

## Determinación del diámetro en huellas de desgaste producidas por pruebas tribológicas mediante tratamiento de imágenes

Determination of the diameter in wear traces produced by tribological tests by means of image processing

Alejandro Suárez Hernández<sup>1</sup>, Héctor Plascencia Mora<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afiliación: Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, División de Ingenierías, Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Sede Yuriria, México.

<sup>2</sup>Afiliación: Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Mecánica, México. E-mail: a.suarezhernandez@ugto.mx · hplascencia@ugto.mx

### Resumen

El presente trabajo expone como en el año 2011 se desarrolló una metodología para la toma y respectivo tratamiento de imágenes, a fotografías que muestran las huellas de desgaste en balines de acero utilizados como objetos de prueba en estudios tribológicos, para resolver una problemática industrial en una empresa guanajuatense que dentro de sus servicios se encuentra la evaluación de la calidad de los aceites y lubricantes. La metodología desarrollada consistió de dos partes: 1) la selección de los accesorios y generando un entorno controlado que posibilita la captura de imágenes manteniendo las mismas condiciones y 2) establecer las técnicas de procesamiento de imágenes que logran la determinación el diámetro de la huella de desgaste. Como resultado se generó un proceso el cual permitió que cualquier trabajador de la empresa pudiera ejecutar el estudio tribológico sin que su intervención influya en los valores obtenidos en el estudio y una ecuación de grado 3 que determina la longitud de la huella de desgaste en milímetros en función de los píxeles que conforman la imagen.

**Palabras clave:** *Tratamiento de imágenes, tribología, automatización, huella de desgaste.*

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes

En México son cada vez más las empresas que optan por implementar sistemas de automatización en sus procesos para remplazar tareas repetitivas realizadas por operarios por maquinaria especializada, resultando en una mejora en sus tiempos de producción, optimización de los recursos, reducción de costos e incrementando la calidad de sus productos. Esta clase de transición se ha vuelto más notoria en el estado de Guanajuato en los últimos años.

Guanajuato cuenta con diversos sectores estratégicos como el automotriz, cuero-calzado, moda-textil, agrícola y turístico, donde resulta de vital importancia contar con un ecosistema tecnológico que permita brindar soluciones a la altura de sus necesidades (Monroy, 2020). Este tipo de ambiente de innovación tecnológica se encuentra presente en la *Industria 4.0*, cuyo término surgió en Alemania a principios del año 2011, sin embargo, para ese entonces las empresas guanajuatenses ya buscaban la manera de cómo implementar las tecnologías existentes y emergentes en beneficio de sus actividades.

Dichas tecnologías consistían en la aplicación de sensores y actuadores, controladores lógicos programables, sistemas de control, brazos robóticos, técnicas para la adquisición y procesamientos de datos, entre otros. Refiriéndose al procesamiento de datos, esta clase de tecnología consiste en que, una vez recabada la información de un entorno físico por medio de sensores y transductores, es tratada de tal manera que un ordenador pueda tomar decisiones y transmitir instrucciones a actuadores que realizaran acciones de ajuste a los procesos para obtener los resultados esperados.

La información recabada del entorno físico puede provenir de diversas variables como lo son temperatura, presión, pH, velocidad e incluso imágenes o video captados por una cámara. Cuando se trata



de procesar imágenes o video implica interpretar una imagen para distinguir los objetos de la escena, extraer información de ellos y resolver aspectos más particulares según las necesidades que se desean satisfacer (González y otros, 2006).

## 1.2 Planteamiento del problema

Dentro de Guanajuato existen instituciones especializadas que se enfocan en cubrir la necesidad de efectuar estudios en el área de la tribología, mediante la implementación de normas y estándares. No obstante, en ocasiones se presenta el caso de que la captura de las mediciones suele ser hecha de forma manual, imposibilitando el registro simultáneo de las variables que se analizan y generando incertidumbre al momento de relacionar el valor de una variable con otra para un mismo instante de tiempo.

Uno de estos casos se presentó en el año 2011 en la empresa LUBRILAB MX, S.A. de C.V., ubicada en el municipio de Irapuato, Gto., donde realizaban diversos estudios tribológicos tomando como base el método de prueba Timken, indicado en la norma ASTM D 2782. La máquina para realizar dicho método puede observarse en la figura 1.1. El ensayo consiste en un disco giratorio acomodado en un depósito lleno de aceite el cual se revoluciona aproximadamente a 800 rev/min y por medio de una relación de brazo de palanca, se aplica presión a un balín de prueba contra el disco durante 10 minutos. La adherencia que tiene el aceite hace que se pegue al disco mientras gira, quedando una película del mismo en medio de los cuerpos sometidos a presión (ASTM D 2782-01).



Figura 1.1. Tribómetro de laboratorio.  
Fuente: LUBRILAB MX S.A. de C.V.

Durante ese lapso suele medirse principalmente los cambios de temperatura que sufre el aceite en su depósito y en el punto de contacto entre el disco y balín, entre otras variables que pueden resultar de interés dependiendo los requerimientos del estudio. Finalizada la prueba queda una huella (ralladura) marcada en el objeto de prueba, misma que aparece en la figura 1.2. Dependiendo de los criterios del estudio, el diámetro de la huella puede representar un factor crucial que permita valorar la calidad de los aceites y lubricantes. No obstante, en la empresa LUBRILAB MX, S.A. de C.V., su medición se realizaba de forma manual y sin un procedimiento establecido.



