

REPORTE FINAL
Proyecto SIP Clave: 20082267

Investigación de procesos de desgaste en aceros de vías férreas usando un tribómetro de perno en disco y la técnica de esparcimiento de luz láser.

Dr. Iván Domínguez López
CICATA-IPN, Unidad Querétaro.

Resumen.

En este proyecto se aplicó la técnica de esparcimiento de luz láser sobre superficies metálicas sometidas a desgaste en un tribómetro de perno en disco. Para garantizar la repetibilidad de los resultados, se caracterizaron los diferentes sistemas de medición que se utilizan en las pruebas de desgaste, se adecuaron los circuitos electrónicos para eliminar fuentes de ruido en las señales y se elaboraron programas de adquisición de datos para el registro de las mismas en una computadora. Se diseñó y construyó un arreglo mecánico para el posicionamiento de los elementos que integran el arreglo óptico para el esparcimiento de luz láser. Finalmente, se desarrolló un algoritmo matemático que permite predecir el patrón de esparcimiento de la luz láser cuando incide sobre una huella de desgaste; la comparación con los resultados experimentales muestra una excelente correlación, los resultados fueron presentados en un congreso internacional de innovación y se publicaron en extenso. Actualmente se prepara el manuscrito para enviarlo a una revista reconocida en el padrón de CONACYT.

Introducción.

El desgaste se define como el daño en la superficie debido al contacto mecánico y se caracteriza a través del volumen de material removido, así como del cambio en la distribución de picos de rugosidad de la superficie. En el inicio de un ensayo de desgaste ocurre un periodo de desgaste inicial (conocido como *running-in* ó *wear-in*). En esta etapa, el desgaste puede ser severo donde los picos más altos de las asperezas de los dos materiales entran en contacto. Inicialmente los cambios de textura en el desgaste son del orden de magnitud de la rugosidad inicial. Estos cambios de textura se miden usando palpadores mecánicos o rugosímetros, manteniendo la muestra estática, y es deseable que la medición de este cambio de textura ocurra en el mismo sitio, cosa relativamente difícil de lograr [1-4], esta es la razón por la que en la bibliografía prácticamente no existen modelos para la dinámica de desgaste en la etapa inicial. Con el fin contribuir a la generación de conocimiento, es necesario registrar en tiempo real y sin contacto, los cambios de textura, ocurridos en la superficie a causa del contacto en el par tribológico [5-7]. En el CICATA-Querétaro hemos aplicado por primera vez el uso de la técnica de esparcimiento de luz láser (LLS por sus siglas en inglés) para monitorear procesos de desgaste en un tribómetro de perno en disco [8], el objetivo ha

sido detectar el cambio en la textura de la superficie ocasionada por el contacto mecánico a través de cambios en la intensidad de LLS. Los resultados obtenidos muestran que para garantizar la repetibilidad en las mediciones, se requiere de un posicionamiento preciso del haz de luz láser y del detector LLS sobre la huella de desgaste, también es necesario filtrar las señales de los sensores de manera que presenten el menor ruido electrónico posible, así como hacer modificaciones en el sistema de adquisición de datos que se adecuen a las nuevas condiciones de las señales. Otro aspecto importante es evaluar la influencia de las vibraciones mecánicas causadas por el motor y el contacto dinámico del par tribológico sobre la señal LLS, para lo cual se requiere de sensores y electrónica especializada.

