

INFORME FINAL
Proyecto SIP 20060458

Diseño y construcción de un sistema de monitoreo de desgaste en tiempo real para el estudio de la evolución temporal de variables críticas y del consumo energético en pruebas de desgaste en un tribómetro de perno en disco.

Dr. Iván Domínguez López

Desarrollo Técnico de la investigación

I. Resumen

En este reporte se describen los sistemas de medición implementados en un tribómetro de perno en disco para el monitoreo de procesos de desgaste. En primer lugar se desarrolló la técnica de luz láser esparcida (LLS) para monitorear los cambios de rugosidad en la superficie del disco mientras ocurre el desgaste, en esta etapa fue necesario desarrollar un sistema para controlar el movimiento del motor del tribómetro, ya que la velocidad de giro mostraba variaciones importantes, para ello fue necesario acoplar un codificador óptico a la flecha del motor y construir el circuito electrónico que permite modular el ancho de pulso (PWM) de la señal de entrada, de esta manera en la señal de control se tiene la información sobre energía aplicada durante el proceso de desgaste. A continuación se desarrolló un sistema de medición de fuerza de fricción usando una galga extensiométrica, la cual fue acoplada al brazo del tribómetro. Finalmente, se han implementado dos detectores de desplazamiento tipo LVDT (Linear Variable Differential Transformer), con uno de ellos, ahora es posible medir directamente la flexión del brazo y con esto la fuerza de fricción, sin los efectos que causan las variaciones en temperatura sobre las galgas. El otro sensor LVDT se utiliza para medir el desplazamiento vertical del perno y con ello estudiar el desgaste acumulado por el par tribológico.

II. Introducción

Con el fin de realizar investigación científica básica en tribología, particularmente para generar conocimiento nuevo para entender la dinámica de los procesos de desgaste, es necesario medir y analizar la evolución temporal de las variables que resultan críticas en estos procesos, para ello, dentro de este proyecto se aplicó por primera vez la técnica de luz láser esparcida en un tribómetro de perno en disco a fin de monitorear en tiempo real los cambios en la superficie del disco ocasionados por el desgaste al estar en contacto con el perno. La técnica LLS ha dado excelentes resultados para detectar cambios en el crecimiento de películas delgadas, al poder identificar a nivel de mono-capas tales procesos. De la misma manera, la hipótesis de este proyecto, es que con esta técnica será posible identificar, de manera precisa la destrucción de capas en la superficie de un disco sometido a desgaste. Para poner a prueba la hipótesis, además de implementar la técnica LLS en un tribómetro de perno en

disco, es necesario contar con diversos sensores que permitan correlacionar los cambios de la señal LLS con otras variables, como son la velocidad de giro del motor, la fuerza de fricción, y el desgaste.

Los resultados que se obtuvieron al aplicar la técnica LLS a estudios de desgaste fueron presentados en el simposio de metrología 2006, realizado en la ciudad de Querétaro, y el trabajo en extenso (ANEXO), se encuentra publicado en las memorias del evento. En dicho trabajo, se incluyen datos de las variaciones en la velocidad de giro del tribómetro, los cuales muestran una fuerte correlación con la señal LLS. La velocidad de giro, al no encontrarse controlada con un servo-sistema, mostró variaciones ocasionadas por la fricción.

Debido a que aún se encontraban en proceso de importación los sensores LVDT, por medio de los cuales se mediría la flexión del brazo del tribómetro, se decidió probar un sistema basado en una galga extensiométrica, el montaje de la misma y su calibración fueron presentados en el 9º Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas, en la ciudad de México, sin embargo, la flexión ocasionada por la fuerza de fricción del proceso de desgaste no fue suficientemente grande para ser detectada por la galga.

En ese momento los dos problemas a resolver fueron:

- 1) La galga extensiométrica se encontraba fuera de rango para registrar la flexión ocasionada por la fuerza de fricción del proceso bajo estudio, por lo que era necesario utilizar los sensores tipo LVDT.
- 2) Las variaciones de velocidad de giro no deberían de ser mayores a un 5% de acuerdo a lo que establece la norma ASTM G99-95 para las pruebas de desgaste en tribómetros de perno en disco, por lo que también era necesario desarrollar un sistema de control de velocidad para el motor.

Estos problemas se resolvieron adecuadamente, desarrollando un sistema de control en el que por medio de un codificador óptico se determina la posición y la velocidad angular del disco, el control se consiguió desarrollando un circuito electrónico en el que se utiliza la modulación de ancho de pulso (PWM) en la señal de alimentación del motor. Mediante el registro automático de la señal de control, es posible medir el gasto de energía en los procesos de desgaste. Los resultados se presentaron en el reporte PIFI del estudiante Jesús Pichardo Centeno.

Los sensores de desplazamiento adquiridos son de diferentes rangos de operación, los dos se acoplaron al brazo del tribómetro, de manera simétrica y se verificó el funcionamiento adecuado de los dos bajo condiciones de operación típicas en el proceso de desgaste, se realizó la calibración de los mismos y posteriormente, el LVDT de mayor resolución fue montado sobre el perno, de manera que ahora es posible registrar el hundimiento del perno en el disco con el fin de medir el desgaste acumulado durante el proceso.

Cabe mencionar que actualmente han sido aceptados dos trabajos para su presentación en congresos a celebrarse durante el 2007, uno en el 6º Simposio Nacional de Óptica en la Industria, ya que el monitoreo de desgaste de superficies metálicas empleando técnicas no invasivas tiene un uso potencial

en diversos procesos industriales. El segundo trabajo, aceptado para presentarse en la *Internacional Conference on Wear of Materials*, en el área de nuevas técnicas de medición, muestra que, en el foro mas importante a nivel internacional se reconoce lo novedoso de la técnica LLS empleada para monitorear procesos de desgaste. La inscripción y el boleto de avión ya han sido pagados con parte de los recursos asignados durante el presente proyecto y se solicitará el apoyo complementario a la COFAA para los gastos de hospedaje y alimentación.

Finalmente, los objetivos de este proyecto se encuentran completados al 100%, ya que se ha desarrollado la técnica de luz láser esparcida en el tribómetro y al mismo tiempo se ha desarrollado la instrumentación para el monitoreo de las variables críticas: en este caso: la señal LLS, la fuerza de fricción la velocidad de giro, el consumo de energía, y el desgaste acumulado. El análisis de vibraciones de alta y baja frecuencia y su correlación con las variables mencionadas se realizarán durante el 2007, una vez que el proceso de adquisición de la instrumentación haya sido completado por la COFAA.

Gracias al apoyo brindado por la SIP a este proyecto, se ha logrado conseguir un apoyo complementario por parte de CONACYT para la adquisición de equipo y elementos ópticos relacionados con un estudio sobre los efectos de la polarización de la luz láser en experimentos de desgaste con LLS.

III. Métodos y materiales

Este proyecto tuvo como objetivo principal, desarrollar los sistemas de medición de las variables críticas en los procesos de desgaste en un tribómetro de perno en disco con la finalidad de identificar la correlación entre las variables. La metodología que se siguió fue la siguiente:

- I) Implementar la técnica LLS para monitorear los cambios ocasionados por el desgaste en la superficie de un disco.
La descripción de esta etapa se presenta en el trabajo anexo "*Mediciones de cambios de intensidad en luz láser esparcida aplicada al monitoreo de desgaste*", presentado en el Simposio de Metrología.
- II) Construir un sistema de medición de fuerza de fricción.
La fuerza de fricción se determina a partir de la flexión elástica del brazo del tribómetro. Debido a que no se contaba con los sensores LVDT, se implementó un sistema de medición basado en una galga extensiométrica, con la cual fue posible medir la flexión del brazo al aplicar diferentes fuerzas. La descripción detallada de esta etapa se encuentra en el trabajo anexo, titulado "*Medición de fuerza de fricción en un tribómetro de perno en disco usando una galga extensiométrica*", el cual se presentó en el 9º Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas.
- III) Desarrollar un sistema de medición del consumo energético durante el proceso de desgaste.

