



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS-CIYA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE DESGASTE
MICRO ABRASIVO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE COTOPAXI - LA MANÁ, 2022.”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del título de Ingeniería Electromecánica

AUTOR:

Carrasco Dueñas Jonathan Alexander

Maldonado Pérez Fernando Adrián

TUTOR:

MSc. José Williams Morales Cevallos

LA MANA ECUADOR

GOSTO-2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros: Carrasco Dueñas Jonathan Alexander y Maldonado Pérez Fernando Adrián, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE DESGASTE MICRO ABRASIVO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI - LA MANÁ, 2022, siendo el ING. MSC. JOSÉ WILLIAMS MORALES CEVALLOS, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Carrasco Dueñas Jonathan Alexander
C.I: 080237961-0



Maldonado Pérez Fernando Adrián
C.I: 092885533-7

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE DESGASTE MICRO ABRASIVO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI - LA MANÁ, 2022” de Carrasco Dueñas Jonathan Alexander y Maldonado Pérez Fernando Adrián, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas –CIYA, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal de validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, 26 agosto del 2022



Ing. José Williams Morales Cevallos MSc.

C.I: 0502675424

TUTOR

APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante Wagner Iván Chanaluisa Flores con el título de Proyecto de Investigación: ” **REACONDICIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN PARA LA ESCUELA DE EDUCACIÓN BÁSICA RIO SAN PABLO DEL TOQUILLAL**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación de proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, agosto del 2022

Para constancia firman:


PhD. Yoandrys Morales Tamayo
C.I: 1756958797
LECTOR 1 (PRESIDENTE)




M.Sc. Danilo Fabricio Trujillo
Ronquillo
C.I: 1803547320
LECTOR 2


M.Sc. Alex Darwin Paredes Anchatipán
C.I: 0503614935
LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por permitirnos estar con vida, darnos salud y bendiciones en cada paso que damos,

A nuestras familias por ser un apoyo incondicional en las diferentes etapas de nuestras vidas, por sus consejos sus valores que nos inculcaron desde la niñez para seguir preparándonos y ser útiles para la sociedad

A nuestros docentes por ser la guía de preparación académica y fortalecer nuestras actitudes, inculcándonos conocimientos y preparándonos para ser el futuro de la patria.

A nuestros compañeros por trabajar en equipo y poder así demostrar lo aprendido con verdadero liderazgo y responsabilidad.

Jonathan

Fernando

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto en primera instancia a Dios, por ser el motor de nuestras vidas, ya que es el quien nos ayuda cada día. Él nos ha sostenido a mí y a nuestras familias para conseguir nuestras metas planteadas para nuestro futuro.

También queremos dedicar a nuestros padres, ya que ellos nos han apoyado desde el primer día escolar en el nivel inicial, primario y secundario, ahora nos continúan apoyando en este escalón del tercer nivel para podamos cumplir nuestros sueños para ser profesionales y personas de bien para la sociedad.

A mi nuestros amigos y personas que han estado para nosotros en este proceso profesional, por ser un pilar fundamental en nuestras vidas, ellos nos trajeron alegría y apoyo en los momentos difíciles y buenos de nuestras vidas.

En mi caso Jonathan Carrasco, dedico el presente proyecto a mi hijo, porque desde el día que nació consiguió que cada día sea el más feliz y él es indispensable en mi vida.

***Jonathan
Fernando***

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS – CIYA

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE DESGASTE
MICRO ABRASIVO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA
DE COTOPAXI - LA MANÁ, 2022”

Autor:

Carrasco Dueñas Jonathan Alexander
Maldonado Pérez Fernando Adrián

RESUMEN

Dentro de la investigación se realizará el diseño e implementación de una máquina que permitirá realizar ensayos y estudios por los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi – Extensión La Maná, siendo así que ayudará a que se establezcan las comprobaciones en cuanto a la efectividad de las piezas y de la misma manera la predeterminación del ciclo de vida de los fragmentos de las maquinarias que se encuentran en un funcionamiento permanente viéndose sujetas a este tipo de desgaste que se menciona dentro de la investigación. Estos tipos de ensayos incidirán en el empleo de análisis del tiempo exacto donde corresponderá realizar el cambio de piezas logrando el ahorro de dinero, tiempo y accidentes que se ocasionan principalmente en las grandes industrias. Los beneficiarios directos de este estudio se encuentran encaminado hacia los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi – Extensión La Maná donde mediante de la máquina para ensayos de desgaste micro abrasivo lograrán determinar los factores que inciden dentro de los sistemas de desgastes micro abrasivos según la norma ASTM-G65 y el tiempo promedio para el cambio de piezas, los beneficiarios indirectos serán las compañías que dentro de su entorno cuentan con maquinarias, logrando evitar no solo gastos innecesarios sino también accidentes laborales.

Palabras clave: ASTM G65, micro abrasivo, desgaste, maquina, diseño.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI THE MANNA EXTENSION

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES - CIYA

**" IMPLEMENTATION OF A MACHINE FOR MICRO-ABRASIVE WEAR TESTS
FOR THE STUDENTS OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI - LA
MANÁ, 2022"**

Author:

Carrasco Dueñas Jonathan Alexander
Maldonado Pérez Fernando Adrián

ABSTRACT

Within the investigation, the design and implementation of a machine will be carried out that will allow tests and studies to be carried out by the students of the Technical University of Cotopaxi - La Mana Extension, thus helping to establish the verifications regarding the effectiveness of the pieces and in the same way the predetermination of the life cycle of the fragments of the machinery that are in permanent operation being subject to this type of wear that is mentioned within the investigation. These types of tests will affect the use of analysis of the exact time where it will be necessary to change parts, achieving savings in money, time and accidents that are caused mainly in large industries. The direct beneficiaries of this study are directed towards the students of the Technical University of Cotopaxi - La Mana Extension where, through the machine for micro abrasive wear tests, they will be able to determine the factors that affect micro abrasive wear systems according to the standard. ASTM-G65 and the average time for the change of pieces, the indirect beneficiaries will be the companies that within their environment have machinery, managing to avoid not only unnecessary expenses but also work accidents.

Keywords: ASTM G65, micro abrasive, wear, machine, design.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen al idioma inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE DESGASTE MICRO ABRASIVO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI - LA MANÁ, 2022” presentado por: Carrasco Dueñas Jonathan Alexander y Maldonado Pérez Fernando Adrián, egresado de la Carrera de: Ingeniería Electromecánica, perteneciente a la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

La Maná, agosto del 2022

Atentamente,

MSc. Ramón Amores Sebastián Fernando

C.I. 0503016688-5

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

INDICE GENERAL

DECLARACION DE AUDITORIA.....	ii
DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
AVAL DE TRADUCCION	vii
INDICE GENERAL	viii
INDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
INFORMACIÓN GENERAL	1
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
JUSTIFICACIÓN	3
BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
4.1 Beneficiarios Directos.....	4
4.2 Beneficiarios Indirectos	4
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5.1 Planteamiento del problema	4
5.2 Delimitación del problema	5
5.3 Formulación del Problema	6
OBJETIVOS.....	6
6.1 Objetivo General.....	6
6.2 Objetivo Especifico.....	6
ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS	6
FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA	7
8.1 Norma ASTM-G65	7
8.2 Tribología.....	7
8.2.1 Fundamentos de la Tribología	8

8.2.2	¿Qué estudia la Tribología?.....	8
8.2.3	Aplicaciones de la tribología.....	9
8.3	Concepto de fricción y desgaste.....	9
8.4	Tipos de Desgastes:	10
8.5	Desgaste adhesivo.....	10
8.6	Desgaste por abrasión.	10
8.7	Desgaste por ludimiento.....	11
8.8	Desgaste por fatiga superficial.	11
8.9	Desgaste erosivo.....	12
8.10	Desgaste corrosivo.....	13
8.11	Lubricación.....	13
8.12	Tipos de Máquinas para desgaste abrasivo	14
8.12.1	Máquina de Espiga ubicada sobre mesa oscilante.....	14
8.12.2	Máquina de Espiga sobre buje.....	14
8.12.3	Máquina de Cilindros cruzados.....	15
8.12.4	Máquina de Espiga sobre cilindro	15
8.12.5	Máquina Pin – On – Disk.....	16
8.13	Elementos de la máquina para pruebas de desgaste abrasivo Norma ATSM-G65 ...	16
8.13.1	Tolva	17
8.13.2	Boquilla.....	17
8.13.3	Eje	18
8.13.4	Rueda Motriz.....	18
8.13.5	Probeta	19
8.13.6	Porta probetas	19
8.13.7	Brazo Mecánico.....	20
8.13.8	Estructura Metálica.....	20
8.14	Fricción	21

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	27
10 ANALISIS DE RESULTADOS	29
10.1 Arranque de a máquina	29
10.2 Preparación de la probeta.....	29
10.3 Parámetros de pruebas	29
11 VALORACIÓN ECONÓMICA Y/O PRESUPUESTO PARA IMPLEMENTAR LA PROPUESTA DEL PROYECTO.....	31
12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
12.1 Conclusiones:	32
12.2 Recomendaciones:	33
13 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	34
14 Bibliografía	34
15 ANEXOS	37
ANEJO 1.1 CURRICULUM VITAE.....	37
ANEJO 1.2. CURRICULUM VITAE.....	38
ANEXO 2 DIAGRAMA DE LA MÁQUINA DE DESGASTE ABRASIVO SEGÚN LA NORMA ASTM G65	40
ANEXO 3 NORMA ASTM G65	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tribología	8
Figura 2 Fricción y desgaste	9
Figura 3 Desgastes adhesivo entre dos piezas en movimiento	10
Figura 4 Desgastes abrasivo debido a la presencia de partículas duras	11
Figura 5 Desgaste por fatiga superficial.....	12
figura 6 Desgastes erosivo debido a la acción de un fluido	12
con partículas abrasivas en suspensión	12
Figura 7 Lubricantes	13
Figura 8 Máquina de espiga sobre mesa oscilante.....	14
Figura 9 Máquina de Espiga sobre buje	15
Figura 10 Máquina de cilindros Cruzados	15
Figura 11 Máquina de Espiga sobre cilindro.....	16
Figura 12 Máquina Pin-on-disk	16
Figura 13 Tolva.....	17
Figura 14 Boquilla	17
Figura 15 Eje	18
Figura 16 Rueda Motriz	18
Figura 17 Probetas	19
Figura 18 Porta probeta.....	19
Figura 19 Brazo Mecánico	20
Figura 20 Estructura Metálica	20
Figura 21 Fuerza de Fricción Máxima	21
Figura 24 Superficie en contacto pequeña	24
Figura 25 Superficie de contacto más grande.....	25
Figura 26 Caracterización de la superficie.	26
Figura 27 Rigurosidad media (Ra).....	27

Figura 28 Construcción de la máquina según la NORMA ASTM G65.....	28
Figura 29 Pintada y armada de la máquina de desgaste abrasivo.....	29
Figura 30 Masa de la probeta de prueba	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Actividades y Sistemas de tareas en relación a los objetivos	6
Tabla 2 Coeficiente de rozamiento de algunos materiales	23
Tabla 3 Acabado superficial por proceso.....	26
Tabla 4 Parámetros de la Norma ASTM G65	30
Tabla 5 Resultados de utilizar la máquina.....	30
Tabla 6 Costos directos de materiales.....	32

INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE DESGASTE MICRO ABRASIVO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI - LA MANÁ, 2022”

Fecha de inicio:	abril del 2022
Fecha de finalización:	agosto del 2022
Lugar de ejecución:	Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná
Unidad académica que auspicia:	Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA
Carrera que auspicia:	Ingeniería Electromecánica
Proyecto de investigación vinculado:	
Equipo de trabajo:	
Tutor del Proyecto:	Ing. MSc. José Williams Morales Cevallos
Postulante:	Carrasco Dueñas Jonathan Alexander Maldonado Pérez Fernando Adrián
Área de conocimiento:	Ingeniería, Industria y Construcción
Línea de investigación:	Procesos Industriales
Sub líneas de investigación de la carrera:	Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde un punto de vista académico, el estudio del desgaste y la fricción es uno de los últimos aspectos de la mecánica clásica que aún plantea cuestiones abiertas importantes. En términos de ingeniería mecánica, su importancia es cada vez mayor debido a las presiones sobre los componentes mecánicos, las tolerancias cada vez menores permitidas en los procesos de fabricación y los límites de emisión cada vez mayores para sustancias peligrosas. La contaminación (por ejemplo, en motores de automóviles), también desafía la ciencia relativamente nueva de la tribología.

La principal problemática para las industrias es el desgaste de piezas en máquinas que se utilizan en este tipo de empresa que son de índole manufactureras, estas requieren un recambio continuo de partes de las maquinarias provocando que las producciones se encuentren paralizadas durante un tiempo mientras estas se encuentran en reparaciones. Se ha visto la necesidad de máquinas de ensayos para desgastes micro abrasivos con la finalidad de estudiar los métodos adecuados de trabajo permitiendo establecer la previsión de fallas de los equipos luego de su tiempo de uso constante.

En las industrias los diferentes tipos de materiales son sujetos al desgaste abrasivo ya que en el proceso de mantenimiento estos materiales se ven sujetos a cambios frecuentes por que los trabajos repetitivos que ejercen diariamente son altamente pesados. Se eligen los materiales según el trabajo que realizan al que van a estar continuamente dependientes por esa razón hay que seleccionar el material adecuado y con una buena calidad con la finalidad de reducir sus costos logrando un buen trabajo de un corto y mediano plazo.

Como problemática de costos sociales el desgaste micro abrasivo se encuentra asociado a la contaminación medioambiental. En estudios preliminares se ha comprobado que es posible reducir la cantidad de combustible ineludible para superar los problemas de fricción entre partes externas e internas de maquinarias, logrando prevalecer el nivel considerable de fricción entre las piezas que se encuentran ya desgastadas. Por lo que este ahorro ayuda al reducir los impactos medioambientales y aun si se trata de usos constantes de combustibles.

En cuanto al costo dentro de las empresas e industrias, las pérdidas por fricción o desgaste pueden abordarse de varias maneras. Como parte de una inversión, como comprar una bomba

o informar un presupuesto. Otra posibilidad es verlos como una fuente de reducción de costos en lugar de cuestiones puramente presupuestarias.

JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador existen un sin número de industrias que se dedican a la elaboración de materiales metálicos dichos materiales que sirven para diversos tipos de trabajos, el objetivo del diseño de la máquina de desgaste para ensayos micro-abrasivos se busca evaluar el comportamiento de las piezas para así poder comprobar la efectividad de las mismas, logrando ofrecer un servicio de calidad y durabilidad, gracias a esto se puede llegar a saber cuándo realizar un respectivo cambio de piezas ahorrando tiempo y dinero a las empresas.

Hay un sin número de máquinas en las cuales se puede realizar ensayos de abrasión tanto para acero como para adoquín, en las cuales estas han hecho posible realizar varios estudios del desgaste abrasivo llegando a ser una ventaja porque gracias a estas se han podido estudiar distintos materiales y así poder saber su efectividad y durabilidad.

La realización de esta máquina se la hace con el fin de realizar ensayos de abrasión para cualquier tipo de acero basándonos según la norma ASTM-G65 para mejorar la calidad de los materiales ya que los mismos están en un constante desgaste por las fricciones de cuerpos externos que pueden provocar accidentes o costes adicionales para las industrias por lo que es muy recomendable en este caso para este tipo de máquina usar arena de cuarzo.

Tenemos como finalidad al corto plazo llegar como beneficiarios directos a los estudiantes de la Universidad de Cotopaxi dado que ellos necesitan este prospecto según la Norma ASTM-G65 para futuras evaluaciones y estudios, mientras que tenemos como beneficiarios indirectos a los trabajadores y la administración de las industrias porque se evitarían accidentes y ahorrarían costes adicionales en este tipo de empresas. Sin embargo, para la investigación se tomará como beneficiario indirecto a la Universidad Técnica de Cotopaxi dado que será el mediador en caso de que se tome este proyecto como modelo empresarial.

