores de las lecturas fueron obtenidos como promedios a partir de por lo menos tres mediciones; sólo en algunos casos fueron realizadas hasta siete mediciones. El número de medidas dependió de las condiciones de trabajo. Por ello, la presencia de vibraciones provocadas por el funcionamiento de motores auxiliares, oleaje o por ráfagas de viento, de deformaciones del casco del buque debidas a la variación de la incidencia del sol, de fluctuaciones en la intensidad del haz de luz emitido por el láser provocadas por la inconstancia de la tensión de la línea de alimentación, etc., debieron ser analizadas y tenidas en cuenta en cada determinación. En algunas ocasiones, las perturbaciones provocadas por algunos de los fenómenos aludidos hizo imposible continuar el trabajo hasta el restablecimiento de las condiciones óptimas.

Sin embargo la dispersión de los valores medidos con respecto a sus respectivos promedios se encontró ubicada entre $\pm 0,01$ mm y $\pm 0,05$ mm. La previsión teórica ubicaba los errores de medida en el rango de los $\pm 0,020$ mm, por lo que puede considerarse como muy satisfactorios los resultados obtenidos.

Los gráficos de la fig. 3 muestran el resultado de las mediciones. De ellos puede inferirse que el cigüeñal mantiene su natural estado elástico y que no sufrió deformación de carácter permanente.

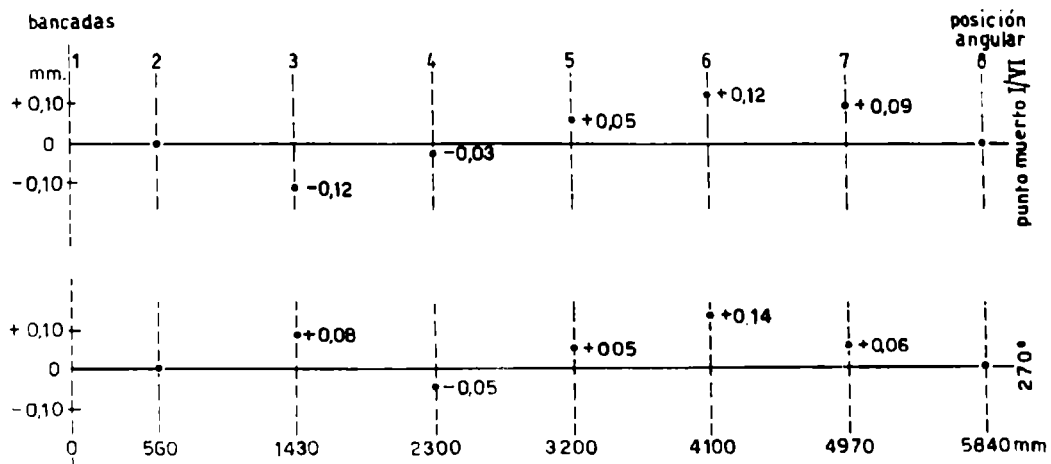


Fig. 3.- Resultados de las mediciones que muestran que el cigüeñal no ha sufrido deformaciones de carácter permanente