Con el fin de tener control sobre la velocidad y posición angular del motor al que se sujeta el disco, se construyó un sistema electrónico empleando la técnica de modulación de ancho de pulso (PWM), en la cual la energía eléctrica suministrada al motor se determina desde la computadora. La integración en el tiempo de la tensión de control aplicada, proporciona de manera directa la energía total suministrada durante el proceso de desgaste. En este caso el sistema de control tuvo un doble propósito, por un lado, controlar la velocidad y posición angulares del motor del tribómetro y por otro lado, medir el consumo energético.

La descripción detallada de esta etapa se encuentra en el reporte final que entregó a la SIP el becario PIFI Jesús Pichardo Centeno.

- IV) Desarrollar un sistema para medir el desgaste en el perno y en el disco.

En esta etapa es necesario determinar el desplazamiento vertical del perno ocasionado por el desgaste acumulado del perno y del disco. Para ello fue necesario realizar la calibración del sensor tipo LVDT, evaluando la tensión de salida como función del desplazamiento y posteriormente, desarrollando el software para realizar las mediciones de desplazamiento vertical del perno desde la computadora. Los resultados de este trabajo han sido enviados y aceptados para su presentación en el Simposio Nacional de Óptica en la Industria a celebrarse en Monterrey, N. L., durante el presente año. El trabajo se titula "*Monitoreo en Línea del Desgaste en Superficies Mediante el Análisis de la Intensidad de Luz Láser Esparcida*".

IV. Resultados

Como ya se ha mencionado en los párrafos anteriores, los resultados del presente proyecto han sido presentados en foros especializados, o bien se han presentado dentro de los reportes de los becarios PIFI, quedando constancia por escrito de los mismos. Los resultados se pueden resumir de la siguiente manera:

Se publicó un artículo en extenso en las memorias del Simposio de Metrología 2006 en el que se presentaron los resultados al aplicar la técnica LLS al monitoreo de desgaste en el tribómetro de perno en disco. En esa etapa se verificó la necesidad de construir un control de posición y velocidad angular para el motor del tribómetro, ya que este presentaba variaciones que quedaban fuera de la norma ASTM G99 95a para pruebas de desgaste en tribómetros de este tipo.

Se implementó un sistema de medición de fuerza de fricción usando una galga extensiométrica, la cual funcionó bien para fuerzas del orden de varios cientos de gramos, pero para la fase inicial de desgaste, en la que se deseaba medir la flexión del brazo, la galga no registró las flexiones en el brazo. El problema se resolvió al utilizar el sensor tipo LVDT que se había planeado desde el

protocolo del proyecto. Inicialmente se acoplaron los dos sensores al brazo del tribómetro, de manera simétrica, para verificar que aunque los dos tenían resolución diferente, ambos podrían medir la flexión del brazo durante el proceso de desgaste de la muestra bajo estudio, Figura 1. En la Figura 2 se muestra una pantalla del programa desarrollado en el ambiente LabView, mostrando la adquisición de datos provenientes de los dos sensores LVDT.

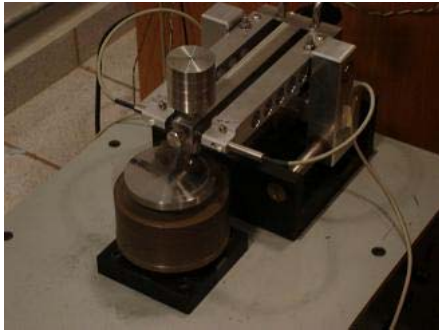


Fig. 1 Acoplamiento de los sensores LVDT al brazo del tribómetro



Fig. 2 Pantalla de LabView con la adquisición de datos de los LVDTs.

El otro sensor de desplazamiento tipo LVDT ha sido acoplado al perno para medir el desplazamiento vertical del mismo cuando se presenta desgaste, ya sea en el perno y/o en el disco, y de la misma manera que en el primero, se cuenta con el programa en LabView que adquiere los datos de este sensor. (Figura 2 y 3)

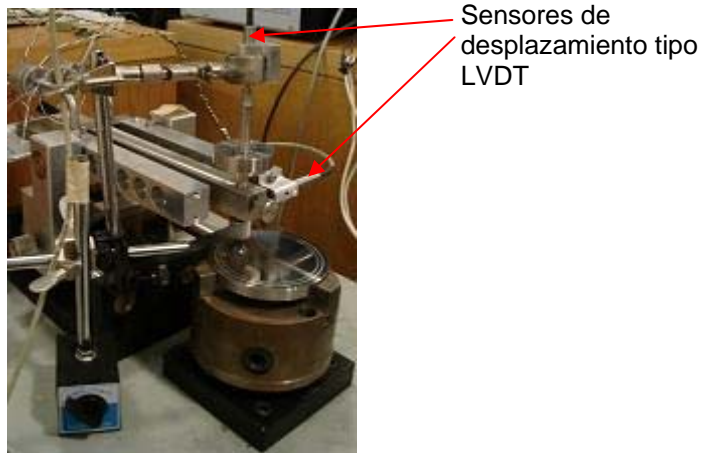


Fig. 3 Fig. 3 Acoplamiento de los sensores LVDT. En la parte superior se encuentra el sensor que mide el desplazamiento vertical del perno. En la parte lateral, el que mide la flexión del brazo del tribómetro

El control de velocidad ha mostrado un desempeño altamente eficiente durante las pruebas de desgaste, correlacionando fuertemente con la señal de la fuerza de fricción registrada por medio del LVDT, su utilidad es doble ya que por medio de la señal de control se determina el consumo energético durante la prueba de desgaste.

El objetivo de desarrollar la instrumentación necesaria para estudiar la evolución temporal de las variables críticas en los procesos de desgaste, ha sido alcanzada. De manera que, con el equipo que se encuentra en proceso de adquisición por parte de la SIP para el laboratorio de Tribología y Análisis de Superficies durante el presente año, se implementará la técnica de análisis de vibraciones de alta y baja frecuencia y será posible estudiar su correlación con la señal LLS.

Dentro de los subproductos esperados se encuentran también:

- El registro de tema de tesis de dos estudiantes de nivel maestría en el posgrado del CICATA-Querétaro
- Los trabajos finales para la titulación de dos estudiantes de la Universidad Tecnológica de Querétaro.
- La realización de software para el control del motor del tribómetro, documentado en el reporte del becario PIFI Jesús Pichardo Centeno
- Los apuntes sobre el control de motores desarrollado por el mismo estudiante.
- La “guía rápida de usuario del rugosímetro marca Mitutoyo modelo SJ-400” escrita por el Becario PIFI, Ricardo Iván Montes Rodríguez y presentada en su reporte final.
- Además de los trabajos en extenso ya publicados, se cuenta con la aceptación de dos trabajos en congresos, uno nacional y otro internacional (cartas de aceptación anexas a este documento) que se presentarán durante el presente año.

V. Impacto

El desarrollo de las técnicas no invasivas en el monitoreo de procesos de desgaste tiene un impacto directo en el sector industrial, especialmente en el área metal-mecánica. Actualmente se estudia la aplicación de la técnica LLS para desarrollar un medidor de rugosidad con el fin de monitorear el acabado superficial en línea en las piezas que se trabajan en un torno.