La importancia de la implementación de una máquina para ensayos de desgaste micro abrasivo se encuentra establecida en que ayudará a realizar un análisis adecuado de comprensión y evaluación del desgaste de terminales de maquinarias con el fin de minimizarlo en la medida

de lo posible en piezas bajo condiciones específicas de operación. Como anteriormente se ha expuesto, esto incidirá dentro de los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi para que ellos tengan un modelo dentro de las instalaciones de la institución con el propósito de realizar prácticas de laboratorio más profundas obteniendo resultados sobre evaluaciones de desgaste y abrasión de piezas.

La investigación se realizará mediante la práctica con la supervisión de un docente conocedor de las características de este tipo de maquinarias, y también en base a la fundamentación teórica, logrando establecer cada uno de los aspectos del diseño y construcción de este modelo en base a la Norma ASTM-G65.

BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1 Beneficiarios Directos

Los beneficiarios directos del proyecto serán los estudiantes de la carrera de Electromecánica de Universidad Técnica de Cotopaxi extensión la Maná, ya que ellos podrán utilizar la máquina para poder realizar ensayos abrasivos en el laboratorio complementando la parte técnica de los conocimientos adquiridos teóricamente en el aula como parte de su formación profesional.

4.2 Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos del proyecto serán los docentes y futuros estudiantes que puedan ingresar a la carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, ya que ellos podrán utilizar esta máquina para sus estudios futuros.

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1 Planteamiento del problema

Desde un punto de vista académico, el estudio del desgaste y la fricción es uno de los últimos aspectos de la mecánica clásica que aún plantea cuestiones abiertas importantes. En términos de ingeniería mecánica, su importancia es cada vez mayor debido a las presiones sobre los componentes mecánicos, las tolerancias cada vez menores permitidas en los procesos de fabricación y los límites de emisión cada vez mayores para sustancias peligrosas. La contaminación (por ejemplo, en motores de automóviles), también desafía la ciencia relativamente nueva de la tribología.

La principal problemática para las industrias es el desgaste de piezas en máquinas que se utilizan en este tipo de empresa que son de índole manufactureras, estas requieren un recambio continuo de partes de las maquinarias provocando que las producciones se encuentren paralizadas durante un tiempo mientras estas se encuentran en reparaciones. Se ha visto la necesidad de máquinas de ensayos para desgastes micro abrasivos con la finalidad de estudiar los métodos adecuados de trabajo permitiendo establecer la previsión de fallas de los equipos luego de su tiempo de uso constante.

En las industrias los diferentes tipos de materiales son sujetos al desgaste abrasivo ya que en el proceso de mantenimiento estos materiales se ven sujetos a cambios frecuentes por que los trabajos repetitivos que ejercen diariamente son altamente pesados. Se eligen los materiales según el trabajo que realizan al que van a estar continuamente dependientes por esa razón hay que seleccionar el material adecuado y con una buena calidad con la finalidad de reducir sus costos logrando un buen trabajo de un corto y mediano plazo.

Como problemática de costos sociales el desgaste micro abrasivo se encuentra asociado a la contaminación medioambiental. En estudios preliminares se ha comprobado que es posible reducir la cantidad de combustible ineludible para superar los problemas de fricción entre partes externas e internas de maquinarias, logrando prevalecer el nivel considerable de fricción entre las piezas que se encuentran ya desgastadas. Por lo que este ahorro ayuda al reducir los impactos medioambientales y aun si se trata de usos constantes de combustibles.

En cuanto al costo dentro de las empresas e industrias, las pérdidas por fricción o desgaste pueden abordarse de varias maneras. Como parte de una inversión, como comprar una bomba o informar un presupuesto. Otra posibilidad es verlos como una fuente de reducción de costos en lugar de cuestiones puramente presupuestarias.

5.2 Delimitación del problema

Delimitación Espacial

La investigación se lo realizará en la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná.

5.3 Formulación del Problema

¿De qué manera incidiría en los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi la implementación de una máquina de ensayos de desgaste micro abrasivo con un diseño tipo arena seca y disco de caucho según la norma ASTM-G65?

OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Implementar una máquina para ensayos de desgaste micro abrasivo para los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi - La Maná, 2022.

6.2 Objetivo Especifico

- Analizar bibliografía e información de los diferentes dispositivos y elementos sobre el desgaste abrasivo basados en la Norma ASTM-G65.
- Diseñar las diferentes partes y elementos que formarán parte de la máquina de desgaste abrasivo en seco de acuerdo a la norma ASTM-G65.
- Desarrollar la máquina de desgaste abrasivo de arena seca/rueda de caucho según la norma ASTM-G65.

ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.

Tabla 1 Actividades y Sistemas de tareas en relación a los objetivos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Actividad	Resultado de la actividad	Medios de verificación
Analizar bibliografía e información de los diferentes dispositivos y elementos sobre el desgaste abrasivo basados en la Norma ASTM-G65.	Búsqueda de información bibliográfica en bases de datos, revista y artículos de interés del proyecto.	Se halló información sobre la norma ASTM-G65, con las indicaciones respectivas para el desarrollo de la máquina.	Normas ASTM-G65.
	Se hizo un estudio acerca de las características con Norma ASTM-G65.	Se recabó información acerca de la máquina de desgaste abrasivo en seco.	Datos de la máquina.

Diseñar las diferentes partes y elementos que formarán parte de la máquina de desgaste abrasivo en seco de acuerdo a la norma ASTM-G65	Según la norma ASTM-G65 se determinó los elementos para la realización del diseño de la máquina.	Se realizó un informe acerca de los elementos.	Diseño de la máquina.
	Se determinó las características necesarias tanto en electrónica y mecánica para el diseño de la máquina.	Obtención de características electrónicas y mecánicas de la máquina.	Planos de la máquina.
Desarrollar la máquina de desgaste abrasivo de arena seca/rueda de caucho según la norma ASTM-G65.	Construcción de la máquina de desgaste abrasivo según la norma ASTM-G65.	Implementación de la máquina de desgaste abrasivo según la norma ASTM-G65.	Máquina implementada
	Realización de pruebas en la máquina de desgaste abrasivo en seco según la norma ASTM-G65	Pruebas realizadas en la máquina.	Máquina en funcionamiento.

Fuente: Los Autores

FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

8.1 Norma ASTM-G65

La Norma ASTM (American Society for Testing and Materials) G65, se trata de un método de prueba que se realiza en un laboratorio, esto con el fin de poder determinar la resistencia que tienen ciertos materiales que son de metal sometidos a la abrasión o desgaste rayado a través de arena seca/ensayo a través de la rueda de caucho, bajo condiciones controladas. Por medio de este método se aprecian resultados de las pruebas que se aplican al material y se observa como pérdida de volumen en milímetros cúbicos, los materiales más resistentes a la abrasión mostrarán una menor pérdida en su volumen (**EUROLAB, 2020**).

8.2 Tribología

La tribología no es una ciencia aislada, sino una tarea conjunta y multidisciplinaria donde los avances se hacen mediante esfuerzos colaborativos de investigadores de diversos campos como ingeniería mecánica, producción, ciencia e ingeniería de materiales, química e ingeniería química, física, matemáticas, ciencias biomédicas y de ingeniería, informática, y mucho más.

La tribología estudia la ciencia y la tecnología de las superficies que interactúan en movimiento relativo (GGB, 2019).

Dentro de la tribología se encuentra cualquier aspecto que esté relacionado con el diseño de los componentes de una maquinaria, como la fricción, desgaste, lubricación, etc. La tribología es un estudio multidisciplinario que abarca la biología, la química, la ingeniería, las ciencias de los materiales, las matemáticas y la física. Su aplicación principal es a los componentes rodantes o deslizantes de un equipo, como los rodamientos, cojinetes planos, engranajes, levas, frenos y sellos.

Todos los componentes mencionados, los cuales podemos encontrar en casi cualquier equipamiento o maquinaria moderna, presentan un movimiento relativo y es la labor de la tribología darles el movimiento deslizante o de rotación que requieren. Es por esto que su enfoque principal es el de la mejora de la vida útil de estos equipos y dar una mayor eficiencia a sus operaciones (CROMTEK, 2018).

Figura 1 Tribología



Fuente: (MICROANALISIS, 2021)

8.2.1 Fundamentos de la Tribología

El estudio de la Tribología se basa en tres fenómenos fundamentales: la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y la lubricación como un medio para evitar el desgaste. El principal objetivo de la Tribología, es elevar la vida útil de las máquinas, mediante la disminución de la fricción y el desgaste; evitando un gasto en materiales, energía y tiempo (ECURED, 2021).

8.2.2 ¿Qué estudia la Tribología?

Con la Tribología como ciencia se estudia la fricción y sus efectos asociados, como el desgaste, tratando de prevenirlos con mejores diseños y prácticas de lubricación. Toma en cuenta, entre otros aspectos de la maquinaria industrial, los siguientes:

- Diseño
- Materiales de las superficies que están en contacto
- Sistema de aplicación del lubricante.
- Medio circundante
- Condiciones de Operación (ECURED, 2021)

8.2.3 Aplicaciones de la tribología

Las aplicaciones La Tribología está presente prácticamente en todas las piezas en movimiento tales como:

- Embragues
- Frenos
- Engranajes o engranajes
- Levas
- Motores eléctricos y de combustión (ECURED, 2021)

8.3 Concepto de fricción y desgaste.

El proceso de desgaste es el la pérdida o degradación de los materiales, cuando dos cuerpos están en contacto y movimiento directo debido a una fuerza de presión que los mantiene unidos, esto se ve afectado principalmente en las superficies de los materiales luego de que han sido sometidos a ciertas condiciones de trabajo ya sean en elementos mecánicos o equipos industriales. Fricción es la resistencia al movimiento que se produce cuando dos objetos sólidos que se encuentran en contacto, son puestos en movimiento relativo uno con respecto del otro (AutoForm, 2018).

Figura 2 Fricción y desgaste



Fuente: (ASTECCO, 2018)

8.4 Tipos de Desgastes:

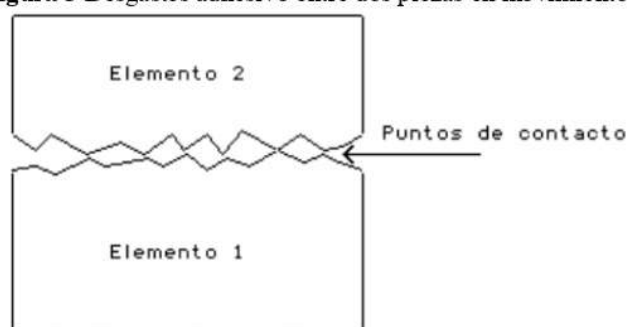
El proceso de desgaste, puede definirse como una pérdida de material de la interfase de dos cuerpos, cuando se les ajusta a un movimiento relativo bajo la acción de una fuerza. En general, los sistemas de ingeniería implican el movimiento relativo entre componentes fabricados a partir de metales y no metales, y se han identificado seis tipos principales de desgaste, que son:

- Desgaste por adherencia.
- Desgaste por abrasión.
- Desgaste por ludimiento.
- Desgaste por fatiga.
- Desgaste por erosión.
- Desgaste corrosivo.

8.5 Desgaste adhesivo.

Esta forma de desgaste ocurre cuando dos superficies se deslizan una contra otra bajo presión. Los puntos de contacto (ver figura 3), proyecciones microscópicas o la aspereza de la unión en la interface donde ocurre el deslizamiento debido a los altos esfuerzos localizados, llevan a que las fuerzas de deslizamiento fracturen la unión, desgarrando al material de una superficie y transfiriéndolo a otra, lo que puede ocasionar posteriormente mayor daño.

Figura 3 Desgastes adhesivo entre dos piezas en movimiento



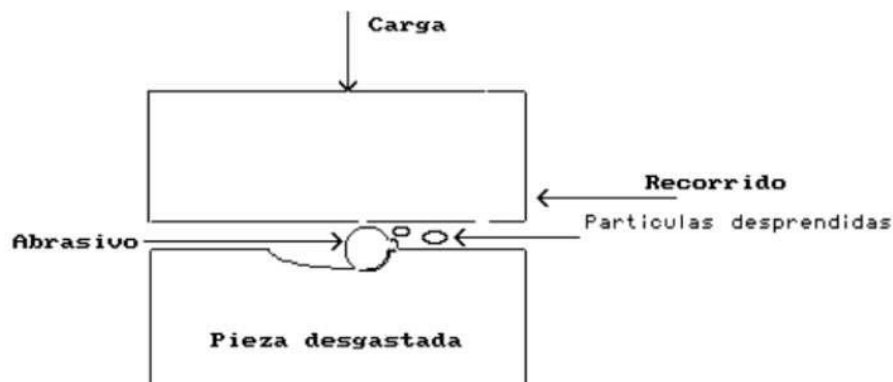
Fuente: (Díaz, 2017)

8.6 Desgaste por abrasión.

Es la remoción de material de la superficie en contacto por superficies duras en superficies de coincidencia, o con superficies duras que presentan un movimiento relativo en la superficie desgastada. Cuando es el caso de partículas duras, ellas pueden encontrarse entre las dos superficies que se deslizan entre sí como se muestra en la figura 4 o se podrían incrustar en

cualquiera de las superficies. Es conveniente aclarar que este tipo de desgaste se puede presentar en estado seco o bajo la presencia de un fluido.

Figura 4 Desgastes abrasivo debido a la presencia de partículas duras



Fuente: (Díaz, 2017)

8.7 Desgaste por ludimiento.

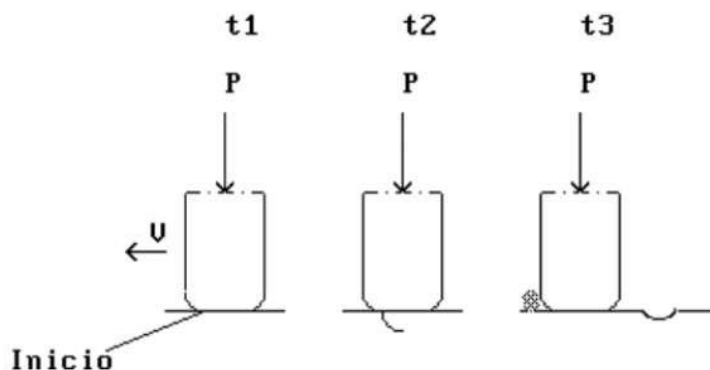
Esta forma de desgaste aparece como resultado del movimiento oscilatorio de dos superficies en contacto, como sucede en máquinas donde existe vibración entre las partes.

8.8 Desgaste por fatiga superficial.

Es probable que el modo predominante de la mayoría de los tipos de desgaste sea por desprendimiento de material de la superficie por fatiga, ya sea que la naturaleza del movimiento sea unidireccional o de vaivén. Clasificar un tipo particular de falla como desgaste por fatiga puede ser confuso. Sin embargo, a fin de hacer una clasificación, el término desgaste por fatiga se reserva para identificar la falla de contactos lubricados en casos como los rodamientos de bolas o rodillo, engranes, levas y mecanismos impulsores de fricción. La pérdida de material es por desprendimiento de superficiales y por picaduras, como en los engranes.

Se piensa que las grietas por fatiga aparecen debajo de la superficie en un punto en que el esfuerzo cortante es máximo (Díaz, 2017).

