

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN
EQUIPO RUEDA DE CAUCHO PARA EL ESTUDIO DEL DESGASTE
ABRASIVO SEGÚN NORMA ASTM G-65.**

**OSWALDO ALBERTO GUERRERO VALDERRAMA
EDWIN ANTONIO PINZON NEIRA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2008**

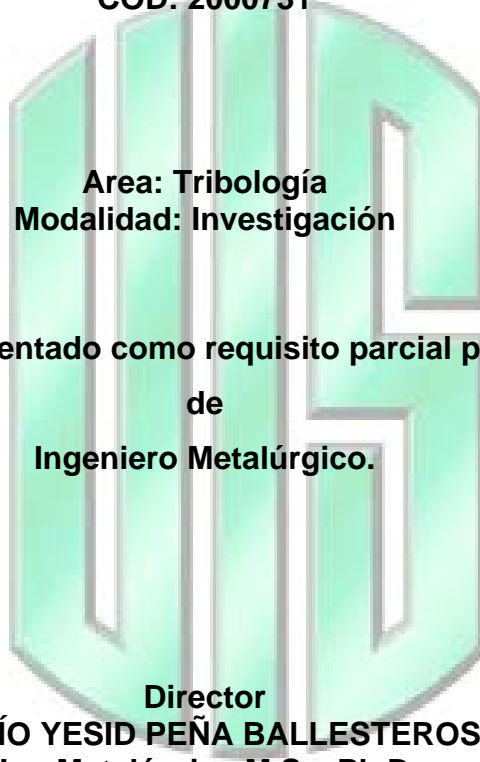
**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN
EQUIPO RUEDA DE CAUCHO PARA EL ESTUDIO DEL DESGASTE
ABRASIVO SEGÚN NORMA ASTM G-65.**

OSWALDO ALBERTO GUERRERO VALDERRAMA

CÓD: 2000419

EDWIN ANTONIO PINZON NEIRA

CÓD: 2000731



**Area: Tribología
Modalidad: Investigación**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al Título
de
Ingeniero Metalúrgico.**

**Director
DARÍO YESID PEÑA BALLESTEROS
Ing Metalúrgico M.Sc. Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2008**

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus agradecimientos a:

- A la Universidad Industrial de Santander por darnos la oportunidad de ser mejores Ingenieros
- Al grupo de tribología y superficies de la UIS por permitirnos desarrollar este trabajo de grado
- A los técnicos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica los cuales fueron de gran ayuda para la realización de este trabajo de grado
- A nuestros padres por su apoyo, comprensión y dedicación
- A nuestras novias por sus palabras de apoyo y momentos compartidos

A todos les entregamos el resultado de nuestro trabajo y esfuerzo fruto del empeño y perseverancia inculcada por ellos especialmente por nuestros padres.

Los sueños aunque perdidos estén, llevan una luz muy especial que hace que con paciencia, entusiasmo y perseverancia salgan adelante “sigue adelante... adelante, adelante”. Y llévalos de la mano con quienes amas.

DEDICADO

A Dios que fue mi refugio y fortaleza en los momentos difíciles permitiéndome no caer y seguir adelante

A mis padres Jorge Alberto Guerrero y Luz Marina Valderrama y mi hermano Andrés Mauricio Guerrero los cuales me brindaron todo su apoyo y dedicación para sacar este proyecto de grado

A mi familia que estuvo presente en todos los momentos difíciles brindándome su apoyo incondicional

A mi novia Ximena Andrea Suarez por sus palabras de aliento que fueron de gran ayuda en los momentos difíciles.

A mi gran amigo Edwin con el cual desarrollamos este proyecto

OSWALDO ALBERTO GUERRERO

Entre todas las personas lugares y cosas tengo el mas grande tesoro; soy afortunado de estar en medio de esas personas que me han dado todo su entusiasmo y apoyo

A mis padres que dieron todo de si para que fuera una de esas personas que sin necesidad de tener dinero pudiera llegar a lograr grandes metas.

A mi amiga y hermana Martha por darme el ánimo y la alegría de seguir adelante

A mis amigos que me dieron esa oportunidad de estar dentro de su vida y alcanzar mis sueños junto con los de ellos.

A Mario Navarrete y los técnicos por habernos dado la oportunidad de aprender un poco más junto a ellos.

A Ximena que es la fuente de mi inspiración y mi más grande fortaleza

Y pues a mi colega y gran amigo Oswaldo que es como mi hermano

EDWIN ANTONIO PINZÓN NEIRA

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1 OBJETIVOS	3
1.1 Objetivo general	3
1.3 Objetivos específicos	3
2 MARCO TEÓRICO	4
2.1 Generalidades	4
2.2 Grupos inherentes de la tribología	5
2.2.1 Lubricación	5
2.2.1.1 Objetivos y campos de aplicación	5
2.2.2 Fricción	6
2.2.2.1 Naturalezas de superficies	6
2.2.2.2 Topografía	7
2.2.2.3 Mecanismos básicos de la fricción	9
2.2.3 Desgaste	10
2.3 Medición de desgaste	16
2.3.1 Pérdida de masa	16
2.4 Aplicaciones industriales	19
2.4.1 Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo	19
2.4.2 Calibración de una máquina tribológica para pruebas de desgaste	21
3 METODOLOGÍA	22
3.1 Revisión bibliográfica	22
3.2 Diseño y construcción	22
3.2.1 Sistema estructural	23
3.2.1.1 Soporte máquina	23
3.2.1.2 Estructura máquina	24
3.2.1.3 Campanas de trabajo	24

3.2.2	Sistema motriz	25
3.2.2.1	Moto reductor	25
3.2.2.2	Poleas	26
3.2.2.3	Chumacera y eje	27
3.2.2.4	Disco	28
3.2.3	Sistema de aplicación de carga	29
3.2.3.1	Brazo palanca	29
3.2.3.2	Soporte brazo palanca	30
3.2.3.3	Porta probetas	31
3.2.3.4	Mordazas	32
3.2.3.5	Pesas	33
3.2.3.6	Porta pesas	34
3.2.4	Sistema de alimentación y almacenamiento	34
3.2.4.1	Tolva	34
3.2.4.2	Soporte tolva	35
3.2.4.3	Conducto alimentador abrasivo	36
3.2.4.4	Boquilla	36
3.2.4.5	Válvulas de flujo	37
3.2.4.6	Deposito abrasivo	37
3.2.5	Sistema de control	37
3.2.5.1	Encendido y apagado	38
3.2.5.2	Reguladores de tiempo “temporizador”	38
3.3	Normalización	39
3.3.1	Asegurar la probeta y la rueda queden perfectamente alineados	39
3.3.2	Regular el flujo de arena	39
3.3.3	Selección de probetas	40
3.3.4	Calibración de la carga aplicada	40
3.3.5	Cálculo del tiempo de ensayo	42
3.4	Validación equipo rueda caucho	43

3.4.1	Datos de la prueba	43
3.4.2	Resultados de las pruebas	45
4	RESULTADOS	46
4.1	Protocolo	46
4.1.2	Protocolo funcionamiento maquina	46
4.1.3	Protocolo probeta	47
4.2	Resultados prueba de desgaste	47
4.2.1	Resultados aluminio	48
4.2.2	Resultados acero 1020	50
4.2.3	Resultados latón 63 – 37	51
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	53
	BIBLIOGRAFÍA	55
	ANEXOS	59
Anexo A.	Manual de operación de la maquina	60
Anexo B.	Norma ASTM G – 65 - 04	67
Anexo C.	Planos	68

LISTA DE FIGURAS

Fig.1 Esquema mostrando determinados tipos de desviaciones de superficie en relación con una superficie sólida ideal	8
Fig.2 Mecanismos microscópicos de nivel que generan fricción. (A) Adhesión. (B) surcado. (C) la deformación y Fractura de los óxidos. (D) Desgaste de partículas atrapadas	10
Fig.3 Tipos de contacto durante el desgaste abrasivo. (a) Abierto dos cuerpos. (b) cerrado dos cuerpos. (c) Abierto tres cuerpos. (d) cerrado tres cuerpos	11
Fig. 4 Cinco procesos del desgaste abrasivo	12
Fig.5 Ejemplos del proceso tres del desgaste abrasivo, observado usando un microscopio electrónico de exploración. (a) Corte. (b) Formación de la cuña. (c) El surcado.	14
Fig.6 Esquema de la prueba estándar de desgaste abrasivo, ASTM G 65. (B) espécimen típico en cicatriz de desgaste.	18
Fig.7 Resultados por pérdidas por desgaste (NIST de un estudio de una herramienta de acero), expresado en la pérdida de peso (g) y de desgaste máximo de la cicatriz Profundidad (pulg). σ , La desviación estándar	19
Fig.8 Máquina de ensayos de abrasión según norma ASTM G65. a) Esquema general, b) parte de la máquina donde se produce el desgaste y c) máquina empleada en este trabajo	20
Fig.9 Fotografías de la máquina tribológica para ensayos abrasivos	21
Fig.10 Fotografía soporte maquina	22
Fig.11 Fotografía estructura maquina	23
Fig.12 Fotografía campana de trabajo	24
Fig.13 Fotografía moto reductor	26
Fig.14 Fotografía de eje con polea	27

Fig.15 Diseño chumacera	28
Fig.16 Diseño disco vulcanizado	28
Fig.17 Fotografía brazo palanca	30
Fig.18 Fotografía soporte brazo	31
Fig.19 Fotografías porta probetas	32
Fig.20 Fotografía mordazas	32
Fig.21 Fotografía pesas	33
Fig.22 Fotografía porta pesas	34
Fig.23 Fotografía tolva	35
Fig.24 Fotografía soporte tolva	35
Fig.25 Fotografía conducto alimentador	36
Fig.26 Diseño boquilla	37
Fig.27 Fotografía panel de control	38
Fig.28 Fotografía huella de desgaste en aluminio	49
Fig.29 Fotografía huella de desgaste en acero 1020	51
Fig.30 Fotografía huella de desgaste en latón 63 – 37	52

LISTA DE TABLAS

Tabla.1 Especificación de los pesos	33
Tabla.2 Caracterización de la arena	40
Tabla.3 Tamaño de la probeta según norma ASTM G-65	40
Tabla.4 Parámetros de la prueba	41
Tabla.5 Datos de calibración de la carga aplicada	41
Tabla.6 Tiempos de duración de desgaste	43
Tabla.7 Datos para aluminio de alta pureza laminado	44
Tabla.8 Datos para acero AISI 1020	44
Tabla.9 Datos para latón composición 37% Zn 63% Cu	45
Tabla.10 desviación de las pruebas	45
Tabla.11 Datos prueba para aluminio	48
Tabla.12 Condiciones de operación de prueba de desgaste	49
Tabla.13 Datos prueba para acero 1020	50
Tabla.14 Condiciones de operación de prueba de desgaste	50
Tabla.15 Datos prueba para latón 63 – 371020	51

LISTA DE ECUACIONES

Eq.1	14
Eq.2	14
Eq.3	15
Eq.4	15
Eq.5	15
Eq.6	26
Eq.7	41
Eq.8	42

TITULO*: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO RUEDA DE CAUCHO PARA EL ESTUDIO DEL DESGASTE ABRASIVO SEGÚN NORMA ASTM G-65.*

AUTOR: Oswaldo Alberto Guerrero Valderrama, Edwin Antonio Pinzón Neira**

PALABRAS CLAVES: Desgaste, abrasivo, norma, ASTM, G65.

RESUMEN.

En este proyecto se construyó una máquina denominada “equipo rueda de caucho”, de acuerdo a la norma ASTM G-65-04, con el fin de determinar el desgaste abrasivo de diferentes materiales. Este equipo hace parte del grupo de tribología y superficies GTUIS de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica. El daño por desgaste que conlleva la pérdida de material es tal vez la situación más sencilla de describir cuantitativamente. Los ejemplos más comunes incluyen desgaste abrasivo en el manejo de materiales sólidos, como ocurre en la industria minera. La pérdida por desgaste puede ser determinada mediante la medición de masa; midiendo el cambio, ya sea en masa o cambio dimensional. la norma de desgaste abrasivo como la ASTM G 65. Es utilizada ampliamente por la industria para ayudar en la selección de materiales para el servicio de desgaste abrasivo. Las opciones de las cargas y las distancias de deslizamiento se detallan en los métodos de ensayo A B C D E descritos en esta norma. La medición del cambio de masa por este método de ensayo suele ser rápida y barata, y los costos del material pueden ser bajos. Además la superposición de soldadura de materiales, recubrimientos, cerámica, materiales compuestos, y muchos otros tipos de materiales pueden ser estudiados con este método.

