

# Experimentos de Tribología de Metales, en la Universidad Marítima Internacional de Panamá

**Elmer Arcelio Pérez Espino**

Universidad Marítima Internacional de Panamá.  
eperez@umip.ac.pa

**Masaki Tanaka**

Japan International Cooperation Agency (JICA).  
taller\_tanaka@yahoo.co.jp

## Resumen:

En este artículo presentamos una visión de la investigación en Tribología desarrollada en la Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP), en la cual continuamos el camino trazado desde 2012, cuando iniciamos las investigaciones en metales: Austenita, Ferrita, Martensita (Perez, Tanaka, & Jibiki, 2013) (Perez, Tanaka, & Sugawara, 2013), resultados que muestran las características básicas del volumen desprendido cuando dos cuerpos se deslizan o giran sobre un centro, como es el caso de los ejes de un motor en movimiento. Además otros de los resultados mostrados, son las observaciones sobre la tendencia a la formación de modos (Perez, Tanaka, & Jibiki, 2013) (Perez, Tanaka, & Sugawara, 2013). Dados estos análisis, hemos continuado con nuevos experimentos que nos han llevado a verificar el comportamiento del desgaste ante ambientes magnéticos, largos periodos e incorporación de otros metales.

**Palabras Claves:** *Austenita, Ferrita, Martensita, Ambiente*

**Title:** The Tribology of Metal's Experiments, in the International Maritime University of Panamá.

**Abstract:** This article gives a view through one of its research findings in Tribology developed at the International Maritime University of Panama (IMUP), in which we continue the path outlined since 2012, when we started research on metals: Austenite, Ferrite, Martensite (Perez, Tanaka, & Jibiki, 2013) (Perez, Tanaka, & Sugawara, 2013), results that show the basic characteristics of the volume released when two bodies slide or rotate on a center, as is the case with the axes of a motor in motion. In addition, other of the results shown are the observations on the tendency to form modes (Perez, Tanaka, & Jibiki, 2013) and (Perez, Tanaka, & Sugawara, 2013) Given these analyzes, we have continued with new experiments that have led us to verify the wear behavior in magnetic environments, long periods and incorporation of other metals.

**Key Words:** Austenite, Ferrite, Martensite, Environment.

## 1. Introducción:

Hoy ante la creciente demanda de materiales para la industria del transporte y la defensa, se hace necesario la búsqueda de nuevos conocimientos que nos permitan el máximo rendimiento de los materiales, vía el uso de las aleaciones existentes y el desarrollo de nuevas técnicas. La industria exige a la ciencia un mayor conocimiento de los materiales utilizados y su uso adecuado. Es la Tribología, la ciencia indicada para proveer el perfil de los conocimientos de las propiedades de los metales en condiciones de desgaste y uso continuo. Una vez que los fabricantes realicen el diseño de un prototipo, en el caso del hierro y cualquiera de sus variantes, es necesario conocer los efectos de los diversos tratamientos utilizados en metalurgia como lo son el endurecimiento o los procesos de enfriamiento sobre el metal. Hemos diseñado una serie de experimentos utilizando dos especímenes uno fijo y otro variable o en

movimiento del mismo material, lo cual a través de su contacto (el uno con el otro) producen un desgaste en condiciones de carga variable. Así, mientras el cuerpo gira a una velocidad constante, utilizando un programa de computadora registramos el desgaste y calculamos el volumen del material desprendido, esta información es graficada, en conjunto con otros parámetros que se obtienen como lo es la vibración del cuerpo, el tiempo y la proporción del recorrido. Estos experimentos nos permiten analizar los metales y cuál es la velocidad del desgaste bajo diversas cargas y/o condiciones especiales como lo son la lubricación, la temperatura, o la variación del espécimen. Esta investigación busca con la experimentación determinar el desgaste de las piezas en movimiento en los motores o los equipos en desplazamiento.

