

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TRIBOMETRO DE CILINDROS CRUZADOS, BAJO NORMA TÉCNICA ASTM G83 – 96.

### Design and Construction of a Cylinders crossed machine, under ASTM G83 – 96 Technical Standard.

#### RESUMEN

El conocimiento de las características mecánicas de los materiales que se utilizan en la construcción de máquinas que suplan los requerimientos tanto de las personas como de la industria es un factor importante en el diseño y mejoramiento de las mismas. El desgaste de los materiales ha sido un fenómeno que siempre se ha evidenciado buscando combatirlo y prevenirlo. Durante el desarrollo de esta investigación se diseñó construyó y puso en funcionamiento una máquina de cilindros cruzados bajo norma técnica ASTM G83, con el fin de evaluar el desgaste adhesivo de diferentes materiales.

**PALABRAS CLAVES:** Tribología, Desgaste Adhesivo, Tribómetro de Cilindros Cruzados

#### ABSTRACT

*Knowledge of the mechanical characteristics from the materials used in to build machines they meet the requirements of both individuals in the industry is an important factor in the design and improvement of the same. The wear of materials has been a phenomenon that has always shown looking combat and prevent it. During the development of this research was designed, built and put into operation a cylinders crossed machine under technical standard ASTM G83, in order to assess the wear different adhesive materials.*

**KEYWORDS:** Tribology, adhesive wear, cylinders Crussed machine.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desgaste de los materiales ha estado presente desde el mismo momento en que se da inicio a la construcción de los primeros mecanismos mecánicos; la tribología, que no es más que la evaluación del desgaste de los materiales ha tomado vital importancia tanto a nivel industrial como académico.

Desde el punto de vista académico el estudio del desgaste y la fricción constituyen uno de los últimos aspectos de la mecánica clásica que aún presenta importantes interrogantes. Bajo la óptica de la ingeniería, su importancia aumenta en función de las cargas impuestas a los componentes mecánicos y a la constante disminución de las tolerancias permitidas en los procesos de fabricación.

El tiempo de vida útil y confiabilidad de los productos manufacturados están determinados por las propiedades tribológicas (resistencia a la fricción y resistencia al desgaste) del par o de los pares mecánicos que estén en contacto y su movimiento relativo, por lo que el sistema debe diseñarse de forma tal que se pueda obtener un alto rendimiento.

Durante el desarrollo de la presente investigación se diseñó, construyó y puso en funcionamiento una máquina de cilindros cruzaos (tribómetro) bajo los lineamientos de la norma técnica ASTM G83 – 96 [11], con el objetivo de evaluar el desgaste de diferentes materiales. Se determinó la confiabilidad de la máquina según norma ASTM G83 y se consideró que los resultados obtenidos están dentro de los límites permisibles de aceptación.

## 2. MARCO TEÓRICO.

**2.1. TRIBOLOGÍA:** es la tribología la ciencia que estudia la interacción entre las superficies en movimiento y los problemas relacionados con ellas (desgaste, fricción, adhesión y lubricación) [1].

La palabra tribología se deriva del griego “*TRIBOS*” que significa “*ROZAMIENTO*”. Y la investigación en este campo abarca sistemas en donde ocurre:

- Desgaste debido al rozamiento entre dos superficies. (desgaste adhesivo).
- Entrada de partículas en el punto de contacto. (desgaste de tres cuerpos).

#### JOSÉ LUIS TRISTANCHO R.

Ingeniero Metalúrgico, M. Sc.  
Profesor Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
josetris@utp.edu.co

#### LUZ ADRIANA CAÑAS M.

Ingeniero Metalúrgico, M. Sc.  
Profesor Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
luzadriana@utp.edu.co

- Partículas que causan impacto en la superficie. (erosión).
- Desgaste debido a la formación y colapso de burbujas de aire a altas presiones. (cavitación).

