

CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA ENSAYO EN DESGASTE ABRASIVO; SEGUN NORMA TECNICA ASTM G-65.

(Construction of machine for test in abrasive wearing; according to technical norm ASTM G-65.)

RESUMEN

Se diseñó, construyó y puso en funcionamiento una máquina tribológica de desgaste abrasivo, según norma técnica ASTM G65, se realizaron ensayos, demostrando la confiabilidad de la máquina bajo esta norma. La máquina permitirá realizar ensayos confiables de desgaste, siendo otra herramienta para evaluar las características de los materiales y así mejorar el conocimiento de la tribología, además se podrá analizar el comportamiento de diferentes materiales, y de esta manera predecir el ciclo de vida de piezas de maquinaria que están sometidas a este tipo de desgaste, para saber cuando cambiar una pieza y ahorrar dinero y tiempo a las industrias.

Palabras Claves: Abrasión, ASTM G65, construcción, desgaste, diseño, máquina, tribología.

ABSTRACT

Design, construct and put into operation a tribology machine of abrasive wearing, according to practical standards ASTM G65, several tests were performed, demonstrating the reliability of the machine under this norm. The machine will allow to perform reliable tests of wearing down, being another tool to evaluate the characteristics of the materials and thus to improve the knowledge of the tribology, in addition the behavior of different materials will be able to be analyzed, and this way to predict the life time of machinery components that are put under this type of wearing down, to know how when is the proper time to change a piece in order to save money and time to the industries.

Key words: Abrasive, ASTM G65, construct, design, machine, tribology, wearing.

1. INTRODUCCIÓN

La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la lubricación, la fricción y el desgaste de partes móviles o estacionarias. La lubricación, la fricción y el desgaste tienen una función fundamental en la vida de los elementos de máquinas. La tribología toma en cuenta aspectos como: El diseño, los materiales de las superficies en contacto, el sistema de aplicación del lubricante, el medio circundante y las condiciones de operación. Impacta prácticamente en todas las piezas en movimiento como: Rodamientos, Chumaceras, Sellos, Anillos de pistones, Embragues, Frenos, Engranajes y Levas. Ayuda a resolver problemas en maquinaria, equipos y procesos industriales tales como: Motores eléctricos y de combustión (componentes y funcionamiento), Turbinas, Compresores, Extrusión, Rolado, Fundición, Forja, Procesos de corte (herramientas y fluidos), Elementos de almacenamiento magnético y hasta prótesis articulares (cuerpo humano).

En forma más amplia, es la ciencia y la técnica de los sistemas en movimiento que se encuentran en contacto mutuo. Estudia y define todos los problemas relacionados con el transporte de carga. Pretende dar una visión conjunta del problema del rozamiento, el desgaste y la lubricación que tradicionalmente se venían estudiando por separado y por tanto abarca la fricción, el desgaste, la lubricación, el diseño, así como muchos aspectos relacionados con la Física, la Química, la Mecánica, la Metalurgia, la Reología, la Fisiología, etc., por lo que se convierte en una auténtica disciplina de Ingeniería. Las tareas del especialista en tribología son las de reducir la fricción y desgaste para conservar y reducir energía, lograr movimientos más rápidos y precisos, incrementar la productividad y reducir el mantenimiento. [1, 2]

Según E. Rabinowicz (1995) las causas de pérdida de utilidad de los objetos materiales son: 15% por anticuado, 15% por descompostura y 70% por deterioro de superficie, siendo aquí donde nos carga el desgaste su factura. El análisis del desgaste es importante porque

JOSE LUDDEY MARULANDA A.