Por otro lado, la aceptación del trabajo enviado a la *International Conference on Wear of Materials*, a efectuarse en Montreal, Canadá, dentro de la sección de nuevos métodos de medición, nos indica que los especialistas a nivel internacional han considerado novedosa la técnica desarrollada dentro de este proyecto. Al mismo tiempo, el beneficio a nivel educativo se presenta de manera que, con la continuación de estas investigaciones, será posible graduar estudiantes de nivel maestría y doctorado, quienes estarán contribuyendo al desarrollo tecnológico de nuestro país.

Finalmente, el impacto que han causado los resultados del trabajo desarrollado dentro de este proyecto, ha establecido las bases para que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, brinde un apoyo complementario de \$100000 pesos, para la continuación en el desarrollo de estas investigaciones.

Ver los documentos anexos en las siguientes páginas.

MEDICIONES DE CAMBIO DE INTENSIDAD EN LUZ LÁSER ESPARCIDA, APLICADA AL MONITOREO DE DESGASTE.

Iván Domínguez L., Jorge A. Huerta R., Ricardo I. Montes R.,

Juan de D. Ortiz A., Jesús Pichardo C., Adrián L. García G.

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro, I.P.N.

José Siurob 10, Col. Alameda, C.P. 76040, Santiago de Querétaro, Qro., México.

Tel. y Fax (442) 212-1111, idinguezl@ipn.mx

Miguel Aguilar C., David Jaramillo V.

Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, I.P.N.

Cerrada CECATI s/n, Col. Santa Catarina, C.P. 02250, Azcapotzalco, México, D.F.

Tel. (55) 5729-6000 Ext. 64346 y 64375, Fax. (55) 5561-7536

Resumen: El programa de tribología del CICATA-IPN, Unidad Querétaro, contempla el desarrollo de aplicaciones para la industria. Para ello, se construyó un tribómetro de perno en disco al que se ha adaptado la técnica de luz láser esparcida, mediante la cual se monitorean cambios en una superficie bajo un proceso de desgaste controlado. La luz láser esparcida por la huella de desgaste en el disco se registra con un detector de Si y la señal se procesa por medio de un amplificador sensible a la fase; simultáneamente se miden cambios en la velocidad angular de giro. Se presentan los primeros resultados obtenidos al aplicar esta metodología.

1. INTRODUCCIÓN

A mediados de la década de los 60 del siglo pasado se publicó un reporte acerca del uso de los recursos energéticos, materiales y financieros de la industria inglesa [1,2]. Como resultado de éste, se inició un programa multidisciplinario de estudio de los fenómenos que ocurren durante la interacción de superficies en movimiento relativo, tales como la fricción, la lubricación y el desgaste. La importancia económica de este programa, al que se denominó *tribología*, radica en las prácticas y aplicaciones que se derivan del estudio de los fenómenos *tribológicos*; por ejemplo, el desgaste es la causa principal de que los bienes materiales pierdan su utilidad [3].

La metodología usada para el estudio del desgaste adhesivo, utilizando el tribómetro de perno en disco (pin-on-disc), se basa en la norma ASTM G-99-05 [4], por medio de la cual se determina el desgaste causado por un perno cargado, apoyado sobre una probeta en forma de disco girando a una velocidad angular constante. Esta metodología se utiliza comúnmente para hacer estudios *comparativos* de desgaste en sistemas tribológicos. La cantidad de desgaste se determina midiendo las dimensiones

lineales apropiadas en el perno y en el disco, antes y después de la prueba.

Es importante mencionar que la norma ASTM G-99-05 hace una recomendación especial para no llevar a cabo mediciones de contacto durante el desarrollo de la prueba. Es decir, el resultado de la prueba se obtiene estrictamente *a posteriori*.

En contraste con la prueba ASTM G-99-05, limitada a estudios comparativos *a posteriori*, las mediciones realizadas en *tiempo real*, permitirían el estudio de las primeras etapas de desgaste en un sistema tribológico, antes de que exista transferencia o remoción de material, con el consecuente daño en las superficies; de ahí la importancia de desarrollar metodologías que permitan el estudio y la detección del desgaste *in situ*, en tiempo real.

Para el estudio de desgaste en tiempo real se han implementado técnicas de medición que utilizan el análisis de señales eléctricas [5], la espectroscopía Raman [6], o la detección de isótopos radiactivos [7].

Por otro lado, las técnicas ópticas no destructivas han encontrado aplicación en diversos procesos industriales, incluso existen estudios en los que la

técnica de esparcimiento de luz láser ha sido usada como herramienta para medir la rugosidad de superficies [8, 9, 10].

Este trabajo reporta la aplicación del análisis de cambios en la intensidad de luz láser esparcida, técnica comúnmente conocida como LLS (*Laser Light Scattering*), al estudio de fenómenos de desgaste utilizando un tribómetro de perno en disco.

Hasta donde se conoce, esta es la primera vez que se aplica la combinación de estas técnicas para el estudio y monitoreo del desgaste. Se espera que la correlación temporal de la señal de LLS, con otras variables tribológicas, en conjunto con el análisis y medición establecidos en la norma ASTM G-99-05, hará posible entender mejor los mecanismos de desgaste.

2. TRIBÓMETRO DE PERNO EN DISCO

El tribómetro utilizado para el presente trabajo se fabricó en los talleres del CIITEC-IPN. La unidad de potencia del tribómetro es un motorreductor de corriente directa de 184 W. La velocidad de giro puede ajustarse en un intervalo que va desde 150 a 600 min^{-1} .

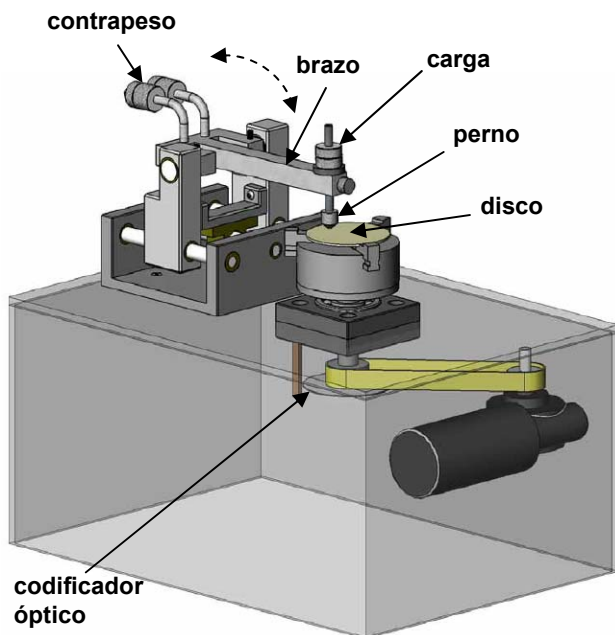


Fig. 1 Tribómetro de perno en disco (*pin-on-disc*).

En el extremo inferior del eje principal, se encuentra un codificador óptico por medio del cual se contabilizan las revoluciones del disco y se

monitorean regiones específicas del espécimen; este codificador (encoder) también se usará para el control de velocidad angular (ver figura 1).

El sistema tribológico bajo estudio consta de dos especímenes: el perno, colocado en un extremo del brazo oscilatorio, y el disco.

3. TÉCNICA DE LUZ LÁSER ESPARCIDA

El arreglo experimental de la técnica LLS es relativamente sencillo y no requiere un proceso de alineación preciso. Puesto que la luz láser se esparce en todas direcciones después de incidir en la superficie bajo estudio, el detector puede ubicarse en el sitio más conveniente. Esta flexibilidad le confiere a la técnica de LLS la posibilidad de adaptarse a varios sistemas tribológicos de interés para la industria, donde la alineación de un sistema óptico podría ser una limitante [11].