Figura 5 Desgaste por fatiga superficial



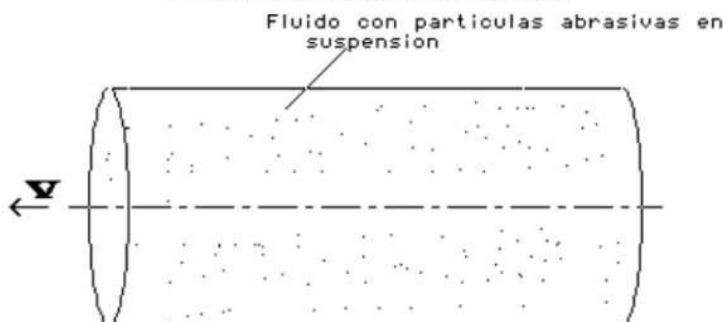
Fuente: (Díaz, 2017)

Obviamente, puede lograrse una mejoría en la vida de estos elementos, si trabaja a una carga de contacto baja y el método más preferido en la industria es producir componentes con la profundidad óptima de capa endurecida junto con un buen acabado superficial.

8.9 Desgaste erosivo.

Este tipo de desgaste ocasiona pérdidas de material en la superficie por el contacto con un líquido que contiene en suspensión cierta cantidad de partículas abrasivas como se muestra en la figura 6, siendo esencial el movimiento relativo entre el fluido y la superficie, ya que la fuerza de las partículas, que de hecho son responsables del daño, se aplica cinéticamente. En el desgaste erosivo es donde el movimiento relativo de las partículas sólidas es casi paralelo con las superficies erosionadas se denomina erosión abrasiva, por otro lado, la erosión en la que el movimiento relativo de las partículas es casi normal (perpendicular) a la superficie erosionada se conoce como erosión bajo impacto.

figura 6 Desgastes erosivo debido a la acción de un fluido con partículas abrasivas en suspensión



Fuente: (Díaz, 2017)

8.10 Desgaste corrosivo.

En esta forma de desgaste las reacciones químicas o electroquímicas con el medio ambiente contribuyen significativamente en la velocidad del desgaste. En algunas ocasiones, las reacciones químicas ocurren primero y son seguidas por una remoción de los productos de la corrosión mediante una acción mecánica (abrasión), de otra manera, la acción mecánica podría preceder a la acción química dando como resultado la creación de pequeñas partículas de desperdicio. (Díaz, 2017).

8.11 Lubricación.

La lubricación es el procedimiento que permite controlar la fricción y reducir el desgaste, el material utilizado para este propósito se denomina lubricante y puede ser líquido (aceite lubricante), semisólido (grasa lubricante), pasta, seco (sólido), laca, gaseoso o, incluso, puede tratarse de un nano lubricante. La forma de operar de este lubricante es proporcionar una película capaz de separar, total o parcialmente, las superficies en movimiento relativo, de manera que se evite el contacto entre ellas, así como aislarlas de elementos que puedan provocar corrosiones, aislarlas eléctricamente y refrigerarlas; en algunos casos se exige que además limpien las superficies, transmitan presión, eliminen partículas de desgaste, transmitan calor y sellen holguras. De modo general, un lubricante es un fluido que se compone de dos elementos: Aceite base y Aditivos. El aceite base es el componente fundamental de un aceite lubricante, de su calidad va a depender sus propiedades y su duración, ya que supone entre el 80 % y el 95 % de su contenido, y de modo general tienen origen petrolífero, aunque también puede tener una base vegetal, animal o, incluso, de base agua (techtitute, 2022).

Figura 7 Lubricantes



Fuente: (Vibromontajes, 2022)

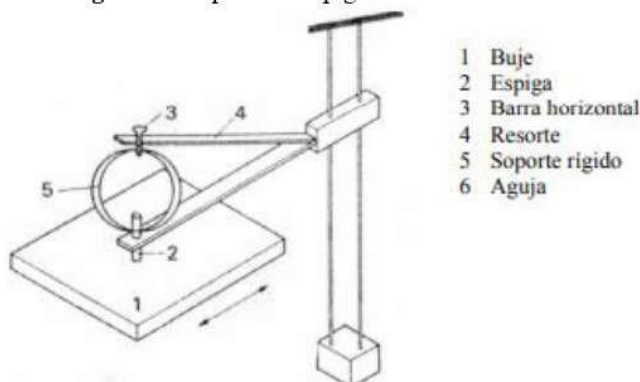
8.12 Tipos de Máquinas para desgaste abrasivo

Existen diversas máquinas que se utilizan para realizar pruebas de ensayo de desgaste abrasivo, entre algunas de ellas se puede mencionar:

8.12.1 Máquina de Espiga ubicada sobre mesa oscilante

Se utiliza este dispositivo para pruebas de desgaste y está formada por los siguientes elementos: una barra de carga que pueda moverse para estar en contacto con una espiga que estará fija y unida a un anillo, en conjunto con un brazo horizontal y un soporte rígido. La prueba se hace con la barra de carga y está diseñada para que soporte la carga normal, al ocurrir esto se mide la deflexión que ocurre dentro del anillo cuando la espiga se mueve sobre una mesa oscilante (García, 2003).

Figura 8 Máquina de espiga sobre mesa oscilante

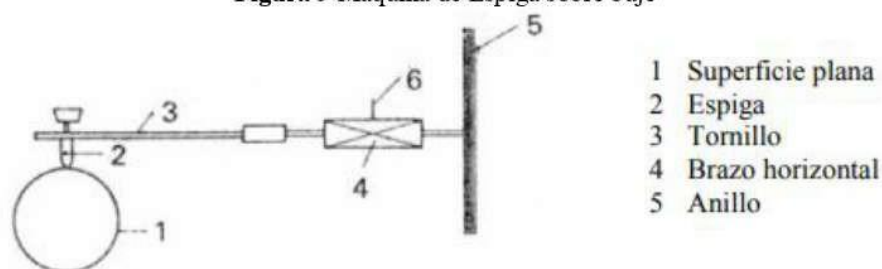


Fuente: (García, 2003)

8.12.2 Máquina de Espiga sobre buje

En esta máquina la espiga se fija a una barra horizontal de carga. Luego de sujeta la espiga se coloca sobre un buje rotatorio. La barra de carga está fija a un resorte y el otro extremo está fijo a un soporte rígido. El arrastre friccional hace que el resorte se estire y éste mueve una aguja la cual se encuentra unida a un trozo de hierro suave suspendido en un campo magnético. La deflexión de la aguja debido a la fricción hará que el núcleo se mueva provocando un cambio de fuerza del campo inducido (UCPERU, 2007).

Figura 9 Máquina de Espiga sobre buje

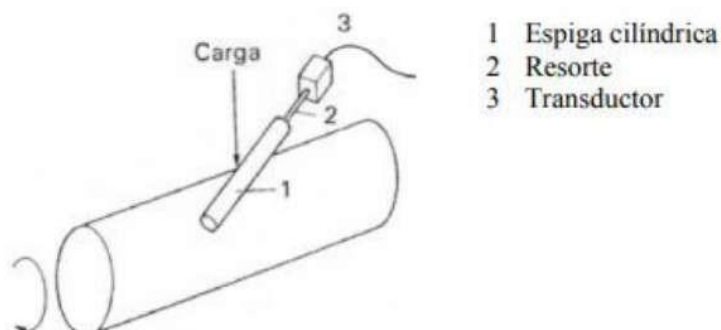


Fuente: (UCPERU, 2007)

8.12.3 Máquina de Cilindros cruzados

En esta máquina una espiga es cilíndrica y se coloca sobre un cilindro giratorio de mayor diámetro. La espiga se encuentra acoplada a un resorte el cual se deforma debido al arrastre friccional, dicha deformación es sensada por un transductor.

Figura 10 Máquina de cilindros Cruzados

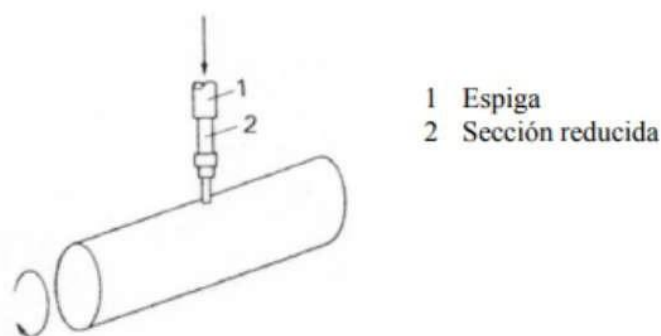


Fuente: Los autores

8.12.4 Máquina de Espiga sobre cilindro

Esta máquina está constituida por una espiga de geometría cilíndrica o hemisférica que esta acoplada sobre un cilindro, que gira a determinadas rpm. La deflexión de la espiga debida a la fricción se mide por medio de transductores o calibradores de deformación acoplados a la sección reducida.

Figura 11 Máquina de Espiga sobre cilindro

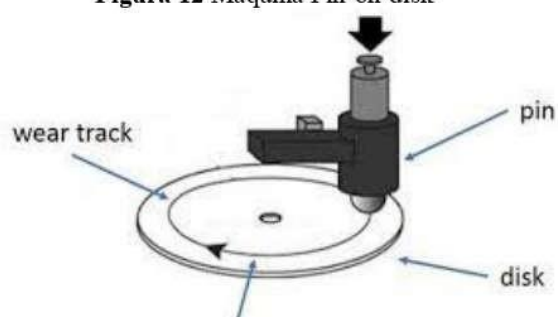


Fuente: (USALVADOR, 2018)

8.12.5 Máquina Pin – On – Disk

Esta máquina es usada para pruebas de desgaste, en ella la espiga se coloca perpendicularmente a un disco giratorio. Las variables que rigen las pruebas son la carga normal, la velocidad de deslizamiento, la atmósfera y la temperatura ambiente. La cantidad de desgaste puede establecerse pesando la espiga con una balanza.

Figura 12 Máquina Pin-on-disk



Fuente: (Rivera, 2019)

8.13 Elementos de la máquina para pruebas de desgaste abrasivo Norma ATSM-G65

Los elementos que forman parte de una máquina de ensayo abrasivo son:

8.13.1 Tolva

Se denomina tolva a un dispositivo similar a un embudo de gran tamaño destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados, entre otros. En ocasiones, se monta sobre un chasis que permite el transporte (Wikipedia, 2021).

Figura 13 Tolva



Fuente: (INGENIAR INOXIDABLES, 2022)

8.13.2 Boquilla

Se llama boquillas a todos los tubos adicionales de pequeña longitud constituidos por piezas tubulares adaptadas a los orificios. Se emplean para dirigir el chorro líquido o material sólido utilizado para pruebas de desgaste (Azevedo, 2014).

Figura 14 Boquilla



Fuente: (Made-in -China, 2022)

8.13.3 Eje

Un eje es un elemento constructivo destinado a guiar el movimiento de rotación.

Figura 15 Eje



Fuente: (DANDISEWEB, 2020)

8.13.4 Rueda Motriz

Dirige y encamina el material sólido contra el elemento que se utiliza para hacer la prueba de ensayo de desgaste abrasivo (Gutierrez, 2015).

Figura 16 Rueda Motriz



Fuente: (Gutierrez, 2015)

8.13.5 Probeta

Una probeta es el elemento que será sometido a un ensayo mecánico para conocer las propiedades mecánicas de los materiales. La probeta puede ser una pieza, un modelo a escala de una pieza o un trozo del material mecanizado. Cabe recalcar que según el ensayo que se desea realizar se utilizan distintos tipos de probetas (Neetescuela, 2017).

Figura 17 Probetas

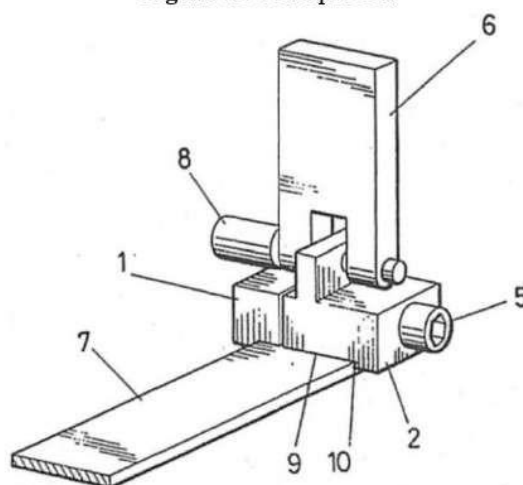


Fuente: (IBERTEST, 2022)

8.13.6 Porta probetas

Es un elemento que como su nombre lo indica sujetará a la probeta que servirá para realizar el ensayo de desgaste.

Figura 18 Porta probeta



Fuente: (Patentados , 2010)

8.13.7 Brazo Mecánico

Dispositivo que actúa en forma de palanca; sostiene en un extremo las pesas del sistema y en el otro la muestra de análisis. Al presionar la probeta contra el caucho de la rueda asegura una fuerza (Gutierrez, 2015).

Figura 19 Brazo Mecánico



Fuente: (Gutierrez, 2015)

8.13.8 Estructura Metálica

Una estructura es un conjunto de partes unidas entre si que forman un cuerpo con el fin de soportar los efectos de las fuerzas que actúan sobre el mismo. Por estructura metálica se entiende cualquier estructura en la que la mayoría de sus partes son materiales metálicos. Las estructuras metálicas son utilizadas habitualmente para el diseño en la industria de diferentes dispositivos, máquinas entre otros (MAXMETAL, 2020).

Figura 20 Estructura Metálica



Fuente: (MAXMETAL, 2020)

8.14 Fricción

Se define como la fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre otra (fuerza de fricción cinética) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). Toda fuerza de fricción se opone a la dirección del movimiento relativo entre superficies. Existen dos tipos principales de rozamiento o fricción, la fricción estática y la fricción dinámica o cinética:

8.15. Fuerza de rozamiento estática

Es la fuerza entre dos objetos que no se encuentran en movimiento relativo entre ellos. Como se observa en la figura 2, la fuerza F aplicada sobre el bloque de peso $W=mg$ aumenta gradualmente, pero el bloque permanece en reposo. Como la aceleración es cero, la fuerza aplicada es igual y opuesta a la fuerza de rozamiento estático F_e

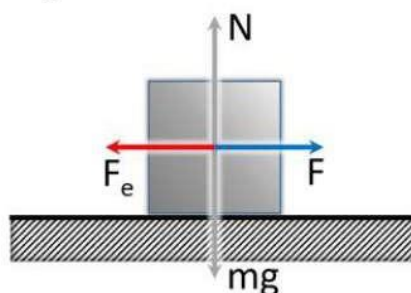
$$F = F_e$$

Donde

$$F = \text{Fuerza}[N]$$

$$F_e = \text{Fuerza de Fricción}[N]$$

Figura 21 Fuerza de Fricción Máxima



Fuente: (Díaz, 2017)

La máxima fuerza de rozamiento corresponde al instante en el que el bloque está a punto de deslizar, esto es:

$$F_{e\max} = \mu_e N$$

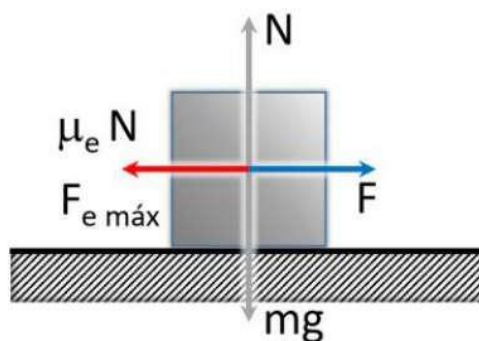
Donde,

$$F_{e\max} = \text{Fuerza de fricción máxima}[N]$$

$\mu_e = \text{Coeficiente de fricción}$

$N = \text{Fuerza Normal [N]}$

Figura 22 Fuerza de fricción máxima



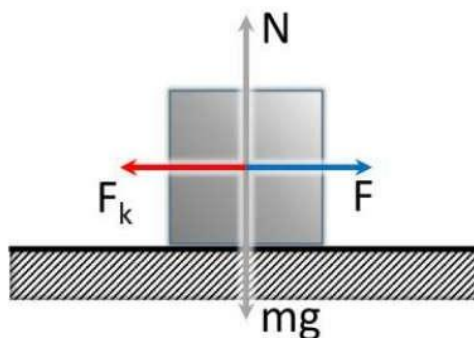
Fuente: (Díaz, 2017)

La constante de proporcionalidad μ_e se denomina coeficiente de fricción estático.