**2.1.1. Fricción:** la palabra fricción se deriva del latín “FRICARE” que significa “FROTAMIENTO” y es usada para describir la pérdida gradual de energía cinética en situaciones en donde los cuerpos o sustancias se mueven relativamente unas con otras y se puede definir como la resistencia al movimiento de un cuerpo cuando este se desplaza sobre el otro. La fricción se puede producir entre un sólido y un gas, conocida como “FRICCIÓN AERODINÁMICA”, entre un sólido y un líquido y se conoce como “FRICCIÓN LIQUIDA” ó se puede producir por procesos de disipación de energía “FRICCIÓN INTERNA” [2].

**2.1.2. Desgaste:** el desgaste se presenta cuando un material es removido o desplazado por el efecto producido entre las superficies interactuantes de dos sólidos en contacto, sometidos a una carga y en movimiento relativo o rodante [3]. El desgaste es el resultado del arranque o desprendimiento de viruta, que se causa por las fuerzas de fricción a través de las áreas de contacto, ver figura 1.

**2.1.3. Adhesión:** la adhesión es la capacidad para generar fuerzas normales entre dos superficies después de que han sido mantenidas juntas. Es decir, la capacidad de mantener dos cuerpos unidos por la generación anterior de fuerzas de unión entre ambos

**2.1.4. Lubricación:** es la lubricación el estudio de los medios utilizados para reducción de la fricción entre dos superficies con movimiento relativo, del comportamiento del entorno y de sus consecuencias [4]. En la actualidad se persigue como objetivo básico, el incremento del tiempo de explotación de los elementos de una máquina, lo que se alcanza con un diseño, montaje y explotación adecuados. Dentro de las condiciones de trabajo de los equipos juega un papel vital la lubricación, con el fin de evitar el contacto metal-metal de las superficies, lo que hace que disminuya la fricción, el desgaste, las pérdidas de energía y se incrementa la vida útil de dichos elementos.

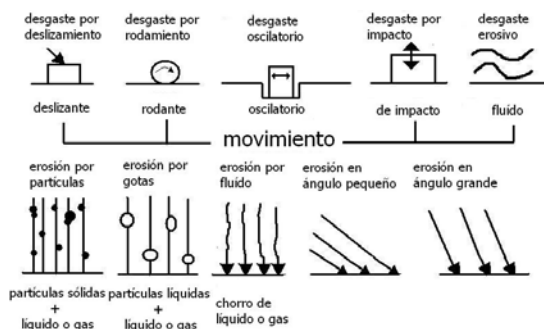


Figura 1. Tipos de Desgaste

**2.2. SUPERFICIES DE CONTACTO:** el desgaste se caracteriza por ser un proceso de daño de la superficie debido al contacto mecánico del material. Independiente de cualquier modo especial de desgaste, el tipo de contacto mecánico es muy importante. Los rugosímetros registran las irregularidades en las superficies con diferentes magnificaciones en las direcciones vertical y horizontal. Normalmente la magnitud vertical es mayor que la horizontal. Debido a estas diferencias los perfiles registrados no representan la realidad de las irregularidades de la superficie. La verdadera forma de la superficie consiste más en picos con ángulos de inclinación respecto a la línea base menor a 15°. Para la evaluación de los modelos de desgaste es muy importante considerar la diferencia entre la superficie registrada y la superficie real [5].

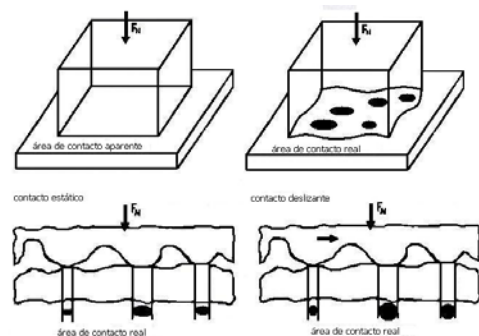


Figura 2. Área de Contacto Aparente y Real.