En la figura 2 se muestra un esquema del sistema de medición. Se utilizó un láser semiconductor fabricado por LASERMATE que emite a una longitud de onda centrada en 643 nm, de intensidad modulable y con óptica integrada para focalizar en el punto de interés.

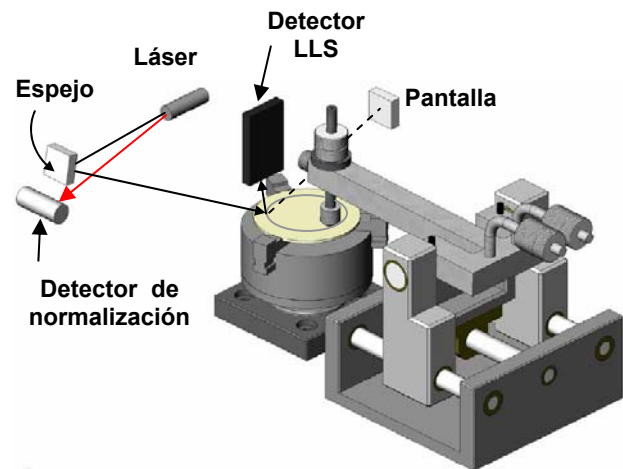


Fig. 2 Esquema del arreglo óptico para la detección de la luz láser esparcida adaptada al tribómetro.

El haz del láser se hace pasar por un polarizador tipo Glan-Taylor para dividirlo en dos haces. La intensidad de uno de ellos se utiliza para normalizar la señal; el otro, se hace incidir en una montura con un espejo que permite guiarlo hasta el punto de interés en la probeta (disco). En este estudio no se consideran estados de polarización de la luz, ni para

el haz incidente, ni para la luz esparcida. Los análisis del efecto en el estado de polarización se tienen contemplados y se realizarán en estudios posteriores.

El ángulo de incidencia es de 45 ± 5 grados, respecto a la normal al plano del disco. Para coleccionar la luz esparcida se utilizó un detector de Silicio de 35 mm de diámetro nominal, modelo UV-035, fabricado por UDT, con un amplificador operacional TL-071. El detector se ubicó a una distancia de $20,0 \pm 0,5$ cm del punto de interés, con un ángulo de visión de 90 grados respecto al plano de giro. La señal se procesó mediante un amplificador sensible a la fase (Lock-in) modelo SR830 de Stanford Research Systems.

El sistema de adquisición de datos se programó en LabView™ para realizar las funciones de registro de la variables de intensidad de luz esparcida y de normalización, la velocidad angular del motor, así como el despliegue de gráficas y el almacenamiento de datos. La adquisición se realiza vía puertos serial y paralelo.

El programa desarrollado adquiere las mediciones de la intensidad LLS promedio normalizada a la intensidad incidente, la cual esta asociada a la rugosidad generada en la huella de desgaste. En este caso, la intensidad del láser se moduló a 50 kHz con el oscilador interno del amplificador, y la velocidad de giro se ajustó a $155 \pm 2 \text{ min}^{-1}$. El muestreo se realizó cada segundo.

4. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

4.1. Preparación de los especímenes

En los experimentos realizados se utilizaron discos de acero estirado en frío tipo 1018, con un diámetro de $100,0 \pm 0,1$ mm, y $7,0 \pm 0,1$ mm de espesor, fabricados con una rugosidad promedio R_a menor que $1 \mu\text{m}$. En el perno se usaron bolas comerciales de acero inoxidable galvanizado grado 1000, de 7,144 mm de diámetro nominal.

4.2. Condiciones experimentales

Se realizaron pruebas con condiciones de carga y duración diferente, los valores nominales utilizados durante las pruebas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables del experimento.

Carga (g)	Intervalo (s)	ω (min^{-1})
400	1500	152.7
800	1800	147.9

Se mantuvo fijo el diámetro de la huella de desgaste sobre el disco ($83,5 \pm 0,05$ mm), y la velocidad angular del disco se ajustó a $155 \pm 2 \text{ min}^{-1}$, con variaciones menores al 1% sin carga.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 3a muestra el cambio de velocidad angular del disco al ponerle en contacto con el perno. El monitoreo inicia con el arranque del motor. La línea vertical a $t = 180$ s, muestra el momento en el que el perno entra en contacto con el disco. En la misma figura puede observarse que el cambio de velocidad es mayor para la carga de 800 g, lo que corresponde a una mayor fricción. Para la carga de 400 g, el perno fue retirado al tiempo igual a 1500 s, lo que aumenta la velocidad de giro como es de esperarse.

Después de una pronunciada caída, la velocidad alcanza un mínimo en **A** antes de aumentar nuevamente, para decaer en **B** y, posteriormente, alcanzar otro valor máximo en **C**, indicativo de una reducción en la fuerza de fricción. Finalmente, la velocidad ω se estabiliza alrededor de 145 min^{-1} . Un comportamiento similar se observa para la carga de 400 g, aunque los efectos tribológicos, es decir, cambios de pendiente en la curva, parecen retrasados con respecto a la carga de 800 g, y menos pronunciados.

En la figura 3b se muestra la variación de la intensidad de la luz láser esparcida proveniente de la huella de desgaste en el disco. Para fines de comparación, el nivel de las líneas de base en las dos mediciones se ha hecho coincidir, aunque en el recuadro superior derecho de la misma gráfica se muestra una ampliación de los datos originales. Se observa un pronunciado cambio en la intensidad de la señal en el momento en que el perno se pone en contacto con el disco, causando un daño en la superficie del disco y por lo tanto un cambio en la rugosidad a lo largo de la huella de desgaste, que se registra como un cambio substancial en la señal de LLS. El intervalo de tiempo de interés se ubica en los primeros 400 segundos de inicio de la prueba.

La correlación de los picos observados en la señal de velocidad angular con los de la señal de LLS, es indicativa de la destrucción de las capas superficiales de óxido y galvanizado del sistema tribológico. El comportamiento complejo ulterior de la señal LLS, es más difícil de explicar y requiere de estudios más detallados del sistema tribológico en

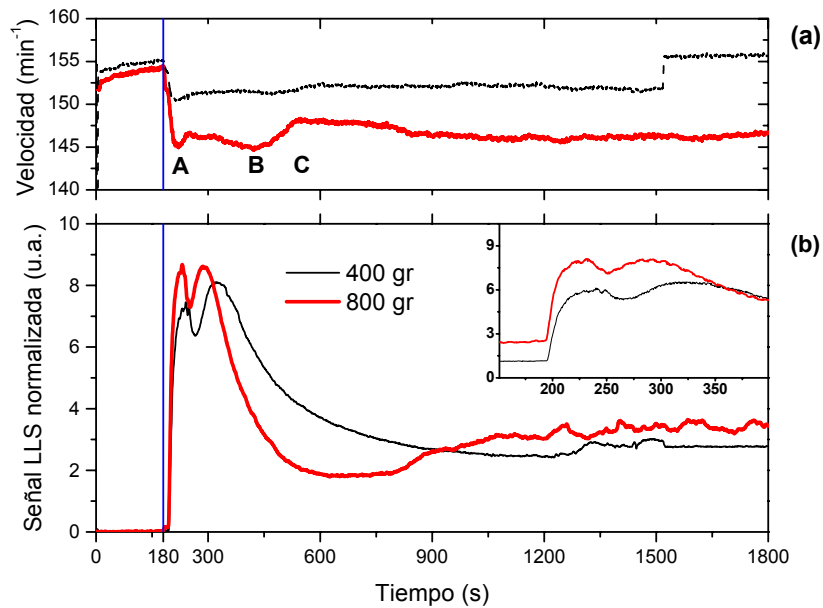


Fig. 3 (a) Velocidad angular del disco como función del tiempo, (b) señal LLS, normalizada a la intensidad del láser y ajustando el inicio a cero, para dos cargas distintas. Nótese el comportamiento similar para ambas cargas, tanto en la velocidad de giro como en la señal LLS, y el retraso de los efectos tribológicos para la carga de 400 g.

cuestión y de una instrumentación más completa, en la que ya se está trabajando.