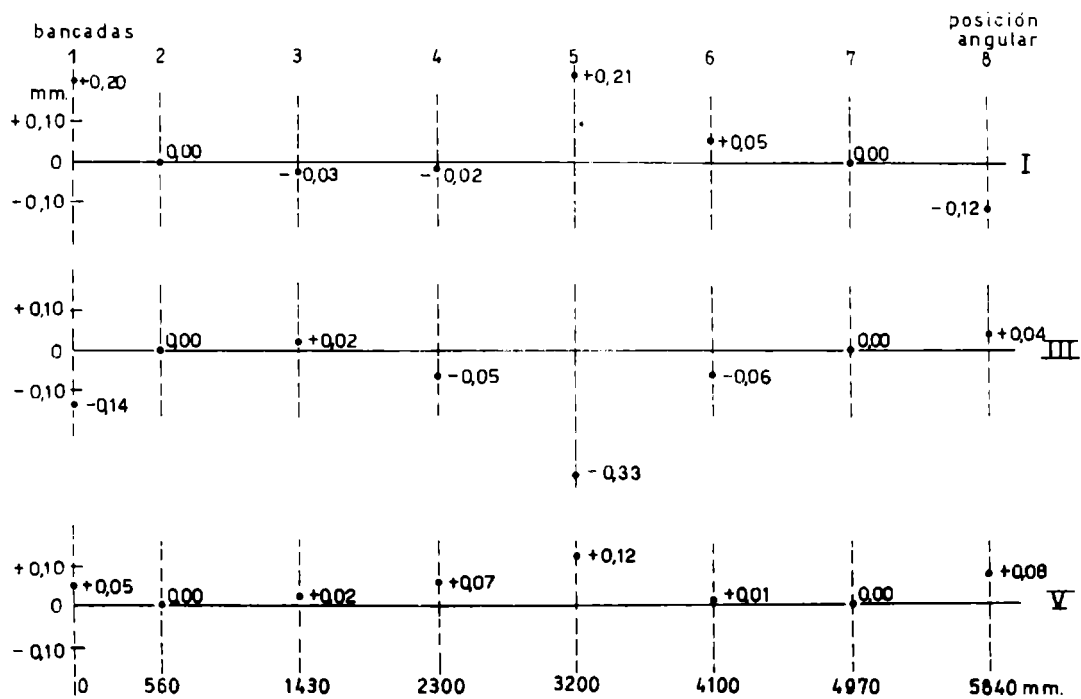


Fig. 4.- Datos que permiten establecer que los muñones del cigüeñal están excéntricos