Cuando dos superficies nominalmente planas y paralelas se juntan, e contacto ocurre inicialmente en solo unos pocos puntos a medida que la carga normal se incrementa, las superficies se acercan y un mayor número de áreas o asperezas entran en contacto. Ya que las asperezas proveen los puntos en los que las superficies se tocan, son responsables de soportar la carga normal en la superficie y de generar cualquier fuerza friccional que actúe entre ellas [6]

**2.2.1. Mecánica de Contacto:** la fricción y el desgaste de dos superficies sólidas en contacto sin lubricación dependen del tipo de deformación de las irregularidades superficiales envueltas [7]

**2.2.1.1. Deformación Elástica:** el desplazamiento elástico del material por las asperezas de la contracara tiene lugar cuando la carga aplicada y la adhesión no conlleva a la aparición de esfuerzos en la zona de contacto, que excedan el límite de fluencia del material, en este caso el daño del material o desgaste solo puede ocurrir bajo fatiga por fricción.

**2.2.1.2. Deformación Plástica:** cuando a dos cuerpos presionados uno contra el otro, se les aplica una fuerza que sobrepasa el valor crítico “LÍMITE ELÁSTICO”, se desarrolla una zona plástica rodeada de material deformado elásticamente.

**2.2.1.3. Microcorte:** el microcorte tiene lugar cuando los esfuerzos de contacto en la deformación alcanzan valores lo suficientemente grandes como para producir daño o perturbación de las condiciones del flujo del material deformado alrededor de la aspereza penetrante. En este caso, el daño ocurre al mismo tiempo que la interacción. La velocidad, la temperatura y el medio, juegan un papel importante.

**2.2.1.4. Perturbación de la Adhesión:** la perturbación de la adhesión del enlace de fricción a lo largo de la propia superficie en el cual éste surge, no conlleva directamente a un daño, pero si contribuye a aumentar los esfuerzos de contacto y a la generación de deformaciones que acompañan simultáneamente los procesos de fatiga.

**2.2.1.5. Ruptura Cohesional:** la ruptura de cohesión surge cuando el enlace de fricción es mayor que la resistencia del material subyacente y provoca rasgaduras a ciertas profundidades. En este caso, al igual que en el microcorte, el desgaste tiene lugar al instante de la interacción, variando el relieve superficial y provocando el desprendimiento de partículas de configuraciones irregulares. En las condiciones de contacto plástico puede apreciarse severas indentaciones.

**2.3. TRIBÓMETROS:** un tribómetro es un mecanismo mediante el cual se puede determinar la resistencia al desgaste de un material cuando se pone en contacto con otro y existe movimiento relativo entre ellos, en un determinado medio.

Las investigaciones tribológicas y los avances tecnológicos de métodos que permitan simular los diferentes mecanismos de la fricción y el desgaste, han hecho posible la construcción de los tribómetros, de acuerdo a cada sistema de desgaste y dentro de los que se destacan [8, 9, 10, 11]:

- Máquina de Cilindros Cruzados.
- Máquina de Perno contra Disco.
- Máquina de Líquidos Impactantes.
- Máquina de Disco sobre Película Abrasiva.
- Máquina de Arena y Disco Plástico.

Ya que los tribómetros permiten analizar el comportamiento de un par tribológico, para determinar su utilidad y aplicación, se pueden nombrar algunos pares tribológicos conocidos como son:

- Rodamientos.
- Sellos.
- Anillos de Pistones.
- Cepillos.
- Embragues.
- Frenos.
- Levas

Otras aplicaciones de los conocimientos tribológicos se dan en:

- Motores Eléctricos y de Combustión.
- Turbinas.
- Extrusión.
- Rolado.
- Fundición.
- Procesos de Corte.
- Prótesis Articulares.

**2.4. ENSAYO ESTÁNDAR PARA MEDIR EL DESGASTE CON APARATO DE CILINDROS CRUZADOS:** la norma técnica ASTM G83 – 96 estandariza el ensayo de desgaste con un equipo de cilindros cruzados [11].

Este método de ensayo consiste en una prueba de laboratorio para determinar el desgaste por fricción entre dos materiales. Durante la prueba la fricción ocurre entre un cilindro rotativo y otro estático cuyos ejes están dispuestos perpendicularmente. El ensayo se puede realizarse a diferentes materiales, siempre y cuando las dimensiones específicas puedan lograrse y que soporten los esfuerzos producidos durante la prueba sin fallar y sin mostrar flexión excesiva, además debe conocerse su composición, tratamientos térmicos a que se halla sometido y su dureza.