Figura 1.2. Huella de desgaste resultante de la prueba Timken.  
Fuente: LUBRILAB MX S.A. de C.V.

La complicación al tratar determinar este valor radica en que la huella es demasiado pequeña para confiarse de las mediciones manuales y de la simple observación. Fue por lo que para brindar una solución

a dicha problemática en el 2011 se desarrolló un proyecto de investigación de tesis a nivel licenciatura con el nombre de "Sistema de instrumentación y procesamiento de datos para un tribómetro con tarjeta NI DAQ-6229 de National Instruments®", que consistió en la selección y colocación de distintos sensores en el tribómetro de laboratorio de la empresa LUBRILAB MX, S.A. de C.V., para que pudieran medir las variables de interés de manera simultánea, siendo estas transmitidas a una tarjeta de adquisición de datos para que fueran cargadas a un programa de computadora que generaba un registro histórico de la prueba. Este mismo programa también contaba con la característica de que a partir de una fotografía de la huella de desgaste podía determinar el diámetro de la misma (Suárez, 2011).

### 1.3 Objetivo del proyecto

Para que se pudiera evaluar la huella de desgaste que quedaba impresa al final de cada prueba en los balines de acero, se desarrolló una metodología que consistía en la captura fotográfica y en un tratamiento de imágenes mediante visión computacional, con el objetivo de facilitar el análisis de la calidad de los aceites o lubricantes.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Tribología

La *tribología* puede definirse como la ciencia y la tecnología de las superficies interactuantes que se encuentran en movimiento relativo, incluyendo los fenómenos de fricción, desgaste y lubricación (como cita Avallone & Baumeister, 2007). De estos tres fenómenos, la *fricción* se comprende como la fuerza de oposición al movimiento que se origina cuando las imperfecciones microscópicas entre dos superficies entran en contacto, produciendo una reducción en el movimiento de los cuerpos. Por otro lado, el *desgaste* que se presenta en las máquinas es resultado de la fricción, esto se debe al desprendimiento de las rugosidades que yacen en las superficies de los cuerpos, contribuyendo a una disminución progresiva en el desempeño de los equipos. Sin embargo, una forma de reducir estos fenómenos es colocando algún agente externo entre las superficies de los cuerpos con el fin de diezmar los efectos de la fuerza de fricción. El proceso de insertar una sustancia entre las superficies de los mecanismos para disminuir el impacto de la fuerza de fricción se conoce como *lubricación*.

#### 2.1.1 Comprensión del arranque de un equipo mecánico

Para una mejor comprensión de los fenómenos de fricción, desgaste y lubricación en los elementos mecánicos, consideremos un aparato mecánico como puede ser un motor, un transportador a base de poleas o cadenas, cojinetes posicionados adecuadamente en una flecha para un sistema de transmisión de potencia, etc. Los elementos mecánicos que estos mecanismos poseen, si se encuentran en estado de reposo, tenderán a adherirse las superficies rugosas de las paredes de sus cuerpos<sup>1</sup> como se observa en la figura 2.1. Cuando sea puesto en marcha dicho equipo se generará un rozamiento ocasionando la destrucción entre sus superficies, haciendo que la mayor parte de las asperezas se fracturen y derivando con el tiempo en un desgaste en la máquina y posible fractura en la pieza o un aumento de la temperatura al grado de que puedan unirse las partes mecánicas por fundición.

En la figura 2.2, se muestra la manera más común de evitar este rozamiento y consecuentemente el desgaste entre otros factores que acortan la vida de los equipos mecánicos. Este método consiste en introducir una capa de lubricante en las paredes del mecanismo la cual hace que las rugosidades de las dos superficies choquen pero que lentamente se separen debido al bombeo del lubricante originado por el despla-

---

<sup>1</sup> A pesar del trabajo de pulimiento que se le dé a una pieza quedando está lisa a simple vista, a nivel microscópico existen asperezas o rugosidades las cuales entran en contacto y se enganchan con otras pertenecientes a los cuerpos con los que tiene contacto a la pieza. Un ejemplo macroscópico de esta situación se observa con el velcro.



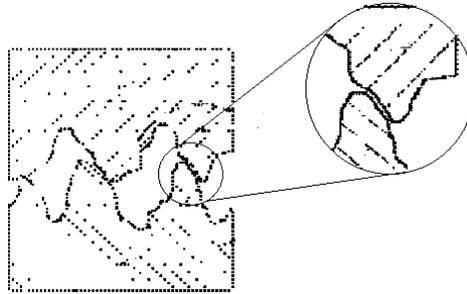


Figura 2.1. Formaciones irregulares (rugosidades) microscópicas en la superficie de los cuerpos sólidos.  
Fuente: Albarracín, P. & Pinzón, R., 2004.

zamiento de los cuerpos, resultando con esto que las superficies se deformen elásticamente propiciando que el movimiento relativo se efectuó sin fractura.

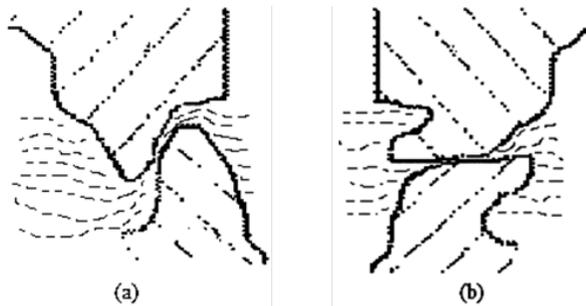


Figura 2.2. (a) Rugosidades en contacto con lubricante de por medio.  
(b) Deformación elástica de las rugosidades, absorción del desgaste a través del lubricante.  
Fuente: Albarracín, P. & Pinzón, R., 2004.