**2. Desarrollo y Proceso de los Experimentos:**

Una de nuestras metas es alcanzar un estudio analítico y profundo para ello utilizaremos pruebas, un equipo compuesto principalmente por un torno, al cual se le acopló una computadora, una cámara, circuitos de control

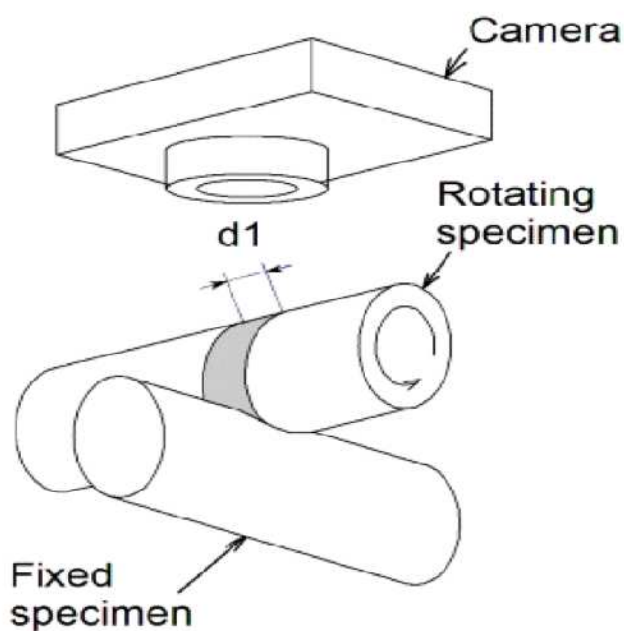
adecuados para el registro periódico del desgaste, sensores para medir la vibración, desarrollándose cada evento en una, dos o veinticuatro horas, en las cuales se utilizan programas de análisis y estudios que nos permiten llegar a conclusiones.



*Figura 1. Vista general del torno utilizado en los experimentos de desgaste de metales.*

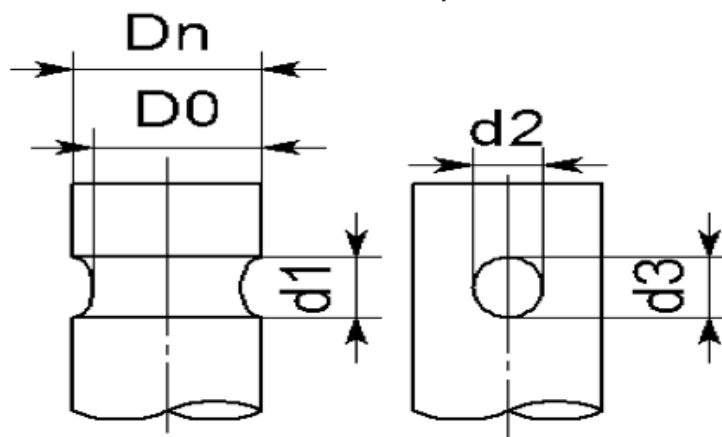


**Figura 2.** Vemos el arreglo de las muestras y su geometría espacial, la cual permite formular las funciones que posteriormente se van a usar en la evaluación de los resultados experimentales, como en la figura. Los especímenes son cilíndricos, de superficie pulida de acero inoxidable (endurecido o sobre endurecido). También el siguiente arreglo, el parámetro  $d1$ , determina experimentalmente la relación de desgaste.



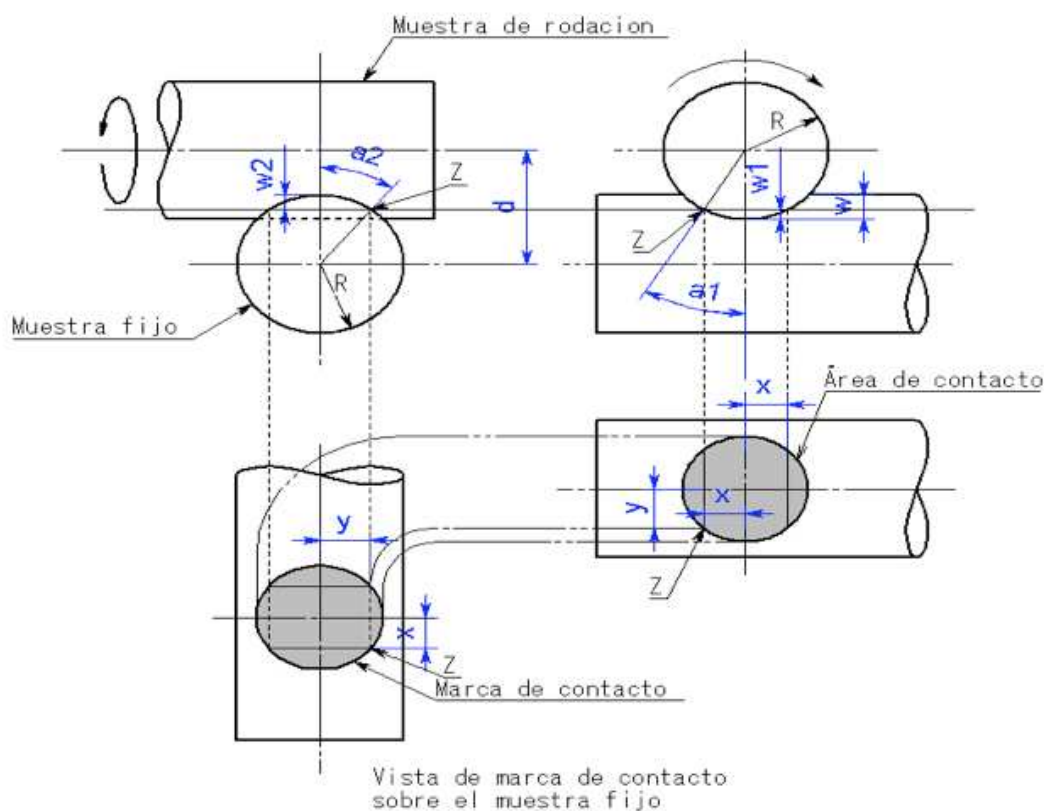
**Figura 3.** Distribución espacial de las muestras y el parámetro  $d1$ .