Las probetas que se han de someter a estudio deben tener las siguientes dimensiones 12,7 mm. (0,5 pulg.) de diámetro y 102 mm. (4 pulg.) de largo, ver figura 3.

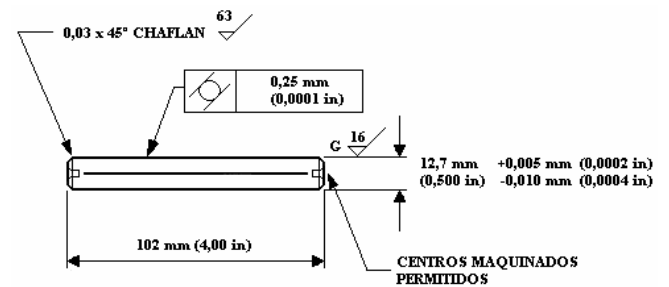


Figura 3. Especificaciones de la Probeta.

La norma técnica define tres tipos de ensayo cada uno de ellos con diferentes parámetros de carga y diferentes velocidad de ensayo, estos parámetros se indican en la tabla 1.

Procedimiento	Fuerza Aplicada. <sup>X</sup>			Revoluciones	Velocidad (rpm) <sup>Y</sup>
	(N)	(Kgf)	(lb)		
A	71,2	7,26	16	80000	400
B	71,2	7,26	16	40000	400
C	71,2	7,26	16	10000	100

<sup>X</sup>Tolerancia en la Fuerza ± 3%

<sup>Y</sup>Tolerancia en la Velocidad ± 2%

Tabla 1. Parámetros de la Prueba.

### 3 DISEÑO DE LA MÁQUINA.

**3.1. Máquina de Cilindros Cruzados según Norma ASTM G83:** la norma ASTM G83 presenta una descripción general de la máquina de cilindros cruzados, esta consta de una transmisión por correa, un protaprobeta (para sostener la probeta rotatoria), un brazo (para sostener la probeta estática) y un sistema que permita a la probeta estática estar siempre en contacto con la probeta rotatoria con la aplicación de una carga controlada.

**3.2. Descripción del Equipo Diseñado y Construido:** Teniendo en cuenta los requerimientos indicados en la Norma ASTM G83 se determinaron la estructura del equipo, los sistemas de transmisión, el sistema de aplicación de la carga, el sistema de medición y el montaje de las probetas.

**3.2.1. Motor y Sistema de Transmisión de movimiento:** Se seleccionó un motor trifásico de  $\frac{3}{4}$  HP al que se adecuó un variador de frecuencia para garantizar las velocidades exigidas por la norma. El montaje del motor se realizó de forma tal que la prueba no se vea afectada por las vibraciones de este. Figura 4.

**3.2.2. Sistema de Sujeción de la Probeta Rotatoria:** se seleccionó un par de portaherramientas de tres dientes a los cuales se les transfiere el movimiento del motor por medio de ejes de sección circular con acople directo al motor; para la selección del portaherramientas se tuvo en cuenta tanto el diámetro de la probeta como el diámetro obtenido en el diseño del eje. Figura 4.

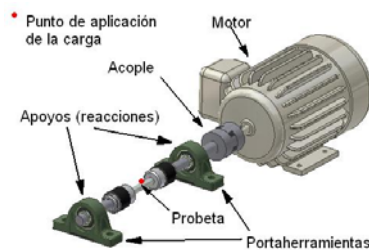


Figura 4. Esquema del Eje Rotatorio y el sistema de sujeción de la Probeta Rotatoria.

**3.2.3. Sistema de Sujeción de la Probeta Estática y Sistema de aplicación de la Carga:** para aplicar la carga requerida en la prueba, se diseñaron dos pesas a las cuales van unidos los portaprobetas, estas pesas se montan en deslizadores que permitan que por efecto de gravedad la carga sea aplicada homogéneamente y que las probetas siempre estén en contacto. Como portaprobetas se usan un par de portaherramientas de tres dientes que están unidos a las pesas. Ver figura 5.