8.16. Fuerza de rozamiento cinética

Fuerza de rozamiento cinética En la figura 4, se muestra un bloque arrastrado por una fuerza F horizontal. Sobre el bloque actúan el peso mg , la fuerza normal N que es igual al peso, y la fuerza de rozamiento F_k entre el bloque y el plano sobre el cual se desliza. Si el bloque se desliza con velocidad constante la fuerza aplicada F será igual a la fuerza de rozamiento F_k .

Figura 23 Fuerza de rozamiento cinética F_k .



Fuente: (Díaz, 2017)

Se puede investigar la dependencia de F_k con la fuerza normal N . Se ve que, si se duplica la masa m , del bloque que desliza colocando encima de éste otro igual, la fuerza normal se duplica, la fuerza F con la que se tira del bloque se duplica y por tanto F_k se duplica.

De ese modo, la fuerza de rozamiento dinámico F_k es proporcional a la fuerza normal N .

$$F_k = \mu_k N$$

Donde,

$F_k =$ **Fuerza de fricción cinemática**[N]

$\mu_k =$ **Coefficiente de fricción dinámico**

N= Fuerza Normal[N]

La constante de proporcionalidad μ_k es un número sin dimensiones que se denomina coeficiente de rozamiento cinético.

8.17. Valores de los coeficientes de fricción

Los coeficientes de rozamiento estático y dinámico dependen de las condiciones de preparación y de la naturaleza de las dos superficies y son casi independientes del área de la superficie de contacto. Veamos algunos ejemplos: Si bien se tiene cierto conocimiento que diferencia el rozamiento estático del dinámico, se entiende también que el rozamiento estático es mayor que el dinámico, lo anterior puesto que, al permanecer dos superficies en reposo, pueden aparecer enlaces iónicos o incluso micro soldaduras entre las superficies. Este fenómeno tiende a incrementarse en cuanto más perfectas – o menos rugosas – son las superficies en contacto, como, por ejemplo: el contacto entre un pistón y la camisa de un cilindro al interior de un motor, que, si permanecen por un prolongado período de tiempo en contacto y en absoluto reposo, tienden a soldarse entre sí.

Tabla 2 Coeficiente de rozamiento de algunos materiales

Materiales de contacto	Fricción estática	Fricción Cinética
Hielo//Hielo	0,1	0,03
Vidrio//Vidrio	0,9	0,4
Madera//Cuero	0,4	0,3
Madera//Piedra	0,7	0,3
Madera//Madera	0,4	0,3
Acero//Acero	0,74	0,57
Acero//Hielo	0,03	0,02
Acero//Latón	0,5	0,4
Acero//Teflón	0,04	0,04
Teflón//Teflón	0,04	0,04
Caucho//Cemento(Seco)	1	0,8

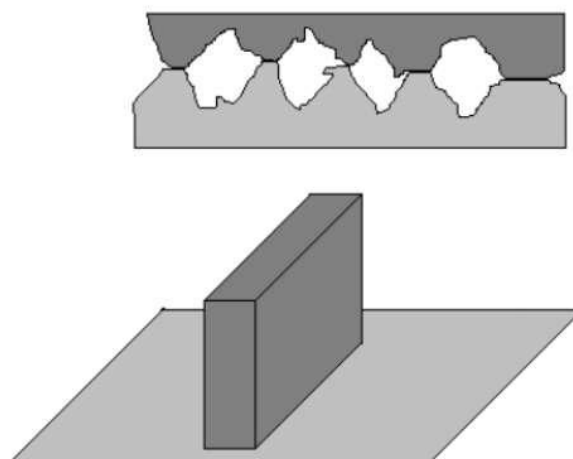
Caucho//Cemento(Húmedo)	0,3	0,25
Cobre//Hierro(Fundido)	1,1	0,3
Esquí(encerado)//Nieve(0°C)	0,1	0,05
Articulaciones Humanas	0,01	0,003

Fuente: (Díaz, 2017)

8.18. Superficie en contacto Pequeña

No se tiene una idea perfectamente clara de la diferencia entre el rozamiento dinámico y el estático, pero se tiende a pensar que el estático es mayor que el dinámico, porque al permanecer en reposo ambas superficies, pueden aparecer enlaces iónicos, o incluso micro soldaduras entre las superficies. Éste fenómeno es tanto mayor cuanto más perfectas son las superficies. Un caso más o menos común es el del gripaje de un motor por estar mucho tiempo parado (no solo se arruina por una temperatura muy elevada), ya que al permanecer las superficies del pistón y la camisa durante largo tiempo en contacto y en reposo, pueden llegar a soldarse entre sí. La explicación de que la fuerza de rozamiento es independiente del área de la superficie aparente de contacto es la siguiente: La mayoría de las superficies, aún las que se consideran pulidas son extremadamente rugosas a escala microscópica. En la figura 20 los picos de las dos superficies que se ponen en contacto determinan el área real de contacto que es una pequeña proporción del área aparente de contacto (el área de la base del bloque). El área real de contacto aumenta cuando aumenta la presión (la fuerza normal) ya que los picos se deforman.

Figura 24 Superficie en contacto pequeña

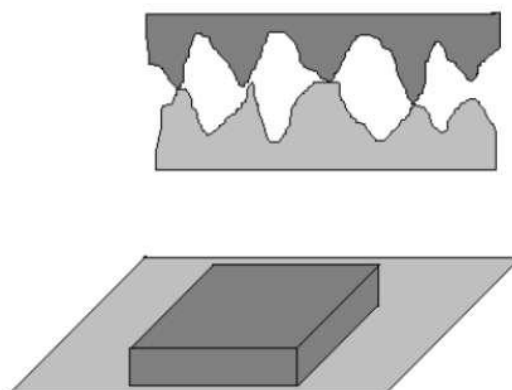


Fuente: (Díaz, 2017)

En la figura 21, la superficie más grande del bloque está situada sobre el plano. El dibujo muestra ahora que las deformaciones de los picos en contacto son ahora más pequeñas porque

la presión es más pequeña. Por tanto, un área relativamente más pequeña está en contacto real por unidad de superficie del bloque. Como el área aparente en contacto del bloque es mayor, se deduce que el área real total de contacto es esencialmente la misma en ambos casos. Ahora bien, las investigaciones actuales que estudian el rozamiento a escala atómica demuestran que la explicación dada anteriormente es muy general y que la naturaleza de la fuerza de rozamiento es muy compleja.

Figura 25 Superficie de contacto más grande



Fuente: (Díaz, 2017)

8.19. Rugosidad

Antes de proceder a determinar el significado del término rugoso, se hace imprescindible conocer el origen etimológico del mismo. Por lo anterior se determina que el proviene del latín, concretamente del adjetivo “rugosus” (“rugoso” o “áspero”), que se formó a partir de la suma de dos elementos: el sustantivo “ruga”, que traduce “aspereza” y el sufijo “-osus”, equivalente a “abundante en”, que en conjunto sugiere un significado relativo a abundancia de arrugas o asperezas. 22 En ingeniería, concebimos la rugosidad como la medida de las variaciones micrométricas en la superficie de los artículos manufacturados, que presentan cierto grado de asperezas de acuerdo con las características propias del proceso de manufactura. La idea de una superficie perfecta es una abstracción matemática, debido a que todas las superficies presentan irregularidades, aunque visualmente no sean perceptibles. Las irregularidades mayores son errores perceptibles o reconocibles mediante instrumentos ordinarios, la planitud, redondez, cilindricidad entre otras. Por otra parte, las irregularidades menores son la ondulación y la rugosidad. Las ondulaciones pueden ser producto de la flexión durante un maquinado, falta de homogeneidad en el material, tratamientos térmicos, entre otros, mientras que la rugosidad puede obtenerse mediante un mecanizado. El acabado superficial de los cuerpos puede presentar errores de forma macrogeométricos y microgeométricos. La rugosidad superficial es

el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados.

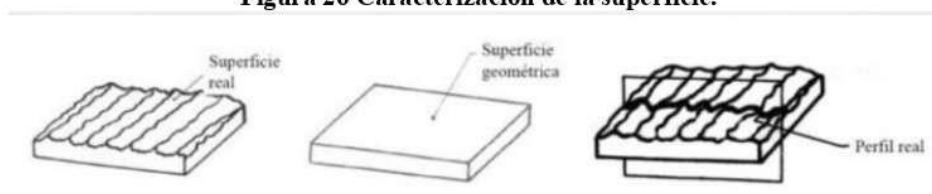
Tabla 3 Acabado superficial por proceso

Proceso	Acabado de la superficie (mm)		
Fundición en Arena	Pobre	12-25	N10-N12
Laminado en Frio	Bueno	1-3	N6-N8
Extrusion en Frio	Bueno	1-4	N6-N9
Taladrado	Mediano	1,5-6	N7-N9
Fresado	Bueno	1-6	N7-N9
Torneado	Bueno	0,5-6	N6-N9
Pulido	Excelente	0,1-0,5	N3-N5

Fuente: (Docplayer, 2020)

Como una caracterización general de la superficie, se describen tres tipos principales de superficie: - Superficie real: Superficie que limita el cuerpo y lo separa del medio que lo separa
23 - Superficie geométrica: Superficie ideal cuya superficie está especificada por el dibujo o documento técnico. - Superficie de referencia o perfil real: Superficie a partir de la cual se determinan los parámetros de rugosidad. Tiene la forma de la superficie geométrica. Se puede calcular por el método de mínimos cuadrados, se observa como la intersección de la superficie real con un plano normal. (Docplayer, 2020)

Figura 26 Caracterización de la superficie.



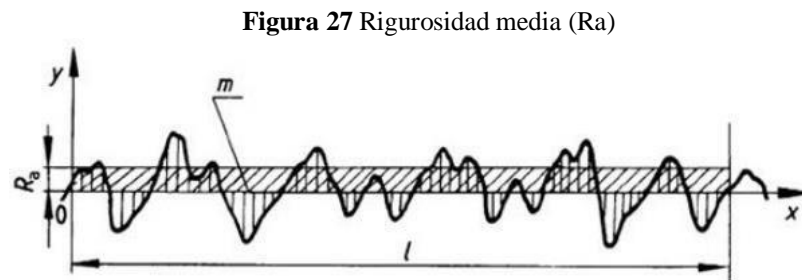
Fuente: (Docplayer, 2020)

8.20. Parámetros de Rugosidad

Los parámetros o valores de rugosidad, se definen para poder medir la rugosidad de manera cuantitativa. Se pueden calcular a partir del perfil de rugosidad obtenido o a través de un rugosímetro. Los parámetros están definidos por las distintas normas. Las unidades que se utilizan para medirlos son la micra o la macropulgada (Díaz, 2017).

8.21. Rugosidad Media (Ra)

Para calcular el Ra, se suman los valores absolutos de las áreas comprendidas entre el perfil de rugosidad y la línea media, y se dividen por la longitud de la medición.



fuente: (Díaz, 2017)

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1. Metodología

Para el presente trabajo de investigación primará los enfoques cuantitativo y cualitativo ya que se obtendrá datos numéricos y se comentará sobre estos al concluir los resultados obtenidos al realizar ensayos de desgaste abrasivo.

9.1.1. Metodología Documental

Se utilizará este tipo de metodología debido a que se investigó en acervos bibliográficos tales como: bases de datos, artículos, tesis ubicadas en repositorios para poder realizar el análisis de las normas ASTM y sobre el trabajo sobre desgaste abrasivo para determinar la dureza de los materiales utilizadas para la industria.

9.1.2. Metodología Experimental

Se utilizará esta metodología debido a que se realizará ensayos y se experimentará con los diferentes materiales al tratar de determinar como la fricción afecta a los diferentes materiales y determinar su vida útil.

9.2. Pregunta Científica

Al realizar la implementación de un dispositivo de desgaste abrasivo para determinar la medición de fricción, desgaste y lubricación en la Universidad Técnica de Cotopaxi “Extensión La Maná” ¿Se podrá analizar el desgaste de diferentes materiales mecánicos por medio de ensayos abrasivos?

Construcción de la máquina

Para la construcción de la máquina se utilizó las diferentes especificaciones que manda la NORMA ASTM G65 a continuación se muestra como se realizó la construcción de la máquina de ensayo de desgaste abrasivo.

En la figura 28 se aprecia cómo se inició la construcción de la máquina.

Figura 28 Construcción de la máquina según la NORMA ASTM G65



Fuente: Los autores

Sobre el marco armado mostrado en la figura 28 será donde se colocarán los demás componentes de la máquina para formar una estructura sólida que será la encargada de dar forma a la máquina.

En la figura 29 se muestra la continuación de la construcción de la máquina, la que servirá para realizar los ensayos de desgaste abrasivo en seco, con lo que se determinará la resistencia y dureza de los materiales.

Figura 29 Pintada y armada de la máquina de desgaste abrasivo



Fuente: Los autores

10 ANALISIS DE RESULTADOS

10.1 Arranque de a máquina

Para el arranque de la máquina primero se hace la prueba de los distintos mecanismos por separado, esto es, mecanismo del sistema de brazo, motor y puntos tangentes al disco.

10.2 Preparación de la probeta

La probeta de debe cumplir con las siguientes dimensiones según la norma ASTM G-65, ancho 25.4 mm, alto 76.2 mm y el espesor entre 3.2 a 12.7 mm. Además de este tamaño, la parte que se va a colocar contra el disco debe ser completamente lisa con una variación de 0.125 mm como máximo. Este tipo de ensayos permite hacer pruebas a todo tipo de metales incluyendo metales forjados, piezas fundidas, piezas termorociadas, piezas cementadas, piezas cerámicas, entre otros.

10.3 Parámetros de pruebas

Según la norma que se utilice existe parámetros que hay que deben ser tomados en cuenta para la realización de las pruebas respectivas tales como: número de vueltas, velocidad, fuerza resultante entre la probeta y el disco y peso en brazo. El peso necesario para generar la fuerza establecida entre la probeta y el disco se calcula por medio de los momentos que actúan alrededor del punto pivote del brazo.

En la siguiente tabla 4 se muestra las letras que representan los parámetros utilizados en la NORMA ASTM G65.

Tabla 4 Parámetros de la Norma ASTM G65**Requerimientos**

A	POTENCIA TRANSMITIDA AL DISCO
B	VELOCIDAD ANGULAR DEL DISCO
C	FUERZA SOBRE LAS PROBETAS
D	DOSIFICACIÓN DE ABRASIVO
E	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
F	SEGURIDAD INDUSTRIAL
G	BAJO COSTO

Fuente: Los autores

Luego de tener en cuenta todas estas consideraciones se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5 Resultados de utilizar la máquina

Peso aplicado (kg)	revoluciones (RPM)	Flujo de arena (g/min)	Masa inicial (gr)	Masa Final (gr)	Tiempo (min)
3	1000	200	194	191	35
3	1200	200	194	186	35

Fuente: Los autores

Luego de hacer las pruebas de ensayo abrasivo con la máquina con la Norma ASTM G65 se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5, se utilizó una probeta de 3 kg, la velocidad del disco de 100 y 1200 RPM y flujo de arena de 200 gramos por minuto y con masas iniciales 194 gramos y luego de 35 minutos se obtuvieron masas finales de 191 y 186 gramos respectivamente como se aprecia en la figura 28.

En el Anexo 2 se puede observar los diagramas de la máquina.