Ingeniero Metalúrgico, Magíster

Profesor Auxiliar

Universidad Tecnológica de Pereira

jmarulanda@utp.edu.co

jmarulanda@yahoo.com

ALBERTO ZAPATA MENESES

Ingeniero Mecánico, Especialista

Profesor Asociado

Universidad Tecnológica de Pereira

azapata@utp.edu.co

CARLOS AUGUSTO ESTRADA

Ingeniero Mecánico, Magíster

Profesor Auxiliar

Universidad Tecnológica de Pereira

carlos_estrada@utp.edu.co

junto con la fatiga y a la corrosión son los problemas que más fallas causan en las máquinas. De estos tres el menos estudiado ha sido el desgaste. La predicción del desgaste es difícil porque no es una propiedad intrínseca del material, sino que depende de todo el tribosistema con el que interacciona el cuerpo que se desgasta. La máquina bajo la norma ASTM G-65, es uno de los ensayos que se hacen a los materiales para conocer sus propiedades frente al desgaste. En la figura 1. Se observa el esquema de una máquina de desgaste según norma ASTM G-65.

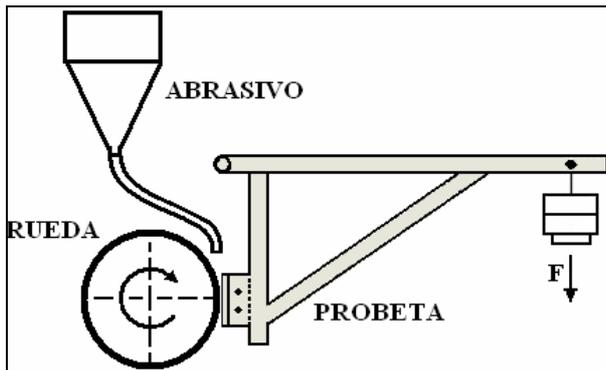


Figura 1. Esquema de la máquina de ensayos de abrasión según norma ASTM G65.

Hoy en día las máquinas son las herramientas más fuertes creadas por los seres humanos, estas realizan trabajos que requieren de exactitud, fuerza, entre otras muchas características que el ser humano sin su ayuda no lograría, el continuo avance requiere máquinas que tengan mejores cualidades en sus materiales, esto garantiza un mejor trabajo y una mayor durabilidad de las piezas que componen las máquinas, por esta razón, es necesario el conocimiento de las características mecánicas y las condiciones a las que van a estar sometidos los materiales. Uno de los grandes problemas que presentan las máquinas es el desgaste abrasivo, este factor se debe tener en cuenta para el diseño de una máquina, es decir, debemos conocer la resistencia a la fricción y al desgaste de los materiales a ser utilizados. Para una correcta selección de estos, debemos realizar ensayos, con lo que se pueden determinar los materiales óptimos a utilizar, y alargar la vida útil de las piezas.

Hay casos, como la adaptación de las superficies durante el rodaje, en los que el desgaste evidentemente es deseable. En general, el desgaste es una consecuencia indeseable del rozamiento entre superficies. El hecho de que un componente se desgaste excesivamente nos conduce a la destrucción de la máquina tras superar cierto límite, creando la necesidad de reemplazarlo antes de traspasar el límite citado. Un método de reducir la fricción y a menudo el desgaste consiste en lubricar las superficies. El estudio de la lubricación está muy relacionado con la fricción y el desgaste. [3, 5]

Incluso en ausencia de un lubricante exterior, los agentes atmosféricos, en especial el oxígeno y la humedad pueden actuar como verdaderos lubricantes y deben tenerse en cuenta en cualquier estudio de superficies en contacto. La causa de la sustitución del 50% de los elementos de máquinas en la industria y el transporte es el desgaste abrasivo, pudiendo llegar al 85% en caso de la maquinaria agrícola; pero a la vez es la base sobre la cual se sustenta varios métodos de elaboración de materiales, como son: el pulido, esmerilado, el lepeado, etc. Como desgaste abrasivo se entiende la modificación de las capas superficiales de los cuerpos sólidos producto de la acción de asperezas o partículas libres de alta dureza al deslizarse sobre otra superficie de menor resistencia mecánica. [7, 8]

2. DISEÑO DE LA MÁQUINA

Para el diseño de esta máquina se seleccionó un motor de un caballo de fuerza, 2 chumaceras de 1 pulgada, un juego de poleas de 3 pulgadas y 4 pulgadas, además un disco de acero 1020. La regulación de la velocidad de rotación del motor se hizo por reducción por medio de poleas.

