

# DESARROLLO DE UN INTERFERÓMETRO LÁSER PARA CALIBRAR ACELERÓMETROS EN BARRA DE HOPKINSON

***Gilberto Martin Rivera Vargas***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*gilberto\_rivera\_vargas@outlook.com*

***Lorenzo Marcos Muñiz Mendoza***

Centro Nacional de Metrología  
*lmuniz@cenam.mx*

***Ramón Rodríguez Castro***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*ramon.rodriguez@itcelaya.edu.mx*

## **Resumen**

En este artículo se describe la implementación de un interferómetro láser tipo Michelson en cuadratura para la calibración de acelerómetros en barra de Hopkinson, así como los diferentes ajustes y modificaciones hechas al sistema de calibración mencionado. Tratando temas de normatividad (ISO 16063-13), comparación con sistemas similares (CNM-PNF-16-CENAM), implementación, problemáticas y perspectivas de mejora en general.

**Palabras Clave:** aceleración, impacto, interferómetro, interferencia, láser.

## **Abstract**

*This article describes the implementation of a laser interferometer Michelson type in quadrature for calibration of accelerometers in Hopkinson bar, as well as, the various adjustments and modifications to the calibration system in general. Addressing issues of standards (ISO 16063-13), comparison with similar systems*

*(CNM-PNF-16-CENAM), implementation, problems and prospects of improvement in general.*

**Keywords:** acceleration, impact, interferometer, interference, laser.

## 1. Introducción

En la Dirección de Vibraciones y Acústica del Centro Nacional de Metrología (CENAM) se mantiene el patrón de aceleración transitoria en condiciones de impacto y choque (CNM-PNF-16), donde se realizan calibraciones por interferometría láser de acelerómetros y diversos transductores de vibración. Actualmente se tiene la capacidad de medición y calibración de transductores de vibración en condiciones de impacto empleando interferometría láser hasta aceleraciones de  $35 \text{ km/s}^2$ . Hoy en día se está desarrollando un sistema para calibrar acelerómetros empleando una barra de Hopkinson, usando barras de diferentes materiales (acero inoxidable y titanio). Con este sistema se podrán calibrar transductores de vibración a altas aceleraciones en condiciones de impacto y choque.

Para efectos de poder lograr la medición de la señal producida por este nuevo sistema durante el impacto, además del desarrollo de los componentes mecánicos del sistema de excitación de impactos, también fue necesario desarrollar un sistema capaz de medir aceleraciones de  $3 \text{ km/s}^2$  hasta  $50 \text{ km/s}^2$ , o incluso mayores. Para este propósito se implementó un interferómetro láser que mide desplazamiento en el mismo lugar y dirección en donde se encuentra el acelerómetro bajo calibración, colocado en el extremo opuesto a donde se aplica el impacto de la barra de Hopkinson, cuando la onda de esfuerzo llegue al otro extremo la aceleración generada será medida de forma simultánea por el acelerómetro y por un interferómetro láser, funcionando como referencia conforme a lo establecido en la norma internacional ISO 16063-13 [1], que establece los lineamientos para la implementación de un sistema de calibración con las características buscadas. A grandes rasgos, aquí se mencionará el desarrollo del sistema de interferometría láser, que es el eje fundamental del objetivo que nos plantea el título, así como el sistema de excitación de la barra de Hopkinson.

## 2. Métodos

### Interferómetro de Michelson

Un interferómetro Michelson modificado en cuadratura, se utilizará para la medición del desplazamiento y estimación de la aceleración obtenida en el sistema de excitación de barra de Hopkinson, figura 1.

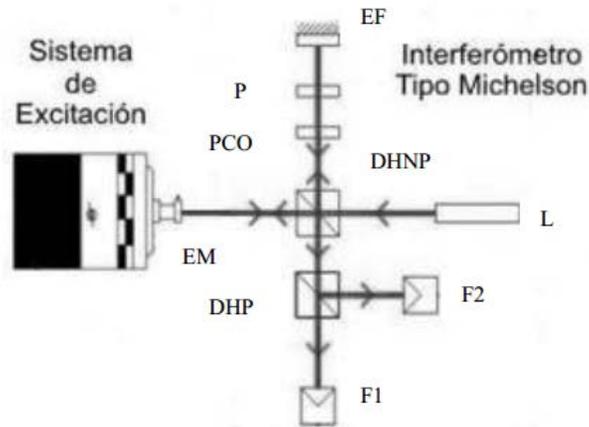


Figura 1 Interferómetro Michelson modificado en cuadratura [2].