* Proyecto de Grado

** Facultad De Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica Y Ciencias de Materiales. Director: Darío Yesid Peña Ballesteros

TITLE*: DESIGN, CONSTRUCTION AND PUTTING INTO OPERATION OF A TEAM RUBBER WHEEL TO STUDY THE ABRASIVE WEAR AS STANDARD ASTM G-65

AUTHOR: Oswaldo Alberto Guerrero Valderrama, Edwin Antonio Pinzón Neira **

KEY WORDS: wear, abrasive, standard, ASTM, G65.

ABSTRACT

This project was built a machine called "rubber wheel team," according to the Standard ASTM G-65-04, in order to determine the abrasive wear of different materials. This team is part of group of Tribology and Surfaces "GTUIS" of the School of Metallurgical Engineering. The damage by attrition entailing the loss of material is perhaps the simplest to describe quantitatively. The most common examples include abrasive wear in the management of solid materials, as in the mining industry. The loss by attrition can be determined by measuring mass by measuring the change, either mass or dimensional change. The rule of abrasive wear as ASTM G 65. It is widely used by industry to assist in the selection of materials for the service of abrasive wear. The options for the loads and distances sliding detailed in the A B C D E test methods described in this rule. The measurement of mass change of this test method is usually quick and cheap, and the costs of materials can be low. Besides the overlay welding materials, coatings, ceramics, composite materials, and many other types of materials can be studied by this method.

* Proyecto de Grado

** Facultad De Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica Y Ciencias de Materiales. Director: Darío Yesid Peña Ballesteros

INTRODUCCIÓN

La prolongación de la vida útil de los componentes mecánicos por medio del control del desgaste se ha convertido durante la última década, en una importantísima herramienta para la reducción de los costos de producción en las industrias pesadas y medianas. El monitoreo del control del desgaste constituye ahora uno de los principales objetivos, tanto en el diseño mecánico como en las operaciones de mantenimiento.

Siguiendo las necesidades prácticas, la investigación en ingeniería metalúrgica se ha dirigido hacia nuevas áreas de acción. Así además del análisis cinemática de las piezas en movimiento que ha sido el primer objetivo del diseño mecánico, y del cálculo de resistencia de las piezas surgido con la evolución de los equipos de alta potencia, en el presente se está desarrollando un tercer campo "la tribología".

Se puede definir la tribología como la ciencia que estudia la interacción entre superficies en movimiento relativo bajo la aplicación de una carga. Incluye el estudio de la fricción, de la lubricación y del desgaste. El desgaste es la pérdida de material, con la generación de partículas de desgaste, como resultado del movimiento relativo entre dos superficies en contacto sometidas a una carga. En caso de existir un movimiento relativo suficiente se produce un arrancamiento del material de una o más superficies, generalmente de aquella que está constituida por un material más débil. La abrasión es un proceso mecánico a través del cual las asperezas de la superficie más dura producen cortes y surcos en la superficie más blanda provocando una pérdida de material. Cuando los esfuerzos locales exceden la resistencia a la fatiga de un material, el material falla después de un cierto número de ciclos de carga, desprendiéndose fragmentos de su superficie. La lubricación tiene una gran influencia sobre la magnitud del desgaste abrasivo y especialmente sobre el adhesivo.

Desde el punto de vista académico el estudio del desgaste y la fricción, constituyen uno de los últimos aspectos de la mecánica que aún se tienen que estudiar más profundamente.

La importancia de la tribología está en aumento, aunque la función de las cargas impuestas a los componentes mecánicos, la disminución constante de las tolerancias permitidas en los procesos de fabricación, así como las crecientes restricciones en cuanto a la emisión de contaminantes (en un motor de vehículo por ejemplo), son desafíos que debe superar esta nueva ciencia.

Los daños ocasionados por el desgaste de piezas en equipos industriales, llevan continuamente a cambio de partes en la maquinaria, provocando tiempos de parada de la producción generalmente grandes. Es por esto, que se deben proponer estudios serios relacionados con relación al área de tribología. Así cuando se adopta un adecuado método de evaluación para los diferentes materiales y equipos de acuerdo a su ciclo de trabajo, se puede predecir fallas futuras conservando con esto la productividad, la seguridad industrial y la disminución de costos relacionados con este tema.

En este proyecto se construyó una máquina denominada “equipo rueda de caucho”, de acuerdo a la norma ASTM G-65-04, con el fin de determinar el desgaste abrasivo de diferentes materiales. Este equipo hace parte del grupo de tribología y superficies GTUIS de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Construir una máquina para la evaluación del desgaste abrasivo según norma ASTM G-65.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño de un equipo rueda de caucho para el estudio del desgaste abrasivo, según especificaciones de la norma A.S.T.M G-65.
- Realizar la construcción de un equipo rueda de caucho para el estudio del desgaste abrasivo.
- Validar el equipo rueda de caucho para el estudio del desgaste abrasivo por medio de ensayos experimentales.
- Elaboración de un manual de funcionamiento y mantenimiento del equipo rueda caucho

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades ^[1]

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.

El término tribología viene del término griego tribos, que significa frotamiento o rozamiento y logía que viene a ser ciencia, por tanto la traducción literal será “la ciencia del frotamiento”.

La mayoría de las consecuencias de la fricción y el desgaste se consideran negativas, tales como el consumo de energía y la causa de las fallas mecánicas, sin embargo existen beneficios fundamentales de la fricción y el desgaste, como la interacción neumático y el piso, por ejemplo, ó el zapato y el suelo, sin los cuales trasladarse sería imposible.

La fricción sirve como el mecanismo de conexión inherente en los nudos, los clavos y el conjunto tuerca tornillo. El esfuerzo de diseño no solo debe ser menor que el esfuerzo permisible y la deformación no debe exceder su valor máximo, sino que también la lubricación, la fricción y el desgaste (consideraciones tribológicas) deben ser estudiadas para que los elementos de las máquinas se diseñen con éxito.

La tribología se reconoce como una fuente de gran potencial para economizar recursos financieros además de la preservación de activos físicos, materias primas y recursos energéticos. También como una ineludible forma de hacer mantenimiento proactivo en equipos y maquinarias.

2.2 Grupos inherentes de la tribología

2.2.1 Lubricación^[2]

El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño entre ellas: se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más bajo posible. Para conseguir esto se intenta, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste.

La lubricación con grasas (lubricación límite) ha sido estudiada desde hace ya muchos años. Un gran número de investigadores realizaron experimentos con lubricación: Leonardo da Vinci (1508), Amontons (1699), Euler (1748), Coulomb (1809). Amontons y Coulomb hallaron que la fuerza de fricción F que hay que vencer para mover un cuerpo respecto a otro es proporcional a la carga normal aplicada P : es decir existe un cociente P/F , llamado coeficiente de fricción.

2.2.1.1 Objetivos y Campos de Aplicación ^[2]

- El objetivo de la lubricación es reducir el rozamiento, el desgaste y el calentamiento de las superficies en contacto de piezas con movimiento relativo.
- La aplicación típica en ingeniería mecánica es el cojinete, constituido por muñón o eje, manguito o cojinete.
- Campos de aplicación:
 - cojinetes del cigüeñal y bielas de un motor (vida de miles de km).
 - cojinetes de turbinas de centrales (fiabilidad de 100%).

- Los factores a considerar en diseño son técnicos y económicos:
 - cargas aplicadas y condiciones de servicio.
 - condiciones de instalación y posibilidad de mantenimiento.
 - tolerancias de fabricación y funcionamiento; vida exigida.
 - costo de instalación y mantenimiento.
- El estudio de la lubricación está basado en:
 - mecánica de fluidos.
 - termodinámica y transmisión de calor.
 - mecánica de sólidos, materiales.

2.2.2 Fricción ^[3]

La fricción es la resistencia al movimiento de un cuerpo sobre otro cuerpo. La palabra viene del verbo latino fricare, que quiere decir rozar. Los cuerpos en cuestión pueden ser un gas y un sólido (la fricción aerodinámica), o un líquido y un sólido (la fricción líquida); o la fricción puede ser debido a procesos de disipación de energía internos dentro de un cuerpo (la fricción interna).

2.2.2.1 Naturaleza de superficies

La fricción es causada por las fuerzas de los cuerpos en contacto, actuando en su interface. Estas fuerzas están determinadas por dos factores, además de la carga; las propiedades de los materiales puestos en contacto y del área de contacto. Las fuerzas de fricción no son por lo general directamente fiables porque ambos factores dependen de las condiciones particulares. Por ejemplo, las propiedades pueden ser muy diferentes de lo esperado de los valores, debido a que la mayor parte de la superficie del material se deforma, ó contiene segregaciones, ó está cubierta por una capa de óxido, y así sucesivamente. Asimismo, el área de

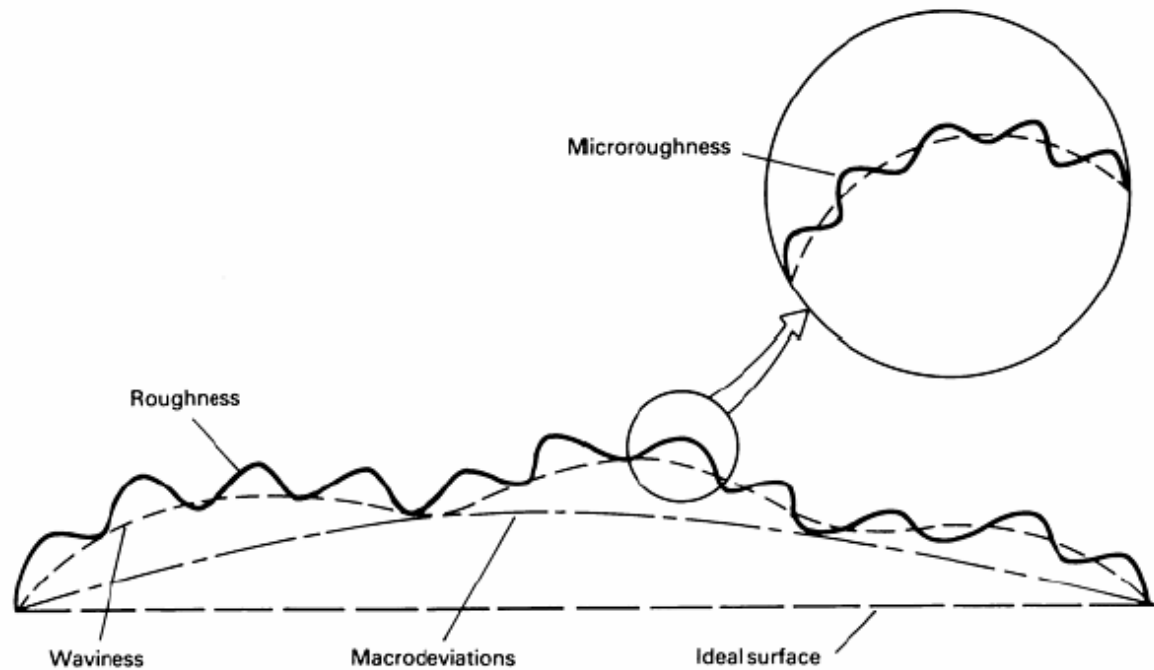
contacto real es por lo general mucho más pequeña que el área aparente de los cuerpos reales, porque no son superficies lisas a escala atómica. Debido a esta estrecha dependencia de la fricción con la superficie y la topografía sobre las propiedades de las superficies y las capas cercanas a la superficie, a continuación se presentará una breve discusión.

Tabor ^[4] cita a W. Pauli: "Dios hizo los sólidos, pero las superficies fueron hechas por el Diablo." De hecho, las superficies son muy complicadas debido a su topografía, su reactividad química y debido a su composición y microestructura. Las propiedades de la superficie, la composición y microestructura pueden ser muy difíciles de determinar con exactitud.

2.2.2.2 Topografía

La forma geométrica de cualquier superficie está determinada por el proceso de acabado utilizado para elaborarlo. Existen ondulaciones en las longitudes de onda que van de dimensiones atómicas a la longitud de onda del tamaño del componente. Esto a menudo es el resultado de la dinámica del proceso especial de acabado o de la máquina utilizada. Pueden existir picos y valles causados por micro eventos locales, como la deformación desigual de los componentes duros de la microestructura, fractura local, o picaduras corrosivas. Incluso después que una superficie ha sido cuidadosamente pulida, a nivel atómico todavía será muy rugosa. Es útil distinguir entre Macro desviaciones, ondulaciones, rugosidad, y micro rugosidad ^{5]} con relación con una superficie plana ideal (Fig. 1).