Avallone & Baumeister (2007) señalan que “aunque teóricamente es posible imaginar esta situación, resulta ser que en la vida real si se presenta cierta cantidad de desprendimiento de residuos de las superficies metálicas en condiciones de película fluida, esto se debe a la remoción de la capa del lubricante que se encontraba adherida a las superficies debido al cambio del tipo de flujo de la película lubricante”.

## 2.2 Señales y automatización

Una *señal* se define como una cantidad física que varía con el tiempo, el espacio o cualquier otra variable o variables independientes (Proakis & Manolakis, 1998). En la mayoría de los casos, las señales describen el comportamiento de un fenómeno físico (Oppenheim & Willsky, 1998). Matemáticamente es posible describir a una señal como una función de una o más variables independientes. Por ejemplo, las funciones

$$f_1(t) = 5t \quad (2.1)$$

$$f_2(t) = 10t^2 + 32 \quad (2.2)$$

describen dos señales; en la función (2.1) la variable independiente  $t$  (tiempo) varía linealmente mientras que la función (2.2) varía cuadráticamente con  $t$ . Otro ejemplo, pero para una función que posee dos variables independientes se muestra en la función (2.3)

$$f(x, y) = 3x + 2xy + 10y^2 \quad (2.3)$$

donde  $x$  e  $y$  pueden representar las coordenadas espaciales en un plano.

Por otra parte, la *automatización industrial* se puede definir como el conjunto de procesos y técnicas mediante los cuales se busca ayudar a las personas en sus tareas repetitivas y rutinarias, generando un equilibrio entre personas y máquinas en determinadas tareas, con esto se quiere decir que, gracias a la

automatización industrial, las empresas y las personas pueden mejorar su productividad y competitividad, ya que esto conduce a la reducción de costos y aumentar la calidad de los productos.

Para que el proceso sometido a automatización opere correctamente, implicará forzosamente la manipulación de señales físicas continuas en el tiempo para ser convertidas en señales digitales en tiempo discreto. Esto es necesario ya que para el uso de una computadora o controlador digital es forzoso que la señal esté cuantificada tanto en amplitud como en tiempo.

En los más modernos sistemas de automatización, las mismas máquinas se encargan del control del proceso gracias a sensores de control que le permiten percibir cambios en sus alrededores de ciertas condiciones tales como temperatura, volumen y fluidez de la corriente eléctrica y otros, sensores los cuales le permiten a la máquina realizar los ajustes necesarios para poder compensar estos cambios (Oleas, 2014).

En medio de su afán por mejorar sus producciones, conseguir mayores beneficios, y ser mejor cada día, el hombre de la mano de la tecnología, grandes investigaciones y una infinidad de posibilidades ha logrado crear sistemas automáticos, que de una u otra manera han hecho más fácil y a la vez más productiva la vida del hombre. (Aguilar & Moya, 2019)

### 2.3 Visión por computadora

#### 2.3.1 Definición de una imagen

Una *imagen* es la visualización que tiene el ojo humano ante un escenario del mundo real. Desde la perspectiva de las matemáticas, una imagen representa una función de dos variables, es decir, una función  $f(x, y)$  donde las variables  $x$  e  $y$  determinan la cantidad de luz incidente que procede de la fuente de la escena contemplada (iluminación) y de la cantidad de la luz reflejada por los objetos de la escena (reflectancia) (González & Woods, 2002). De lo anterior se puede decir que las imágenes que percibe una persona de las actividades que realiza a diario provienen normalmente de la luz que se refleja en los objetos. En el caso de imágenes digitales, éstas se componen de un número finito de datos, donde cada uno de ellos posee un valor y una localización en particular. A este dato se le conoce como *píxel*.

#### 2.3.2 Tipos de imágenes

Cuando en un control digital su información depende de una o varias imágenes, éstas deberán ser procesadas por la computadora, por medio de algoritmos que permitan resaltar los atributos de interés a fin de tomar una acción de control apropiada. Para que los algoritmos computacionales puedan trabajar de manera eficiente, es vital que la imagen posea algún tipo de formato que facilite a la computadora un procesamiento veloz, principalmente si se trata de un control en tiempo real. Es por esta razón de la relevancia de considerar el tipo de imagen con el que se pretende trabajar, ya que dependiendo del formato que tenga, éste influenciará de manera directa la velocidad de procesamiento de la computadora. Independientemente del tipo de formato que maneje la computadora para procesar una imagen, estas se pueden dividir en dos tipos: imágenes en escala de grises e imágenes RGB.

La figura 2.3 muestra una imagen digital en escala de grises junto con su representación matricial  $m_{x \times n}$ . Donde las variables  $x$  e  $y$  son coordenadas espaciales y el valor  $f$  indica la intensidad que posee dicha coordenada. Cuando la imagen en escala de grises es tratada en la computadora, los valores que puede tomar  $f$  se encuentran dentro de los intervalos de 0 a 1, o bien de 0 a 255 (para una imagen de 8 bits), donde el cero simboliza el color negro y el valor más alto en el intervalo indica el color blanco. Lo mismo ocurre si la imagen es de 16, 32 y 64 bits. Dentro del intervalo, pero sin tocar los valores extremos, yacen los distintos valores en escala de grises que puede poseer la imagen. Cabe mencionar que entre mayor sea el rango del intervalo mayor será la resolución de la imagen.