Se utiliza un láser (L) Helio Neón con una longitud de onda ( $\lambda$ ) de 632.8 nm como fuente de luz, haciéndola incidir en un divisor de haz no polarizado (DHNP), el cuál divide la luz incidente en dos haces, el haz de referencia y el haz de medición. Entre el divisor y el espejo fijo (EF) se coloca una placa de un cuarto de onda (PCO) para producir una luz con polarización circular y posteriormente un polarizador (P) para ajustar la fase del haz de referencia. El espejo fijo refleja nuevamente el haz de referencia hacia el divisor. El haz de medición incide sobre el espejo móvil (EM) y regresa al divisor de haz. Los haces de referencia y de medición se combinan para generar interferencia, este haz combinado pasa por un divisor de haz polarizado (DHP) que separa el haz en dos componentes con polarización perpendicular que producen interferencia con una diferencia de fase de aproximadamente  $90^\circ$  e inciden en dos fotodetectores (F1 y F2) [3].

### 3. Resultados

Se armó e implemento el interferómetro mostrado en la figura 2 para medir la vibración en una barra montada en línea con el excitador, este es un modelo real del que se muestra en la figura 1 y censando las señales en cuadratura mediante el uso de fotodiodos y acondicionadores de onda se visualizan en un osciloscopio.

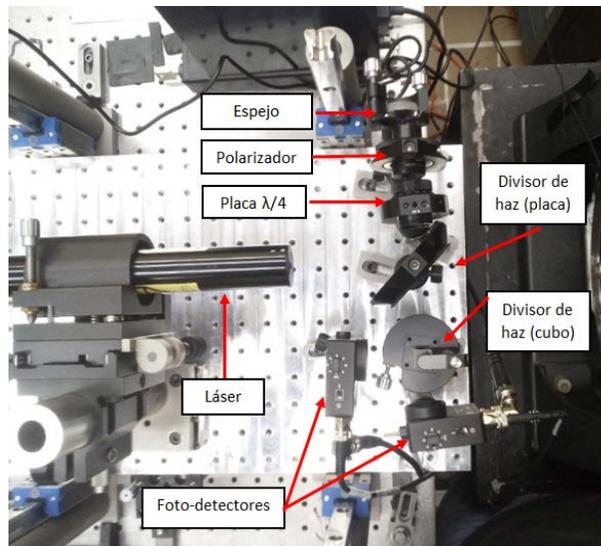


Figura 2 Interferómetro de Michelson en cuadratura.

La interferencia vista de manera directa nos ofrece una área con franjas que se busca lleguen a ser solamente una con el objetivo de obtener la mejor alineación antes de ajustarla por medios digitales, la zona con varias franjas se muestra en la figura 3 y la que posee solamente una se aprecia en la figura 4. Estas modificaciones se obtuvieron manipulando la dirección del haz láser reflejado en el espejo fijo.

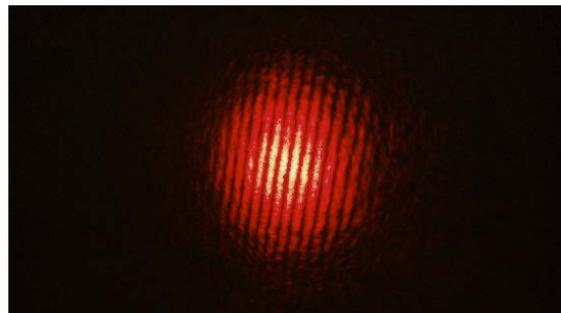


Figura 3 Franjas de interferencia que denotan indicios de alineamiento del interferómetro.