Figura 30 Masa de la probeta de prueba



Fuente: Los autores

11 VALORACIÓN ECONÓMICA Y/O PRESUPUESTO PARA IMPLEMENTAR LA PROPUESTA DEL PROYECTO

Tabla 6 Costos directos de materiales

CANT	DESCRIPCION	V.UNIT	V.TOTAL
2	Tubo de 1½ x 1½ x 2mm de Espesor	\$29.90	\$59.80
1	Plancha de tol	\$45.29	\$45.29
1	Libra de suelda 6011	\$2.65	\$2.65
1	Disco de corte 7"	\$1.75	\$1.75
1	Disco de pulir 7"	\$2.50	\$2.50
2	Escuadra magnética	\$3.21	\$6.42
50	Remache de 3/4	\$0.05	\$2.50
1	Remachadora	\$6.80	\$6.80
2	Bisagras 1/2	\$1.75	\$3.50
1	Motor	\$400	\$400
1	Porta pobreta	\$90	\$90
1	Tubería de acero inoxidable	\$100	\$100
1	Tanque de 20 Lt	\$200	\$200
20kg	Arena de cuarzo	\$55	\$55
1	Tacómetro digital Laser	\$30	\$30
2	Lijas	\$1.00	\$2.00
2	Placas de prueba	\$30	\$60
1	Probeta	\$105	\$105
1	Eje	\$100	\$100
1	Bosin	\$40	\$40
Total			\$1180

Fuente: Los autores

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones:

- Se analizó la bibliografía y se determinó las características que tiene la NORMAS ASTM G65 para lo que se refiere ensayos de desgaste abrasivo, para determinar la resistencia y dureza de los materiales.
- Al hacer el diseño de la máquina se pudo notar que la NORMA ASTM G65 restringe algunas cosas en cuestión a las piezas que utilizan para el armado de la máquina.
- Al finalizar el presente proyecto se pudo hacer las diferentes pruebas del dispersito, en donde se pudo observar el desgaste que soportó la probeta utilizada para la realización de las pruebas de desgaste.

12.2 Recomendaciones:

- Hacer los ensayos bajo las restricciones a las que hace referencia la NORMA ASTM G65, para ensayos de desgaste abrasivo seco en los materiales.
 - Realizar un mantenimiento preventivo de la máquina para evitar fallas y a posterior un deterioro de la misma.
- .
- .

13 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

14 Bibliografía


- ASTECO. (2018). *Desgaste de materiales por fricción o adhesión*. Obtenido de Desgaste de materiales por fricción o adhesión: <https://institutoasteco.com/asteco/desgaste-de-materiales-por-friccion-o-adhesion/>
- AutoForm. (10 de julio de 2018). *Tribología*. Obtenido de Tribología: <https://www.autoform.com/es/glosario/tribologia/#:~:text=Fricci%C3%B3n%20E2%80%93%20la%20resistencia%20al%20movimiento,la%20fricci%C3%B3n%20y%20el%20desgaste>
- Azevedo, A. (9 de marzo de 2014). *SERTECSA*. Obtenido de SERTECSA: http://www.sertecsa.net/sertec/arch_informacion/archivos/1353447123.pdf
- CROMTEK. (8 de julio de 2018). *TRIBOLOGÍA: QUÉ ES Y PARA QUÉ SIRVE*. Obtenido de TRIBOLOGÍA: QUÉ ES Y PARA QUÉ SIRVE: <https://www.cromtek.cl/2020/11/06/tribologia-que-es-y-para-que-sirve/>
- DANDISEWEB. (2020). *Eje mecánico*. Obtenido de Eje mecánico: https://www.dandiseweb.com/abrigo_ecoalf_mujer/eje-mecanico
- Díaz. (24 de diciembre de 2017). *Repositorio digital*. Obtenido de <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>
- Docplayer. (2020). *Máquinas, métodos y control dimensional del procesamiento*. Obtenido de <https://docplayer.es/29826730-Maquinas-metodos-y-control-dimensional-del-procesamiento.html>
- ECURED. (5 de febrero de 2021). *Tribología*. Obtenido de Fundamentos de la Tribología: <https://www.ecured.cu/Tribolog%C3%ADa#:~:text=Fundamentos%20de%20la%20Tribolog%C3%ADa,-El%20estudio%20de&text=El%20principal%20objetivo%20de%20la,en%20materiales%20energ%C3%ADa%20y%20tiempo.>
- EUROLAB. (13 de mayo de 2020). *Prueba de materiales*. Obtenido de Método de prueba estándar ASTM G65: <https://www.laboratuar.com/es/testler/malzeme-testleri/astm-g65-kuru-kum-veya-kaucuk-tekerlek-aparati-kullanarak-asinmayi-olcmek-icin-standart-test-yontemi/#:~:text=rueda%20de%20goma-,M%C3%A9todo%20de%20prueba%20est%C3%A1ndar%20ASTM%20G65%20para%20medir%2>

- García, G. V. (10 de diciembre de 2003). *eprint*. Obtenido de eprint:
https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1776/1/DISE%20Y_CONSTRUCCI%20DE_UNA_M%20QUINA_PARA_ENSAYOS_DE_DESGAST.pdf
- GGB. (12 de agosto de 2019). *Tribología*. Obtenido de l estudio de la interacción entre superficies en movimiento: <https://www.ggbearings.com/es/tribou/tribologia>
- Gutierrez, O. T. (3 de septiembre de 2015). *REDALYC*. Obtenido de Construcción de un equipo para desgaste abrasivo según norma ASTM G-65:
<https://www.redalyc.org/pdf/849/84943818003.pdf>
- IBERTEST. (20 de enero de 2022). *Advanced Testing Solutions*. Obtenido de Dispositivos de ensayo para probetas normalizadas: Dispositivos de ensayo para probetas normalizadas
- INGENIAR INOXIDABLES. (3 de abril de 2022). *Tolva Industrial*. Obtenido de Tolva Industrial: <https://www.ingeniarinoxidables.com/producto/tolva-industrial-en-acero-inoxidable/>
- Made-in -China. (2022). *Boquilla de chorro de arena multifuncional*. Obtenido de Boquilla de chorro de arena multifuncional: https://es.made-in-china.com/co_mingli/product_Multifunctional-Sand-Blasting-Nozzle-Abrasive-Blasting-Gun-B4c-Sandblasting-Nozzle-with-Aluminum-Jacket_uosgyuesiy.html
- MAXMETAL. (21 de noviembre de 2020). *Estructuras Metálicas*. Obtenido de Estructuras Metálicas: <https://maxmetalcr.com/estructura-metalica/#:~:text=Por%20estructura%20met%20Allica%20se%20entiende,de%20las%20estructuras%20de%20Construcci%20B3n.>
- MICROANALISIS. (2021). *Vision Industrial*. Obtenido de LUBRICANTES: ¿Por qué usar el análisis de Tribología para su selección?:
<https://visionindustrial.com.mx/industria/operacion-industrial/lubricantes-por-que-usar-el-analisis-de-tribologia-para-su-seleccion>
- Neetescuela. (12 de junio de 2017). *Probetas según el ensayo mecánico*. Obtenido de Probetas según el ensayo mecánico: <https://neetescuela.org/probetas-segun-el-ensayo-mecanico/>
- Patentados . (28 de septiembre de 2010). *DISPOSITIVO DE FIJACION MECANICA DE UNA PROBETA*. Obtenido de DISPOSITIVO DE FIJACION MECANICA DE UNA PROBETA: <https://patentados.com/2010/fijacion-mecanica-de-una-probeta>

- Rivera, L. A. (19 de septiembre de 2019). *Determinación de parámetros tribológicos de un aceite lubricante SAE 20W-50 sobre acero inoxidable 316*. Obtenido de XXV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM:
http://somim.org.mx/memorias/memorias2019/articulos/A2_168.pdf
- techtitute. (15 de marzo de 2022). *Tribología y lubricación*. Obtenido de tech school of engineering: <https://www.techtitute.com/ec/ingenieria/blog/tribologia-lubricacion>
- UCPERU. (24 de octubre de 2007). *Library*. Obtenido de 8° CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA:
<https://1library.co/document/y8770p4z-%C2%BA-congreso-iberoamericano-ingenieria-mecanica-cusco-octubre.html>
- USALVADOR. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA*. Obtenido de DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA:
<https://fdocuments.ec/document/ntg-41087-h2-metodos-de-ensayo-determinacion-de-la-resistencia-.html>
- Vibromontajes. (11 de enero de 2022). *Tribología: centro de vida de las máquinas*. Obtenido de Tribología: centro de vida de las máquinas: <https://vibromontajes.com/tribologia-centro-vida-maquinas/>
- Wikipedia. (17 de diciembre de 2021). *Wikipedia*. Obtenido de Tolva:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Tolva#:~:text=Se%20denomina%20tolva%20a%20un,chasis%20que%20permite%20el%20transporte.>

ANEO 1.1 CURRICULUM VITAE

□ DATOS PERSONALES

Nombres	Jonathan Alexander	
Apellidos	Carrasco Dueñas	
Lugar y fecha de nacimiento	Esmeraldas, 01 de noviembre de 1993	
Cédula de ciudadanía	080237961-0	
Estado civil	Casado	
Dirección domiciliaria	Quevedo, "Parr. El Guayacán"	
Teléfonos de contacto	097048136	
Email	jonathancarrasco943@gmail.com	


Estudios Realizados

Primarios	Escuela Fiscal Narciso Cerda Maldonado.
Secundarios	Colegio Técnico Nacional Rafael Vásquez Gómez.
Superiores	Universidad Técnica de Cotopaxi en la Carrera de Ingeniería en Electromecánica
Cursos Realizados:	<ul style="list-style-type: none"> • Curso de auxiliar en domótica. • Centro de formación artesanal "Centro Técnico Quevedo" • 1 jornada científica empresarial de ingeniería electromecánica

Idiomas

- Español
- Inglés

ANEJO 1.2. CURRICULUM VITAE**□ DATOS PERSONALES**

Nombres	Fernando Adrián	
Apellidos	Maldonado Perez	
Lugar y fecha de nacimiento	Quito 21 de septiembre del 1994	
Cédula de ciudadanía	1250396528	
Estado civil	Soltero	
Dirección domiciliaria	Quevedo,	
Teléfonos de contacto	0964058860	
Email	fernando.maldonado5337@utc.edu.ec	

Estudios Realizados

Primarios	Unidad Educativa “Fausto Molina Molina”, Quevedo
Secundarios	Instituto Superior Tecnológico “Siete de Octubre”, Quevedo
Superiores	Universidad Técnica de Cotopaxi en la Carrera de Ingeniería en Electromecánica
Cursos Realizados:	<ul style="list-style-type: none"> • Curso de Auxiliar en Domótica - UTC La Maná • Centro de Formación Artesanal "Centro Técnico Quevedo" • Prevención en Riesgos Laborales • Prevención de Incendios, Uso y Manejo de Extintores y Primeros Auxilios Básicos 8

Idiomas

- Español
- Inglés

□ **DATOS PERSONALES**



Nombres	José Williams
Apellidos	Morales Cevallos
Lugar y fecha de nacimiento	
Cédula de ciudadanía	
Estado civil	
Dirección domiciliaria	
Teléfonos de contacto	0985346678
Email	jose.morales4@utc.edu.ec

Estudios Realizados

Primarios	
Secundarios	
Superiores	
	<p>Títulos obtenidos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero en

Idiomas

- Español
- Inglés

Experiencia

**ANEXO 2 DIAGRAMA DE LA MÁQUINA DE DESGASTE ABRASIVO SEGÚN LA
NORMA ASTM G65**

D

D

9 2 12 16

		LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN		
1	1	Bastidor tubo cuadr. 40x40x3	Estructura soporte		
2	1	Brazo sujetador	Base del sujeta proveta		
3	1	Sistema sujecion provetas	Porta provetas		
4	1	Disco	Disco abrasivo		
5	1	Eje acople con cuña	Acopador motor-disco		
6	1	Cuña	Fijador de eje		
7	1	SKF Serie ALS - SKF ALS 8	Rodamientos de bolas con contacto angular		
8	1	Chumacera	Contenedor rodamiento SKF		
9	1	Carga	Bloque de hierro		
10	1	Tubo para boquilla	Acero sin soldadura		
11	1	Platina probeta			
12	1	Tolva			
14	1	Motor 1HP	SolidWorks IGES file using analytic representation for surfaces		
15	1	PLatina probeta_MIR2			
16	146,363 mm	DIN EN 10305-4 - E235 - 20 x 2,5 - 146,36	Tubos de acero para aplicaciones de precisión - (Parte 4: Tubos sin soldadura estirados en frío para circuitos hidráulicos y neumáticos)		
17	1	Caja de control			

11

10

15

17

3

5

1 14 7 8

A

Diseñado: ALEX CARRASCO

Dibujado: ALEX CARRASCO



Escala:

A

6

5

4

3

2

1

D

D

C

C

B

B

A

A

735,55

201,30

317,50
190,50

908,30

94,62

1087,55

548,00

406,40

228,50

319,50

Diseñado: ALEX CARRASCO

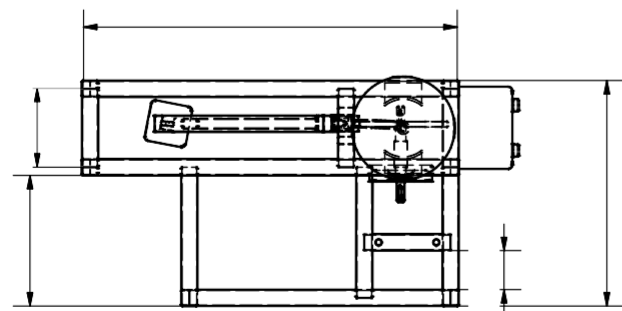
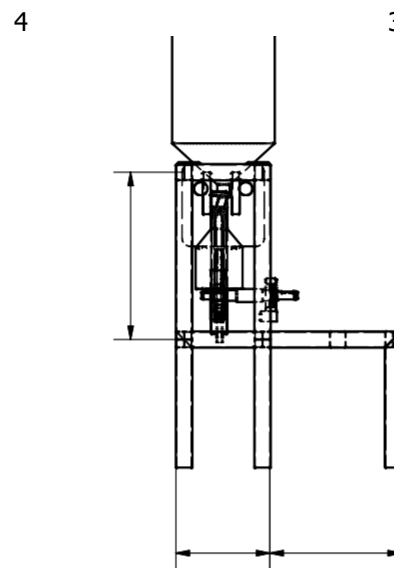
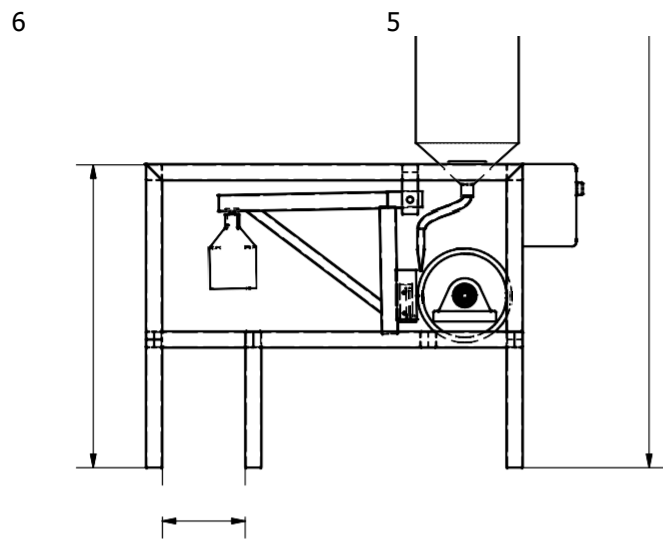
Dibujado: ALEX CARRASCO

Escala:

Descripcion: VISTAS DE ENSAMBLE

0,11 : 1

Lamina:
2



			UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

ANEXO 3 NORMA ASTM G65

3 NORMA ASTM G-65

La norma ASTM G65 es una prueba de laboratorio que presenta los lineamientos que permiten determinar la resistencia de los materiales metálicos a la degradación superficial por fricción mediante una prueba con abrasivo en seco y un disco de goma. El objetivo principal de este ensayo es el de generar datos estandarizados para clasificar los materiales por su resistencia a la abrasión en seco bajo un conjunto específico de condiciones. Los resultados de la prueba de abrasión se reportan como pérdida de volumen en milímetros cúbicos.