Por otro lado, una imagen RGB también conocida como imagen de color verdadero (truecolor), es una imagen digital que se encuentra conformada por la combinación de los tres espectros de colores primarios: rojo, verde y azul (red, green y blue, en inglés). En la Figura 2.4 puede observarse una imagen con este tipo de formato. Refiriéndose al procesamiento digital de imágenes, los formatos de color más utilizados son el RGB, que es empleado en monitores a color, cámaras digitales y de video, el CMY (cian, magenta, amarillo) y el CMYK (cian, magenta, amarillo, negro), que sirve para la impresión de color; y por último el HSI

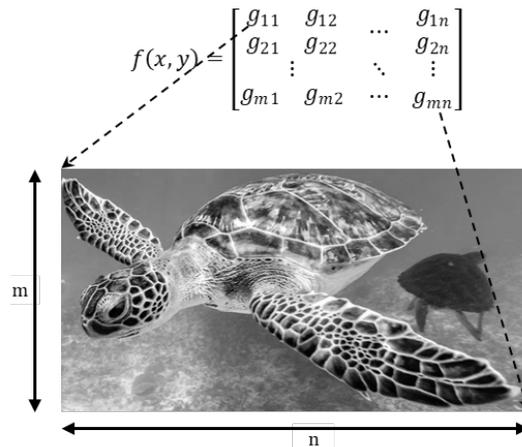


Figura 2.3. Imágenes en escala de grises.  
 Fuente: elaboración propia.

(matiz, saturación, intensidad) que corresponde estrechamente con el modo que la gente describe e interpreta el color.

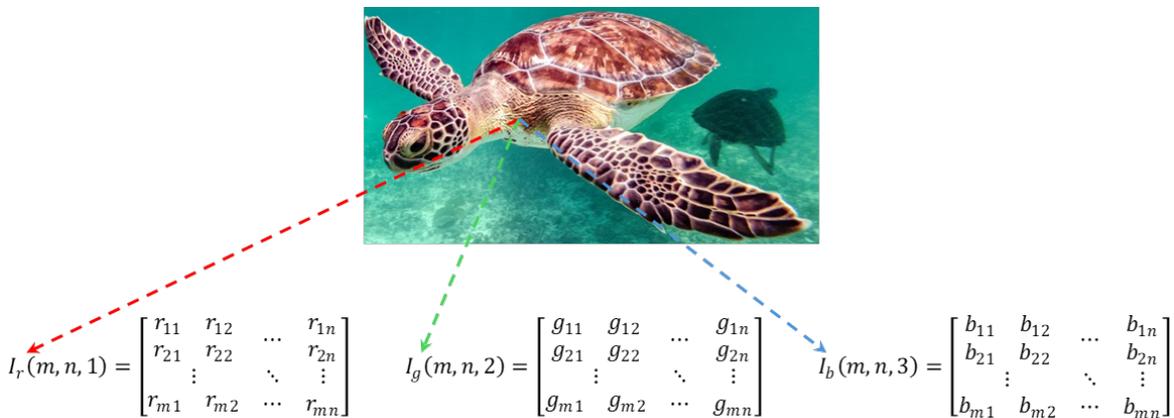


Figura 2.4. Imagen RGB.  
 Fuente: elaboración propia.

### 2.3.3. Visión artificial

La *visión artificial*, también conocida como visión por computadora es un subcampo de la inteligencia artificial el cual tiene como propósito programar un computador para que pueda interpretar y/o entender una escena determinada o las características de una imagen. La visión artificial es una disciplina que engloba todos los procesos y elementos que proporcionan “ojos” a una máquina y en la que se puede concluir lo siguiente: *la visión o comprensión de imágenes describe la deducción autónoma de la estructura y propiedades de un mundo tridimensional, posiblemente dinámico, bien a partir de una o varias imágenes bidimensionales de ese mundo* (González y otros, 2006). Para que la visión artificial pueda deducir estructuras y propiedades de los objetos, es necesario conocer tanto las propiedades geométricas como la de los materiales que lo conforman. Estas propiedades pueden ser el tamaño y localización del cuerpo, si se trata de una propiedad geométrica, o bien, del color, iluminación, textura, composición, para el caso de una propiedad del material.

### 2.3.4 Etapas que comprende el proceso de la visión artificial

La adquisición y procesamiento de imágenes demanda de un tratamiento sistemático que permita trabajar una imagen y obtener algún tipo de información de ésta. En el esquema de la figura 2.5 se modela el flujo que se debe de seguir para el procesamiento de imágenes y que se desarrolla de la siguiente manera:

- 1) Partiendo de un escenario del mundo real se captura una imagen (*adquisición*) por medio de una cámara.
- 2) Luego es transportada a la computadora para ser *procesada* con el fin de exhibir datos de interés en una presentación adecuada.
- 3) Para que la presentación sea lo más favorable posible es necesario *segmentar* la imagen en partes que la constituyan o en los objetos que la conforman; lo que resulta conveniente porque reduce el análisis de la imagen si se presenta el caso de que sólo se desea estudiar una fracción de esta.
- 4) Posteriormente, indicado el área a trabajar se prosigue con la *parametrización* que es la encargada de extraer rasgos que cuenten con alguna clase de información cuantitativa de valor y que permita la distinción de un objeto de otro.
- 5) El *reconocimiento* que está encargado de asignar valores para cada parte en la que fue dividida la imagen.
- 6) Por último, la *interpretación* da un significado al valor del asignado en el reconocimiento.