Bibliografía

1. Jeng, Yeau-Ren, Lin, Zhi-Way, and Shyu, Shih-Hwa. "Changes of Surface Topography During Running-In Process." Journal of Tribology 126.July, 2004 (2004): 620-625.
2. Whitehouse, D J. "Surface Metrology." Meas. Sci. Technol. 8 (1997): 955-972.
3. Whitehouse, D.J. "Handbook of Surface Metrology." USA: IOP Publishing, 1994. Whitehouse, David J.
4. "Handbook of Surface and Nanometrology." London: IOP publishing, 2003.
5. Huerta-Ruelas, J., López-López, M., and Zelaya-Angel, O. "Observation of thermal desorption and MBE growth rate using laser light scattering." Thin Solid Films 373 (2000): 239-242.
6. Zerrouki, C., Miserey, F., and Pinot, P. "The nanometric roughness of mass standards and the effect of BIPM cleaning-washing techniques." Metrolgia 36 (1999): 403-414.
7. Dominguez L., Ivan, Huerta R. Jorge A., Montes R., Ricardo I., Ortiz A. Juan de D., Pichardo C., Jesús, García G. Adrián, Aguilar C. Miguel, and Jaramillo V. David. "Mediciones de cambio de intensidad en luz láser esparcida, aplicada al monitoreo de desgaste.." Simposio de Metrología Querétaro, Qro.: CENAM, 2006.

Métodos y Materiales.

La metodología para desarrollar este proyecto fue la siguiente:

1. Se caracterizaron los diferentes sistemas de medición que se utilizan en las pruebas de desgaste: velocidad de giro del motor, sensor inductivo de distancia, y sensor de desplazamiento tipo LVDT con el que se mide la fuerza de fricción. Este trabajo se asignó a un estudiante de servicio social del Instituto Tecnológico de Querétaro, el cual concluyó en tiempo y forma. Los materiales empleados fueron: sensores, control de velocidad marca DART, sistema de adquisición de datos CompactDaq de National Instruments y una computadora.

2. Se diseño y construyó un sistema de posicionamiento para la fuente de luz laser y el detector de LLS, con la posibilidad de variar dichos ángulo de manera independiente, y con posicionamiento del detector LLS dentro y fuera del plano de incidencia. Esta tarea la desarrolló un estudiante de maestría en ingeniería mecánica del Instituto Tecnológico de Celaya quien actualmente desarrolla una residencia industrial en el CICATA-Querétaro y como continuación del trabajo desarrollará su tesis de maestría con este tema. Los materiales empleados fueron: estructuras de aluminio, tornillos, software Solidworks para diseño y simulación de los modos normales de la estructura., computadora, el diseño final se envió para su fabricación a un taller de maquinados.
3. Diseño de circuitos electrónicos para el filtrado de señales generadas por los sensores, incluida la electrónica asociada a la LLS, esta tarea fue desarrollada por un estudiante de la carrera de electrónica y automatización de la Universidad Tecnológica de Querétaro, graduándose con la presentación de este trabajo. Los materiales empleados fueron: componentes eléctricos y electrónicos, software LabView de National Instruments, Tarjeta de adquisición de datos, software de diseño de circuitos, cautín soldadura y otros consumibles..
4. Se desarrollaron experimentos de desgaste en materiales metálicos y se desarrolló un algoritmo matemático que permite predecir la distribución espacial del patrón de esparcimiento de la luz láser cuando incide sobre una huella de desgaste; la comparación con los resultados experimentales muestra una excelente correlación, los resultados fueron presentados en un congreso internacional de innovación y se publicaron en extenso. Este trabajo fue desarrollado por un estudiante de doctorado con quien actualmente se prepara el manuscrito para enviarlo a una revista reconocida en el padrón de CONACYT con lo que se espera graduarlo durante el 2009.

Resultados.

1. Caracterización de sistemas de medición: a continuación se presentan de manera resumida los resultados de la caracterización
 - a) del sensor LVDT. Este tipo de sensor se coloca en ambos lados del brazo del tribómetro para medir el desplazamiento lineal del perno que es generado cuando se provoca el fenómeno de fricción sobre el disco. Esto sirve para calcular el coeficiente de fricción entre ambos materiales probados (la punta del perno y el disco).