Fig. 1 Esquema mostrando determinados tipos de desviaciones de superficie en relación con una superficie sólida ideal.



Referencia: ASM Handbook Vol. 18, Friction, Lubrication and Wear Technology, ASM International, USA, 1992.

Macro desviaciones

Son errores en la estructura causada por la salida de superficies irregulares causadas con frecuencia por la falta de precisión o rigidez del sistema de maquinado.

Ondulaciones

Son desviaciones geométricas periódicas, a menudo en forma sinusoidal y determinados por las oscilaciones de bajo nivel de la máquina, herramienta ó pieza en el sistema de mecanizado^[5]. Normalmente, la longitud de onda es de 1 a

10 mm (0,04 a 0,4 pulgadas) y la altura de las olas de unos pocos a varios cientos de micrómetros^[5].

Rugosidad

Son las desviaciones de la superficie ondulada, causada por la geometría de la herramienta de corte y de su desgaste, las condiciones de maquinado, micro estructura de la pieza de trabajo, las vibraciones en el sistema, y así sucesivamente.

Micro rugosidad

Es una fina rugosidad superpuesta a la rugosidad de la superficie. Se puede extender cerca a la escala atómica y puede ser causada por imperfecciones internas en el material, deformación no uniforme de los granos en la superficie, o los procesos de corrosión y oxidación que se producen mientras la superficie está siendo generado o durante su exposición al medio ambiente. Los picos de la rugosidad de la superficie son llamados asperezas. Se trata de la principal preocupación de deslizamiento en la fricción y el desgaste de los materiales, ya que estos procesos suelen comprender los contactos entre asperezas sobre superficies opuestas. La micro rugosidad pueden afectar a las fuerzas entre las superficies, pero tiene relativamente poca influencia en la superficie de deformación.

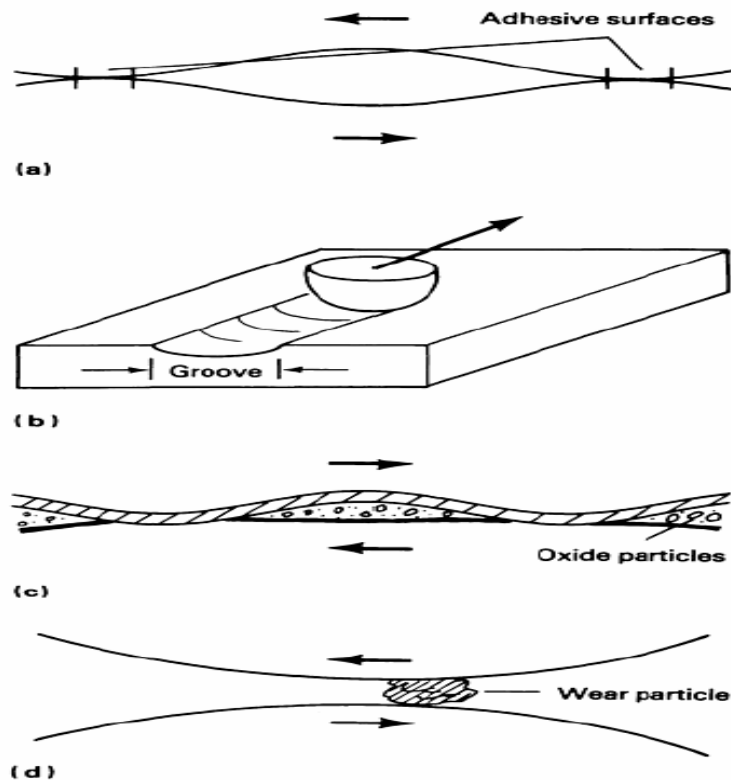
2.2.2.3 Mecanismos básicos de la fricción

Depende de la naturaleza de las dos superficies, los materiales, el medio ambiente, las condiciones de aplicación, y ciertas características de los aparatos, como la sujeción de la pieza y de las vibraciones. Los mecanismos microscópicos que están implicados, en diferentes grados, en la generación de fricción son.

- adhesión (1),

- interacciones mecánicas de superficies ásperas.
- Surcado de una superficie áspera sobre otra.
- La deformación y o fractura de las capas superficiales, como los óxidos.
- deformación plástica local causada por otros organismos, principalmente partículas atrapadas entre las superficies en movimiento (Fig. 2).

Fig. 2 Mecanismos microscópicos de nivel que generan fricción. (A) Adhesión. (B) surcado. (C) la deformación y Fractura de los óxidos. (D) Desgaste de partículas atrapadas



Referencia ASM Handbook Vol. 18, Friction, Lubrication and Wear Technology, ASM International, USA, 1992.

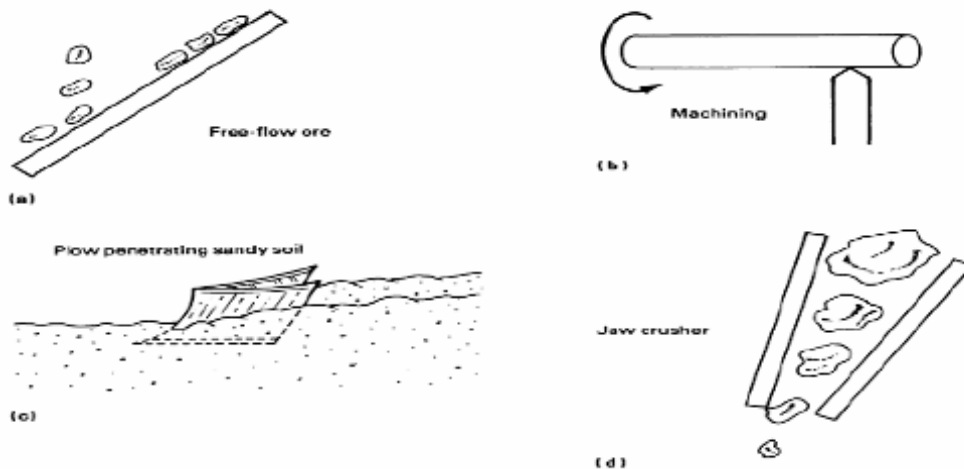
2.2.3 Desgaste^[3].

El desgaste abrasivo definido por la ASTM, se debe a las partículas duras o a las protuberancias duras que son forzadas a moverse en contra y a lo largo de una

superficie sólida. Desgaste, también se puede definir como un daño a una superficie sólida que implica generalmente la pérdida progresiva de material y se debe al movimiento relativo entre esa superficie y una sustancia o sustancias que entran en contacto con ella. Cuando dos superficies entran en contacto, el desgaste ocurre en ambas superficies.

La abrasión típicamente se categoriza según diferentes tipos de contacto, así como el ambiente de contacto. Los tipos de contacto incluyen el desgaste de dos cuerpos y el de tres cuerpos. El primero ocurre cuando un abrasivo se desliza a lo largo de una superficie, y el último, cuando un abrasivo se introduce entre una superficie y otra. Típicamente los sistemas de dos cuerpos experimentan de 10 a 1000 veces pérdidas por desgaste que los sistemas de tres cuerpos para una carga y una distancia dadas de desgaste. Los ambientes del contacto se clasifican como abiertos (libres) o cerrados (Restringidos).

Fig. 3 tipos de contacto durante el desgaste abrasivo. (a) Abierto dos cuerpos. (b) cerrado dos cuerpos. (c) Abierto tres cuerpos. (d) cerrado tres cuerpos

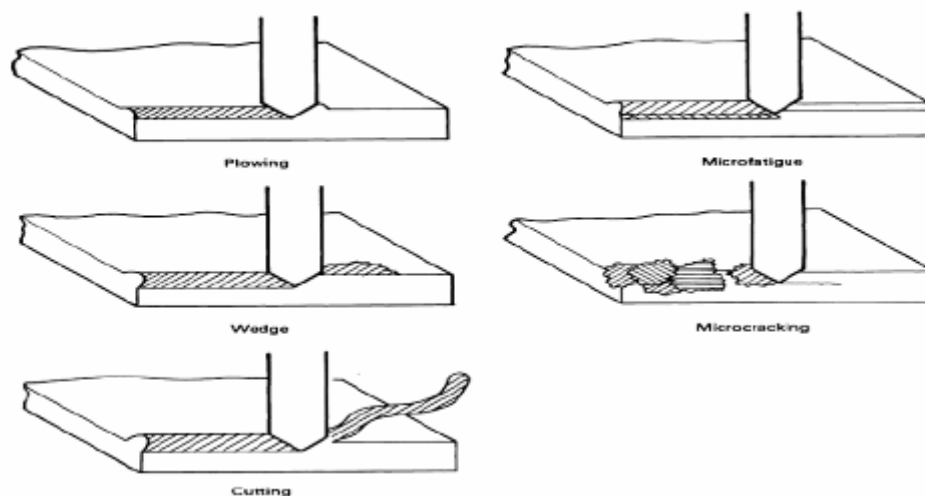


Referencia: R. Blickensderfer, B.W. Madsen, and J.H. Tylczak, Comparison of Several Types of Abrasive Wear Tests, Proceedings of the International Conference on Wear of Materials, American Society of Mechanical Engineers, 1985, p 313

En diversas pruebas, Blickensderfer y otros^[6] demostraron que para una carga y una distancia dadas de desgaste, el gradiente de desgaste es casi igual en los sistemas abiertos y cerrados. Sin embargo, la medida de las pérdidas en sistemas cerrados es a menudo más alta que la pérdida en sistemas abiertos. Esto ocurre probablemente porque la mayoría de los sistemas cerrados experimentan cargas más altas.

Varios mecanismos se han propuesto para explicar cómo el material es removido de una superficie durante la abrasión. Estos mecanismos incluyen fractura, fatiga, y fundido. Debido a la complejidad de la abrasión, nadie ha explicado totalmente el mecanismo de las pérdidas por este fenómeno. La figura 4 representa algunos de los procesos que son posibles cuando una sola extremidad abrasiva atraviesa una superficie. Incluyen el surcado, la formación de la cuña, el corte, la micro fatiga, y el micro agrietamiento.

Fig. 4 Cinco procesos del desgaste abrasivo



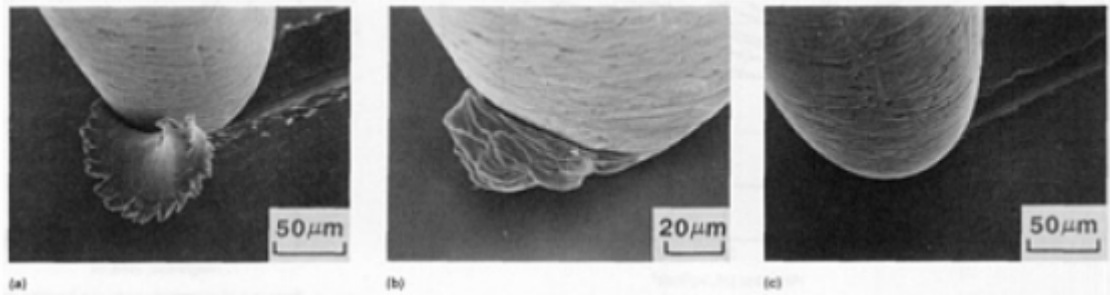
Referencia: L.E. Samuels, *Microindentation Techniques in Materials Science and Engineering*, P.J. Blau and B.R.Lawn, Ed., STP 889, American Society for Testing and Materials, 1986, p 5

El surcado es el proceso de desplazar el material de un surco a los lados. Esto ocurre bajo cargas ligeras y no da lugar a ninguna pérdida de material verdadera. Los daños ocurren en la superficie cercana del material bajo la forma de acumulación de dislocaciones a través de trabajo en frío. Si después de rayar la superficie, ésta se trabaja en frío, el trabajo adicional podría dar lugar a pérdida a través de micro fatiga.