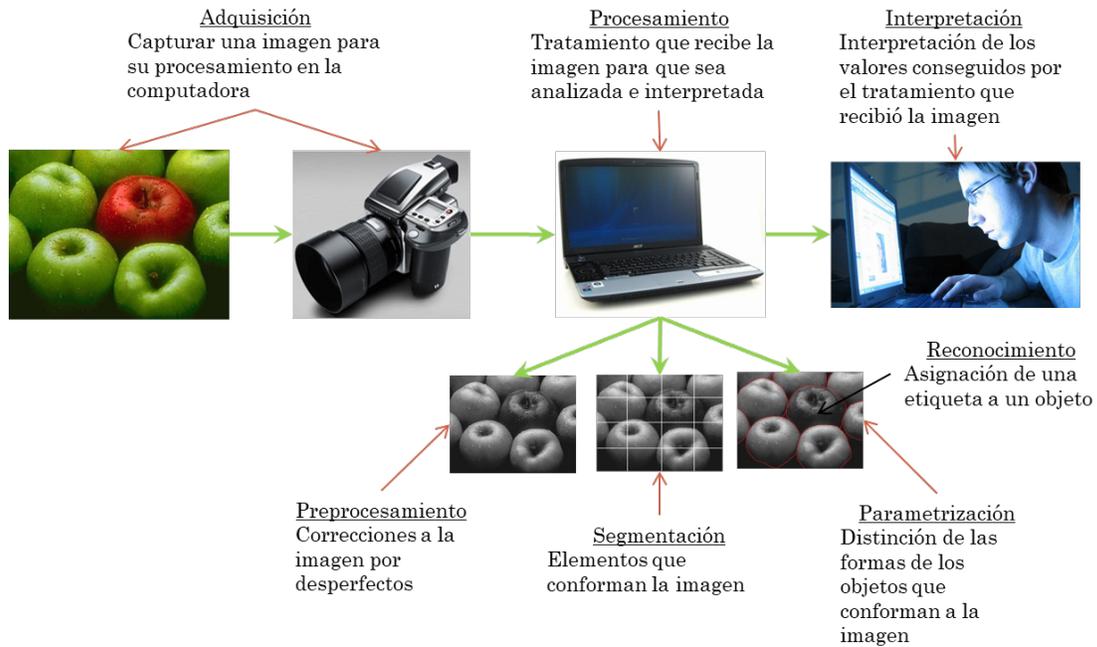


Figura 2.5. Etapas del proceso de visión por computadora.  
Fuente: elaboración propia.

## 3. Metodología Propuesta

A continuación, se mencionan las tecnologías seleccionadas junto con la metodología implementada que sirvieron para determinar el diámetro de la huella de desgaste resultante del estudio tribológico por medio del tratamiento de imágenes.

### 3.1 Procedimiento tradicional para efectuar la prueba Timken en tribómetro

De manera general, la prueba Timken mediante el tribómetro es realizado de la siguiente forma (ASTM D 2782-01):



- 1) Se posiciona el balín de acero, en el extremo del brazo de palanca donde estará en contacto con el disco giratorio de la máquina.
- 2) Se llena el cárter con el lubricante que será evaluado.
- 3) Colocado el brazo de palanca en su respectivo lugar dentro del tribómetro, éste se enciende, pero sin que exista contacto; esto con la finalidad de lubricar la superficie del disco giratorio antes de empezar la prueba. Iniciando la prueba existen dos lapsos de tiempo para el funcionamiento del tribómetro:
  - i. Un breve periodo de tiempo (no mayor a 3 minutos) de encendido, donde se presenta un máximo rechinado entre las paredes del disco y el balín. Este ruido agudo surge de la falta de película fluida entre las paredes de los cuerpos.
  - ii. La ejecución de la prueba por un tiempo de diez minutos. Esta parte de la prueba simula el comportamiento que tendrá el aceite cuando este dentro del circuito hidráulico del mecanismo en funcionamiento.
- 4) Para el caso en que la prueba tenga una duración de diez minutos, es posible trabajar con dos clases de cargas:
  - i. *Fija*. Para este tipo de prueba se indicará que el extremo del brazo de palanca que queda libre estará sometido a un cierto nivel de carga, el cual se mantendrá constante durante toda la prueba.
  - ii. *Progresiva*. Si el ensayo de diez minutos se realiza con carga progresiva, indicará que el otro extremo del brazo de palanca tendrá un nivel de carga que aumentará progresivamente a lo largo de la prueba
- 5) Durante la prueba de diez minutos, se miden los valores de temperatura que se tienen en el lubricante y el punto de contacto entre el objeto de probeta y el disco giratorio siendo registrados cada minuto.
- 6) Independientemente de la duración y tipo de carga, al final del ensayo la probeta será removida para observar la huella de desgaste que quedó impresa y será medida de forma manual su diámetro.

El principal inconveniente que se tenía al llevar a cabo este proceso es que cualquier trabajador de la empresa podía efectuar la medición y registro de la huella, ocasionando con esto que se tuviera diversos puntos de referencia de los extremos del perímetro de la huella en el balín y con ello propiciar un grado de error por la acción de medición.

### 3.2 Elementos físicos que componen el tratamiento digital de imágenes

Con la finalidad de reducir en la medida de lo posible el error en la mensuración de la huella de desgaste que queda en balín de acero utilizado como objeto de prueba en el estudio tribológico, se desarrolló un proceso el cual permitía tomar fotografías manteniendo siempre las mismas condiciones de su entorno y posteriormente, sea cargado a un programa de computadora donde se determinara el diámetro promedio de la huella.