En la figura 4 presentamos la geometría de las muestras (tanto de la fija como de la móvil) y la distribución de las variables  $d1$ ,  $d2$  y  $d3$ .



**Figura 4.** Geometría de las muestras.

Finalmente, en la figura 5 se muestra el análisis de variables para el cálculo del material de desgaste:



**Figura 5.** Variables geométricas definidas sobre la muestra.

### 3. Modos:

Nuestro estudio inició con una investigación básica; exploramos las características determinantes del desgaste en el acero inoxidable a través de pruebas con Ferrita, Martencita y Austenita, en periodos de media hora y en condiciones de ambiente tropical promedio; observamos la formación de tres modos en la curva de desgaste, modos en los cuales pudimos determinar lo siguiente:

- **Modo 1**, Se inician las condiciones de desgaste, donde el material establece las condiciones de suficiencia que se van a dar en el Modo 2, el cual se utiliza, como lubricante.
- **Modo 2**, Se presenta un desgaste severo y comienza a estabilizarse la curva de desgaste, tiene una constante, si las condiciones de los parámetros o variables externas permanecen constantes.
- **Modo 3**, Se reúnen las condiciones de lubricación producidas anteriormente por las partículas adicionales, las cuales se han acumulando, depende del tamaño y la oxidación, ya sea porque el desgaste se acelere o retarde.

De allí concluimos, la necesidad de explorar en detalle los MODOS, en un periodo siguiente, ya sea, el diseño de una serie de nuevos experimentos.

En el Modo 1, se presenta una cantidad muy pequeña de desgaste con surcos de 0.01mn de profundidad.

En el Modo 2, la media de la ralladura aumenta por la fricción (0.2mm) y el material de desgaste es el resultado de una mayor vibración (Ver figura 7).

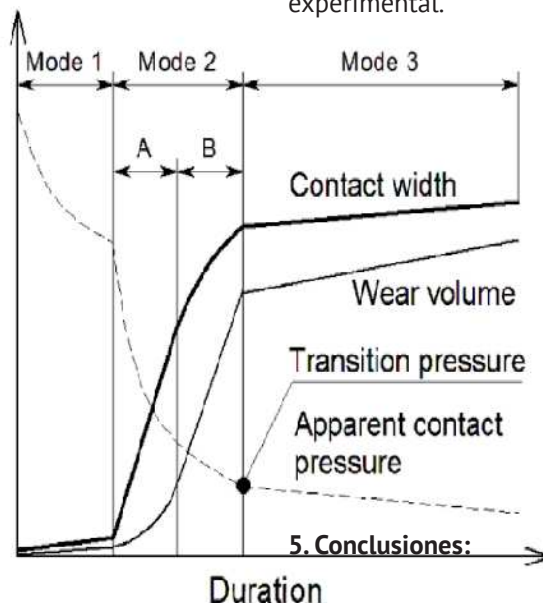
En el Modo 3, la vibración se reduce, la superficie de contacto metálico cambia a negro o chocolate y, a diferencia de lo anterior, las partículas son más finas las cuales se debe a la oxidación. En este MODO el coeficiente de fricción se reduce y hay una buena definición de la curva del desgaste.