6. CONCLUSIONES

Los resultados que se presentan indican que la aplicación de la técnica LLS al estudio de fenómenos tribológicos es una herramienta útil en la investigación de un fenómeno tan complejo como es el desgaste; especialmente para estudiar la fase inicial del mismo, donde las técnicas de contacto están muy limitadas, como en el caso del tribómetro de perno en disco.

Animados por los resultados obtenidos, se planea perfeccionar y desarrollar la instrumentación que se ha implementado hasta ahora, para llevar a cabo experimentos conducentes a explorar con mayor detalle las regiones observadas en la señal de LLS durante las fases iniciales del proceso de desgaste.

Para correlacionar la aplicación de LLS que aquí se presenta, con la medición de desgaste, se está desarrollando una metodología que permita

muestrear localmente distintos parámetros tribológicos en varios puntos de la probeta, así como los marcados en la norma ASTM G-99-05.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los estudiantes María Guadalupe Sánchez Rodríguez y Armando López Villanueva de la carrera de electrónica y automatización de la UTEQ, por su participación en el desarrollo del prototipo de la electrónica del sistema de adquisición de datos. Este proyecto se llevó a cabo con el apoyo del IPN, a través de varios proyectos SIP.

REFERENCIAS

- [1] H. P. Jost, Lubrication (Tribology) - Education and Research. A Report on the Present Position and Industry Needs, Department of Education and Science, HM Stationary Office, London, 1966.

- [2] E. Rabinowicz, Friction and Wear of Materials, 1995, pp. 1-13.
- [3] ASME Research Committee on Lubrication, Strategy for Energy Conservation through Tribology, The American Society of Mechanical Engineers, 1977.
- [4] ASTM G 99-05, "Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disc Apparatus", ASTM International. www.astm.org.
- [5] J. Sun, R.J.K. Wood, I. Care and H.E.G. Powrie, Wear monitoring by acoustic emission(AE) and electrostatic (ES) technologies, IMECHE, 2003: <<http://www.imeche.org.uk/>>, Julio de 2005.
- [6] I. L. Singer, S. D. Dvorak, K.J. Wahl, T. W. Scharf, Role of third bodies in friction and wear of protective coatings, J. Vac. Sci. Technol. A 21, 2003, pp. S232-S240
- [7] C. M. Wall, D. C. Eberle, M. B. Treuhaft and J. H. Arps. Applications of Radioactive Tracer Technology in the Real-Time Measurement of Wear and Corrosion. Wear, 259, 2005, pp. 1462-1471.
- [8] J.M. Bennett, L. Muttsson. Introduction to surface roughness and scattering. Optical Society of America. Washington.1989.
- [9] U. Persson, In-process measurement of surface roughness using light scattering, Wear, 215, 1998, pp. 54-58.
- [10] J. Huerta-Ruelas, M. López-López, O. Zelaya-Angel, Observation of thermal desorption and MBE growth rate using laser light scattering, Thin Solid Films, 2000, pp. 239-242.
- [11] J. C. Stover, Optical Scattering Measurement and Analysis, 1995, pp. 246-252.

 **Simposio** de
Metrología
2006

otorga la presente

CONSTANCIA

A

Iván Domínguez L., Jorge A. Huerta R., Ricardo I. Montes R., Juan de D. Ortiz A., Jesús Pichardo C., Adrián L. García G., Miguel Aguilar C., David Jaramillo V.

MEDICIONES DE CAMBIO DE INTENSIDAD EN LUZ LÁSER
ESPARCIDA APLICADA AL MONITOREO DE DESGASTE
Santiago de Querétaro, Qro., México 25, 26 y 27 de octubre de 2006



DR. DAVID AVILÉS CASTRO
Comité Organizador
Coordinador



DR. HÉCTOR NAVA JAIMES
CENAM
Director General

Medición de fuerza de fricción en un tribómetro de perno en disco utilizando una galga extensiométrica

A. López Villanueva¹, E. Morales Sánchez^{2,*}, I. Domínguez López²
R. I. Montes Rodríguez², D. Jaramillo Viguera³, A. L. García García²

¹Universidad Tecnológica de Querétaro. C.P. 76148, Querétaro, Qro. México.

²CICATA- IPN. Unidad Querétaro. CP. 76040 Querétaro, Qro. México

³CIITEC-IPN. CP.02250. Azcapotzalco, DF. México

Teléfono: 01-442-2121111, *emoraless@ipn.mx

Resumen — Se realizó la medición de fuerza de fricción en un tribómetro de perno en disco empleando una galga extensiométrica comercial con un valor nominal de 350 ohms, adherida al brazo del tribómetro. Para medir la variación de la resistencia de la galga debida a la fuerza de fricción, se conectó en una configuración de puente de Wheatstone, obteniéndose un voltaje diferencial que se amplificó con un OPAM de instrumentación. Se aplicaron cargas conocidas al sistema tribológico para obtener la relación de la fuerza de fricción vs. el voltaje medido. Este último se adquirió por computadora por medio de una tarjeta DAQ. Se elaboró un programa especial donde se calcula la fuerza de fricción y se muestra en pantalla como función del tiempo.

Palabras Clave – Fricción, Tribómetro, Resistencia, Deformación.

Abstract— Friction force measurements on a pin-on-disk tribometer were performed using a commercial, 350 ohms strain-gauge glued to the tribometer arm. In order to measure the changes in strain-gauge resistance due to the frictional force, the strain gauge was connected in a full Wheatstone bridge configuration, obtaining a differential voltage which was amplified by an OPAM. The relationship between force and measured voltage was obtained by applying known loads to the tribological system. The voltage signal was registered in a computer via a DAQ card. A code was written *ad-hoc*, to calculate and display the magnitude of the frictional force as a function of time.

Keywords — Friction, Tribometer, Resistance, Strain.

I. INTRODUCCIÓN

La tribología es la ciencia que estudia los efectos que ocurren durante el contacto de dos superficies en movimiento relativo. La fricción, el desgaste y la lubricación son objeto de estudio de la tribología, así como las prácticas que de esto se derivan. Se estima que las pérdidas económicas ocasionadas por efecto de la fricción son del orden del 4% del PIB para los países en vías de desarrollo, y que hasta un 1% de esas pérdidas podrían

ahorrarse mediante la aplicación de técnicas tribológicas adecuadas, para reducir la fricción y el desgaste [1].

El tribómetro es un aparato para medir el desgaste entre dos superficies en movimiento relativo, de estos los hay en diferentes configuraciones, dependiendo del sistema tribológico que se desee estudiar. El tribómetro de perno en disco consiste de un perno con punta plana o esférica, con una carga determinada que se pone en contacto con un disco girando con una velocidad angular constante. El movimiento relativo de las dos superficies en contacto genera una huella circular de desgaste sobre el disco. La norma ASTM G99 [2] establece una serie de recomendaciones prácticas para llevar a cabo las mediciones de desgaste para este sistema tribológico; por ejemplo: realizar las pruebas a velocidad constante, o con variaciones menores al 1% en un intervalo entre 60 y 600 rpm, tener un contador de vueltas que permita determinar el recorrido de una superficie sobre la otra y un sistema automático que detenga la prueba cuando se alcance una distancia previamente establecida, además de contar con un diseño mecánico que garantice que el perno haga contacto de manera perpendicular con la superficie del disco, con una tolerancia del 1%.