Para calcular la potencia requerida, de acuerdo a la carga máxima según la norma técnica ASTM G 65, se halló el momento torsor (M_t), el cual es causado por la fuerza de fricción que actúa tangente a la fuerza hacia arriba, para luego hallar la potencia requerida en el disco (p_{rd}), teniendo en cuenta las eficiencias de los rodamientos y de la transmisión por correas y así calcular la potencia requerida en el motor. Para diferentes valores de la velocidad de rotación (n) del disco se obtiene la figura 2.

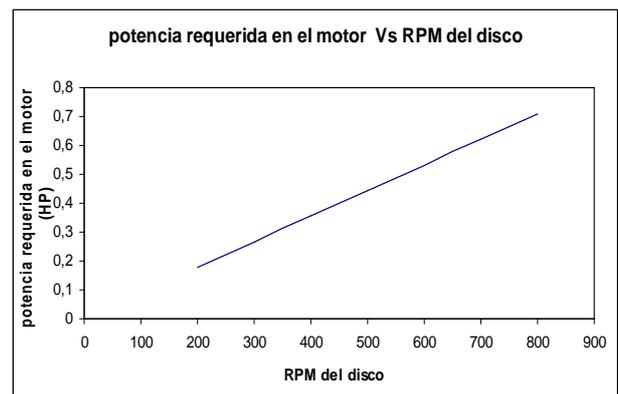


Figura 2. Potencia requerida en el motor Vs rpm del disco

Para seleccionar la relación de transmisión partimos de la potencia requerida en el motor P_r , de la figura 2, tenemos que $P_r = 0,177HP$, ahora se analizará el comportamiento del motor. Según la figura 3, se tiene

que para una potencia de motor, $P_M = 0,177HP$ las $RPM = 554$, el cual obedece a un punto de operación de 33,37 % con respecto a las RPM nominales. La relación de transmisión se encuentra bien seleccionada dado que la potencia del motor es mayor a la potencia requerida, como se observa en la figura 3. Para calcular la relación de transmisión de las poleas 3 y 4, se partió de la consideración de que las rpm, de la polea 3 y la polea 2 son iguales por estar montadas sobre el mismo eje, y con la Potencia de diseño hallar la eficiencia de poleas y rodamientos respectivamente, hallando Velocidad periférica y Potencia nominal por correa.

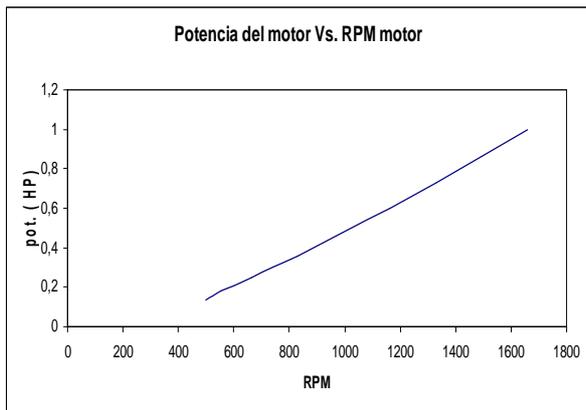


Figura 3. Potencia del motor Vs rpm del disco

El diseño de los ejes se realizó por fatiga. Sobre el eje dos tenemos montadas la polea 2 y la polea 3 cuyas masas son 2.2 lb. y 1.76 lb. Respectivamente. Sobre el eje tres se tienen montadas la polea 4 y el disco vulcanizado.



Figura 4. Esquema del eje 3 de la máquina de abrasión.

2.1. Fuerza aplicada a la probeta

La fuerza aplicada a la probeta es una condición de las pruebas a realizar en este caso se diseñó según las condiciones de las pruebas indicadas en la norma ASTM G-65. Las variables a tener en cuenta para cumplir las fuerzas aplicadas a la prueba son las siguientes.