La forma de desgaste más severa para el material dúctil es el corte. Durante el proceso del corte, la extremidad abrasiva quita una viruta, como una herramienta de máquina. Esto da lugar a remoción de material, pero dejando pequeñas cantidades de material desplazado con respecto al tamaño del surco. Para una partícula abrasiva aguda, existe un ángulo crítico, para el cual hay una transición de surcado al corte. Este ángulo depende del material que se desgasta. Los ejemplos de ángulos críticos se extienden de 45° para el cobre, hasta 85° para aluminio^[7,8]. La abrasión no es dependiente del rayado debido a la orientación de los granos abrasivos. Kato^[9] y otros han analizado el efecto de una extremidad redondeada que ha sido empujada a través de una superficie.

Para los materiales dúctiles, los mecanismos observados son el surcado, la formación de la cuña, y el corte (fig. 5). Se encontró que el grado de penetración era crítico en la transición de surcado y en la formación de la cuña al corte. Cuando el grado de la penetración, definido como profundidad de la penetración, se dividió por el área de contacto, y el valor dado excedía el 0.2, el modo predominante de desgaste fue el corte.

Fig. 5 Ejemplos del proceso tres del desgaste abrasivo, observado usando un microscopio electrónico de exploración. (a) Corte. (b) Formación de la cuña. (c) El surcado.^[9]



Referencia: K. Kato, Wear Mode Transitions, *Scripta Metall.*, Vol 24, 1990, p 815-820

Cuando un grano abrasivo desgasta mientras que corta una superficie, el volumen máximo de desgaste que puede ocurrir se describe por:

$$W = Ad \quad \text{Eq. 1}$$

Donde W es el volumen de material eliminado, A es el área seccionada transversalmente del surco, y d es la distancia deslizada. El área seccionada transversalmente del surco A es dependiente de la forma abrasiva del grano y la profundidad de la penetración, p :

$$A = k_1 p \quad \text{Eq. 2}$$

Donde K_1 es la constante dependiente de la forma. La profundidad de la penetración, p , es otra vez dependiente de la forma del grano. La carga es L , y H es la dureza del material:

$$p = k_2 \frac{L}{H}$$

Eq. 3

Muchos factores afectan k_1 : la posibilidad de un surco en lugar de un corte; el grano abrasivo puede rodar y evitar el desgaste; la ecuación 1, 2, y 3 se pueden combinar, formando:

$$W = k_3 \frac{Ld}{H}$$

Eq. 4

Esta se conoce como ecuación de Archard^[10] que fue derivada para el desgaste adhesivo es muy útil en desgaste abrasivo.

Comúnmente, los materiales se describen como de buena o mala resistencia al desgaste, R , de el cual se define simplemente como el recíproco del volumen de desgaste:

$$R = \frac{1}{W}$$

Eq. 5

Los materiales frágiles tienen un modo adicional de desgaste abrasivo; la micro fractura. Esto ocurre cuando las fuerzas aplicadas por el grano abrasivo exceden la dureza de la fractura del material. Éste es a menudo el modo predominante del desgaste severo para los materiales cerámicos, y son activos en materiales tales como fundiciones blancas.

El fundido u otros mecanismos térmicos relacionados con las pérdidas de material también son posibles. La teoría de la fusión depende de pequeñas áreas de

calentamiento adiabático. Se ha demostrado que debe haber un aumento considerable en la temperatura para la recuperación del material cerca a la superficie desgastada^[11].

2.3 Medición de desgaste

Muchos criterios se han utilizado para determinar las cantidades de desgaste, tanto cualitativa como cuantitativamente. Un examen de la documentación de técnicas^[12,13] y normas publicadas^[14] que se relacionan con el desgaste ponen de manifiesto la amplitud de técnicas que se han utilizado para su medición.

Hay una serie de razones de por qué existe esta situación. Una de ellas es que el tipo de desgaste en los daños puede adoptar diversas formas. Si hay material perdido durante el desgaste en uso común, se determina por el método de medición de cantidad de material removido, ó tal vez por la pérdida de peso, como se hace en el campo de la corrosión. Otras formas de desgaste de la superficie y del daño de la sub superficie se pueden encontrar, y también pueden ser medidas por otros métodos directos e indirectos.

2.3.1 Pérdida de masa

El daño por desgaste que conlleva la pérdida de material es tal vez la situación más sencilla de describir cuantitativamente. Los ejemplos más comunes incluyen desgaste abrasivo en el manejo de materiales sólidos, como ocurre en la industria minera. La pérdida por desgaste puede ser determinada mediante la medición de masa; midiendo el cambio, ya sea en masa o cambio dimensional.

Es necesario que la muestra original se pese, antes y después de su exposición, para determinar la diferencia de peso y luego el desgaste (es decir, el cambio de masa). Algunas partes son cada vez mas pequeñas y ligeras por lo que el desgaste o la pérdida de peso se hacen más pequeños, será necesario balanzas

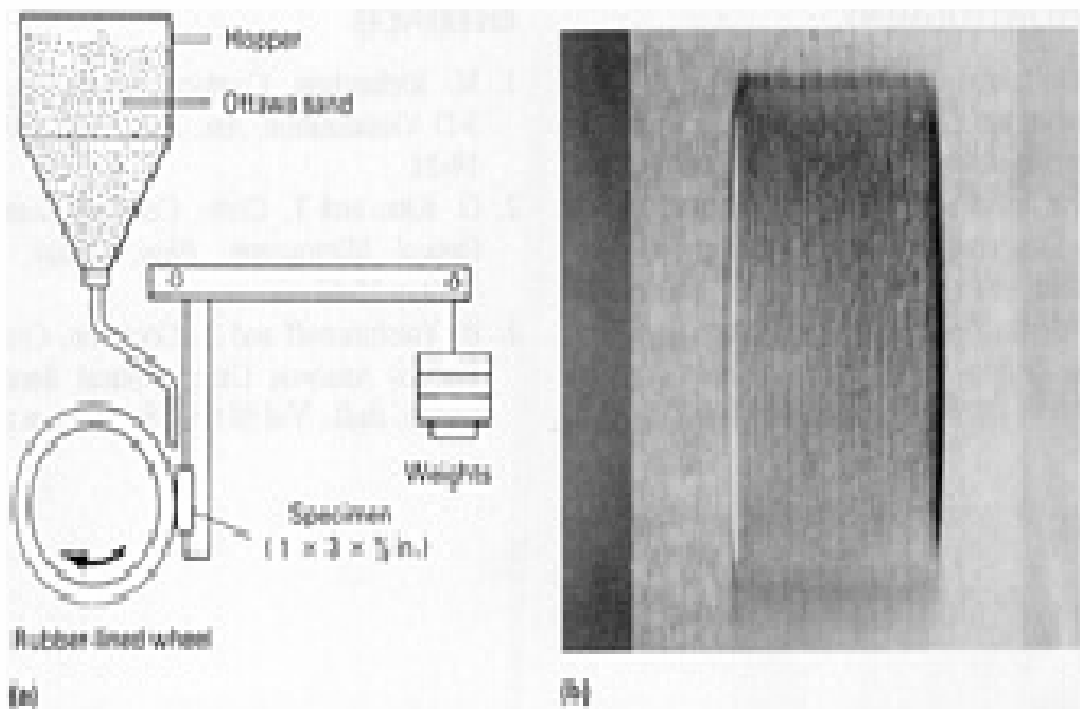
cada vez más sensibles. En algún momento, el cambio de masa será demasiado pequeño para que el método sea viable.

Otros problemas con esta aproximación es la necesidad de limpiar la muestra con cuidado para no tener elementos extraños en la superficie que contribuyan a cualquier diferencia de peso. Por supuesto, cualquier líquido o sólido utilizado en la limpieza debe ser muy bien eliminado y secado. Otra consideración es que el material que sea plásticamente desplazado por el proceso de desgaste, pero no de hecho eliminado de la parte, no se incluirá en la diferencia de peso.

La cantidad de desgaste puede ser descrito por la cantidad absoluta de la pérdida de peso (en gramos), o por la tasa de pérdida de masa por unidad de uso (gramos por día), o por un cambio fraccional en la masa de la parte involucradas (1 % de cambio por cada 100 horas de funcionamiento).

Un ejemplo, de las mediciones de laboratorio, podría ser la aplicación de una norma de desgaste abrasivo como la ASTM G 65. Como se muestra en la Fig. 6 (a), una muestra se somete a una carga contra la rotación de una rueda de goma mientras que un flujo de arena abrasiva se dirige a la zona de contacto. Esta prueba se utiliza ampliamente por la industria para ayudar en la selección de materiales para el servicio de desgaste abrasivo. Las opciones de las cargas y las distancias de deslizamiento se detallan en el método de ensayo. En la Fig. 6 (b) se muestra la cicatriz típica de este ensayo. Debido a que la prueba es un estándar, ha sido utilizada en muchos estudios entre distintos materiales.

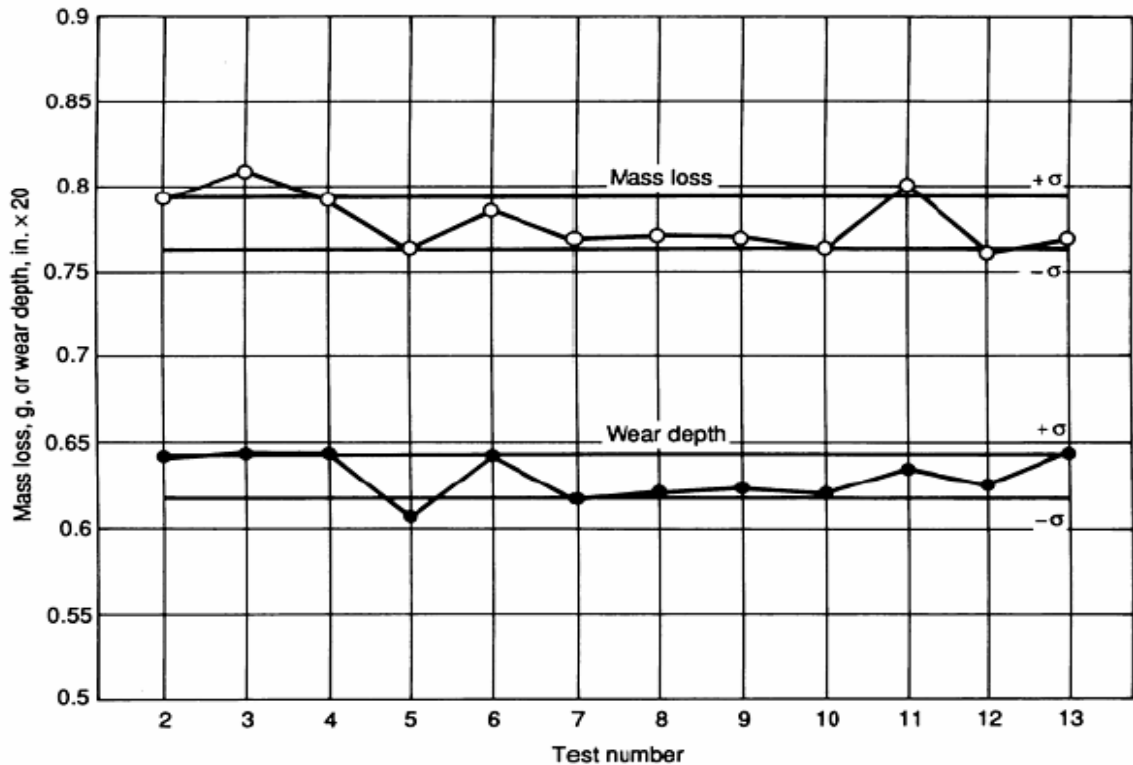
Fig. 6 (a) Esquema de la prueba estándar de desgaste abrasivo, ASTM G 65. (B) espécimen típico en cicatriz de desgaste.



Referencia: ASTM G65-04 Standard practice for Conducting dry sand / rubber abrasion test

La medición del cambio de masa por este método de ensayo suele ser rápida y barata, y los costos del material pueden ser bajos. Además la superposición de soldadura de materiales, recubrimientos, cerámica, materiales compuestos, y muchos otros tipos de materiales pueden ser estudiados con este método.

Fig. 7 Resultados por pérdidas por desgaste (NIST de un estudio de una herramienta de acero), expresado en la pérdida de peso (g) y de desgaste máximo de la cicatriz Profundidad (pulg). σ , La desviación estándar



Referencia: ASM Handbook Vol. 18, Friction, Lubrication and Wear Technology, ASM International, USA, 1992.