La definición de los MODOS y los efectos de desgaste son el resultado en las pruebas de lubricación, nos llevan a medir la fricción generada por el contacto de las superficies, en una forma más detallada y definida en el transcurso de las pruebas.

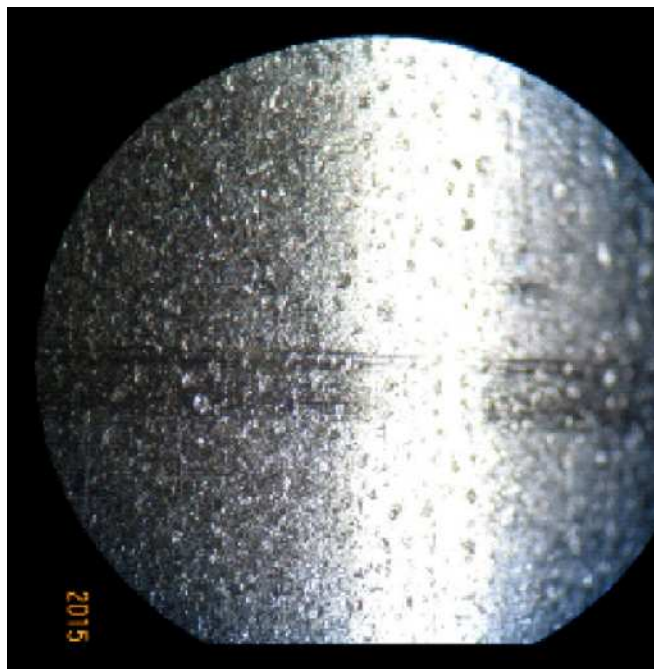
La búsqueda de una explicación definitiva dentro de la Tribología nos ha llevado a desarrollar, nuevas pruebas con controles más específicos, por ejemplo:

- La temperatura
- El magnetismo
- Periodos de Stop/Run
- Otros metales
- Experimentos de 24 horas

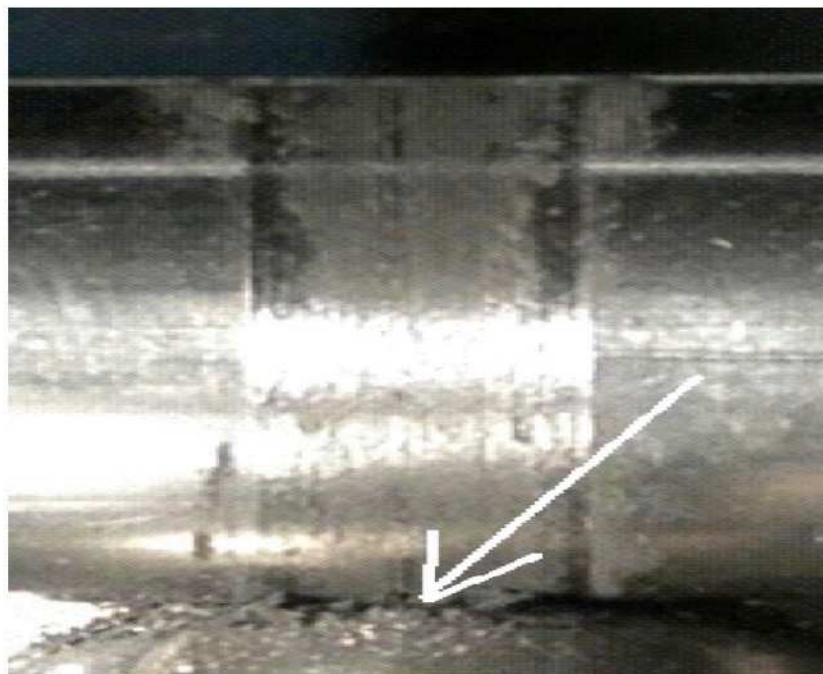
La recolección de los datos, el análisis profundo y las técnicas utilizadas nos han permitido obtener calidad experimental.