- b) Sensor inductivo de proximidad: A éste sensor se le realizaron ciertas pruebas para verificar su linealidad y su sensibilidad al ángulo de acercamiento a la muestra, además de que se comprobó las variaciones que sucederían si fuera variable la fuente de alimentación, esto con el fin de que se pudiera descartar que la fuente de alimentación afectara las lecturas tomadas y que la variación del ángulo con respecto a la normal al disco fuera descartado. Las pruebas se realizaron con diferente tipo de metales: acero inoxidable y aluminio, y acero 1018. Para éste estudio se utilizó nuevamente la mesa micrométrica a la cual se montó el sensor inductivo por medio de la cual se realizó el desplazamiento y/o acercamiento del disco. Sobre el piso de la mesa micrométrica se dibujaron líneas a diferentes ángulos y se utilizó una base para posicionar el disco en perpendicularidad e ir variando el ángulo.
- c) Control de velocidad de giro del motor: En este caso se obtuvo la superficie de respuesta del control PID al trabajar con diferentes parámetros. Se determinó un conjunto de parámetros a utilizar para diferentes intervalos de velocidad desde 50, hasta 600 RPM.

Los resultados fueron presentados en el reporte final del estudiante y este ha sido autorizado para graduarse con la presentación de dicho trabajo.

2. Diseño y construcción del sistema de posicionamiento para el arreglo LLS.

El soporte diseñado para posicionar a diferentes ángulos el laser y el detector de luz láser esparcida es como se muestra en la figura 1a, en el se puede apreciar que el láser estará sujetado en el extremo de una sección en forma de ángulo a 90° , dicha sección puede hacer girar el haz de luz en torno al mismo punto hacia el que se dirige el detector, ambos se mueven sobre un arco del igual radio, lo que conserva las distancias hacia el punto de observación. El arreglo fue diseñado para colocarse sobre un soporte que contiene un par de guías lineales, lo que permitirá el posicionamiento del arreglo sobre el radio que se desee, dentro del intervalo de 0 a 6 cm

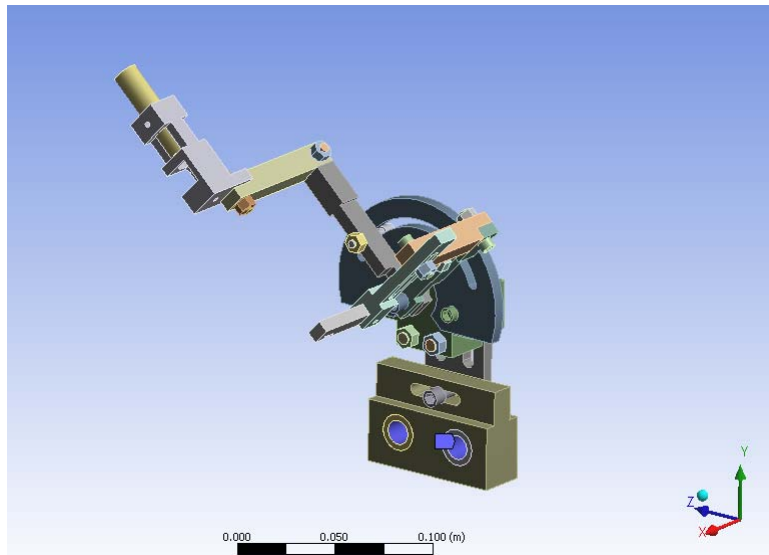


Figura 1a. Sistema de posicionamiento del arreglo óptico LLS.