A continuación, en la tabla 3.1 se indican los elementos físicos que fueron utilizados y que permiten la captura de imágenes.

**Tabla 3.1.** Elementos físicos que componen la captura de imágenes.

Elemento	Función	Figura
Tribómetro	Instrumento con el que se realizan los ensayos tribológicos de la prueba Timken.	
Balín	Probeta colocada en el tribómetro para desarrollo de la prueba Timken.	

Microscopio digital	Captura imágenes de la huella de desgaste que queda impresa en el balín y la envía a la computadora para ser procesada por el programa de visión por computadora.	
Base para fijación del microscopio y el brazo de palanca	Sirve para fijar la cámara digital (microscopio digital) y el brazo de palanca a una altura que sea propicia para la captura de la foto.	
Computadora	Posee el programa de visión computacional que determina la longitud de la huella de desgaste.	

Fuente: Suárez, A. 2011.

### 3.3 Metodología para la captura de imágenes

Con los elementos que se presentan en la tabla 3.1 se desarrolló el proceso a implementar para la captura de imágenes, manteniendo las condiciones del entorno de trabajo siempre de la misma manera. Los pasos que constituyen este proceso son:

- 1) Colocación y fijación del balín de prueba en el brazo de palanca del tribómetro.
- 2) Montaje del brazo de palanca en el tribómetro y realización de la prueba.
- 3) Desmontaje del brazo de palanca sin retirar el balín de acero y posicionamiento de este en la parte inferior de la base de fijación.
- 4) Montaje del microscopio digital en la parte superior de la base de fijación.
- 5) Ajuste de la altura de separación entre la lente de la cámara y la huella de desgaste marcada en el balín de prueba.
- 6) Captura de la imagen de la huella de desgaste.
- 7) Carga de la imagen en la computadora para que sea tratada por el programa de visión artificial.
- 8) Ejecución del programa de visión artificial y exhibición e interpretación de los resultados arrojados por el programa de computadora.

Para que sea posible el inciso 5 del listado anterior se determinó por medio de ensayos empíricos que la altura apropiada que permite al lente de la cámara digital un buen enfoque de la huella de desgaste en el balín resulta ser de  $27 \pm 2$  mm, mientras que en el plano de la huella del balín es de  $20 \pm 1$  mm, a partir de la pared izquierda de la base de fijación del microscopio al centro del balín, estando sujeto al brazo de palanca. La figura 3.1 muestra cómo se capturaba la imagen, con el microscopio digital posicionado en la estructura de fijación y conectado a la computadora, que almacena y procesa la imagen.

### 3.2 Desarrollo de la ecuación que determina el diámetro promedio en la huella de desgaste

Con la metodología para la captura de imágenes en las huellas de desgaste establecida, fue necesario desarrollar una ecuación que permitiera dar valores en milímetros el diámetro de la huella, en función de los pixeles. Para ello se realizaron diversas pruebas de medición en las que se correlaciona un valor dado en pixeles a una cantidad en milímetros. Con ayuda de Microsoft Excel la figura 3.2 muestra el gráfico de la rela-





Figura 3.1. Captura de la imagen de la huella de desgaste en el balín.  
Fuente: Suárez, A. & Aviña, J. G., 2011.

ción que existe entre pixeles y milímetros que corresponden a la medida de la huella de desgaste, la función  $f(y)$  que describe este comportamiento se aprecia en la ecuación 3.1

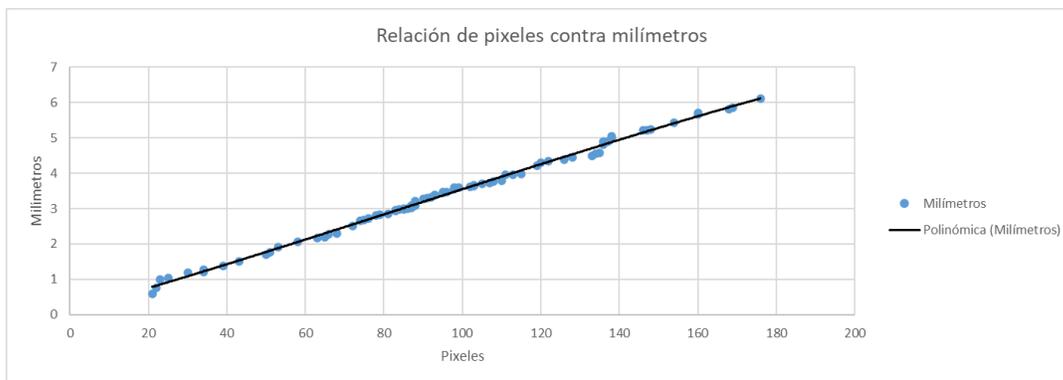


Figura 3.2. Gráfica de relación entre pixeles y milímetros.  
Fuente: elaboración propia.

$$f(y) = -(2x10^{-7})x^3 + (5x10^{-5})x^2 + 0.0316x + 0.1001 \quad (3.1)$$

donde  $f(y)$  representa el valor del diámetro en milímetros y  $x$  el valor dado en pixeles.