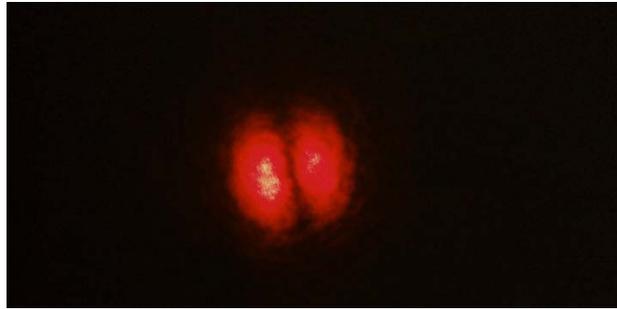


Figura 4 Franjas de interferencia que denotan las condiciones de alineamiento buscado.

Con la manipulación de la dirección mejora la alineación, lo cual se logró mediante el uso de acondicionadores de onda y un osciloscopio (figura 5), que nos permiten ver gráficamente las señales y la manera de comprobar esto es obtener en el plano XY formado por la señal del espejo móvil y el espejo fijo un semicírculo que demuestra el desfase deseado de las señales, dándonos así interferencia constructiva en condiciones estáticas. Se hace mención a un semicírculo ya que es complicado verificar la circularidad de la imagen mostrada.

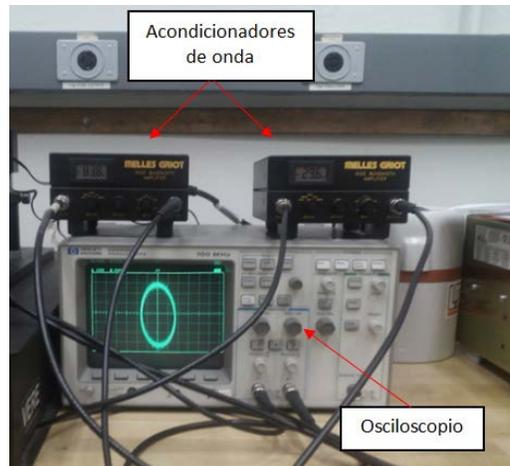


Figura 5 Osciloscopio mostrando la señal en cuadratura captada por los foto-detectores.

#### 4. Discusión

Al realizar varias veces el proceso de alineación y observar la señal obtenida en el osciloscopio se pueden apreciar variaciones de forma en la gráfica del osciloscopio ya que la superficie de la barra donde incide el láser no es homogénea en sus propiedades a causa del maquinado, provocando con esto complicaciones

que han retrasado las mediciones de aceleración. La problemática en desalineación presenta retos que nos obligan a definir referencias de posición de la barra en el plano horizontal y angular en su propio eje antes de cada prueba para así garantizar la repetibilidad de la medición, así como buscar maquinados que nos ofrezcan las especificaciones de rugosidad y que no distorsionen el reflejo tomando en cuenta la longitud de onda de 632 nm del láser HeNe (pulido con pasta de alúmina para obtener una rugosidad N3 y conservando la planicidad de 0.01mm). No hay que olvidar que el material en el que se hace incidir el láser actualmente es acero inoxidable y posteriormente se cambiará por titanio bajo la norma ASTM F67-06 con distintas propiedades de reflexión de la luz.

## **5. Bibliografía y Referencias**

- [1] ISO 16063, Methods for the calibration of vibration and shock transducers, Part 13: Primary shock calibration using laser interferometry. 2001.
- [2] Sergio R. Rojas., Guillermo Silva Pineda., Arturo Ruiz Rueda, “Interferómetro Michelson en cuadratura para calibración de acelerómetros por impacto”, Centro Nacional de Metrología. 2004.
- [3] Peter L. M. Heydemann. Determination and correction of quadrature fringe measurement errors in interferometers. *Applied optics*. Vol. 20, No. 19. October 1981.
- [4] K. Weir, W. J. O. Boyle, B.T. Meggitt, A. W. Palmer, and K.T.V. Grattan. A Novel Adaptation of the Michelson Interferometer for the Measurement of Vibration. 1992.