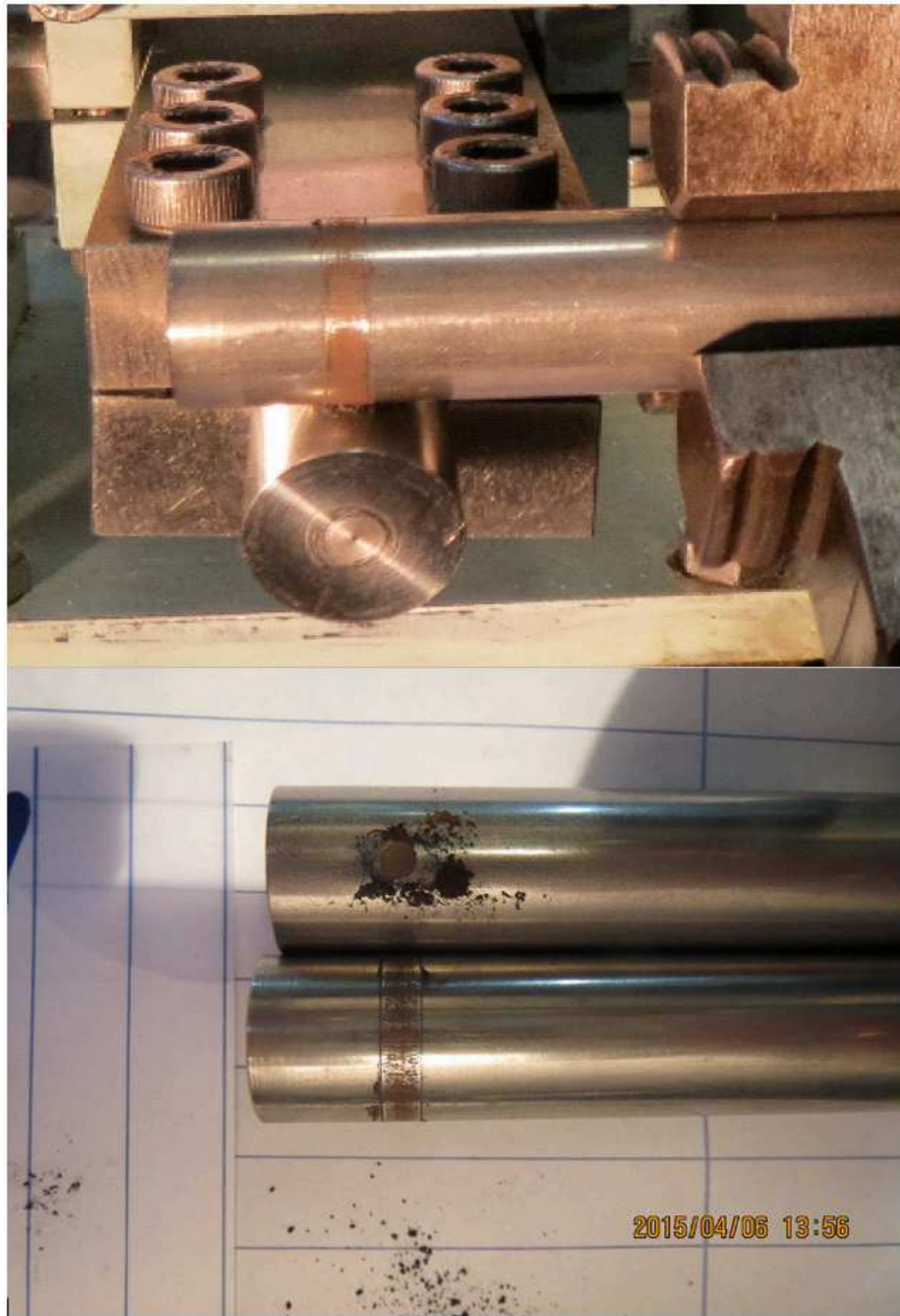
**Figura 6.** Los tres modos de desgaste