### 3.3 Lógica de programación para determinar el diámetro promedio en la huella de desgaste

Conseguida la ecuación que proporciona un valor en milímetros para el diámetro de la huella de desgaste en función de los pixeles de la imagen, el siguiente paso es desarrollar un algoritmo el cual obtenga el diámetro de la huella de desgaste en pixeles y que posteriormente lo convierta a milímetros de manera automática. La corrección de color, la eliminación de ruido y el mejoramiento de bordes son procedimientos típicos que se aplican en esta fase de un proyecto basado en procesamiento digital de imágenes (Sánchez & Taborda, 2014). En la figura 3.3 se presenta el algoritmo que permite establecer la magnitud del diámetro de la huella en pixeles. Este algoritmo opera de la siguiente manera:

- 1) Se captura la imagen de la huella de desgaste marcada en el balín.
- 2) La imagen de la huella es cargada a la computadora.
- 3) La computadora efectúa una acción de cambio de tipo de imagen, es decir, pasar la imagen a color a un formato de escala de grises.
- 4) Con el cambio de formato en la imagen, se modifican los pixeles existentes en la parte superior de la imagen dejándolos negros.
- 5) A continuación, se ejecuta una operación de suavizado, es decir, disminución de la intensidad de brillo en la imagen.
- 6) La imagen suavizada pasa por una operación de convolución en dos dimensiones, que ayuda resaltar los datos de interés en la imagen.

- 7) De los valores obtenidos por la convolución, se efectúa una segunda acción de sustitución por píxeles negros a toda forma que este más allá del cuerpo esférico del balín. Esta acción sirve para eliminar ruidos.
- 8) De la sustitución por píxeles negros, el algoritmo pasa a un proceso de discriminación para conseguir que los datos de la huella sean de menor valor en los píxeles.
- 9) Los valores reducidos son sometidos a binarización, esto con la finalidad de dejar la imagen con valores lógicos de ceros y unos.
- 10) A los valores binarios se les aplica una tercera sustitución por píxeles negros, que sirve para erradicar valores parasitarios generados por la acción del inciso anterior.
- 11) Los actuales valores de la imagen son invertidos en una operación de negación de la binarización. Ocasionando que la imagen de la huella quede de color negro y el fondo sea blanco.
- 12) El intercambio de valores sufre una cuarta acción de sustitución por píxeles, pero en lugar de negros son blancos, para borrar todo aquello que se localice en la mitad inferior de la imagen.
- 13) Se determina un radio preliminar de la huella.
- 14) El valor del radio preliminar sirve para una quinta acción de sustitución por píxeles blancos, con el fin de borrar valores que se encuentren por encima del valor del radio preliminar.
- 15) Terminado el tratamiento se determina el radio promedio de la huella en píxeles por medio de geometría analítica.
- 16) Conseguido el radio promedio en píxeles se realiza la conversión de píxeles a milímetros

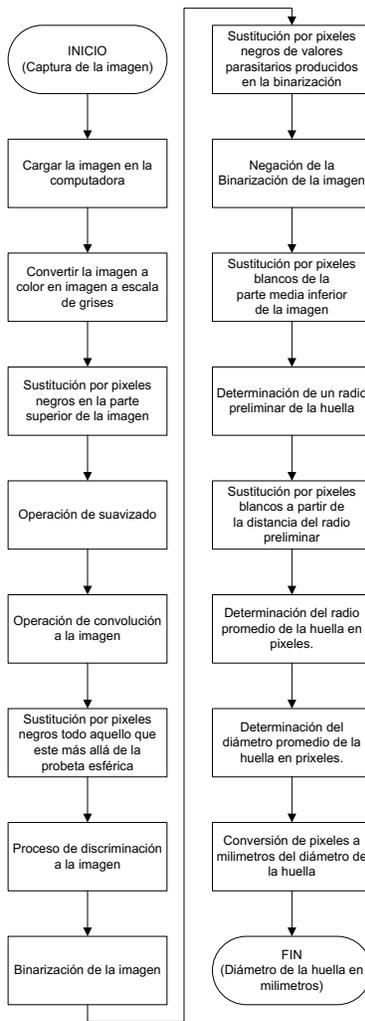


Figura 3.3. Algoritmo para determinar el diámetro de la huella de desgaste en píxeles.  
Fuente: Suárez, A., Plascencia, H., Aviña, J. G., Ibarra, O. G., Serna, J., Hernández, F. G., 2012.



## 4. Resultados y Discusión

El propósito de diseñar una metodología que permita la adquisición y tratamiento de imágenes en las huellas de desgaste que quedan impresas en los balines de prueba es la de reducir el error de medición, que este suele generarse cuando distintos usuarios realizan la prueba y la respectiva medición. Al conseguir una ecuación que determine la longitud de la huella de desgaste en milímetros a partir de los pixeles que conforman la imagen, se mejora la medida de la huella.