- Fuerza en la probeta ocasionada por el ensamble del brazo más la probeta.
- Se asume fricción igual a cero en el buje del brazo
- Los contrapesos

Para hallar esta fuerza se requiere el peso de ensamble más el centro de gravedad de este sistema, el cual se halló de varias formas y finalmente se tomó estos datos:

Masa del ensamble = 2103 g, Centro de gravedad = 136 mm en X, y 136 mm -1/2in en Y. La masa son las siguientes: Para $R = 45N$, $m_c = 0,9245 Kg$. Para $R =$

130 N, $m_c = 4,4081 Kg$. En este caso los pesos son de acero AISI 1020 normalizado, cuya densidad es

$\rho = 7780 \frac{Kg}{m^3}$ y dimensiones, $D = 3in = 76,2mm$ y

$d = 10mm$. En la figura 4, se observa el diagrama de cuerpo libre del brazo.

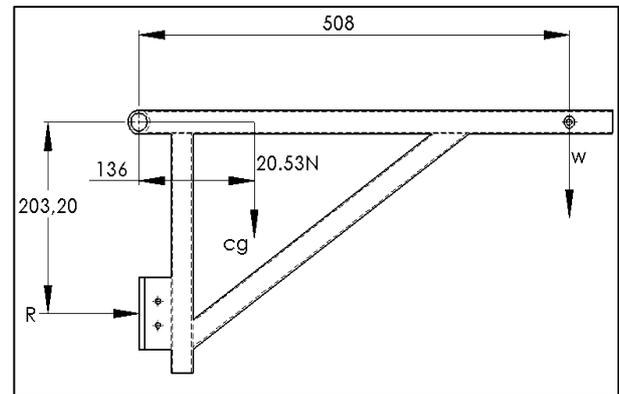


Figura 5. Diagrama de cuerpo libre del brazo

2.2. Análisis de la resistencia de la estructura

Para la construcción de la estructura se utiliza un tubo cuadrado calibre 16, el cual es fabricado con acero estructural ASTM A 36. El análisis del comportamiento de la estructura, se realizó con el programa COSMOSWorks utilizando el criterio de máxima tensión de von Mises, el cual se basa en la teoría de la energía de cortadura o la teoría de la energía de distorsión máxima. La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión. Sin embargo, COSMOSWorks permite utilizar el límite de tensión de tracción/ruptura o establecer el límite de tensión.

2.3. Las características de la arena

La arena con la que se realiza la práctica debe ser arena AFS 50/70, es decir cumplir con las especificaciones

mostradas en la tabla 1, uno de los requisitos fundamentales para la realización de la prueba, es que la arena este completamente seca, la humedad relativa debe ser menor o igual al 0.5%.

El flujo de arena para la prueba debe estar entre 300 a 400 gpm, esta variable, es garantizada por la sección de salida de la de la boquilla, para lo cual debe examinarse que no se encuentre tapada, o con cualquier defecto que modifique el área de salida de la arena ya que esto ocasionara medidas erróneas. Antes de comenzar la prueba se debe garantizar una cortina uniforme de arena (flujo laminar).

Tamiz (U.S size)	Tamaño de la abertura del tamiz	% Retenido en el tamiz
40	425 μm (0.0165 in.)	no
50	300 μm (0.0117 in.)	5% max
70	212 μm (0.0083 in.)	95% min
100	150 μm (0.0059 in.)	no pasa

Tabla 1. Características de la arena para realizar la práctica de abrasión AFS 50/70,

2.4 La velocidad de la rueda vulcanizada

El motor tiene una potencia nominal de 1 hp y velocidad nominal de 1660 rpm, la maquina cuenta con una reducción por poleas, la cual reduce la velocidad angular para obtener las rpm requeridas por la norma técnica ASTM G-65 (200 ± 10 rpm). Como la eficiencia de la transmisión por poleas depende de que estas se encuentren alineadas y debidamente tensionadas, lo que implica que se debe hacer una revisión de estas variables antes de utilizar la maquina. De no encontrarse en un estado satisfactorio deberán realizarse las correcciones.