En la actualidad se emplean diferentes pruebas de laboratorio, desarrolladas por la ASTM, para evaluar la respuesta del material cuando se encuentra en una situación específica de desgaste, de tal manera que se pueden estudiar y simular distintas situaciones de este proceso. Adicionalmente investiga la naturaleza del daño superficial.

En la tabla 4 se muestran algunos de los ensayos de desgaste estandarizados por la ASTM.

Tabla 4 Tipos de ensayo de desgaste estandarizados por ASTM

NORMA	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO
D-4172	Prevención del desgaste, características de fluidos lubricantes.
D-4170	Protección al desgaste por rozamiento mediante grasas lubricantes.
G-32	Prueba de erosión por cavitación.
G-65	Ensayo de desgaste abrasivo con arena seca y rueda de caucho.
G-73	Prueba de erosión por choque de líquidos.
G-75	Abrasión en medio húmedo (lodos).
G-76	Erosión por el choque de partículas sólidas mediante chorros de gas.
G-77	Clasificación de la resistencia al desgaste de los materiales, utilizando la prueba de block-on-ring.
G-81	Ensayo de abrasión por ranurado.
G-83	Desgaste por cilindros cruzados.
G-98	Prueba de rozamiento.
G-99	Ensayo Pin on disk.
G-105	Ensayo de desgaste abrasivo con arena húmeda y rueda de caucho.
G-132	Ensayos de abrasión por pin.
G-133	Prueba de desgaste por deslizamiento recíprocante.
G-134	Prueba de erosión por cavitación con chorros de líquido.

Fuente: A.N.J. Stevenson | [19]

El presente proyecto se enfoca exclusivamente en la norma ASTM G-65, la cual es una prueba estándar de desgaste abrasivo con arena seca y rueda de caucho "DSRW" siglas en inglés de (Dry Sand Rubber Wheel) [1]. Este ensayo simula el desgaste abrasivo en seco sobre materiales a través de partículas abrasivas de

características específicas, en condiciones de bajo esfuerzo y de abrasión por tres cuerpos [1, 19].

La norma se encuentra compuesta por 11 capítulos que describen de manera detallada y concisa las características, propiedades y cualidades fundamentales que se requieren en: los componentes principales del dispositivo, el procedimiento de operación de la máquina, el registro de la información obtenida durante el ensayo, el procedimiento de análisis de resultados y el reporte final de los mismos.

1. Alcance
2. Documentos de referencia
3. Terminología
4. Resumen del método de prueba
5. Significado y aplicabilidad
6. Dispositivo y materiales
7. Preparación de las probetas y muestreo
8. Parámetros de prueba
9. Procedimiento
10. Cálculos y reporte de resultados
11. Precisión y tendencia

La tabla 5 muestra los cinco procedimientos estandarizados dentro de la norma ASTM G-65 para ensayos de desgaste abrasivo; los cuales se clasifican de acuerdo a los grados de resistencia al desgaste por abrasión de los materiales o a los espesores de los recubrimientos en los mismos [1]. Adicionalmente, la tabla presenta los parámetros básicos requeridos para efectuar los ensayos, a saber: fuerza ejercida sobre la probeta, revoluciones de la rueda y abrasión lineal (distancia de desgaste).

Tabla 5 Procedimientos para ensayo de desgaste abrasivo, ASTM G-65

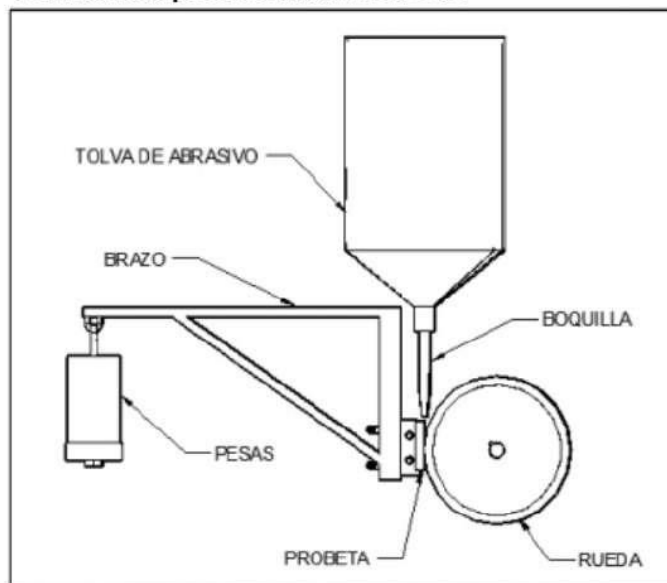
PROCEDIMIENTO ASTM	FUERZA EJERCIDA / PROBETA		REVOLUCIONES DE LA RUEDA	DISTANCIA DE DESGASTE	USOS
	N	Lbf				m
A	130	29	6.000	4.309	Materiales con media a extrema resistencia a la abrasión.
B	130	29	2.000	1.436	Materiales altamente resistentes a la abrasión, pero es usado en materiales de media a baja resistencia a la abrasión. Se aplica cuando la pérdida de volumen desarrollados por el procedimiento A exceden los 100 mm ³ .
C	130	29	100	71,8	Para uso en capas delgadas.
D	45	10	6.000	4.309	Se utiliza en materiales con baja resistencia a la abrasión.
E	130	29	1.000	718	Materiales con media o baja resistencia a la abrasión.

Fuente: Norma ASTM G-65 [1]

Descripción general de la máquina según la norma ASTM G-65

De acuerdo a la norma ASTM G-65, el dispositivo para realizar las pruebas de desgaste abrasivo consta principalmente por 7 componentes básicos: una tolva de almacenamiento de material abrasivo, una boquilla dosificadora de material abrasivo, una rueda de acero recubierta con caucho vulcanizado, una palanca para control de la carga sobre la probeta, una masa o contrapeso, una probeta y una fuente de poder.

Figura 18 Esquema general de la máquina de ensayo normalizada por la norma ASTM G-65



Fuente: Autor

El funcionamiento general del dispositivo describe que entre el disco de abrasión y la probeta se mantiene un flujo laminar y constante de abrasivo (arena) que se dosifica a través de la boquilla [1]. El abrasivo es presionado por medio de la palanca con una fuerza constante y definida. La dirección de rotación del disco tendrá el mismo sentido que el flujo de arena [20, 21, 22].

El desgaste abrasivo generado en DSRW puede ser clasificado como arado y rodadura [23, 24]. En el primer caso de desgaste las partículas de arena se embeben en el caucho y aran la superficie ensayada; mientras que en la rodadura las partículas de arena simultáneamente ruedan y deslizan entre el caucho y la superficie ensayada, los bordes irregulares de la arena ejercen elevada presión sobre la muestra causando indentación, deformación plástica y desprendimiento de material [25].

4 DISEÑO CONCEPTUAL

Previo al planteamiento de un diseño conceptual, fue necesario evaluar y analizar las restricciones presentes dentro de la norma en cuanto a las generalidades de operación y algunos de los componentes presentes durante el funcionamiento del dispositivo. Lo anterior permitió identificar aquellos aspectos que la norma presenta parametrizados y caracterizados de manera específica, por tanto, no dan cabida a su modificación o sustitución dentro del proceso de diseño del dispositivo.

Los elementos identificados como inalienables dentro del funcionamiento del dispositivo y que se encuentran detalladamente especificados dentro de la norma son:

- Disco abrasivo
- Fuerza ejercida sobre las probetas
- Material abrasivo
- Boquilla dosificadora de material abrasivo
- Potencia y velocidad angular del disco abrasivo
- Posición de la probeta

Conforme con lo anterior, el proceso de diseño se limita en proponer soluciones que permitan la consolidación de un dispositivo de ensayo que incluya la totalidad de los parámetros restringidos y garantice las condiciones ideales para la realización de ensayos de desgaste.

4.1 Requerimientos Internos

Los requerimientos internos son aquellos que, por la naturaleza del ensayo que se realiza con el dispositivo y las características específicas registradas en la norma, requieren su implementación obligatoria dentro del dispositivo sin cabida a modificación alguna:

	Requerimiento Interno	Descripción
1	Potencia transferida al disco	1 HP
2	Velocidad angular del disco	200 +/- rpm
3	Fuerza ejercida sobre las probetas	130/45N (<i>dependiendo del procedimiento</i>)
4	Dosificación de abrasivo	300-400 grs/min
5	Material abrasivo	Arena sílice-tamiz 50/70

4.2 Requerimientos Externos

Los requerimientos externos se presentan como los factores que debe tener el dispositivo conforme con el entorno y usuario final de la máquina: los laboratorios de la USTA y la comunidad estudiantil de los departamentos de ingeniería.

En función de ello, se identifican 3 requerimientos externos, de los cuales uno se encuentra relacionado con la disponibilidad de alimentación eléctrica presente en el laboratorio donde se almacenará el dispositivo (220V), mientras que el otro atiende a la necesidad de seguridad mientras el usuario opera la máquina (seguridad industrial).

	Requerimiento Externo	Descripción
1	Alimentación eléctrica	220V
2	Seguridad industrial	Elementos que permitan la operación segura del dispositivo
3	Costo	Costo total del dispositivo

4.3 Consolidación de los requerimientos

Conforme con la información recopilada entre los Requerimientos Internos y los Requerimientos Externos, se presenta la consolidación de requerimientos presentes dentro del proyecto.

	Requerimientos	Descripción	Origen
1	Potencia transferida al disco	1 HP	ASTM G65
2	Velocidad angular del disco	200 +/- rpm	ASTM G65
3	Fuerza ejercida sobre las probetas	130/45N (<i>dependiendo del procedimiento</i>)	ASTM G65
4	Dosificación de abrasivo	300-400 grs/min	ASTM G65
5	Alimentación eléctrica	220V	Planta física
6	Seguridad industrial	Elementos que permitan la operación segura del dispositivo	Usuario final
7	Costo	Costo total del dispositivo	Usuario final

Pese a que uno de los requerimientos internos y de estricto cumplimiento para la realización del ensayo según la norma es la implementación de material abrasivo de cualidades particulares, se descarta dentro de los requerimientos del

dispositivo puesto que el material abrasivo es un insumo de suministro externo e independiente a la naturaleza del dispositivo.

4.4 Requerimientos de Ingeniería

Los requerimientos de ingeniería son las soluciones técnicas propuestas para alcanzar los requerimientos del cliente. Estos requerimientos se fundamentan también en las posibilidades y alcances reales que se tuvieron para desarrollar el proyecto.

Tabla 6. Requerimientos de ingeniería

Requerimientos Cliente	Requerimientos de ingeniería	Medición
Potencia transferida al disco	Motor reductor de engranajes acoplado a un eje rígido	1 HP
Velocidad angular del disco		193.9 RPM
Fuerza ejercida sobre las probetas	Brazo rígido (<i>diseño sugerido por la norma</i>) con contrapesos desmontables	130/45N
Dosificación de abrasivo	Dosificadora en acero, diseño según norma	300-400 <i>grs/min</i>
Alimentación eléctrica	Motor trifásico	220V
Seguridad Industrial	Elementos de seguridad pasiva	Unidades
Costo	Materiales y componentes	\$

Fuente: Autor

4.5 Benchmarking

Actualmente el mercado nacional no cuenta con la oferta de dispositivos de ensayo de desgaste abrasivo como las que describe el desarrollo del presente proyecto. Sin embargo, son varias instituciones educativas de nivel superior que cuentan con dispositivos de esta naturaleza, los cuales también han sido desarrollados por la comunidad estudiantil en calidad de proyectos académicos y que actualmente se implementan como herramientas de soporte y apoyo a los procesos de aprendizaje de las diversas asignaturas que requieran las cualidades de una máquina de ensayo de desgaste abrasivo de estas características.

En el mercado internacional, encontramos pocas alternativas en cuanto a máquinas que se comercialicen como dispositivos de ensayo bajo estándar

normativo ASTM G65. Sus precios oscilan entre los 8.500 y los 20.000 dólares. Las hay de distintos orígenes, tamaños y configuraciones. Se pueden consultar a través de la internet con distintos nombres como *dry sand/rubber wheel apparatus*, *sand wheel abrasion tester*, *ASTM G65 tester machine*, entre otros relacionados. Entre las alternativas comerciales encontradas se tienen las siguientes máquinas:

MTT (EE.UU)

Material Testing Technology (MTT) – ASTM G0065.10/ Sand Wheel Abrasion Tester

Fabricada bajo pedido en los Estados Unidos por la empresa Material Testing Technology (MTT), este dispositivo de ensayo de desgaste abrasivo en seco se construye conforme con los lineamientos y requerimientos de la norma ASTM G65.

Sus principales características son:

- Tablero electrónico con previa programación de las diferentes modalidades de ensayo que describe la norma ASTM G65.
- Cuenta con un motor trifásico de 2HP acoplado a variador de frecuencia que permite alcanzar las velocidades angulares que requiere la norma en sus diversas modalidades de ensayo.
- Dimensiones: 110 cm (alto) x 95 cm (ancho) x 60 cm (largo)
- Peso total: 150 kg
- Fabricado en acero, acero templado, aluminio, acrílico y caucho.
- Precio: USD \$16.925

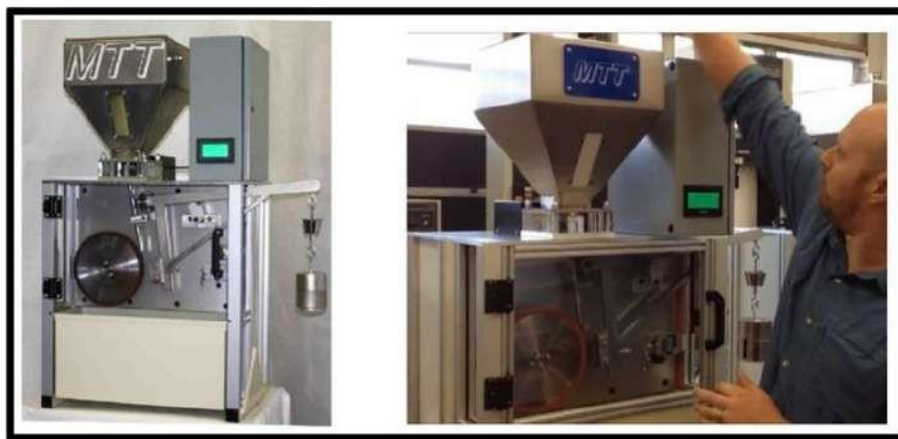


Figura 19 MTT ASTM G0065.10/ Sand Wheel Abrasion Tester

Fuente: www.mttusa.net



Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus¹

This standard is issued under the fixed designation G 65; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{ε1} NOTE—The designation year date was corrected editorially in May 2001.

1. Scope

1.1 This test method covers laboratory procedures for determining the resistance of metallic materials to scratching abrasion by means of the dry sand/rubber wheel test. It is the intent of this test method to produce data that will reproducibly rank materials in their resistance to scratching abrasion under a specified set of conditions.

1.2 Abrasion test results are reported as volume loss in cubic millimetres for the particular test procedure specified. Materials of higher abrasion resistance will have a lower volume loss.

NOTE 1—In order to attain uniformity among laboratories, it is the intent of this test method to require that volume loss due to abrasion be reported only in the metric system as cubic millimetres. $1 \text{ mm}^3 = 6.102 \times 10^{-5} \text{ in}^3$.

1.3 This test method covers five recommended procedures which are appropriate for specific degrees of wear resistance or thicknesses of the test material.

1.3.1 *Procedure A*—This is a relatively severe test which will rank metallic materials on a wide volume loss scale from low to extreme abrasion resistance. It is particularly useful in ranking materials of medium to extreme abrasion resistance.

1.3.2 *Procedure B*—A short-term variation of Procedure A. It may be used for highly abrasive resistant materials but is particularly useful in the ranking of medium- and low-abrasive-resistant materials. Procedure B should be used when the volume-loss values developed by Procedure A exceeds 100 mm^3 .