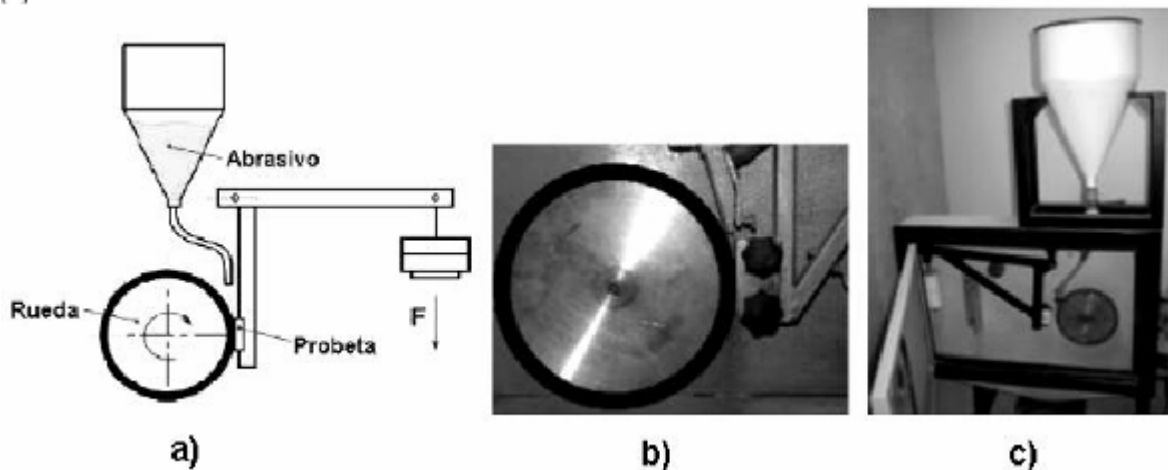
2.4 Aplicaciones industriales

2.4.1 Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera ^[15]

Se estudio la resistencia al desgaste abrasivo de dos recubrimientos duros de alto Cr y alto W, usados como protección en la industria minera. Los recubrimientos fueron aplicados en una sola capa sobre un substrato de acero estructural AISI

A36, mediante soldadura eléctrica SMAW. El recubrimiento RFeCrA1, aplicado con soldadura oxiacetilénica, fue usado como material de comparación debido a su elevada resistencia a la abrasión. La resistencia al desgaste se evaluó en máquina de arena seca y rueda de caucho mediante el procedimiento A de la norma ASTM G65. Con este procedimiento, se puede obtener resultados sobre el comportamiento cuantitativo y cualitativo de un material con respecto a otros, donde la pérdida de masa es el parámetro principal ^[16]. El dispositivo de ensayo, mostrado en las figuras 8 a), b) y c), consta principalmente de una tolva y conducto para la arena seca, un disco de acero recubierto con caucho vulcanizado, una palanca para control de la carga, un porta-probeta y un motor. Como características de funcionamiento, la máquina tiene un variador de velocidad, un contador de revoluciones y un sistema de control. En el contacto entre el disco y la muestra se mantiene un flujo constante de abrasivo a través de una boquilla que deja pasar las partículas con un caudal constante ^[17].

Fig. 8 Máquina de ensayos de abrasión según norma ASTM G65. a) Esquema general, b) parte de la máquina donde se produce el desgaste y c) máquina empleada en este trabajo ^[3, 17, 18]

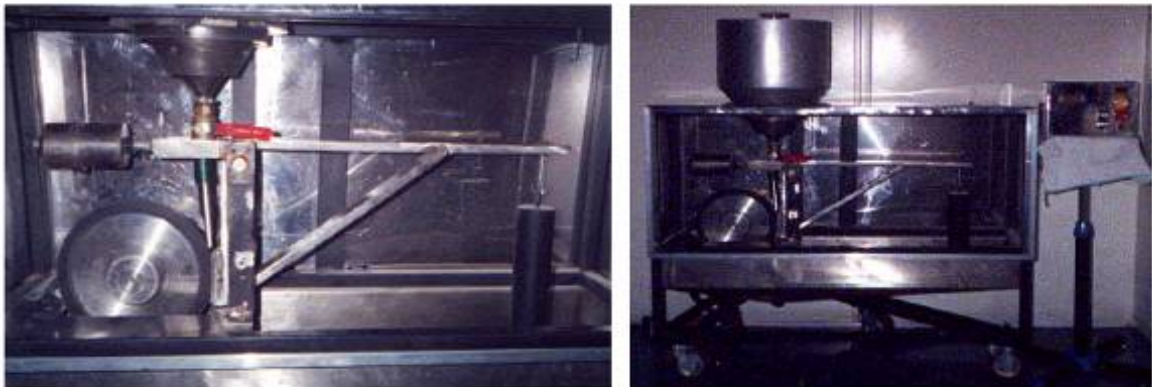


Referencia: EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO EN RECUBRIMIENTOS DUROS PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA MINERA Scientia et Technica Año X, No 25, Agosto 2004. UTP. ISSN 0122-1701

2.4.2 Calibración de una máquina tribológica para pruebas de desgaste abrasivo^[19]

Se presentan los resultados obtenidos del desgaste abrasivo en la calibración de una máquina Tribológica desarrollada por el grupo de tribología de la SEPI, ESIME del Instituto Politécnico Nacional. La configuración de la máquina es la de arena seca/disco metálico vulcanizado. Los estudios de desgaste se hicieron en aceros tipo SAE 1006, H13 y H13 recubierto con multicapas de TiN/Ti (nitruro de titanio y titanio) mediante la técnica de espurreo magnetrón. Se encontró que las multicapas formadas por capas con espesor individual de aproximadamente 0.20 mm fueron las más resistentes al desgaste. Se encontró que para que los recubrimientos presenten alta la resistencia a la abrasión deben estar bien adheridos al substrato. Los recubrimientos con capas delegadas de Ti (200nm) presentan mayor dureza y mayor resistencia a la abrasión que las multicapas gruesas con capas de Ti 0.5 micras. Las multicapas con mayor dureza presentan también mayor resistencia al desgaste abrasivo.

Fig. 9 Fotografías de la máquina tribológica para ensayos abrasivos.



.Calibración de una Máquina Tribológica Para Pruebas de Desgaste abrasivo. M. Vite, J. Aguilar, J. N. Carrillo, J. L. de la Luz y M. Flores Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM, Circuito exterior, Ciudad Universitaria C.P.

3. Metodología

La metodología que se empleó en este proyecto está encaminada en el diseño y construcción de una máquina para la evaluación del desgaste abrasivo según norma ASTM G-65. La cual será de utilidad para el Grupo de Tribología GTUIS el cual realizará la evaluación del desgaste abrasivo de diversos materiales y recubrimientos, según parámetros de la norma ASTM G-65.

Esta sección contiene las especificaciones del diseño, construcción, normalización y documentación utilizadas en la fabricación de esta máquina.

3.1 Revisión bibliográfica

En esta primera etapa se hizo una recopilación de la información y estado del arte necesaria para el desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta los artículos relacionados con la utilización de esta máquina y la norma, los cuales se tuvieron en cuenta para realizar los mejoramientos de diseño de la máquina y comparación de los resultados en la normalización.

Para este fin se recurrió a los diferentes medios, como libros, artículos, revistas, Internet, bases de datos, investigaciones y la interacción de información con el grupo de tribología de la escuela de Ingeniería Metalúrgica UIS.

3.2 Diseño y construcción

En esta etapa se tuvo en cuenta las variables de funcionamiento expuestas por la norma ASTM G65 y lo recopilado en la bibliografía, teniendo en cuenta algunas variantes para el mejor desempeño de la máquina. El diseño se separó en cinco sistemas los cuales se describen en esta unidad.

3.2.1 Sistema estructural

El sistema estructural está compuesto de tres partes las cuales fueron diseñadas y construidas separadamente, y luego unidas para formar la estructura final de la máquina de desgaste abrasivo.

3.2.1.1 Soporte máquina

Esta estructura se diseñó para el sostenimiento del armazón principal, que se fundamenta en criterios de rigidez, mínima deformación y armonía del conjunto, además de cumplir con todos los requerimientos de esfuerzos y resistencia mecánica, este soporte se construyó con perfiles de acero estructural con uniones soldadas con proceso SMAW.

Fig. 10 Fotografía soporte maquina



Referencia: Los autores

3.2.1.2 Estructura máquina

Esta estructura fue diseñada para soportar y sostener los demás sistemas de la máquina, siendo ésta el esqueleto que le da rigidez. Fue diseñado de tal manera que le diera una resistencia, por la cual está construida en tubo cuadrado de 4 cm de lado, de acero inoxidable 316 que le da resistencia, y por su forma de tubo disminuye el peso de la estructura.

La estructura está unida a la base por medio de 4 tornillos de acero inoxidable de 2 ½ pulgadas de largo y ¼ de diámetro, los cuales son los que le dan la estabilidad a la estructura sobre el soporte.

Fig. 11 Fotografía estructura maquina



Referencia: Los autores

3.2.1.3 Campana de trabajo

Este diseño permite recolectar la arena después de que ha pasado por el disco y separa los elementos del sistema motriz y de control dejando solo los elementos que se requieren para el desarrollo de las pruebas de desgaste. Esta campana fue construida en acero inoxidable y unida a la estructura por medio de remaches.

Fig. 12 Fotografía campana de trabajo



Referencia: Los autores

3.2.2 Sistema motriz

Este sistema es el encargado de proporcionar el movimiento a la máquina mediante un sistema de moto reductor, poleas, chumacera y eje que dan el movimiento y torque de la rueda metálica vulcanizada.

3.2.2.1 Moto reductor

La función del moto reductor es la de suministrar la potencia necesaria y la velocidad determinada por la norma ASTM G-65. Debe tener torque total y una velocidad de 200 rpm, el motor es trifásico de $\frac{1}{2}$ HP de potencia y una velocidad de 1705 rpm. El moto reductor consta de una relación de 1 a 11 que baja la velocidad de 1705 rpm a 155 rpm.

Fig. 13 Fotografía moto reductor



Referencia: Los autores

3.2.2.2 Poleas

Las poleas se diseñaron según la velocidad que suministra el moto reductor, y se construyeron en aluminio ya que es un material ligero y resistente. El juego de poleas es el encargado que el disco obtenga hasta 200 rpm necesarias según la norma ASTM G-65. El juego de poleas está dispuesto de la siguiente manera, en el eje del reductor se encuentra una polea de 4 pulgadas y en el eje del disco vulcanizado una polea de 3 pulgadas. El cálculo de las revoluciones finales es el siguiente:

$$V1 \cdot D1 = V2 \cdot D2 \quad \text{Eq. 6}$$

$$V1 = 155 \text{ rpm}$$

$$D1 = 4 \text{ in}$$

$$D2 = 3 \text{ in}$$

$$V2 = ?$$

$$V2 = V1 \cdot D1 / D2$$

$$V2 = 206.66 \text{ rpm}$$

Esta velocidad entra en el rango de +/- 10 rpm descrita por la norma ASTM G-65.

3.2.2.3 Chumacera y eje

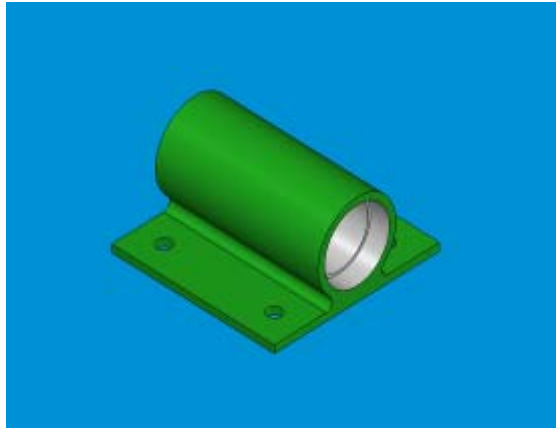
La chumacera es la encargada de sostener el eje que trasmite la potencia del moto reductor al disco y está construida en platina de acero con un espesor de $\frac{1}{4}$ de pulgada, soldado a un tubo de acero del mismo espesor y diámetro de 55 mm con una longitud de 150mm, el cual fue mecanizado para colocar dos rodamientos de 52 mm de diámetro externo. La chumacera está sujeta a la estructura por medio de 4 tornillos de acero.