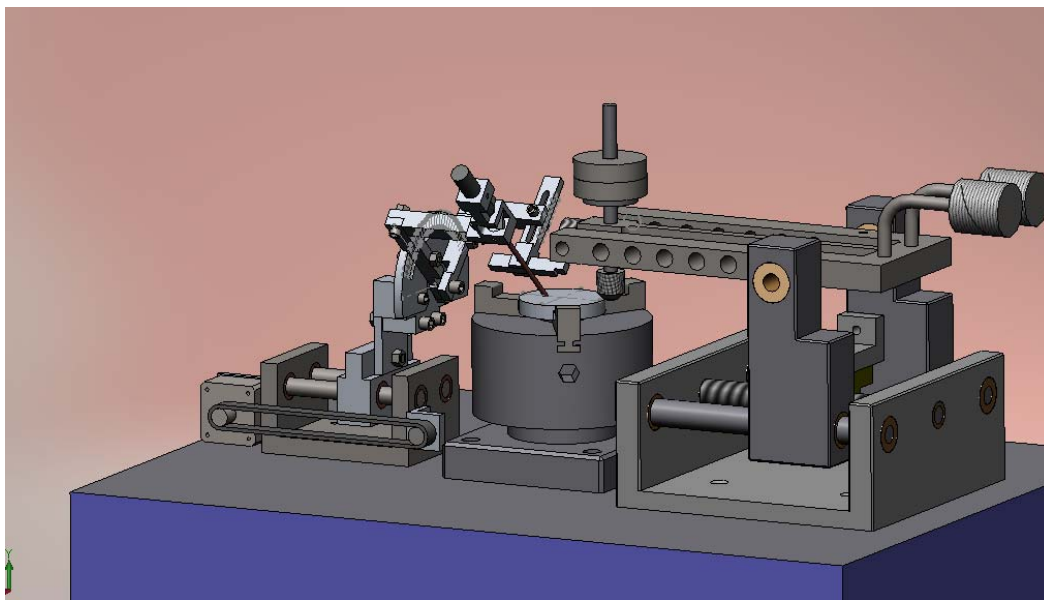


Figura 1b. Sistema de posicionamiento LLS acoplado al tribómetro de perno en disco del CICATA-Querétaro.

3. Circuitos electrónicos para el filtrado de señales.

a) En primer lugar se aplicó un filtro a la señal de giro del motor, la cual es enviada por el codificador óptico colocado en la flecha del chuck, la figura 2 muestra la señal de la frecuencia de giro, antes y después de instalado el filtro. En este caso se ajustó la velocidad a 200 RPM en el control Dart, el cual, de acuerdo a la razón de pulsos por revolución del encoder, debe enviar 1240 ppr,

en la figura del lado izquierdo se observa que ocurren picos de alta frecuencia, los cuales lograron ser cancelados totalmente en la imagen del lado derecho.

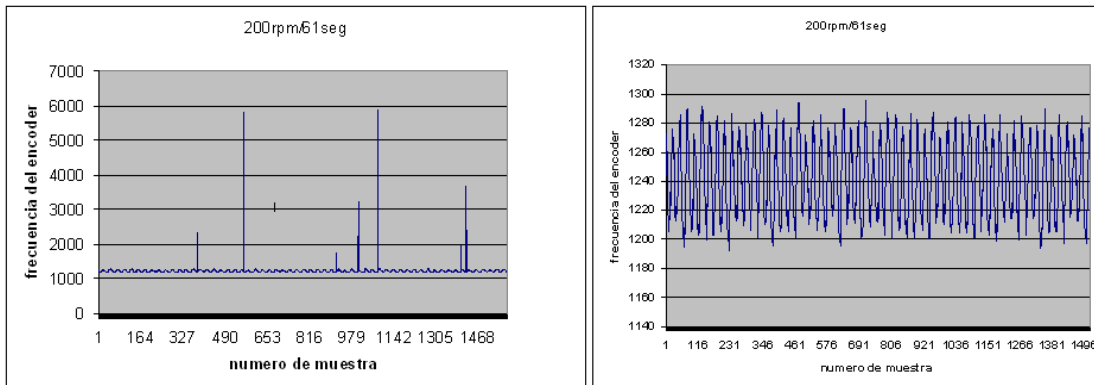


Figura 2. Variaciones de los datos de frecuencia, el de la izquierda sin filtro y el de la derecha tiene filtro físico.

b) Filtrado de la señal del LVDT, en este caso se implemento un filtro digital vía software, de manera que las variaciones de la señal del LVDT fueron adquiridas por el sistema a una velocidad de 100 ms, y promediando los valores en paquetes de 10 muestras. Los resultados se muestran en la figura 3.