1.3.3 *Procedure C*—A short-term variation of Procedure A for use on thin coatings.

1.3.4 *Procedure D*—This is a lighter load variation of Procedure A which is particularly useful in ranking materials of low-abrasion resistance. It is also used in ranking materials of a specific generic type or materials which would be very close in the volume loss rates as developed by Procedure A.

1.3.5 *Procedure E*—A short-term variation of Procedure B that is useful in the ranking of materials with medium- or

low-abrasion resistance.

1.4 *This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 2240 Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness²

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes³

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process³

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods³

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion⁴

2.2 *American Foundrymen's Society Standards:*
AFS Foundry Sand Handbook, 7th Edition⁵

3. Terminology

3.1 Definition:

3.1.1 *abrasive wear*—wear due to hard particles or hard protuberances forced against and moving along a solid surface (Terminology G 40).

NOTE 2—This definition covers several different wear modes or mechanisms that fall under the abrasive wear category. These modes may degrade a surface by scratching, cutting, deformation, or gouging (1 and 6).⁶

4. Summary of Test Method

4.1 The dry sand/rubber wheel abrasion test (Fig. 1) involves the abrading of a standard test specimen with a grit of controlled size and composition. The abrasive is introduced

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G02 on Wear and Erosion and is the direct responsibility of Subcommittee G02.30 on Abrasive Wear.

Current edition approved Oct. 10, 2000. Published November 2000. Originally published as G 65 – 80. Last previous edition G 65 – 94 (2000)^{ε1}.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 09.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

⁵ Available from American Foundrymen's Society, Golf and Wolf Roads, Des Plaines, IL 60016

⁶ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this test method.

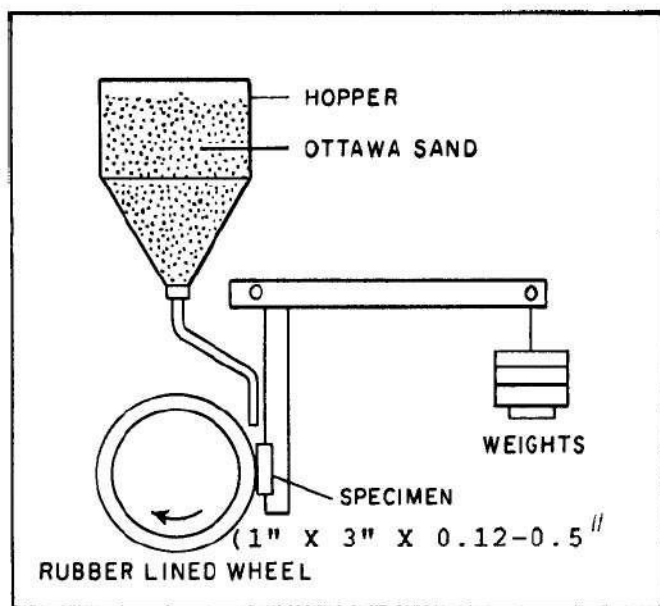


FIG. 1 Schematic Diagram of Test Apparatus

between the test specimen and a rotating wheel with a chlorobutyl rubber tire or rim of a specified hardness. This test specimen is pressed against the rotating wheel at a specified force by means of a lever arm while a controlled flow of grit abrades the test surface. The rotation of the wheel is such that its contact face moves in the direction of the sand flow. Note that the pivot axis of the lever arm lies within a plane which is approximately tangent to the rubber wheel surface, and normal to the horizontal diameter along which the load is applied. The test duration and force applied by the lever arm is varied as noted in Procedure A through E. Specimens are weighed before and after the test and the loss in mass recorded. It is necessary to convert the mass loss to volume loss in cubic millimetres, due to the wide differences in the density of materials. Abrasion is reported as volume loss per specified procedure.

5. Significance and Use (1-7)

5.1 The severity of abrasive wear in any system will depend upon the abrasive particle size, shape, and hardness, the magnitude of the stress imposed by the particle, and the frequency of contact of the abrasive particle. In this practice these conditions are standardized to develop a uniform condition of wear which has been referred to as scratching abrasion (1 and 2). The value of the practice lies in predicting the relative ranking of various materials of construction in an abrasive environment. Since the practice does not attempt to duplicate all of the process conditions (abrasive size, shape, pressure, impact, or corrosive elements), it should not be used to predict the exact resistance of a given material in a specific environment. Its value lies in predicting the ranking of materials in a similar relative order of merit as would occur in an abrasive environment. Volume loss data obtained from test materials whose lives are unknown in a specific abrasive environment may, however, be compared with test data obtained from a material whose life is known in the same environment. The comparison will provide a general indication

of the worth of the unknown materials if abrasion is the predominant factor causing deterioration of the materials.

6. Apparatus and Material⁷

6.1 Fig. 2 shows a typical design and Fig. 3 and Fig. 4 are photographs of the test apparatus which may be constructed from readily available materials. Also, see Ref (2). Several elements are of critical importance to ensure uniformity in test results among laboratories. These are the type of rubber used on the wheel, the type of abrasive and the shape, positioning and the size opening of the sand nozzle, and a suitable lever arm system to apply the required force.

6.2 *Rubber Wheel*—The wheel shown in Fig. 5 shall consist of a steel disk with an outer layer of chlorobutyl rubber molded to its periphery. Uncured rubber shall be bonded to the rim and fully cured in a steel mold. The optimum hardness of the cured rubber is Durometer A-60. A range from A58 to 62 is acceptable. At least four hardness readings shall be taken on the rubber approximately 90° apart around the periphery of the wheel using a Shore A Durometer tester in accordance with Test Method D 2240. The gage readings shall be taken after a dwell time of 5 s. The recommended composition of the rubber and a qualified molding source is noted in Table 1. (See 9.9 for preparation and care of the rubber wheel before and after use and see Fig. 2 and Fig. 5.)

6.3 *Abrasive*—The type of abrasive shall be a rounded quartz grain sand as typified by AFS 50/70 Test Sand (Fig. 6).⁸ The moisture content shall not exceed 0.5 weight %. Sand that has been subjected to dampness or to continued high relative humidity may take on moisture, which will affect test results. Moisture content may be determined by measuring the weight loss after heating a sample to approximately 120°C (250°F) for 1 h minimum. If test sand contains moisture in excess of 0.5 % it shall be dried by heating to 100°C (212°F) for 1 h minimum and the moisture test repeated. In high-humidity areas sand may be effectively stored in constant temperature and humidity rooms or in an enclosed steel storage bin equipped with a 100-W electric bulb. Welding electrode drying ovens, available from welding equipment suppliers are also suitable. Multiple use of the sand may affect test results and is not recommended. AFS 50-70 Test Sand is controlled to the following size range using U.S. sieves (Specification E 11).

U.S. Sieve Size	Sieve Opening	% Retained on Sieve
40	425 μm (0.0165 in.)	none
50	300 μm (0.0117 in.)	5 max
70	212 μm (0.0083 in.)	95 min
100	150 μm (0.0059 in.)	none passing

6.4 *Sand Nozzle*—Fig. 7 shows the fabricated nozzle design which was developed to produce an accurate sand flow rate and proper shape of sand curtain for test procedures. The nozzle may be of any convenient length that will allow for connection to the sand hopper using plastic tubing. In new nozzles, the rate of sand flow is adjusted by grinding the orifice of the nozzle to

⁷ Original users of this test method fabricated their own apparatus. Machines are available commercially from several manufacturers of abrasion testing equipment.

⁸ Available from U.S. Silica Co., P.O. Box 577, Ottawa, IL 61350. Sand from other sources was not used in the development of this test method and may give different results.

G 65

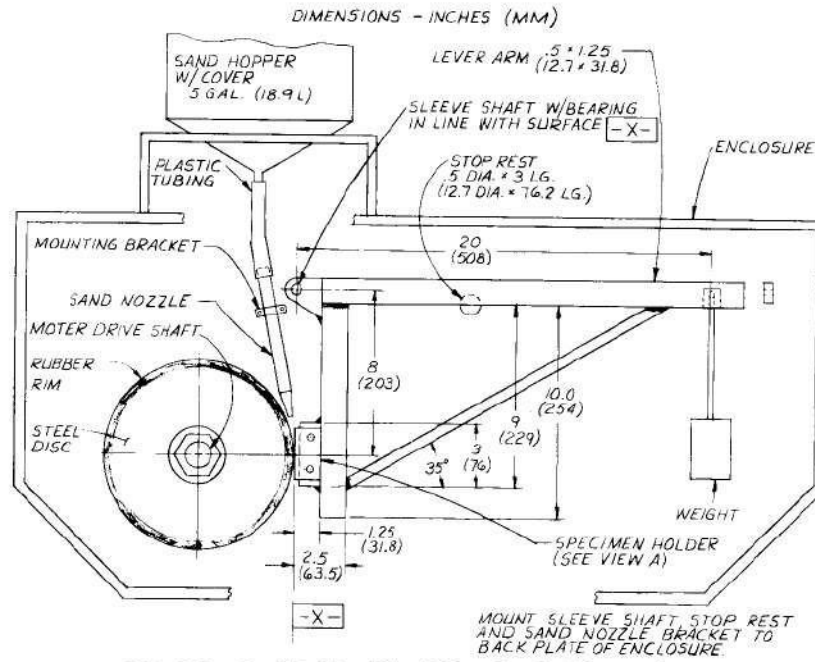
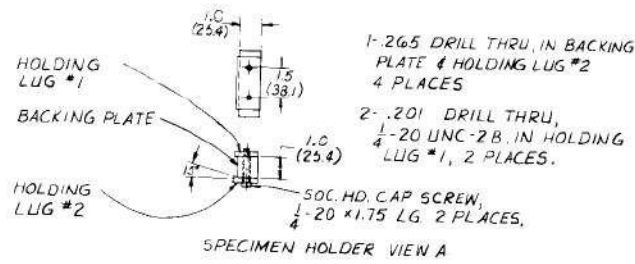


FIG. 2 Dry Sand/Rubber Wheel Abrasion Test Apparatus

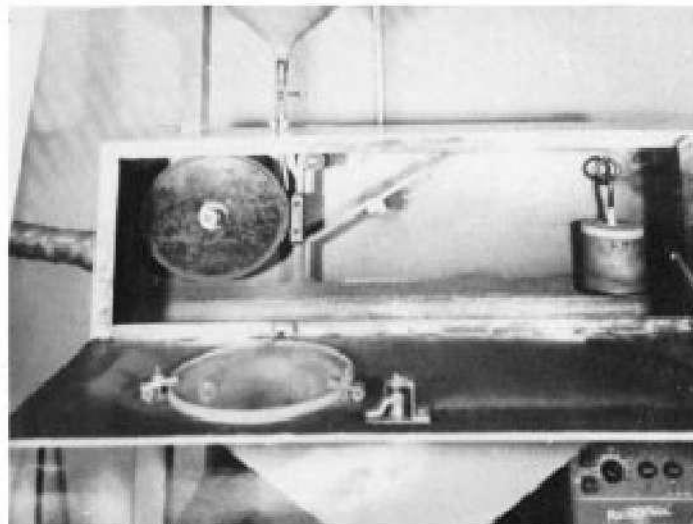


FIG. 3 Wheel and Lever Arm

increase the width of the opening to develop a sand flow rate of 300 to 400 g/min. During use, the nozzle opening must be

positioned as close to the junction of the test specimen and the rubber wheel as the design will allow. (See Fig. 8.)

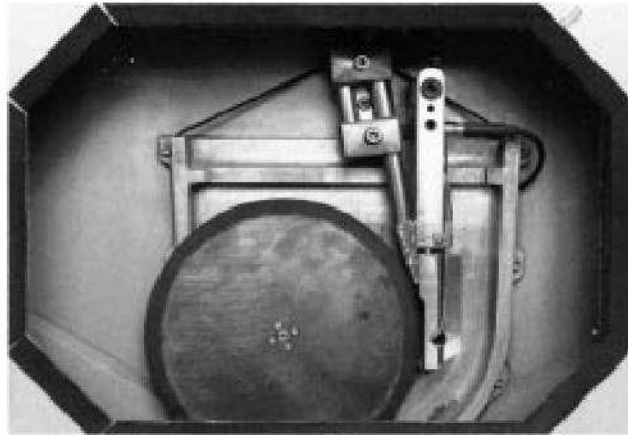


FIG. 4 Enclosure Frame

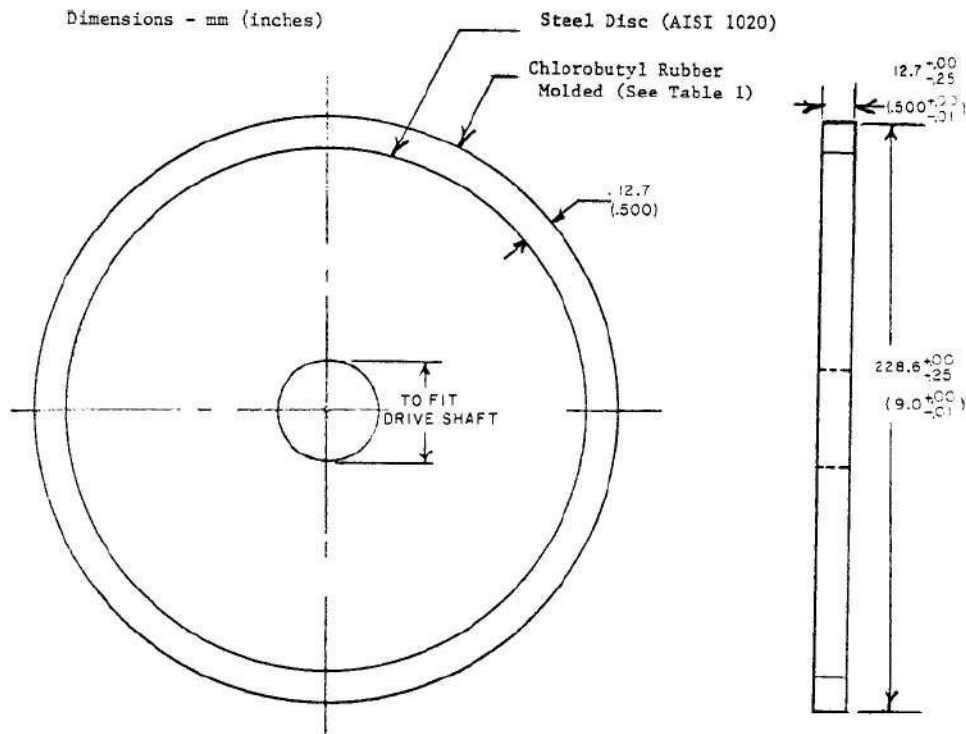


FIG. 5 Rubber Wheel

6.4.1 Any convenient material of construction that is available as welded or seamless pipe may be used for the construction of the fabricated nozzle. Stainless steel is preferred because of its corrosion resistance and ease of welding. Copper and steel are also used successfully.

6.4.2 *Formed Nozzle*—Nozzles formed from tubing may be used only when they duplicate the size and shape (rectangular orifice and taper), and the sand flow characteristics (flow rate and streamlined flow) of the fabricated nozzle. (See Fig. 7 and Fig. 9.)

6.4.3 *Sand Flow*—The nozzle must produce a sand flow rate of 300 to 400 g/min (0.66 to 0.88 lb/min).

6.4.4 *Sand Curtain*—Fig. 9 shows the proper stream-lined flow and the narrow shape of the sand curtain as it exits from

the sand nozzle. A turbulent sand flow as depicted in Fig. 10 will tend to produce low and inconsistent test results. It is intended that the sand flows in a streamlined manner and passes between the specimen and rubber wheel.

6.5 *Motor Drive*—The wheel is driven by a nominally 0.7-kW (1-hp) d-c motor through a 10/1 gear box to ensure that full torque is delivered during the test. The rate of revolution (200 ± 10 rpm) must remain constant under load. Other drives producing 200 rpm under load are suitable.