Fig. 14 Fotografía de eje con polea



Referencia: Los autores

Fig. 15 Diseño chumacera

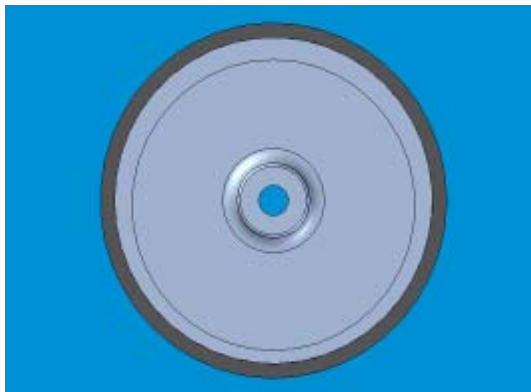


Referencia: Los autores

3.2.2.4 Disco

La máquina cuenta con un disco de acero recubierto con caucho butílico con dureza media de 40 shore, es el elemento interactuante que fricciona la probeta. Este disco está sujeto al eje de la chumacera por medio de un prisionero que impide que el disco resbale sobre el eje.

Fig.16 Diseño disco vulcanizado



Referencia: Los autores

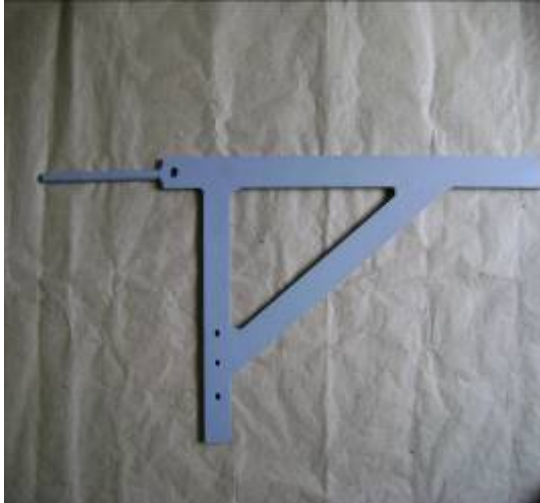
3.2.3 Sistema de aplicación de carga

El sistema de aplicación de carga se diseñó con unas pequeñas mejoras con respecto al diseño propuesto en la norma ASTM G-65 para poder aplicar cargas pequeñas sobre recubrimientos. Consta de brazo palanca, soporte del brazo palanca, pesas, sistema de contrapesos, porta pesas, porta probetas mordazas, todos estos elementos conforman el sistema de aplicación de carga de la probeta contra el abrasivo y el disco.

3.2.3.1 Brazo palanca

Es el mecanismo a través del cual se aplica la carga a la probeta. El diseño de esta pieza fue modificada para poder trabajar pruebas con cargas pequeñas para materiales con recubrimientos. Los cambios consisten en un contrapeso para eliminar el peso muerto del brazo que por sí sólo aplica una carga sobre la probeta, este brazo fue construido en platina de acero de 1 ½ de ancho por ½ pulgada de espesor. Esta pieza fue cortada y soldada para obtener como resultado el brazo, y adicionalmente se le soldó una barra redonda de ½ pulgada de diámetro como soporte del contrapeso que ayudara a eliminar el peso muerto.

Fig. 17 Fotografía brazo palanca



Referencia: Los autores

3.2.3.2 Soporte del brazo palanca

Este soporte tiene un diseño para sostener el brazo desde la parte superior de la estructura. Está construido con platina de 1 ½ pulgadas de ancho por ½ pulgada de espesor. Esta pieza sostiene al brazo por medio de un pivote central el cual le da el movimiento al brazo, y está sostenido a la estructura por medio de cuatro tornillos .

Fig.18 Fotografía soporte brazo

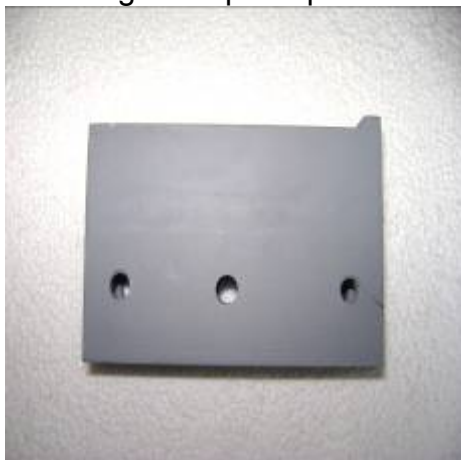


Referencia: Los autores

3.2.3.3 Porta probetas

El porta probetas se diseñó para soportar las probetas cuyas dimensiones son 1 x 3 x ½ pulgadas, a la cual se le diseñó una cuña para que soporte y descansa la probeta del ensayo. El porta probetas está unido al brazo de carga por medio de dos tornillos.

Fig.19 Fotografías porta probetas





Referencia: Los autores

3.2.3.4 Mordazas

Las mordazas fueron diseñadas con el fin de no dejar salir la probeta por los costados del porta probetas, consta de una pestaña de 3 mm de espesor para sostener la probeta, y una corredera horizontal para graduarlas según las dimensiones de las probetas. Están unidas al porta probetas y al brazo de carga por medio de un tornillo que hace de pivote para que deslicen las correderas.

Fig. 20 Fotografía mordazas



Referencia: Los autores

3.2.3.5 Pesas

Las pesas están hechas de fundición gris con forma cilíndrica diseñadas según los cálculos de carga de la norma. Este juego de pesas consta de 6 piezas especificadas en la tabla 1. Con estos valores se calculó la distancia del porta pesas en el brazo palanca según la carga especificada en la norma ASTM G-65, ver tabla 4 y 5.

Tabla 1. Especificación de los pesos.

Pesas	Peso
# 1	1.562 gr
# 2	1.583 gr
# 3	1.598 gr
# 4	1.587 gr
# 5	750 gr
# 6	730 gr

Referencia: Los autores

Fig. 21 Fotografía pesas



Referencia: Los autores

3.2.3.6 Porta pesas

El porta pesas esta hecho de acero el cual está unido al brazo de carga por medio de una platina deslizante, el diseño permite intercambiar pesos para los diferentes tipos de cargas descritas en las pruebas. Teniendo un peso de 1.030 gramos el cual se tiene en cuenta para el calculo de la carga de las pesas ver tabla 5.

Fig.22 Fotografía porta pesas



Referencia: Los autores

3.2.4 Sistema de alimentación y almacenamiento

Este sistema es el encargado de mantener el abrasivo y llevarlo hasta el disco y la probeta. Consta de una tolva de almacenamiento inicial de abrasivo, un soporte de la tolva, conducto alimentador de abrasivo, un regulador de flujo, y una boquilla.

3.2.4.1 Tolva

La tolva se diseñó en lamina calibre 20 de acero galvanizado con un volumen de 5 galones como lo indica la norma ASTM G-65, para mantener la suficiente

cantidad de abrasivo para correr las pruebas. La tolva fue construida en dos partes el cono y el cilindro los cuales se unieron por medio de traslape o “grafado” y que posteriormente fueron soldados con estaño. De la tolva sale el conducto alimentador que es el que transporta el abrasivo a la probeta.

Fig. 23 Fotografía tolva



Referencia: Los autores

3.2.4.2 Soporte tolva

Este soporte se diseñó de tal manera que sea retirable del equipo ya que está unido a la estructura por medio de tornillos. El soporte se elaboró en ángulo de 1 pulgada de ancho por 1/8 de espesor.

Fig. 24 Fotografía soporte tolva



Referencia: Los autores

3.2.4.3 Conducto alimentador de abrasivo

Es una manguera de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro la cual está conectada a la válvula que controla el flujo de abrasivo. El diseño exigió la utilización de este material ya que por su flexibilidad es el más adecuado para conducir el abrasivo desde la tolva hacia la boquilla sin tener dobleces muy pronunciados.

Fig.25 Fotografía conducto alimentador

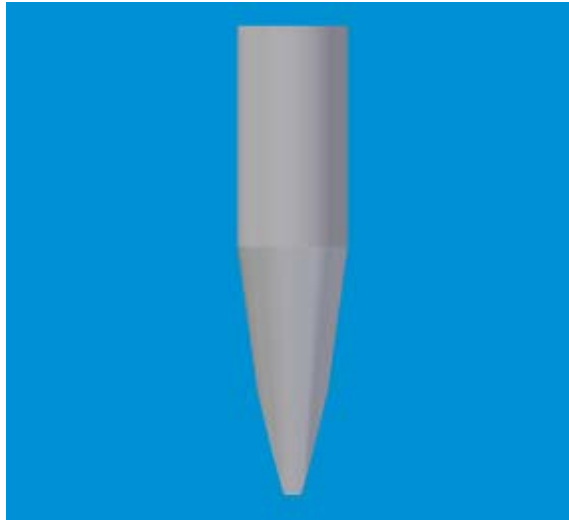


Referencia: Los autores

3.2.4.4 Boquilla

El material con el cual fue construida la boquilla fue acero inoxidable 316 el cual fue mecanizado y deformado en frío para obtener la forma final de la boquilla. Las dimensiones fueron: cono de 2 pulgadas, entrada de arena de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, salida de arena 1.59 mm.

Fig. 26 Diseño boquilla



Referencia: Los autores

3.2.4.5 Válvula de flujo

Este dispositivo es el que regula el flujo de abrasivo saliente de la tolva hacia la boquilla, la función de la válvula es de abrir y cerrar el flujo de abrasivo en el momento de iniciar y finalizar la prueba de desgaste.

3.2.4.6 Depósito de abrasivo

Este depósito se diseñó para recibir el abrasivo que pasa por el disco y la probeta, se elaboró en una lona que permite almacenarlo sin que los finos se salgan. Este depósito está conectado a la estructura por medio de un soporte que lo sostiene.

3.2.5 Sistema de control

Este sistema es el encargado del encendido y regulación del tiempo de funcionamiento de la máquina de desgaste, está constituido por un encendido y

apagado, y un controlador de tiempo que permitirá controlar las revoluciones totales dadas por el disco vulcanizado.

Fig. 27 Fotografía panel de control



Referencia: Los autores

3.2.5.1 Encendido y apagado

Se cuenta con un sistema de arranque el cual está conectado con el moto reductor y el regulador de tiempo, este sistema se localiza en el panel de control.

3.2.5.2 Regulador de tiempo “temporizador”

Este elemento eléctrico se compró con un software especial para controlar el tiempo en el cual estará girando el disco vulcanizado sobre la probeta. Esto permitirá obtener un recorrido más exacto por medio del control de velocidad del disco que esta en rpm así obteniéndose una distancia exacta de desgaste.

3.3 Normalización

Para la puesta en marcha del equipo se realizaron pruebas para determinar se repetitividad. Para cumplir con este objetivo se hicieron los siguientes ajustes:

3.3.1 Asegurar que la probeta y la rueda queden perfectamente enfrentados

Esto se hace para que la probeta este tangencial y en total contacto con el caucho, garantizando que el desgaste sea lo más uniforme posible.

3.3.2 Regular el flujo de arena

La regulación del flujo de la arena depende únicamente de las dimensiones de la boquilla, la cual se hizo con las especificaciones de la norma ASTM G-65. El flujo se determinó dejando correr la arena almacenada en la tolva en un recipiente previamente pesado y contabilizando con un cronometro un minuto, luego se suspendió el paso de arena por la boquilla, la arena depositada se pesó dando una cantidad de 302 gr lo que indica un flujo másico de 302 gr/min. Este valor de flujo se encuentra entre los rangos aceptados por la norma ACTM G-65 la cual indica un flujo de 300 a 400 gr/min. se utilizó un abrasivo donado por la Universidad Nacional de Medellín, por medio del Grupo de Tribología y Superficie, tenido las siguientes características: Arena silícea con 99.9% de Si con una granulometría AFS 30 – 100. Esta arena se caracterizó en la planta de aceros según los requerimientos de la norma ASTM G-65. La arena se paso por las siguientes mayas.

Tabla 2. Caracterización de la arena

Tamaño de Maya	Apertura de la maya	% Retenido en la maya
40	425 μm	0
50	300	5 Max
70	212	95 Min
100	150	0

Referencia: Los autores

El material en que se construyeron las probetas fue seleccionado según lo que describe la norma y se tuvieron en cuenta los siguientes materiales para el desarrollo de la normalización de la máquina.

3.3.3 Selección de probetas

Se seleccionaron tres materiales para la fabricación de las probetas los cuales fueron acero 1020, latón 63 – 37 y aluminio laminado. Estas probetas se construyeron con las medidas especificadas por la norma ASTM G-65.

Tabla 3. Tamaño de la probeta según norma ASTM G-65.