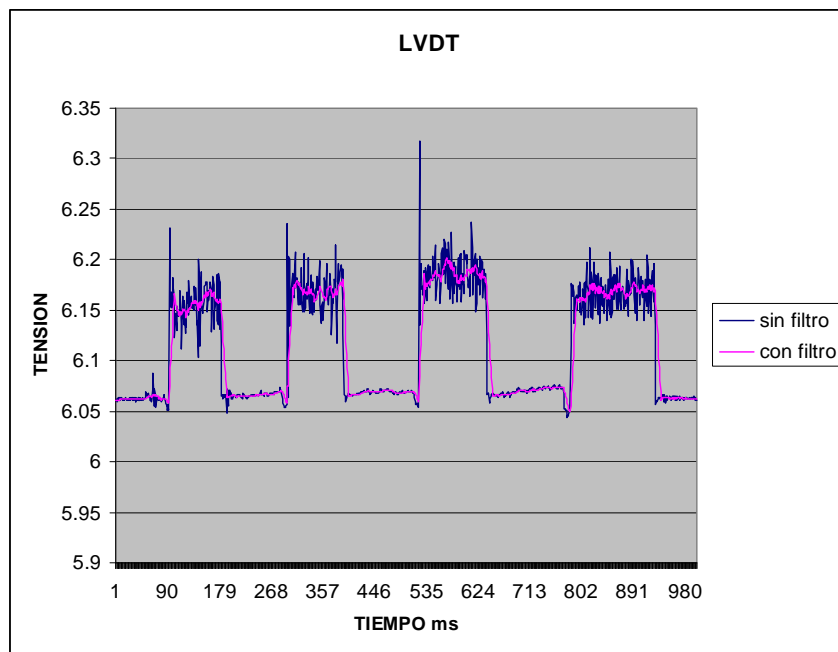


Figura 3. Adquisición LVDT a 100 ms, promedio de 10 muestras

Una vez caracterizados los sensores se trabajó sobre el programa de adquisición de datos por medio del software LabVIEW y Signal Express. Para la realización de pruebas de desgaste en el tribómetro, el programa de adquisición general se consiguió unificando los programas de adquisición de datos del Lock-In, Frecuencia, LVDT y termopar. Para la creación del archivo donde se guardan los datos se utilizó un VI Express que permite generar el archivo de datos. Fue necesario adecuar el programa para adquirir datos a diferentes tiempos de muestreo.

Para el Lock-In, se adquirieron los datos a través del puerto RS-232, mientras que la frecuencia de giro y los demás sensores utilizan las tarjetas de adquisición de la National Instruments.

LLS aplicada sobre huellas de desgaste.

4. Aplicación de LLS a huellas de desgaste.

Finalmente, una vez que se tuvieron las condiciones experimentales necesarias, se llevaron a cabo experimentos de desgaste en materiales metálicos, y se hizo una comparación de los resultados experimentales con lo que predice la modelación con el método de Monte Carlo en el que se hace uso de la óptica geométrica y de la distribución de pendientes de los picos de rugosidad en el muestra. Los resultados que fueron presentados en el 6º Congreso Internacional en innovación y desarrollo tecnológico, organizado por la sección Morelos de la IEEE, se publicó en extenso en las memorias del mismo. Brevemente se mencionan los aspectos mas sobresalientes de dicho trabajo.

Los parámetros de entrada de la modelación de la luz láser esparcida por una huella de desgaste se ilustran en la figura 4. Estos parámetros tienen que ver con la disposición geométrica del arreglo del láser con respecto a la superficie metálica sobre la que incide, las propiedades de reflexión de la superficie, el perfil de rugosidad de la superficie con desgaste y sin desgaste, el enfoque del láser, y las áreas relativas de la huella de desgaste y el blanco (spot) del láser sobre la huella. En la figura 5 se muestra la comparación entre los resultados experimentales y el modelo, se observa que en general existe un buen acuerdo cualitativo en la distribución del patrón LLS.