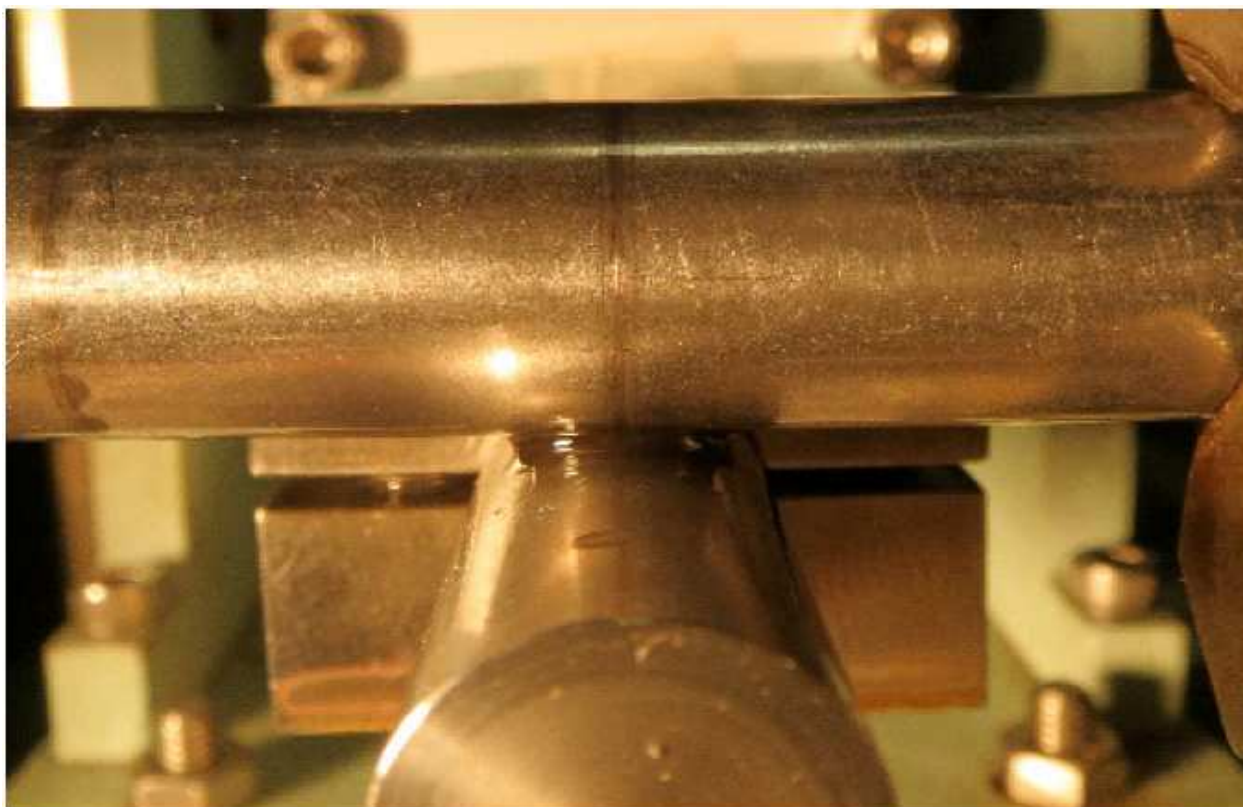
**Figura 7.** Muestra de micro-foto obtenida en la Universidad de Panamá, la cual permite observar los surcos de la superficie del espécimen.



**Figura 8.** Observamos surcos formados por el desgaste del metal en una vista más panorámica. Se aprecian la formación del polvo producto del desgaste. Los nuevos estudios tienden hacia una investigación más detallada de los polvos o residuos del desgaste.



**Figura 9.** Observamos la secuencia del experimento 311, muestra de la oxidación en el área ligeramente chocolate.



*Figura 10. En el experimento 338 se muestra de una forma experimental el uso de un lubricante suave, el cual presenta una ligera suavidad en el desgaste.*