Longitud	Ancho	Espesor
3 pulgadas	1 pulgada	$\frac{1}{4}$ de pulgada

Referencia: Los autores

La superficie de las probetas fue pulida a lija 600 dejando una superficie lisa y limpia lista para correr las pruebas de repetitividad de la máquina.

3.3.4 Calibración de la carga aplicada

La norma especifica para cada procedimiento una carga aplicada a cierto número de revoluciones, ver tabla 4, en la cual se indica los parámetros del sistema.

Tabla 4. Parámetros de la prueba

Procedimiento	Fuerza Aplicada	Revoluciones Disco	Abrasión Lineal Total
A	130 N	6000	4309 m
B	130 N	2000	1436 m
C	130 N	100	71.8 m
D	45 N	6000	4309 m
E	130 N	1000	718 m

Referencia: Los autores

Tomando los datos de fuerza aplicada se calcula la distancia y la masa de las pesas en el brazo palanca, aplicando la siguiente ecuación.

$$P = \frac{Y \times C}{X} \quad \text{Eq. 7}$$

Donde:

Y = Distancia vertical a la probeta

P = Carga de los pesos

C = Carga aplicada en probeta

X = Distancia horizontal de la probeta a las pesas

Dando los siguientes resultados.

Tabla 5. Datos de calibración de la carga aplicada.

Masa de las pesas	Carga de las pesas	Carga en probeta	Distancia X	Distancia Y
7.36 Kg	72.12 N	130 N	39.65 cm	22 cm
2.54 Kg	24.96 N	45 N	39.65 cm	22 cm

Referencia: Los autores

La carga de las pesas puede variar igual que la distancia horizontal siempre y cuando se mantenga constante la carga que soporta la probeta, la cual está determinada por la tabla 4.

3.3.5 Cálculo del tiempo de ensayo

Los datos de tiempo son tomados según el número de vueltas que de el disco por un minuto de tiempo, según la siguiente ecuación.

$$t = \frac{n}{r} \quad \text{Eq. 8}$$

Donde:

t = tiempo

n = número de vueltas

r = revoluciones por minutos

En la tabla 6 se muestran estos valores de vueltas, tiempo y distancia lineal de algunos números de vueltas.

Tabla 6. Tiempos de duración de desgaste.

Número Vueltas	Distancia Recorrida	Tiempo
100	71.8 m	½ min
200	143.6 m	1 min
300	215.4 m	1.5 min
400	287.2 m	2 min
500	359 m	2.5 min
600	430.8 m	3 min
700	502.6 m	3.5 min
800	574.4 m	4 min
900	646.2 m	4.5 min
1000	718 m	5 min
2000	1436 m	10 min
3000	2154 m	15 min
4000	2872 m	20 min
5000	3590 m	25 min
6000	4308 m	30 min

Referencia: Los autores

Los valores de tiempo se calcularon para una velocidad del disco de 200rpm la cual se comprobó con un tacómetro digital.

3.4 Validación equipo rueda de caucho

3.4.1 Datos de la prueba

Para la validación del equipo se desarrollaron ensayos con diferentes materiales, los cuales se presentan en las siguientes tablas:

Tabla. 7 Datos para aluminio de alta pureza laminado.

Prueba No.	1	2	3
Carga	45 N	45 N	45 N
Revoluciones	1000 rpm	1000 rpm	1000 rpm
Flujo arena	302 g/min	302 g/min	302 g/min
Masa inicial	34.1016 gr	33.2885 gr	33.9935 gr
Masa final	33.3752 gr	32.4967 gr	33.2673 gr
Masa perdida	0.7264 gr	0.7918 gr	0.7262 gr
Densidad	2.70 gr/cm ³	2.70 gr/cm ³	2.70 gr/cm ³
Volumen perdido	269.03 cm ³	293.25 cm ³	268.96 cm ³

Referencia: Los autores

Tabla.8 Datos para acero AISI 1020

Prueba No.	1	2	3	4	5
Carga	113 N	113 N	113 N	113 N	113 N
Revoluciones	1000 RPM	1000 RPM	1000 RPM	1000 RPM	1000 RPM
Flujo arena	302 g/min	302 g/min	302 g/min	302 g/min	302 g/min
Masa inicial	97.3882 gr	97.9098 gr	96.8485 gr	97.5368 gr	97.7764 gr
Masa final	96.9998 gr	97.5368 gr	96.4831 gr	97.1946 gr	97.4552 gr
Masa perdida	0.3884 gr	0.3730 gr	0.3654 gr	0.3422 gr	0.3212 gr
Densidad	7.87 gr/cm ³	7.87 gr/cm ³	7.87 gr/cm ³	7.87 gr/cm ³	7.87 gr/cm ³
Volumen perdido	49.35 cm ³	47.39 cm ³	46.42 cm ³	43.48 cm ³	40.81 cm ³

Referencia: Los autores

Tabla. 9 Datos para latón composición 37% Zn 63% Cu

Prueba No.	1	2	3	4	5
Carga	45 N	45 N	45 N	45 N	45 N
Revoluciones	1000 RPM	1000 RPM	1000 RPM	1000 RPM	1000 RPM
Flujo arena	302 g/min	302 g/min	302 g/min	302 g/min	302 g/min
Masa inicial	102.9229 gr	107.6838 gr	101.8327 gr	106.3706 gr	104.5477 gr
Masa final	101.8327 gr	106.3706 gr	100.8334 gr	105.0638 gr	103.7303 gr
Masa perdida	1.0902 gr	1.3132 gr	0.9993 gr	1.3068 gr	0.8174 gr
Densidad	8.47 gr/cm ³	8.47 gr/cm ³	8.47 gr/cm ³	8.47 gr/cm ³	8.47 gr/cm ³
Volumen perdido	128.71 cm ³	155.04 cm ³	117.98 cm ³	154.28 cm ³	96.50 cm ³

Referencia: Los autores

Los datos obtenidos para los tres materiales son tomados como datos patrón para la calibración y repetitividad de la máquina.

3.4.2 Resultados de las pruebas

Tomando como base los datos de la prueba de desgaste en los materiales ensayados, se realizó el cálculo de la desviación estándar para cada material ensayado. En la tabla. 10 se muestran los valores de la desviación estándar resultante en cada uno de los materiales.

Tabla.10 desviación de las pruebas

Material	Promedio	Xón	Xón ⁻¹
Aluminio	277.28 cm ³	11.29	13.83
Acero 1020	45.49 cm ³	3.01	3.36
Latón 63 - 37	130.50 cm ³	22.28	24.91

Referencia: Los autores

4. RESULTADOS

4.1 Protocolo

Este protocolo esta compuesto de dos partes la maquina y la probeta en los cuales indican los pasos a seguir para el desarrollo de la prueba en la máquina de desgaste abrasivo.

4.1.2 Protocolo funcionamiento maquina

Para realizar cada ensayo se tuvieron en cuenta los siguientes pasos:

1. Calibración del brazo palanca por medio del contrapeso para eliminar el peso muerto. Dando el contacto tangencial entre el disco y la probeta.
2. Cálculo del peso y la distancia de las pesas en el brazo palanca, este cálculo se realiza por medio de la Eq. 7.
3. Ajuste de la probeta con las mordazas.
4. Llenado de la tolva con el abrasivo.
5. Puesta de las pesas calculadas con la Eq. 7 en le porta pesas.
6. Ajuste de la distancia boquilla-disco.
7. Determinación del tiempo de funcionamiento según tabla.4
8. Marcación de tiempo en el panel de control.
9. Apertura válvula de flujo de abrasivo.
10. Inicio de la marcha de la prueba.
11. Cierre de la válvula de flujo, al terminar el tiempo de marcha del ensayo.
12. Retiro de la probeta.

4.1.3 Protocolo probeta.

Para realizar los ensayos de desgaste se tienen en cuenta los siguientes pasos:

1. Corte de la probeta en las dimensiones dadas en la tabla.3
2. Desbaste de las aristas de jadas por el corte
3. Limpieza de la superficie de la probeta para la eliminación de óxidos, grasas y elementos diferentes al material a ensayar.
4. Pesado de la probeta en la balanza con una precisión de $\pm 0.0001\text{gr}$.
5. Limpieza después de realizar ensayo para retirar las partículas de abrasivo adherido a la probeta.
6. Pesado de la probeta.

4.2 Resultados pruebas de desgaste.

Para comprobar la validación del equipo se corrieron pruebas con los mismos materiales siguiendo el protocolo de la maquina para analizar si están en los rangos obtenidos en la validación de repetitividad de la máquina.

4.2.1 Resultados aluminio

Tabla.11 Datos prueba para aluminio

Prueba No.	1
Carga	45 N
Revoluciones	1000 rpm
Flujo arena	302 g/min
Masa inicial	35.0531 gr
Masa final	34.2869 gr
Masa perdida	0.7662 gr
Densidad	2.70 gr/cm ³
Volumen perdido	283.77 cm ³

Referencia: Los autores

En la fig. 28 se muestra la huella después de realizar el desgaste abrasivo a la probeta de aluminio con las siguientes condiciones:

Tabla.12 Condiciones de operación de prueba de desgaste

Velocidad del disco	200 rpm
# vueltas totales	1000
Carga aplicada	45 N
Flujo de arena	302 gr/min
tiempo	5 min

Referencia: Los autores

Fig. 28 Fotografía huella de desgaste en aluminio



Referencia: Los autores

4.2.2 Resultados acero 1020

Tabla.13 Datos prueba para acero 1020

Prueba No.	2
Carga	113 N
Revoluciones	1000 RPM
Flujo arena	302 g/min
Masa inicial	98.2246 gr
Masa final	97.8764 gr
Masa perdida	0.3482 gr
Densidad	7.87 gr/cm ³
Volumen perdido	44.24 cm ³

Referencia: Los autores

En la fig. 29 se muestra la huella después de realizar el desgaste abrasivo a la probeta de acero 1020 con las siguientes condiciones:

Tabla.14 Condiciones de operación de prueba de desgaste

Velocidad del disco	200 rpm
# vueltas totales	1000
Carga aplicada	113 N
Flujo de arena	302 gr/min
tiempo	5 min

Referencia: Los autores

Fig.29 Fotografía huella de desgaste en acero 1020



1020 Referencia: Los autores

4.2.3 Resultados latón 63 – 37

Tabla.15 Datos prueba para latón 63 – 371020

Prueba No.	3
Carga	45 N
Revoluciones	1000 RPM
Flujo arena	302 g/min
Masa inicial	105.5612 gr
Masa final	104.5477 gr
Masa perdida	1.0135 gr
Densidad	8.47 gr/cm ³
Volumen perdido	119.65 cm ³

Referencia: Los autores

En la fig. 29 se muestra la huella después de realizar el desgaste abrasivo a la probeta de latón 63 – 37 con las condiciones mostradas en la tabla.12

Fig. 30 Fotografía huella de desgaste en latón 63 – 37



Referencia: Los autores

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El valor de desgaste obtenido por los materiales en cada una de las pruebas de validación de repetitividad de la máquina son muy cercanos a los valores propuestos en la Tabla.10, que corresponden a la desviación estándar de los ensayos realizados para la validación del equipo, comprobando la repetitividad del equipo. La validación de la repetitividad de la prueba esta basada en los resultados de las tablas 7, 8, 9, 10 en las cuales reportan cada uno de los valores de perdida de masa y desviación estándar para cada material analizado. Estos valores se desarrollaron por medio de un protocolo el cual se siguió en la prueba final, en la cual se tomo una prueba de cada material para determinar si entraba en los valores establecidos en la tabla.10, dando como resultado que cada material entraba en la tolerancia que marca la desviación estándar.

La maquina de desgaste abrasivo fue diseñada para correr pruebas con cargas altas como las descritas por la norma ASTM G-65. Como también cargas pequeñas por medio del contrapeso colocado en el brazo palanca, esto hace del contrapeso una mejora considerable en el diseño del sistema de aplicación de carga, lo cual amplía la evaluación del desgaste a materiales con recubrimientos de pequeño espesor.

El diseño de la maquina de desgaste abrasivo se realizó teniendo en cuenta los parámetros de la norma ASTM G-65. Haciendo variaciones en el diseño del brazo palanca, mejorando el sistema con un contrapeso que elimina el peso muerto del brazo, teniendo que la carga aplicada sea solo de las pesas y no del cuerpo del brazo.