Debido a que el proceso de desgaste depende de la fuerza de fricción, la norma recomienda reportar al menos los valores en diferentes etapas de la prueba aunque en la mayoría de los estudios se reportan mediciones en tiempo real de las variaciones en la fuerza de fricción. La fuerza de fricción en el arreglo de perno en disco se determina a partir de la flexión del brazo del tribómetro, la cual se mide, en este caso, por medio de una galga extensiométrica.

En este trabajo se reporta la metodología seguida para determinar la fuerza de fricción generada entre el perno y el disco del tribómetro, por medio de una galga extensiométrica adherida al brazo del tribómetro.

Galga extensiométrica

El strain o deformación ϵ de una superficie se define como [3]

$$\epsilon = \Delta L / L \quad (1)$$

Donde ϵ es la deformación, L es la longitud total de la superficie y ΔL es la elongación de la superficie.

Existen varias formas de medir la deformación de una superficie como por ejemplo con un LVDT (transformador diferencial variable lineal), sensores capacitivos, técnicas ópticas o bien con una galga extensiométrica (strain gage). La galga extensiométrica es básicamente una resistencia eléctrica cuya variación depende de la deformación que sufre la galga. La galga se fija sobre la superficie que se va a deformar. Se parte de la hipótesis inicial de que la galga experimenta la misma deformación que la superficie sobre la cual va adherida.

La ecuación que relaciona la variación de la resistencia ΔR con la deformación ϵ es [3]

$$\Delta R / R = \epsilon * k \quad (2)$$

donde R es el valor nominal de resistencia de la galga extensiométrica, k es el factor de galga dada por el fabricante.

Las deformaciones son normalmente muy pequeñas por lo que también lo son las variaciones en la resistencia de la galga, por esta razón no es práctico medirlas directamente. La forma en que se realiza la medición es por medio de un puente de Wheatstone como el que se muestra en la figura 1

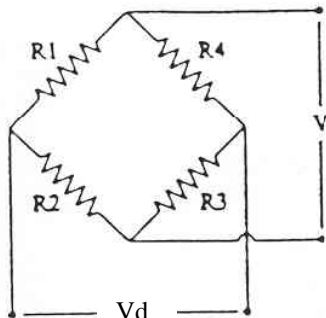


Figura 1. Diagrama de puente de Wheatstone.

En un puente de Wheatstone, pequeñas variaciones en la resistencia se traducen en variaciones en el voltaje diferencial (Vd) que se tiene en los extremos centrales del puente. La relación entre Vd y la deformación esta dada por la ecuación simplificada siguiente [3]:

$$\epsilon = Vd * 4 / V * k \quad (3)$$

donde ϵ es la deformación de la superficie, Vd es el voltaje diferencial, V es el voltaje aplicado al puente de Wheatstone y k es el factor de galga.

II. MATERIALES Y METODOS

Se utilizó una galga extensiométrica marca OMEGA Modelo SG-3/350-LYN47 con un valor nominal de resistencia de 350 ohms, un factor de galga de $2 \pm 1\%$, y un rango de medición de 0 a 30,000.

Se utilizó un tribómetro de perno en disco, hecho en laboratorio, consta de un motor eléctrico de 90 VDC a 1/4 HP, un perno con bola de acero y un brazo de acero inoxidable que sostiene al perno.

El motor hace girar una base en donde se sujeta la probeta en forma de disco y por medio del brazo se superpone el perno sobre la superficie del disco. Al girar la base, la superficie del disco y la punta del perno se desgastan debido al contacto entre las superficies, ver esquema en la figura 2.

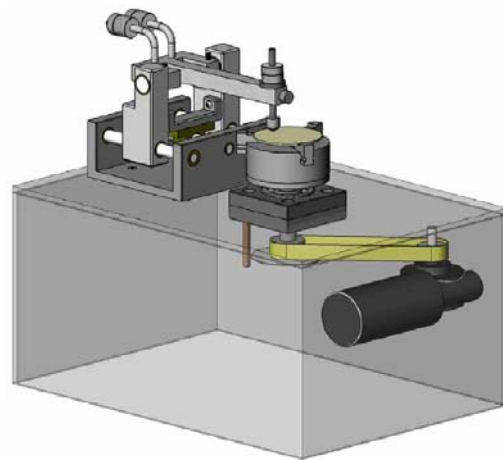


Figura 2. Esquema del tribómetro de perno en disco

Como el perno esta sujeto al brazo, éste sufre una deformación proporcional a la fuerza de fricción entre las superficies. La figura 3 muestra una fotografía del brazo del tribómetro utilizado, en ella se puede apreciar la posición en la que se ubicó la galga extensiométrica.

Para la adquisición del voltaje del puente de Wheatstone que contiene a la galga extensiométrica se utilizó una tarjeta de adquisición de datos marca NI modelo PCI-6024 con un ADC de 12 bits de resolución, con un modulo conector SC-2345 [4].

Debido a que las galgas extensiométricas son dependientes de la temperatura, se utilizó un acondicionador de NI modelo SCC-SG02 [5] el cual contiene un amplificador operacional de instrumentación y un compensador de temperatura. El voltaje aplicado a la galga fue de 2.500 VDC.

La adquisición, procesamiento y graficado en pantalla de la fuerza de fricción se hizo en LabView de NI [6]. La metodología para medir la fuerza de fricción por medio de la galga fue:

1. Fijar la galga extensiométrica en una barra metálica.
2. Calibrar el puente de Wheatstone a cero volts.
3. Fijar la barra en un extremo y aplicar pesos conocidos en el otro extremo.
4. Graficar Fuerza (pesos) vs Voltaje Vd.
5. Obtener la ecuación lineal que los relaciona.
6. Fijar la galga extensiométrica en un extremo del brazo del tribómetro.
7. Calibrar el puente de Wheatstone a cero volts.
8. Cargar y balancear el brazo del tribómetro con el perno.
9. Poner en contacto el perno con el disco. Medir la fuerza de fricción resultante debido al contacto entre los dos cuerpos (superficie y perno) a partir de la ecuación obtenida anteriormente.

III. RESULTADOS

Se procedió a fijar la galga extensiométrica en una barra metálica de aluminio de 3mm de grosor, por 2.5 cm de ancho y un largo de 30 cms. Cabe mencionar que para fijar la galga se utilizó resina epóxica para asegurar que se fije sin que se mueva posteriormente. A continuación se procedió a fijar la barra metálica a un banco y en el otro extremo se colocó una cuerda en donde se iban colocando diferentes pesos. Se midió el voltaje para cada peso. Como se puede observar en la grafica 3 el comportamiento obtenido es lineal, dado por la ecuación

$$\text{Fuerza (grs)} = 1347 (\text{Voltaje Vd}) - 103$$

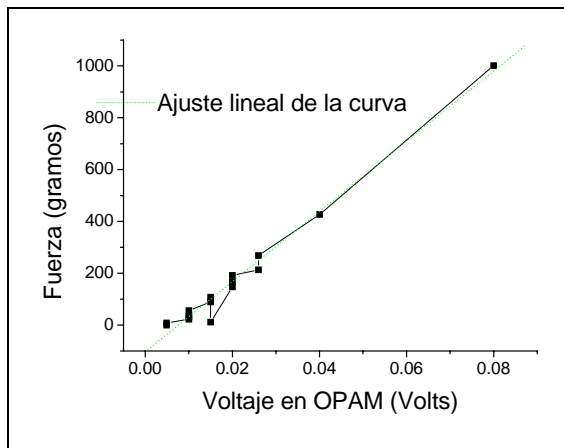


Figura 3. Grafica de Fuerza vs Voltaje

Y la deformación en mts se puede calcular de

$$\Delta L = Vd * 4 * L / k * 2.5 * 100$$

donde $L = 3.79984$ mm es el enrejado de la galga. 2.5 corresponde al voltaje aplicado al puente de Wheatstone y 100 es la ganancia del amplificador.