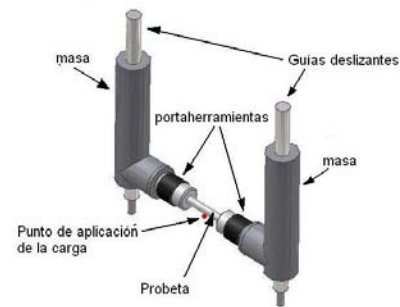


Figura 5. Esquema del Sistema de Aplicación de la Carga.

**3.2.4. Estructura de la Máquina:** se diseñó y construyó en ángulos de acero, de forma tal que sobre ella pudieran montarse los deslizadores para las pesas junto a la probeta estática y los rodamientos para la probeta rotatoria, con un suficiente espacio en la parte inferior para ubicar el sistema de recolección del material perdido por las probetas durante la prueba. Figura 6.



Figura 6. Máquina de Cilindros Cruzados diseñada y construida.

### 4. VALIDACIÓN DEL EQUIPO DE CILINDROS CRUZADOS DISEÑADO Y CONSTRUIDO.

Se seleccionó el acero AISI SAE 1020 para realizar sobre él los ensayos de validación del equipo de cilindros cruzados diseñado y construido. Para realizar los ensayos sobre este material se determinó el procedimiento C, debido a las características presentadas por el mismo.

De acuerdo a la norma se debe seguir las siguientes condiciones:

- Velocidad: 100 rpm.
- Revoluciones: 10000 rev.
- Carga: 71,2 N.
- Duración: 100 min.

Los valores reales reportados son los siguientes:

- Velocidad: 108 rpm.
- Revoluciones: 9936 rev.
- Carga: 70,24 N.
- Duración: 92 min.

Las probetas se prepararon de acuerdo a la norma ASTM G83 y presentaron las siguientes características:

- Diámetro: 12,7 mm.
- Longitud: 100 mm.
- Rugosidad: 0,34  $\mu\text{m}$ .

Antes y después de realizar los ensayos se tomaron los pesos individuales de cada una de las probetas, mediante el uso de una balanza analítica, y se midió la velocidad y el tiempo total de la prueba, siendo estas variables determinantes en el cálculo del coeficiente de fricción, adicionalmente se evaluaron los pérdidas parciales de masa del par tribológico durante la prueba para obtener las curvas de desgaste que indican el comportamiento del par.

Mediante el desarrollo de las pruebas se busca determinar el coeficiente de desgaste del par tribológico, las curvas de desgaste y el coeficiente de fricción vs el tiempo. Para dar validez a estos no debe ser menor al 15%, ni mayor al 30% entre ellos (precisión) y respecto a otro equipo certificado de otro laboratorio (exactitud). El equipo tomado como referencia fue el perteneciente al laboratorio de tribología de la Universidad Industrial de Santander UIS.

En la tabla 2 se muestra la comparación de los coeficientes de fricción obtenidos en el quipo construido y los de referencia.

K	Kref	% $\Delta$
7,72E-03	7,85E-03	1,64%
8,19E-03	7,85E-03	4,29%
8,18E-03	7,85E-03	4,24%
8,48E-03	7,85E-03	8,08%
7,66E-03	7,85E-03	2,47%

Tabla 2. Comparación de los coeficientes de fricción obtenidos con los de referencia.

Los valores obtenidos se encuentran de los límites permitidos por la norma.

Los datos de coeficiente de fricción se muestran en la tabla 3.

Tiempo [min.]	Masa desgastada [g]	S [mm]	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	K
5 3/4	0,0177	24777	2,2519	1,13E-03

11 1/2	0,0992	49554	12,6209	3,17E-03
17 1/4	0,1778	74330	22,6209	3,78E-03
23	0,3172	99107	40,3562	5,06E-03
28 3/4	0,4398	123884	55,9542	5,61E-03
34 1/2	0,5668	148661	72,1120	6,03E-03
40 1/4	0,6931	173438	88,1807	6,32E-03
46	0,8195	198214	104,2621	6,54E-03
51 3/4	0,9559	222991	121,6158	6,78E-03
57 1/2	1,0866	247768	138,2443	6,94E-03
63 1/4	1,2169	272545	154,8219	7,06E-03
69	1,3467	297322	171,3359	7,16E-03
74 3/4	1,4771	322098	187,9262	7,25E-03
80 1/2	1,6031	346875	203,9567	7,31E-03
86 1/4	1,7297	371652	220,0636	7,36E-03
92	1,8608	396429	236,7430	7,42E-03

Tabla 3. Datos de pérdida de masa y coeficientes de fricción por intervalos.