Las mejoras en el diseño del sistema de aplicación de carga están en el soporte del brazo palanca el cual tiene un sistema de correderas que permiten graduar el soporte a la distancia necesaria para que la probeta este tangencial al disco vulcanizado. Esto es muy importante debido al espesor variable de las probetas que esta entre 0.12 – 0.5 pulgadas. Según norma ASTM G-65.

Se diseño y construyo un porta pesas el cual se sostiene del brazo palanca por medio de un cuadrante deslizante y ajustado con un prisionero que permite variar la distancia de aplicación de las pesas. Por medio de la Eq. 7 se hace el cálculo de la distancia y masa de las pesas para la carga aplicada en la probeta. Este sistema es de gran importancia para graduar la carga y la masa de las pesas dependiendo del ensayo que se realice.

Se realizo una selección de material para la elaboración del conducto alimentador de abrasivo debido a la posición de la tolva, ya que el conducto debe tener la menor resistencia al paso de la arena. Por lo cual se construyo con una manguera que fuera resistente y flexible que permitiera el paso de arena de la tolva a la boquilla.

La tolva almacenamiento se construyó teniendo en cuenta el máximo volumen gastado en la operación, dimensionando este valor un 10 % mas llegando a un volumen total de 22.000 cm^3 suficiente para la operación de maquina sin tener que realimentar la tolva durante las pruebas de desgaste. La realización del cálculo de almacenamiento es de gran importancia debido que las pruebas realizadas en esta máquina requieren una alimentación constante de arena.

El sistema de control es vital en la maquina por lo que se diseño y construyo con un temporizador digital que permite establecer el tiempo total de la prueba y comenzar el funcionamiento del moto reductor. Este sistema también cuenta con

un botón de parada de emergencia el cual detiene el motor y el conteo del temporizador dándole al operario la oportunidad de corregir el problema y reiniciar la prueba con el tiempo restante, este dispositivo es una gran herramienta en la maquina siendo una mejora en el funcionamiento de las pruebas realizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/bib/notas/histrib.pdf>

- [2] <http://www.tecnun.es/asignaturas/elemaqui/cap1.pdf>

- [3] ASM Handbook Vol. 18, Friction, Lubrication and Wear Technology, ASM International, USA, 1992. p 176- 192.

- [4] D. Tabor, Status and Direction of Tribology as a Science in the 80's: Understanding and Prediction, Tribology in the 80's, Vol 1, NASA Conf. Publ. 2300, National Aeronautics and Space Administration, 1983, p 1-11

- [5] I.V. Kragelskii and N.M. Mikhin, Handbook of Friction Units of Machines, American Society of Mechanical Engineers, 1988 (transl. from Russian)

- [6] R. Blickensderfer, B.W. Madsen, and J.H. Tylczak, Comparison of Several Types of Abrasive Wear Tests, *Proceedings of the International Conference on Wear of Materials*, American Society of Mechanical Engineers, 1985, p 313

- [7] A.J. Sedriks and T.O. Mulhearn, The Effect of Work-Hardening on the Mechanics of Cutting in Simulated Abrasive Processes, *Wear*, Vol 7, 1964, p 451- 466

- [8] T. Sasaki and K. Okamura, The Cutting Mechanism of Abrasive Grain, *Bull. Jpn. Soc. Mech. Eng.*, Vol 12, 1960, p 547

- [9] K. Kato, Wear Mode Transitions, *Scripta Metall.*, Vol 24, 1990, p 815-820
- [10] J.F. Archard, Contact and Rubbing of Flat Surfaces, *J. Appl. Phys.*, Vol 24, 1953, p 981
- [11] G. Sundararajan, A New Model for Two-Body Abrasive Wear Based on the Localization of Plastic Deformation, *Wear*, Vol 117, 1987, p 1-35
- [12] *Wear of Materials*, Vol 1-8, American Society of Mechanical Engineers, 1977-1991
- [13] D. Scott, Ed., *Wear*, Vol 13, *Treatise on Materials Science and Technology*, H. Hermann, Ed., Academic Press, 1979
- [14] Annual Book of Standards, Vol 03.2, ASTM, 1990
- [15] EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO EN RECUBRIMIENTOS DUROS PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA MINERA *Scientia et Technica* Año X, No 25, Agosto 2004. UTP. ISSN 0122-1701
- [16] Hawk J.A. , Wilson R.D., Tylczak J.H., Dogan O.N. Laboratory abrasive wear tests: investigation of test methods and alloy correlation, *Wear*, Vol 225, 1999.

- [17] ASTM G65-04 Standard practice for Conducting dry sand / rubber abrasion test
- [18] HUTCHINGS, I. M. Tribology Friction and Wear of Engineering Materials. Cambridge, 1992, p 133- 171.
- [19] Calibración de una Máquina Tribológica Para Pruebas de Desgaste abrasivo. M. Vite, J. Aguilar, J. N. Carrillo, J. L. de la Luz y M. Flores Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM, Circuito exterior, Ciudad Universitaria C.P.

ANEXOS

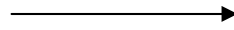
Anexo A. Manual de Operación de la Máquina

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

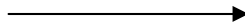
- 1 Elementos de manejo y función
- 2 Procedimiento de operación
 - 2.1 protocolo maquina
 - 2.1.1 Calibración del brazo palanca
 - 2.1.2 Calculo del peso y la distancia de las pesas
 - 2.1.3 Ajuste de la probeta con las mordazas
 - 2.1.4 Llenado de la tolva con el abrasivo
 - 2.1.5 Puesta de las pesas en el porta pesas
 - 2.1.6 Determinación del tiempo de funcionamiento
 - 2.1.7 Marcación de tiempo en el panel de control
 - 2.1.8 Apertura válvula de flujo del abrasivo
 - 2.1.9 Inicio de la marcha de la prueba
 - 2.1.10 Cierre de la válvula de flujo
 - 2.1.11 Retiro de la probeta
- 3 Limpieza
- 4 Mantenimiento

1 Elementos de manejo y función

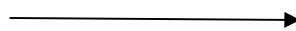
Panel de control



Pantalla

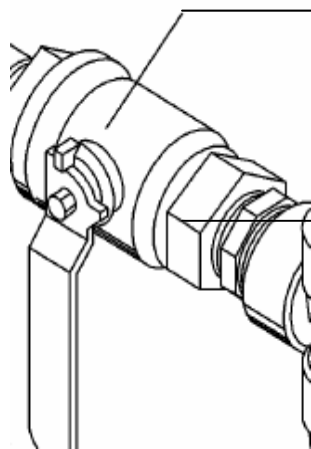


Panel de control



Botones de encendido

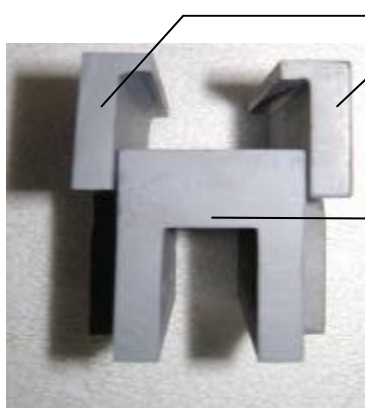
Válvula de apertura de flujo



Llave de apertura de flujo

Válvula de flujo

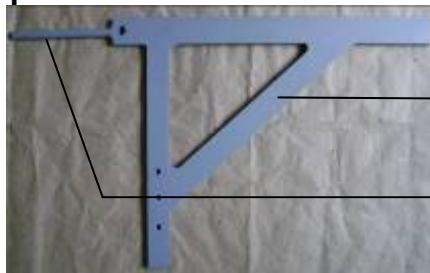
Mordazas



Mordazas

Porta probetas

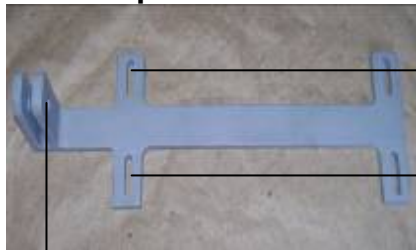
Brazo palanca



Brazo palanca

Soporte contrapeso

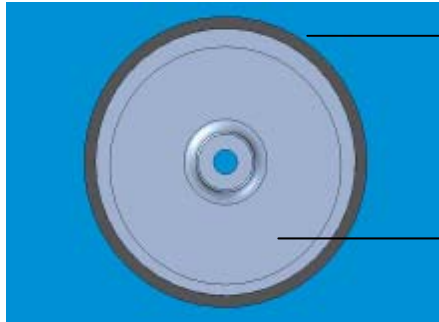
Soporte brazo palanca



Correderas de ajuste

Soporte brazo palanca

Disco



Caucho vulcanizado

Disco metálico

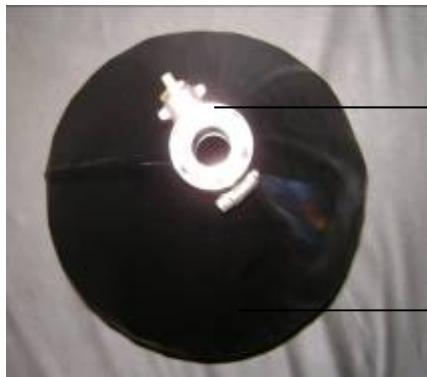
Porta pesas



Corredera de ajuste

Soporte pesas

Tolva



Válvula de flujo

Tolva

2.1 Protocolo maquina

2.1.1 Calibración del brazo palanca

La calibración del brazo palanca debe realizarse ajustando las correderas del soporte del brazo las cuales están unidas por tornillos ajustables, teniendo las dimensiones de la probeta corra el soporte hasta que la probeta quede perpendicular al disco y el brazo totalmente horizontal, ajuste los tornillos de las correderas para darle firmeza al soporte.

2.1.2 Calculo del peso y la distancia de las pesas

Teniendo la carga a aplicar en la probeta utilice la Eq. 7 para determinar la distancia del porta pesas o la masa de las pesas dejando una de las dos constante.

2.1.3 Ajuste de la probeta con las mordazas

Para ajustar la probeta suelte el tornillo sujetador de las mordazas para abrir el espacio entre las mordazas y el porta probetas, coloque la probeta en el soporte del porta probetas y ajuste las mordazas contra la probeta y apreté el tornillo de las mordazas para dar el ajuste final.

2.1.4 Llenado de la tolva con el abrasivo

Tome el abrasivo con la granulometría indicada en la tabla. 2 para llenar la tolva. Cierre la válvula de flujo y deposité el abrasivo.

2.1.5 Puesta de las pesas en el porta pesas

Después de calcular la distancia de aplicación de la carga asegure el porta pesas al brazo palanca por medio del prisionero para evitar el deslizamiento del soporte, luego coloque las pesas que tengan la masa calculada para la aplicación de la carga.

2.1.6 Determinación del tiempo de funcionamiento

En la tabla. 6 se tienen los valores de tiempos para algunos numero de vueltas totales del disco determine a que numero de vueltas correrá la prueba y tome los datos de la tabla.6

2.1.7 Marcación de tiempo en el panel de control

Después de seguir los pasos 2.1.1 al 2.1.6 digite el valor del tiempo calculado para correr la prueba.

2.1.8 Apertura válvula de flujo del abrasivo

La apertura de la válvula de flujo marca el comienzo de la prueba, tome la manija de la llave y gírela 90° para tener el flujo indicado de la norma.

2.1.9 Inicio de la marcha de la prueba

Presione el botón verde en el panel de control el cual le suministra la energía al sistema, luego presione el boto STAR para dar marcha al giro de la rueda e inicio de la prueba.

2.1.10 Cierre de la válvula de flujo

Apenas termine la prueba cierre la válvula de flujo para detener el paso de abrasivo presione el botón rojo para suspender el paso de energía al sistema y evitar la puesta en marcha de la maquina accidentalmente.

2.1.11 Retiro de la probeta

Retire la probeta de la misma manera que en le numeral 2.1.3 y pese la probeta.

3 Limpieza

Después de correr pruebas limpie el disco para remover los elementos abrasivos, de la misma manera las paredes de la campana de trabajo.

4 Mantenimiento

- El mantenimiento de la maquina esta basado en la determinación de desgaste del disco vulcanizado, el cual debe ser cambiado al momento de presentar demasiado desgaste.
- La determinación del nivel de aceite en la transmisión del moto reductor para evitar que se funda. Se debe medir frecuentemente este nivel.
- Calibrar el soporte del brazo cada que de corra una prueba.

Anexo B. Norma ASTM G-65-04
(Archivo PDF)

**Anexo C. Planos
(Carpeta)**