2.5. Probeta

Es la pieza sobre la que se realiza el desgaste, y proporciona el dato para el cual fue diseñada la maquina (perdida de material en mm^3), la cual se determina midiendo la perdida en masa y dividiéndola por la densidad del material. Para medir la masa se requiere una balanza con una resolución de 0.001 g o de 0.0001 g para el procedimiento C. La probeta debe estar completamente limpia, sin ninguna impureza que interfiera en la medida, además se requiere que la probeta este desmagnetizada en el caso de que este magnetizada se debe desmagnetizar o eliminar esta probeta y para limpiarla se puede hacer con un trapo y alcohol y se procede a secar este con aire frío, este procedimiento se debe realizar cada vez que se tome una medida de masa. Las dimensiones de la probeta deben ser de $3 \times 1 \times (0,12 \text{ a } 0,5)$ [in] de espesor, además se debe

garantizar que las caras opuestas de la probeta sean paralelas.

3. RESULTADOS

El tamaño de la muestra fue determinado realizando una prueba piloto de 30 probetas, cantidad que garantiza normalidad en la prueba. Asumiendo una confianza del 99% se calcula el error y se determina si el tamaño de la muestra es óptimo o requiere la construcción de más especímenes. La muestra de cálculo se realizara para la perdida de volumen, el resto de resultados se presentaran en una tabla al final. En la Tabla. 2. Se muestran las perdidas de volumen realizadas a 30 probetas para tener una población donde se puedan sacar información estadística del funcionamiento de la maquina y en la Tabla 3. Se muestra el análisis descriptivo realizado a los ensayos de abrasión de las 30 probetas.

Nº	Perdida de volumen mm^3
1	51,4937
2	50,8734
3	49,481
4	50,9494
5	50,038
6	50,0886
7	49,921
8	49,8756
9	50,1223
10	50,475
11	50,0456
12	49,8745
13	49,9001
14	50,4856
15	51,3321
16	50,3278
17	50,659
18	49,6783
19	49,985
20	50,558
21	50,3267
22	50,4312
23	50,9832
24	51,5641
25	50,3498
26	50,2971
27	50,4512
28	49,675
29	49,2398
30	50,9564

Tabla 2. Medidas para 30 probetas que miden la pérdida de volumen.

El tamaño de la muestra para el error y confiabilidad esperados se puede determinar mediante la ecuación de Mendenhall.

$$n = \frac{S^2 Z^2}{\left(\frac{-}{\in x}\right)^2} \Rightarrow n = \frac{0,32818 * (3,78^2)}{(0,01 * 50,34795)^2} = 18,49 \approx 19$$

Se redondea hacia arriba el tamaño de muestra para mantener la confianza superior, el error inferior y el valor de Z se obtiene de la tabla para la distribución normal en Mendenhall. Como se observa, el tamaño de muestra supera las expectativas, por lo tanto se puede utilizar la muestra garantizando una confiabilidad en la media y en el error.

<i>Perdida de volumen</i>	
Media	50,34795
Error típico	0,104591837
Mediana	50,32725
Moda	N/A
Desviación estándar	0,572873084
Varianza de la muestra	0,32818357
Curtosis	-0,161868946
Coefficiente de asimetría	0,395973803
Rango	2,3243
Mínimo	49,2398
Máximo	51,5641
Suma	1510,4385
Cuenta	30

Tabla 3. Análisis descriptivo de 30 probetas para la determinación de la pérdida de volumen.

En la figura 6 se observa el histograma de la perdida de volumen en mm³ de las pruebas realizadas.