## 5. Logros

Aunque este artículo trato exclusivamente sobre la metodología para la captura y tratamiento de imágenes, en específico, las imágenes de huellas de desgaste que quedan marcadas en balines de acero que son utilizados como objetos de prueba en ensayos tribológicos, este proyecto en el 2011 consistió en la generación de un sistema de instrumentación y procesamiento de datos para un tribómetro de laboratorio aplicando la tecnología de National Instruments®, teniendo como principales logros los siguientes:

- 1) Un programa en software LabVIEW que permite la adquisición simultánea en tiempo real de 5 parámetros distintos dentro del tribómetro de laboratorio y trasportarlos a un registro histórico en una hoja de cálculo en Excel.
- 2) Un programa en software LabVIEW que permite determinar la magnitud en milímetros de diámetro de las huellas de desgaste que quedan impresas en los balines de prueba que fueron sometidos a pares de contacto tribológico por medio de procesamiento de imágenes.
- 3) Elaboración de un sistema para adquisición y procesamiento de imágenes con recursos existentes dentro de la empresa LUBRILAB MX, S.A. de C.V. y la Universidad de Guanajuato.
- 4) Título de patente No. 338020 con el nombre: "Sistema para medición de desgaste en pruebas tribológicas mediante procesamiento de imágenes" con número MX/a/2012/002688.
- 5) Participación en el Premio TECNOS Nuevo León 2011. Reconocimiento Internacional en Desarrollo Tecnológico con el proyecto: "Sistema para medición de desgaste en pruebas tribológicas mediante procesamiento de imágenes".
- 6) Mención Honorífica por participación en el "IV Premio CONCYTEG a la innovación tecnológica Guanajuato 2011" agosto de 2011.
- 7) Participación y obtención del Tercer lugar en el "6to Concurso de Creatividad e Innovación", categoría Invención, División Licenciaturas, dentro de la Universidad de Guanajuato en agosto de 2011.
- 8) Ponencia en el "2do Verano de la Investigación Científica en Empresas UG" de la Universidad de Guanajuato en agosto de 2011.
- 9) Convenio de colaboración entre la Universidad de Guanajuato y la empresa denominada LUBRILAB MX, S.A. de C.V.; comunicado mediante oficio 1265/2011.
- 10) Ponencia en el "16 Verano de la Investigación Científica" de la Universidad de Guanajuato en Julio del 2010.

## 6. Conclusiones

Gracias a la aplicación de innovaciones tecnológicas o dando nuevos usos a las ya existentes, las empresas, independientemente de su sector y de los servicios que brinden, han visto los beneficios que traen consigo la implementación de la automatización, alcanzado mayor precisión de la información que les permite incrementar su eficiencia, agilizando la toma de decisiones y optimizando sus recursos. La tecnología, viéndola como una ciencia aplicada es transversal, es decir, que es posible que un mismo conocimiento, técnica o un conjunto de estos pueden ser implementados en diversas áreas realizando en estas modificaciones mínimas con la finalidad impulsar la productividad y mejorar la calidad de vida.



## 7. Referencias

- Albarracín, P. & Pinzón, R., (2004). Cálculo del ahorro de energía por menor fricción. *Revista de la facultad de minas*, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, año/vol. 71, número 144, pp. 137-149.
- Aguilar, A. O., & Moya, A. R., (2019). Automatización de la máquina de fricción y desgaste de cilindros cruzados del laboratorio de tribología de la escuela superior politécnica de Chimborazo. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior politécnica de Chimborazo.
- ASTM D 2782-01 “Standard Test Method for Measurement of Extreme-Pressure Properties of Lubricating Fluids (Timken Method).
- Autexopen (s. f.). La automatización industrial: *¿Qué es? Sus características más relevantes*. Recuperado el 6 de octubre de 2024 de [https://www.autex-open.com/automatizacion-industrial/automatizacion-industrial/#Definicion\\_%E2%80%93\\_%C2%BFQue\\_es\\_la\\_automatizacion](https://www.autex-open.com/automatizacion-industrial/automatizacion-industrial/#Definicion_%E2%80%93_%C2%BFQue_es_la_automatizacion).
- Avallone, A. & Baumeister, T., (2007). Manual de ingeniero mecánico. *Tomo I* (9ª ed.). Editorial McGraw-Hill.
- González, A., Martínez, F. J., Pernía, A. V., Alba, F., Castejón, M., Ordieres, J., Vergara, E., (2006). Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial. España. Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones.
- González, R., & Woods, R., (2002). Digital Image Processing (2ª ed.). Editorial Prentice Hall.
- Monroy, V., (2020). La automatización industrial en Guanajuato. Mexico Industry: *El medio informativo de la industria manufacturera*. Recuperado el 5 de octubre de 2024 de <https://mexicoindustry.com/invitado-editorial/la-automatizacion-industrial-en-guanajuato>.
- Oleas, G. A., (2019). Automatización de la adquisición de datos en tiempo real del banco de pruebas de la bomba de ariete del laboratorio de turbomaquinaria hidráulica de la facultad de la epoch. Tesis de Licenciatura. Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, Riobamba, Ecuador.
- Oppenheim, A. V. & Willsky, A. S., (1998). Señales y sistemas (2ª ed.). Editorial Prentice Hall.
- Proakis, J. G. & Manolakis, D. G., (1998). Tratamiento digital de señales (3ª ed.). Editorial Prentice Hall.
- Sánchez, G. & Tabora J. A., (2014). Estimación de la medida de ocupación de playas mediante procesamiento de imágenes digitales. *Tecnología Lógicos*, vol. 17, no. 33, pp. 21-29, 2014.
- Suarez, A. & Aviña, J. G., (2011). Evaluación de la velocidad de desgaste usando maquina Timken mediante procesamiento de video. Verano de la investigación científica 2011. Universidad de Guanajuato.
- Suárez, A., Plascencia, H., Aviña, J. G., Ibarra, O. G., Serna, J., Hernández, F. G., (2012). *Sistema para medición de desgaste en pruebas tribológicas mediante procesamiento de imágenes*. MX 338020B. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
- Suárez, A., (2011). Sistema de instrumentación y procesamiento de datos para un tribómetro con tarjeta NI DAQ-6229 de National Instruments®. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guanajuato.