Los resultados obtenidos, condensados en formato de reporte de la norma ASTM G83, se muestran en la tabla 4.

Resultado Pruebas de Desgaste Adhesivo AISI SAE 1020				
Tamaño de la Muestra: 5, Acero AISI SAE 1020 – 100 rpm, 9936 ciclos				
Prueba Número.	Pérdida de masa (g.)		Diámetro de la huella (mm.)	Total Desgaste (g)
	Probeta Estática.	Probeta Móvil.		
1	0,6150	1,3205	9	1,9355
2	0,6420	1,4102	9	2,0522
3	0,6829	1,3683	9	2,0512
4	0,7023	1,4246	9	2,1269
5	0,6069	1,3123	9	1,9192
Xprom.	0,6498	1,3672		2,0170
R	0,0954	0,1123		0,2077
d2	2,3260	2,3260		2,3260
s	0,0410	0,0483		0,0893
v	6,31%	3,53%		4,43%

Tabla 4. Resultados (formato Norma ASTM G83).

## 5. CONCLUSIONES.

- Se diseñó y construyó una máquina de cilindros cruzados para ensayos de desgaste adhesivo para el laboratorio de materiales de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Se comprobó que el uso de las teorías de diseño para cargas estáticas y dinámicas garantiza el adecuado funcionamiento del equipo, que la construcción del mismo en base a estas teorías asegura el cumplimiento de los criterios de resistencia de cada elemento diseñado.
- Por medio de la comparación de los resultados obtenidos se validó el funcionamiento del equipo

mostrando que la desviación de los valores obtenidos se encuentra dentro del rango permitido por la norma.

with a Crossed – Cylinder Apparatus. ASTM Standards, 1996, (ASTM G83-96).

## 6. AGRADECIMIENTOS.

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Tecnológica de Pereira por aportar los recursos necesarios para la construcción del Tribómetro de Cilindros Cruzados.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

[1] S. Baez, et. al., “Evaluación del desgaste adhesivo de recubrimientos metálicos duros depositados por procesos de soldadura, con un tribómetro de cilindros cruzados” en *2003 III Congreso Internacional de Materiales*.

[2] I. Hutchings., *Tribology*, 1 ed, Ed. Edward Arnold, 1992, pp. 273.

[3] Ingenieros de Lubricación LTDA, Herramienta eficaz de incrementar la productividad de los equipos. [Online] Available: <http://www.ingenierosdelubricacion.com/articulos>

[4] D. Mesa and A. Sinatora., “El desgaste de materiales, enfrentarlo o dejarlo de lado y asumir los riesgos,” *Scientia et Technica*, pp. 87 – 91, Octubre 2003.

[5] R. Norton, *Diseño de Máquinas*, 1 ed, 199.

[6] M. Rosenberger, et. al., “Estudio comparativo del desgaste de materiales compuestos en diferentes condiciones y equipos,” en *1990 VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos*.

[7] Society of Tribologists and Lubrication Engineers, La Tribología práctica diaria en la industria. [Online] Available: [Http://www.conservaenergia.com/empresas/asociaciones/STLE/para\\_que\\_tribologia.htm](Http://www.conservaenergia.com/empresas/asociaciones/STLE/para_que_tribologia.htm)

[8] M. Vite, et.al., *Necesidades de la enseñanza de la tribología en los programas de Ingeniería de la Universidades Públicas Mexicanas*, México 1994.

[9] M, Vite., M, Florez and V, Villeta., ¿Por qué el desgaste?, 1994.

[10] K, Zum., *Microstructure and wear of materials*, 1 ed. Ed. Elsevier, p.560, 1987.

[11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Wear Testing