#### 4. Análisis de los datos:

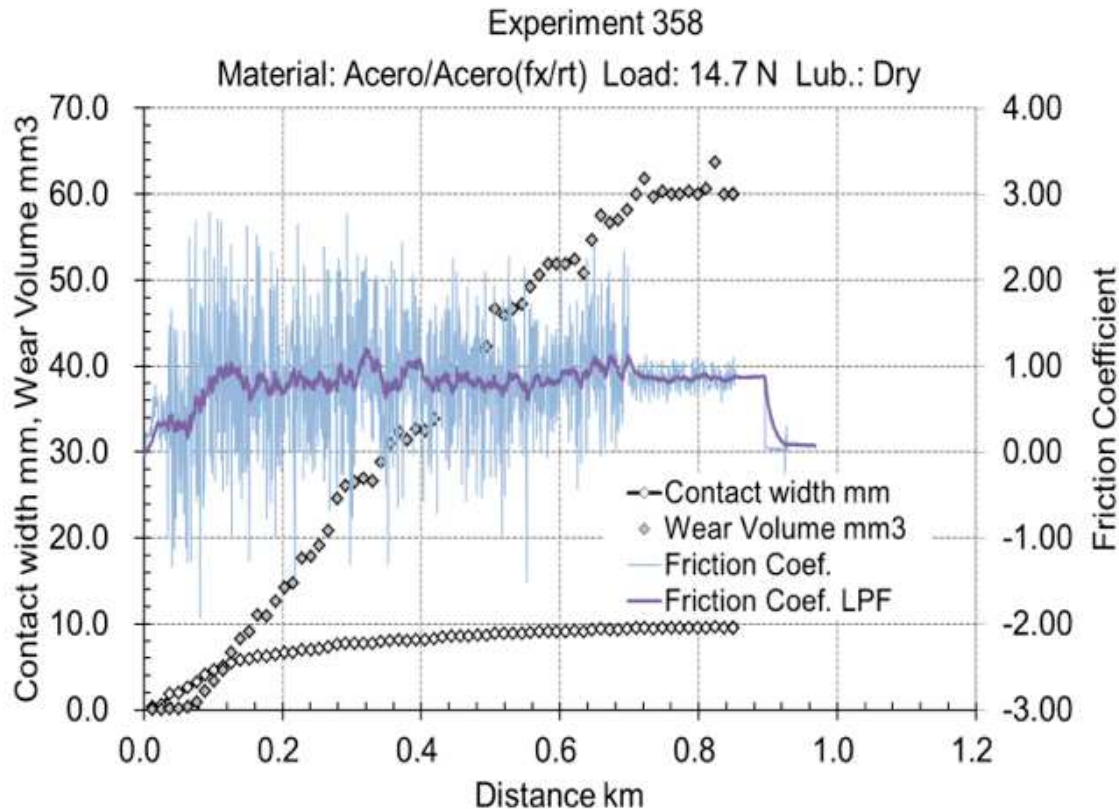
El análisis de los datos ha requerido nuevas variables a medida que la investigación avanza, para determinar los criterios. Creamos una serie de procedimientos flexibles para las diversas pruebas realizadas, por ejemplo:

- Experimentos de muestras similares
- Experimentos mixtos
- Experimentos en seco (y sus variantes)
- Experimentos con lubricación
- Experimento stop/run
- Otros metales

- Otros casos especiales (sensores de temperatura, stop/run y/o 24 horas)

En la gráfica 1 seleccionamos una muestra de un experimento desarrollado sin lubricación para un espectro de cargas muy amplio. Es valioso, en términos del análisis esta circunstancia, ya que como en los experimentos anteriores de este MODO, se acentúa mayor fricción en las pruebas.

**Grafica 1.** podemos observar la tendencia al utilizar un valor “más probable” que se acerca a una función lineal durante el MODO 2, pero para este conjunto de pruebas también vemos que esta tendencia lineal se amplía en un 80%, reduciendo el MODO 1 y el MODO 3 en el desgaste.



Dentro del desarrollo del presente estudio hemos revisado los planes ya desarrollados anteriormente que consisten en la ejecución de los experimentos de desgaste con tiempo definido de especímenes fijos y en movimiento de la misma clase: Martensita vs Martensita, Ferrita vs Ferrita y Austenita vs Austenita; utilizando para ello un número de cargas determinado. La visión de esta planificación nos llevó a profundizar más los estudios anteriores en el aspecto matemático, partiendo así de los modos que hemos observado y concluido que se dan. Estos modos nos han permitido llegar a una correlación del volumen de desgaste, que nos lleve a una función general, hasta los experimentos sin lubricantes, expresada en la siguiente fórmula:

$$VW = k (d1^n / dS) \quad 1$$

en donde VW es el volumen de desgaste, k es una constante encontrada, d1 es el área de desgaste experimental, n es el exponente encontrado y dS es el diámetro de la muestra. El valor más importante encontrado en nuestros cálculos a través del estudio de la correlación es:

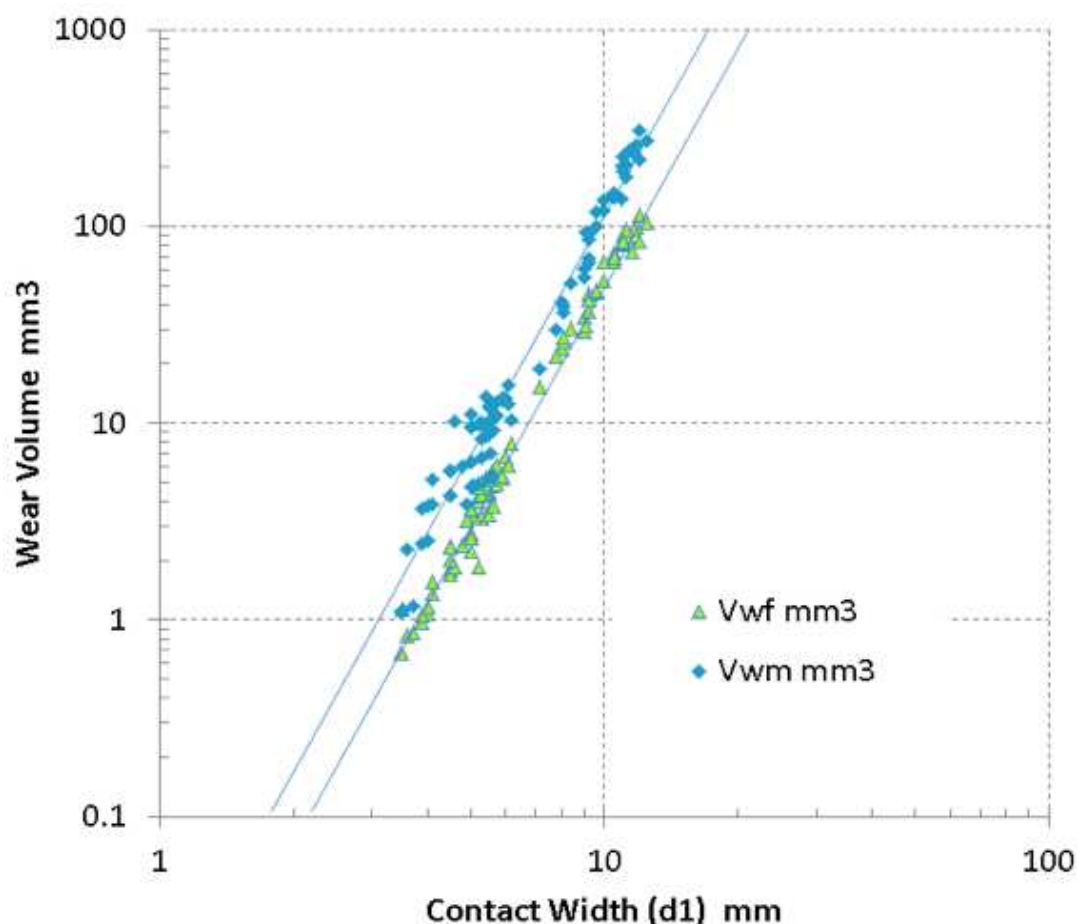
$$VW = 0.12 (d1^4 / dS) \quad 2$$

Al llegar a una función general que nos proporcione el volumen de desgaste por fricción de piezas en movimiento, nos es posible conocer más acerca de la vida útil de los equipos y lo que es importante hoy: su mantenimiento en la industria automotriz y en la mecánica en general.

Observamos en este artículo algunos resultados preliminares de los experimentos de Tribología desarrollados en la Universidad Marítima Internacional de Panamá; sin embargo, hemos continuado el estudio de desgaste de metales de forma amplia, revisando algunos experimentos, principalmente aplicando el análisis de los mismos, con lubricantes. Así, entre los

parámetros explorados figuran las dimensiones del surco y las dimensiones de los granos que componen el polvo desprendido; medidas que utilizan otros equipos especializados los microscopios de alto poder de resolución utilizados de la Universidad de Panamá y/o Universidad Tecnológica de Panamá.

**Grafica 2.** Resultados experimentales para  $d_1$ , sin lubricantes, los resultados del volumen de desgaste en  $\text{mm}^3$  (donde VWF es la muestra fija y VWM es la muestra móvil) y los resultados de la correlación que permitió hacer los cálculos de  $k$ .



---

**Bibliografía**

- (1) Saúl Soto Molina, Lubricación Técnica de Maquinaria, Editorial Trillas, ISBN: 968-24-7097-9, México 2005.
  - (2) Marine Engineering, Vol. 48 No.4, ISSN 1346-1427, Japan 20013
  - (3) Marine Engineering, Vol. 48 No.5, ISSN 1346-1427, Japan 20013
  - (4) Buenas técnicas.com/ensayos/reportes-tribología-.c/3660917.htm/reportes de tribología
  - (5) Scienti.co/ciencia.go.co:8080/grup/ag/jsp/visualiza/grupo de investigación en comisión, tribología y ensayo.
-