La figura 4 muestra una gráfica de la deformación en micras vs la fuerza aplicada

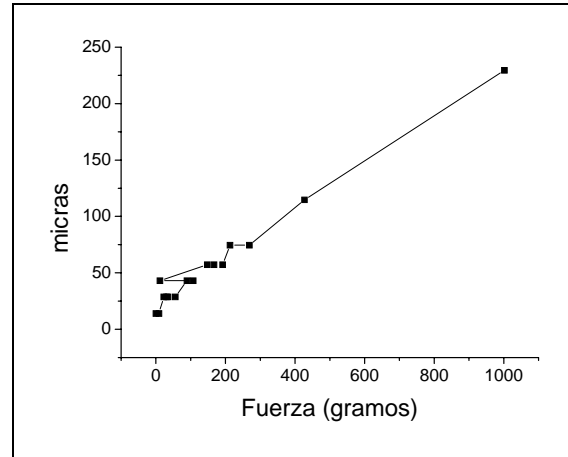


Figura 4. Grafica de deformación vs fuerza de la galga extensiométrica.

Una vez obtenida la curva de calibración de la galga y su correspondiente relación entre voltaje y deflexión, se procedió a fijar la galga en el extremo del brazo del tribómetro.

En el momento que el perno hace contacto con el disco, se genera una fuerza de fricción lateral que se transmite al brazo ocasionando una flexión y por lo tanto generando un voltaje. Aplicando la curva de calibración que relaciona fuerza vs. Voltaje podemos conocer directamente la fuerza que flexiona al brazo y, por medio de esta, la fuerza de fricción entre las superficies.

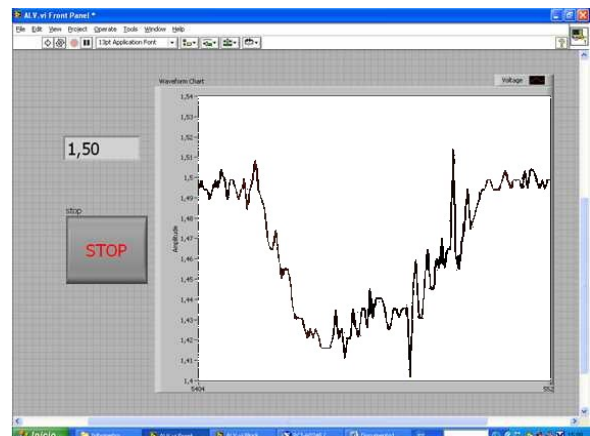


Figura 5. Fuerza de fricción en función del tiempo.

Se elaboró un programa especial en LabView para adquirir el voltaje, calcular la fuerza ejercida sobre el brazo y mostrarla en pantalla en función del tiempo. La figura 5 muestra la pantalla de la PC en un experimento de prueba visualizando el comportamiento de la fuerza de fricción que siente el brazo en función del tiempo.

IV. CONCLUSIÓN

Se logró medir la deformación generada en el brazo de un tribómetro de perno en disco por medio de una galga extensiométrica, y de esta manera calcular la fuerza de fricción generada entre dos superficies en contacto. La principal aportación de este trabajo es la medición indirecta de la fuerza de fricción entre el perno y el disco de un tribómetro, por medio de una galga extensiométrica. Será posible estudiar la correlación de esta variable con otras que se miden actualmente como son: la intensidad de la luz láser dispersada por la superficie del disco (LLS), la profundidad de la huella de desgaste en el mismo y el desgaste en el perno. Con todo esto, el laboratorio de Tribología del CICATA-IPN, Unidad Querétaro contará con una importante herramienta para llevar a cabo estudios de sistemas tribológicos de interés científico y tecnológico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con recursos del Instituto Politécnico Nacional, dentro del proyecto aprobado por la Secretaría de Investigación y Posgrado No. 20060458

REFERENCIAS

- [1] Jost, H. P. *The tasks of tribology societies on a changing world.* Opening Address, Second World Tribology Congress. (Vienna, September, 2001)
- [2] ASTM G 99-05, *Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disc Apparatus*, ASTM International. www.astm.org.
- [3] L. Ortiz Berrocal. *Elasticidad*. McGraw Hill. 1998.
- [4] National Instruments. Manual de operación de PCI-6024. Internet.
- [5] National Instruments. Manual de operación de SCC-SG02. Internet.
- [6] National Instruments. LabView. Internet.

CLAVE: 866

Juan de Dios Ortiz Alvarado,

A nombre del Comité Organizador del VI Simposio de Óptica en la Industria, le comunico que su trabajo registrado con el número 866: **Monitoreo en Línea del Desgaste en Superficies Mediante el Análisis de la Intensidad de Luz Láser Esparcida**, cuyos autores son:

Juan de Dios Ortiz Alvarado
Iván Domínguez López
Adrián Luis García García
Jorge Adalberto Huerta Ruelas

ha sido aceptado para presentarse en las sesiones de carteles en el marco del VI Simposio de Óptica en la Industria. La modalidad de presentación es POSTER y su trabajo se presentará el 8-9 de Marzo de 2006.

El programa de presentaciones en las sesiones del Simposio se organizará por áreas. Posteriormente le haremos llegar el día, la hora, el lugar y la sala de su presentación, así como algunos aspectos relevantes del formato y características de las mismas.

La fecha límite de recepción de trabajos en extenso es el martes 6 de febrero de 2007. Las instrucciones y formatos para los trabajos en extenso son acordes a las políticas oficiales del SPIE y se pueden consultar en la página del evento: <http://optica.mty.itesm.mx/soi2007/>

Para aclarar cualquier duda, favor de escribir a soi2007.mty@itesm.mx.

Agradecemos mucho su valiosa participación en este importante evento.

Atentamente

Dr. Julio C. Gutiérrez Vega
Comité Organizador VI SOI 2007

From: Gill Heaton
To: idominguez63@yahoo.com
Date: Thursday, January 25, 2007 1:25:32 PM
Subject: WOM 2007 abstract decision

Dear Dr. Dominguez-Lopez

Abstract Ref: WEAR07 - 0633

Title: Real-time observations of wear in a Pin-on-Disk tribometer

Thank you for submitting your above abstract to be considered for presentation at the conference on Wear of Materials taking place in Montreal on April 15-19, 2007.

I am pleased to inform you that your paper has been accepted for poster presentation. The programme is now being finalized and I will write to you again soon with full details about your presentation. The programme will be added to the conference website as quickly as possible. Other information about conference registration and accommodation in Montreal is already online.

We received an overwhelming response to the call for papers of WOM 2007 and the result promises to be a programme of very high-quality.