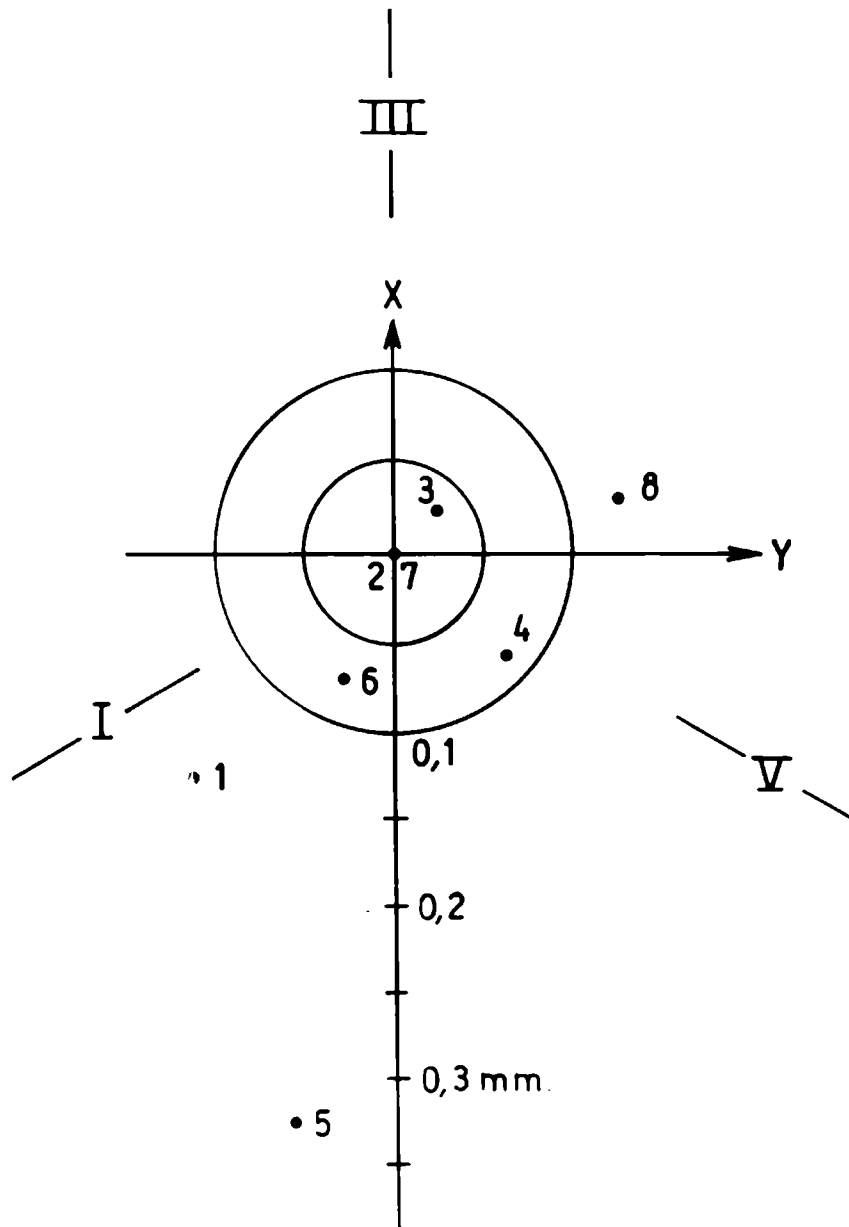


Fig. 5.- Los resultados indicados en la fig. 4 permitieron graficar las posiciones relativas de los centros de los muñones

La observación minuciosa de la pista de lubricación del muñón correspondiente a la bancada 3 mostró una superficie muy rayada y, en general, con un deterioro tal que justifica la única discrepancia anotada en el conjunto de mediciones.

Una vez rectificadas los muñones del cigüeñal se realizó una segunda verificación. En ésta se procedió a determinar nuevamente la alineación de los puntos superiores de las superficies rectificadas de los muñones en tres posiciones angulares separadas 120° entre ellas. Las posiciones angulares también fueron seleccionadas para que las palanquillas y contrapesos no bloquearan la trayectoria del haz del láser.

En esta verificación, se encontró que las dispersiones de las lecturas realizadas se hallaban entre $\pm 0,008$ mm y $\pm 0,030$ mm.

Los gráficos de la figura 4 muestran el resultado de estas nuevas mediciones. De ellas se puede deducir que los muñones están excéntricos. En efecto, con los datos obtenidos por las mediciones con el láser se preparó el gráfico de la fig. 5. En el mismo se han representado las posiciones de los centros de los muñones con respecto de la recta determinada por los centros de los muñones 2 y 7. El error en la determinación de los centros fue de $\pm 0,03$ mm. El muñón 5 resultó fuera de tolerancia por excentricidad y debió maquinarse nuevamente.

III. CONCLUSIONES

El método expuesto en la Referencia 1 pudo aplicarse sin inconvenientes en las verificaciones realizadas en el cigüeñal del motor de propulsión del buque frigorífico AREMAR. Fue necesario, sin embargo, hacerlo más sensible y preciso. Los dos aspectos fueron satisfechos empleando, por una parte, diafragmas de menor diámetro a los citados en la Referencia 1 y, por la otra, disminuyendo la intensidad del punto brillante de enfoque del haz del láser interponiendo en su camino un analizador "Polaroid". Los diafragmas más empleados fueron los de 8 y 20 μ m de diámetro. El analizador "Polaroid" era rotado durante la observación de modo que la variación de la intensidad luminosa se podía llevar hasta el umbral de detección de modo que la sensibilidad alcanzara su nivel máximo.

El método de alineación por un sistema de enfoque del haz de un láser es versátil. Prácticamente no tiene límites de aplicación. Sus posibilidades en la alineación de componentes o piezas mecánicas durante su montaje o en la verificación del estado de alineación de las mismas son vastísimas.

Por último, debe mencionarse que en las mediciones fue empleado un instrumental cuyo estado de desarrollo puede caracterizarse de "experimental". La investigación tecnológica continúa en el Centro de Investigaciones Ópticas teniendo como meta la definición del instrumento "Prototipo".

IV. BIBLIOGRAFIA

- (1) "Alineación empleando un sistema óptico de enfoque y un láser"
L.M. Zerbino, H.J. Rabal, M. Gallardo y M. Garavaglia, Ingeniería Industrial. Edición 492, pág. 73, Junio 1977.

V. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado con la asistencia de la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología, de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y de la Organización de los Estados Americanos.