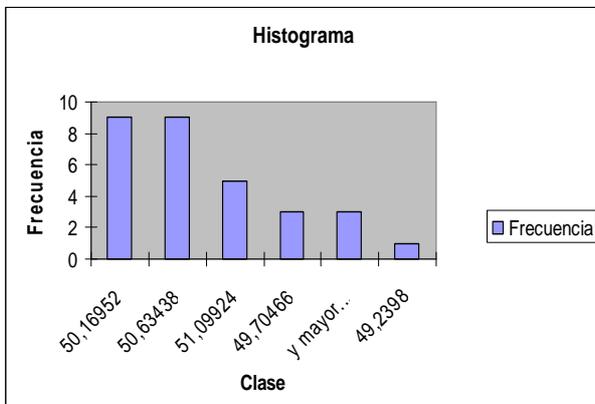


Figura 6. Perdida de volumen (mm³)

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados arrojados por las pruebas realizadas muestran un nivel de repetibilidad. Lo que garantiza una medida confiable en los resultados arrojados por la máquina.

A continuación se presenta en una tabla según la norma ASTM G-65, los resultados obtenidos realizando una prueba en la maquina después de estar normalizada, donde se puede observar la repetibilidad de la maquina y también que se encuentra bajo norma.

Se valido el funcionamiento del equipo usando un acero AISI 4340, y según recomendaciones de la norma ASTM G-65, se analizo según los estándares de la prueba tipo E, con lo cual se valido el funcionamiento del equipo y se confirmo la confiabilidad del equipo.

Para garantizar medidas confiables en la maquina se recomienda seguir las recomendaciones de la norma ASTM G-65 y tener en cuenta variables como las características de la arena, las características de la rueda vulcanizada, las características de la probeta sobre la que se realiza la prueba y la fuerza aplicada. Cada uno de estos elementos debe tener unas características específicas que se describen en la norma.

5. CONCLUSIONES

- Toda maquina que se diseñe tiene variables inherentes a ella, las cuales el diseñador debe identificar y valorar su importancia, es así que con el diseño de esta maquina se comprobó que la utilización correcta de las teoría de las diferentes ramas de la ingeniería mecánica ayuda a prever y solucionar las diferentes variables y problemas que surgan en el diseño. De forma que se den soluciones económicamente viables y ingenierilmente aceptables.
- Para una correcta funcionabilidad de la maquina todas las variables tienen que estar de acuerdo al enfoque del diseño el cual se basa en las condiciones exigidas por la norma.
- Se comprobó que la maquina cumple la norma como se puede observar en el análisis estadístico, dado que las variables estadísticas están según el rango exigido por la norma.
- Se debe tener un manual de uso de la maquina de forma que todos las personas que utilicen la maquina sigan un procedimiento adecuado para la utilización de la misma, de forma que se obtengan resultados satisfactorios.

6. BIBLIOGRAFÍA

Referencias de publicaciones periódicas:

- [1] HUTCHINGS I. M. "Tribology Friction and wear of Engineering materials. Ed Edward Arnold. <http://www.ingenierosdelubricacion.com/articulo.htm>
- [2] Introducción a la tribología www.ingenierosdelubricacion.com/articulo.htm
- [3] Omar Linares, TRIBOLOGÍA Y MANTENIMIENTO PROACTIVO. Widman International S.R.L. Santa Cruz, Bolivia. <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/histrib.pdf>
- [4] ALEJANDRO TORO, DAIRO MESA, JUAN GUTIÉRREZ. Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera. Revista Scientia et Technica, N°.25. Agosto 2004.

Referencias de libros:

- [5] Rabinowicz, E. Friction and wear of materials, John Wiley, USA:1995
- [6] Robert Norton, Diseño de maquinas. México prentice-hall Hispanoamérica S.A. C. 1999.
- [7] DAIRO H. MESA GRAJALES. PRINCIPIOS DE TRIBOLOGÍA Con énfasis en desgaste. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. 2006
- [8] Faies, virgil moring. Diseño de elementos de maquinas 4ta edición. Argentina: Pomairé 1960.
- [9] BHUSHAN, B. Modern Tribology Handbook, Principles of Tribology. CRC Press, Ohio, 2001.

Normas:

- [10] Norma técnica ASTM G-65/00. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus, American Society for Testing and Materials 2000.