With regards

Gill Heaton

WOM 2007 Conference Secretariat
Tel: +44 1865 373625
Email: wom-conference@elsevier.com

www.wom-conference.elsevier.com

CONVOCATORIA DE APOYO COMPLEMENTARIO A INVESTIGADORES EN PROCESO DE CONSOLIDACION

PROYECTOS APROBADOS

AREA	PROYECTO	TITULO PROYECTO	APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO	NOMBRES	INSTITUCION	DEPENDENCIA	MONTO APROBADO
VII	52227	Efecto de las condiciones de preparación y activación de catalizadores de NiMo/Alumina-titanita en la hidrodesulfuración de gasóleo ligero primario	SANTES	HERNANDEZ	VICTOR FLORENCIO	Instituto Politécnico Nacional	CTRO. INTER. DE INV. Y EST. SO	\$100,000.00
VII	52232	OPTIMIZACIÓN DEL DESEMPEÑO DE SISTEMAS BIFÁSICOS PARA RECUPERADORES DE CALOR	CARVAJAL	MARISCAL	IGNACIO	Instituto Politécnico Nacional	ESC. SUP. INGE. MECAN. Y ELECT	\$100,000.00
VII	52237	Diseño y construcción de un controlador difuso autosintonizable	GOMEZ	RAMIREZ	EDUARDO	Universidad La Salle	DIR. EST. POSGRADO E INVESTIG.	\$100,000.00
VII	52240	INCORPORACIÓN DE QUITOSANA A POLÍMEROS ESPUMADOS PARA APLICACION EN INGENIERIA AMBIENTAL	GONZALEZ	NUÑEZ	RUBEN	Universidad de Guadalajara	CTRO. UNIV. CIENCS. EXACTAS E	\$100,000.00
VII	52246	Control de movimiento de sistemas mecanicos subactuados por modos deslizantes de segundo orden	AGUILAR	BUSTOS	LUIS TUPAK	Instituto Politécnico Nacional	CTRO. INVESTIG. Y DES. TECDIGI	\$80,439.00
VII	52250	Desarrollo de motores de pasos para una micromáquina herramienta	CABALLERO	RUIZ	ALBERTO	Universidad Nacional Autónoma de México	CTRO. CIENCS. APLICADAS Y DES.	\$100,000.00
VII	52260	Cálculo de parámetros del modelo matemático de un generador síncrono usando elementos finitos y optimización global	ARJONA	LOPEZ	MARCO ANTONIO	INSTITUTO TECNOLOGICO DE LA LAGUNA	DIV. EST. POSGRADO E INVESTIG.	\$100,000.00
VII	52263	DESHIDRATACION DE ETANOL POR DESTILACION EXTRACTIVA CON SALES IONICAS	CASTRO	MONTOYA	AGUSTIN JAIME	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	ESC. INGE. QUIMICA	\$100,000.00
VII	52269	HIDRODINÁMICA, TRANSPORTE Y REACCIÓN EN SISTEMAS TRIFÁSICOS DE LECHO FLUIDIZADO	RUIZ	MARTINEZ	RICHARD STEVE	UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA. IZTAPALAPA	DIV. DE CIENC. BAS. E ING.	\$100,000.00
VII	52280	Desarrollo de nuevos electrocatalizadores para celdas de combustible de electrolito polimérico	JIMENEZ	SANDOVAL	OMAR	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN	UNID. QRO.	\$99,800.00
VII	52297	SISTEMA PORTÁTIL PARA ENTRENAMIENTO DE RECURSOS HUMANOS EN TECNOLOGÍA DE SATELITES PEQUEÑOS, PRIMERA FASE	VICENTE	VIVAS	ESAU	Universidad Nacional Autónoma de México	INST. INGE.	\$99,995.00
VII	52302	Modelos Asociativos Alfa-Beta : un nuevo paradigma en reconocimiento de patrones	YAÑEZ	MARQUEZ	CORNELIO	Instituto Politécnico Nacional	CTRO. INVESTIG. EN COMPUTACION	\$100,000.00
VII	52314	Detección y Compensación de Fallas en Sensores y Actuadores para Motores de Inducción	CAMPOS	DELGADO	DANIEL ULISES	Universidad Autónoma de San Luis Potosí	FAC. CIENCS.	\$100,000.00
VII	52327	DETERMINACION DE PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y DE TRANSPORTE DE FLUIDOS COMPLEJOS CON DINAMICA MOLECULAR	ALVARADO		JUAN FRANCISCO JAVIER	INSTITUTO TECNOLOGICO DE CELAYA	DEPTO. INGE. QUIMICA	\$100,000.00
VII	52329	Estudio de la fase inicial de desgaste en superficies metálicas usando luz láser esparcida y un tribómetro de perno en disco.	DOMINGUEZ	LOPEZ	IVAN	Instituto Politécnico Nacional	CTRO. INVESTIG. EN CIENCIA APL	\$100,000.00
VII	52333	Modelos semánticos para recuperación y visualización de información en colecciones multimediales	STAROSTENKO	BASARAB	OLEG	Universidad de las Américas-Puebla	ESC. INGE.	\$99,883.00
VII	52336	Desarrollo de catalizadores novedosos a partir de sales de heteropolicompuestos de Ni, Mo y P para el mejoramiento de la calidad de los combustibles de transporte	GUTIERREZ	ALEJANDRE	AIDA	Universidad Nacional Autónoma de México	FAC. QUIMICA	\$100,000.00
VII	52345	DETECCION SELECTIVA DE GASES MEDIANTE ELEMENTOS SENSOSES DE ESTADO SOLIDO	TIBURCIO	SILVER	ARTURO	INSTITUTO TECNOLOGICO DE TOLUCA		\$100,000.00
VII	52358	Estudio del Comportamiento Diferencial Balanceado en los Sistemas Electrónicos Aplicados a Telecomunicaciones	GONZALEZ	VILLARRUEL	JAVIER EDUARDO	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	CAMPUS-EDO. MEXICO	\$94,500.00
VII	52359	Estudio de la reactivad de alquilmercaptanos en aditivos de desulfuración en el proceso FCC	CUEVAS	GARCIA	ROGELIO	Universidad Nacional Autónoma de México	FAC. QUIMICA	\$100,000.00
VII	52367	Estudio del comportamiento hidrodinámico y térmico de canal formado por dos placas sinusoidales con perfiles orientados ortogonalmente	ROMERO	MENDEZ	RICARDO	Universidad Autónoma de San Luis Potosí	FAC. INGE.	\$100,000.00
VII	52374	OPTIMIZACIÓN VÍA OPTIMIZACION CONVEXA DE LA SÍNTESIS DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE AGRUPAMIENTOS DE ANTENAS EN COMUNICACIONES MOVILES CELULARES	COVARRUBIAS	ROSALES	DAVID HILARIO	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C.	DIV. FISICA APLICADA	\$98,149.00
VII	52375	Síntesis, caracterización, estudio cinético de descomposición - cianuración alcalina de la jarosita de rubidio e incorporación de especies tóxicas en su estructura durante la síntesis..	SALINAS	RODRIGUEZ	ELEAZAR	UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO	CTRO. INVESTIG EN METALURGIA Y	\$99,937.00
VII	52404	Detección de fallas en línea de motores eléctricos con análisis de vibraciones y corriente por medio de procesamiento digital de señales en arreglos de compuertas programables en campo FPGA	ROMERO	TRONCOSO	RENE DE JESUS	Universidad de Guanajuato	FAC. INGE. MECANICA, ELECTRICA	\$100,000.00
VII	52411	INMOBILIZACIÓN DE PROTEÍNAS SOBRE SUSTRATOS DE PE Y TI MODIFICADOS POR PLASMA PARA SU APLICACIÓN COMO BIOMATERIALES	MORALES	CORONA	JUAN	Universidad Autónoma Metropolitana	UNID. IZTAPALAPA	\$100,000.00
VII	52416	Apoio al desarrollo de una micromáquina herramienta en CNC	RUIZ	HUERTA	LEOPOLDO	Universidad Nacional Autónoma de México	CTRO. CIENCS. APLICADAS Y DES.	\$99,995.00
VII	52427	Evaluación, comparación y aplicación de los métodos de fraccionamiento de la DQO	ESCALAS	CAÑELLAS	ANTONI	Universidad Autónoma de San Luis Potosí	FAC. INGE.	\$100,000.00