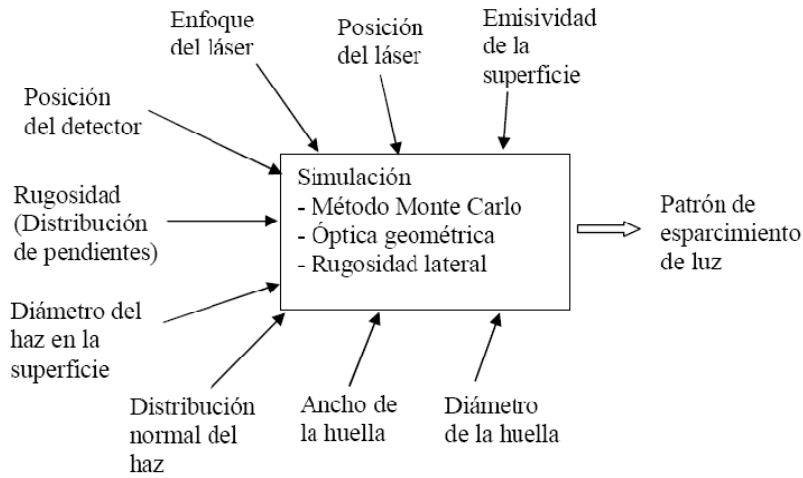


Figura 4. Parámetros que se consideran en el modelo de esparcimiento de luz láser.

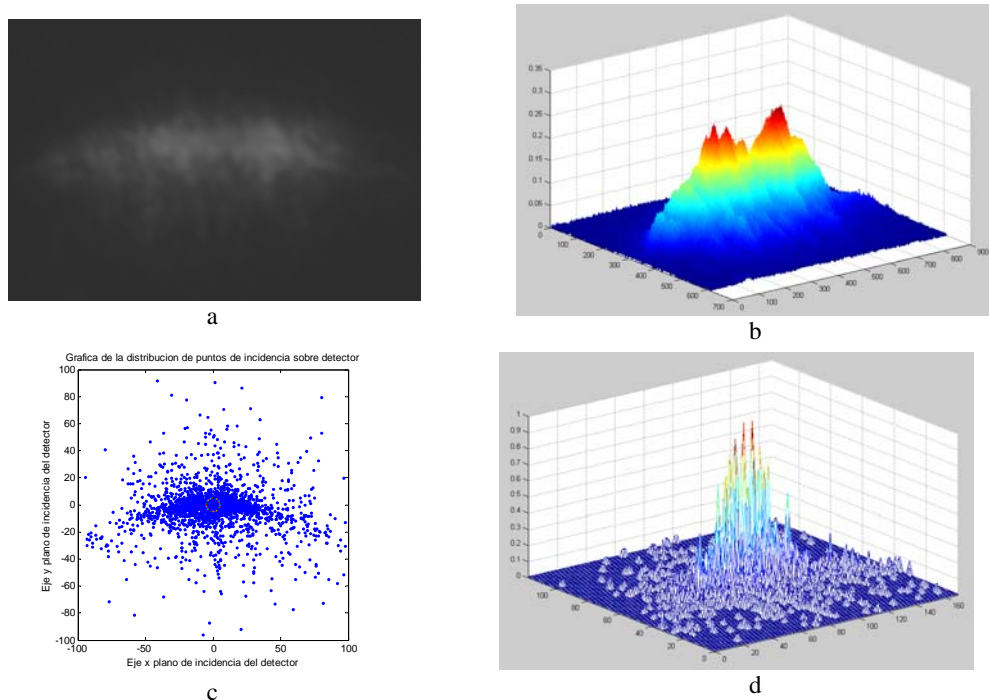


Figura 5. Incidencia del láser sobre una huella de desgaste a 45° con respecto a la normal de la superficie, a) Patrón de esparcimiento sobre una pantalla plana, b) gráfica de intensidad de luz de la imagen en a), c) simulación del esparcimiento sobre pantalla

Impacto.

Los resultados obtenidos en el presente proyecto serán de gran apoyo para identificar en tiempo real el momento en que la superficie esta presentando modificaciones provocadas por el contacto mecánico, esto será de utilidad para

el estudio y comprensión de la dinámica de procesos de desgaste, lo que permitirá proponer modelos de estos procesos. Desde el punto de vista de la ciencia básica esto es algo de lo que se ha carecido en el área de tribología. En el área tecnológica, el conocimiento adquirido puede utilizarse en la investigación de rompimiento películas delgadas de recubrimientos duros, los cuales están siendo usados en la fabricación de herramientas de corte.