6.6 *Wheel Revolution Counter*—The machine shall be equipped with a revolution counter that will monitor the number of wheel revolutions as specified in the procedure (Section 9). It is recommended that the incremental counter have the ability to shut off the machine after a preselected

TABLE 1 Formula for Chlorobutyl Rubber^A

NOTE 1—Specific gravity of mix: 1.15. Pressure cure: 20 min at 160°C (320°F).

Materials	Proportions by Weight
Chlorobutyl No. HT 10-66 (Enjay Chemical)	100
Agerite Staylite-S	1
HAF black	60
Circolight oil	5
Stearic acid	1
Zinc oxide	5
Ledate	2

^A The sole source of supply known to the committee at this time is Action Rubber Co., Inc., 601 Fame Rd., Dayton, OH 45449. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend.

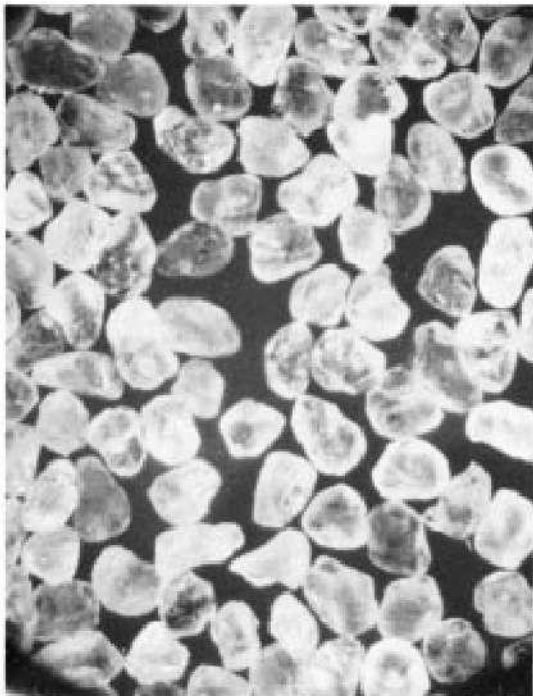


FIG. 6 25X Magnification AFS 50/70 Test Sand Ottawa Silica Co.

number of wheel revolutions or increments up to 12 000 revolutions is attained.

6.7 Specimen Holder and Lever Arm—The specimen holder is attached to the lever arm to which weights are added, so that a force is applied along the horizontal diametral line of the wheel. An appropriate number of weights must be available to apply the appropriate force (Table 2) between the test specimen and the wheel. The actual weight required should not be calculated, but rather should be determined by direct measurement by noting the load required to pull the specimen holder away from the wheel. A convenient weight system is a can filled with sand (see Fig. 2).

6.8 Analytical Balance—The balance used to measure the loss in mass of the test specimen shall have a sensitivity of 0.001 g. Procedure C requires a sensitivity of 0.0001 g.

6.9 Enclosure, Frame, and Abrasive Hopper—Fig. 3 and

Fig. 4 are photographs of a typical test apparatus. The size and shape of the support elements, enclosure, and hopper may be varied according to the user's needs.

7. Specimen Preparation and Sampling

7.1 Materials—It is the intent of this test method to allow for the abrasion testing of any material form, including wrought metals, castings, forgings, gas or electric weld overlays, plasma spray deposits, powder metals, metallizing, electroplates, cermets, ceramics etc. The type of material will, to some extent, determine the overall size of the test specimen.

7.2 Typical Specimen, a rectangular shape 25 by 76 mm (1.0 by 3.0 in.) and between 3.2 and 12.7 mm (0.12 and 0.50 in.) thick. The size may be varied according to the user's need with the restriction that the length and width be sufficient to show the full length of the wear scar as developed by the test. The test surface should be flat within 0.125 mm (0.005 in.) maximum.

7.3 Wrought, Cast, and Forged Metal—Specimens may be machined to size directly from the raw material.

7.4 Electric or Gas Weld Deposits are applied to one flat surface of the test piece. Double-weld passes are recommended to prevent weld dilution by the base metal. The heat of welding may distort the test specimen. When this occurs, the specimen may be mechanically straightened or ground, or both. In order to develop a suitable wear scar, the surface to be abraded must be ground flat to produce a smooth, level surface at least 63.4 mm (2.50 in.) long and 19.1 mm (0.75 in.) for the test. (See 7.5.) Note that the welder technique, heat input of welds, and the flame adjustment of gas welds will have an effect on the abrasion resistance of a weld deposit.

7.5 Finish—Test specimens should be smooth, flat, and free of scale. Surface defects such as porosity and roughness may bias the test results, and such specimens should be avoided unless the surface itself is under investigation. Typical suitable surfaces are mill-rolled surfaces such as are present on cold-rolled steel, electroplated and similar deposits, ground surfaces, and finely machined or milled surfaces. A ground surface finish of approximately 0.8 μm (32 μin.) or less is acceptable. The type of surface or surface preparation shall be stated in the data sheet.

8. Test Parameters

8.1 Table 2 indicates the force applied against the test specimen and the number of wheel revolutions for test Procedures A through E.

8.2 Sand Flow—The rate of sand flow shall be 300 to 400 g/min (0.66 to 0.88 lb/min).

8.3 Time—The time of the test will be about 30 min for Procedures A and D, 10 min for Procedure B, 5 min for Procedure E, and 30 s for Procedure C, depending upon the actual wheel speed. In all cases the number of wheel revolutions and not the time shall be the controlling parameter.

8.4 Lineal Abrasion—Table 2 shows the lineal distance of scratching abrasion developed using a 228.6-mm (9-in.) diameter wheel rotating for the specified number of revolutions. As the rubber wheel reduces in diameter the number of wheel revolutions shall be adjusted to equal the sliding distance of a new wheel (Table 2) or the reduced abrasion rate shall be taken

FABRICATED SAND NOZZLE

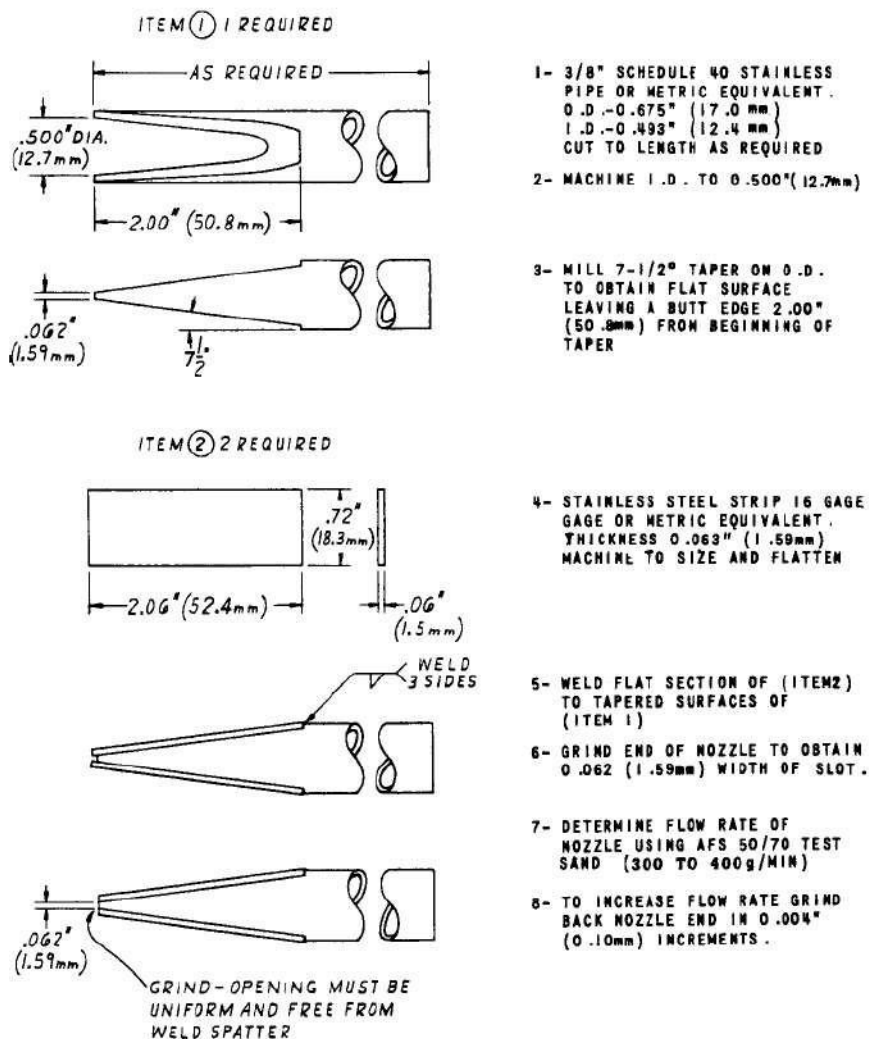


FIG. 7 Sand Nozzle

into account by adjusting the volume loss produced by the worn wheel to the normalized volume loss of a new wheel. (See 10.2.)

9. Procedure

9.1 *Cleaning*—Immediately prior to weighing, clean the specimen with a solvent or cleaner and dry. Take care to remove all dirt or foreign matter or both from the specimen. Dry materials with open grains (some powder metals or ceramics) to remove all traces of the cleaning solvent, which may have been entrapped in the material. Steel specimens having residual magnetism should be demagnetized or not used.

9.2 Weigh the specimen to the nearest 0.001 g (0.0001 g for Procedure C).

9.3 Seat the specimen securely in the holder and add the proper weights to the lever arm to develop the proper force pressing the specimen against the wheel. This may be measured accurately by means of a spring scale which is hooked around the specimen and pulled back to lift the specimen away

from the wheel. A wedge should be placed under the lever arm so that the specimen is held away from the wheel prior to start of test. (See Fig. 2.)

9.4 Set the revolution counter to the prescribed number of wheel revolutions.

9.5 *Sand Flow and Sand Curtain*—The rate of sand flow through the nozzles shall be between 300 g (0.66 lb)/min and 400 g (0.88 lb)/min. Do not start the wheel rotation until the proper uniform curtain of sand has been established (see Fig. 9 and Note 3).

9.5.1 The dwell time between tests shall be the time required for the temperature of the rubber wheel to return to room temperature. For Procedure B the dwell time shall be at least 30 min.

9.6 Start the wheel rotation and immediately lower the lever arm carefully to allow the specimen to contact the wheel.

9.7 When the test has run the desired number of wheel revolutions, lift the specimen away from the wheel and stop the sand flow and wheel rotation. The sand flow rate should be



FIG. 8 Position of Sand Nozzle

measured before and after a test, unless a consistent flow rate has been established.

9.8 Remove the specimen and reweigh to the nearest 0.001 g (0.0001 g for Procedure C).

9.8.1 *Wear Scar*—Observe the wear scar and compare it to the photographs of uniform and nonuniform wear scars in Fig. 11. A nonuniform pattern indicates improper alignment of the rubber rim to the test specimen or an unevenly worn rubber wheel. This condition may reduce the accuracy of the test.

9.9 *Preparation and Care of Rubber Wheels*—Dress the periphery of all new rubber wheels and make concentric to the bore of the steel disk upon which the rubber is mounted. The concentricity of the rim shall be within 0.05 mm (0.002 in.) total indicator reading on the diameter. Follow the same dressing procedure on used wheels that develop grooves or that wear unevenly so as to develop trapezoidal or uneven wear scars on the test specimen (Fig. 11). The intent is to produce a uniform surface that will run tangent to the test specimen without causing vibration or hopping of the lever arm. The wear scars shall be rectangular in shape and of uniform depth at any section across the width. The rubber wheel may be used until the diameter wears to 215.9 mm (8.50 in.). New rubber rims may be mounted on steel disks by the qualified source (6.2).

9.10 *Wheel Dressing Procedure*—The preferred dressing procedure for the periphery of the rubber rim is to mount a

diamond-cut file⁹ in place of the specimen in the holder and run the machine with load until the wheel is clean. Another dressing procedure for the periphery of the rubber rim is to mount the wheel on a lathe, and machine the surface with a tool bit especially ground for rubber applications. Grind a carbide or high-speed steel tool bit to very deep rake angles (Fig. 12). Feed the tool across the rubber surface in the opposite direction from that normally used for machining steel. This allows the angular surface of the tool bit to shear away thin layers of rubber without tearing or forming grooves in the rubber as would occur when using the pointed edges of the tool. The recommended machining parameters are: *Feed*—25 mm/min (1.0 in./min); *Speed*—200 rpm; *Depth of Cut*—0.254 mm (0.010 in.) to 0.762 mm (0.030 in.). The dressed wheel should be first used on a soft carbon steel test specimen (AISI 1020 or equivalent) using Procedure A. This results in a smooth, uniform, non-sticky surface. An alternative dressing method involves the use of a high-speed grinder on the tool post of a lathe. Take great care since grinding often tends to overheat and smear the rubber, leaving a sticky surface. Such a surface will pick up and hold sand particles during testing. If the grinding method is used, not more than 0.05 mm (0.002 in.) may be ground from the surface at one time so as to prevent overheating.

10. Calculating and Reporting Results

10.1 The abrasion test results should be reported as volume loss in cubic millimetres in accordance with the specified procedure used in the test. For example, ___mm³ per ASTM ___ Procedure ___. While mass loss results may be used internally in test laboratories to compare materials of equivalent densities, it is essential that all users of this test procedure report their results uniformly as volume loss in publications or reports so that there is no confusion caused by variations in density. Convert mass loss to volume loss as follows:

$$\text{Volume loss, mm}^3 = \frac{\text{mass loss (g)}}{\text{density (g/cm}^3\text{)}} \times 1000 \quad (1)$$

10.2 *Adjusting the Volume Loss*—As the rubber wheel decreases in diameter the amount of scratching abrasion developed in a given practice will be reduced accordingly. The actual volume loss produced by these slightly smaller wheels will, therefore, be inaccurate. The “adjusted volume loss” value takes this into account and indicates the actual abrasion rate that would be produced by a 228.6-mm (9.00-in.) diameter wheel. Calculate the adjusted volume loss (AVL) as follows:

$$\text{AVL} = \text{measured volume loss} \times \frac{228.6 \text{ mm (9.00 in.)}}{\text{wheel diameter after use}} \quad (2)$$

10.3 *Reporting Test Results*—All significant test parameters and test data as noted in Tables 2 and 3 shall be reported. Any variation from the recommended procedure must be noted in the comments. The report shall include a statement of the current precision and accuracy of the test apparatus as qualified

⁹ The sole source of supply known to the committee at this time is Falex Corp., 1020 Airpark Dr., Sugar Grove, IL 60554. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend.

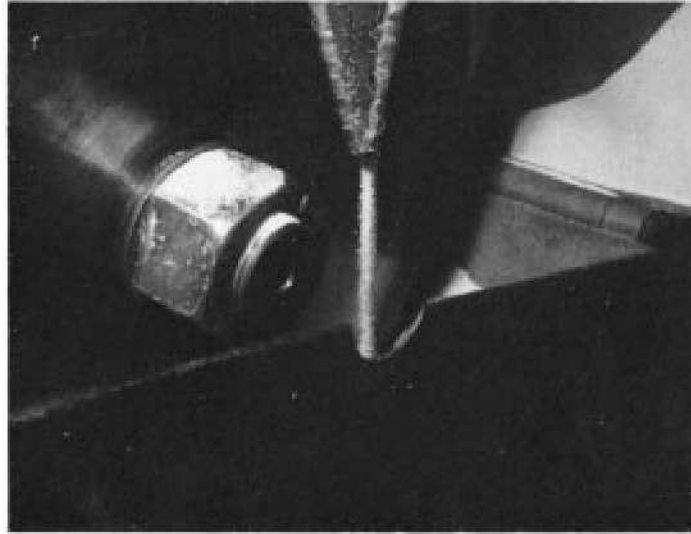


FIG. 9 Sand Flow—Streamlined

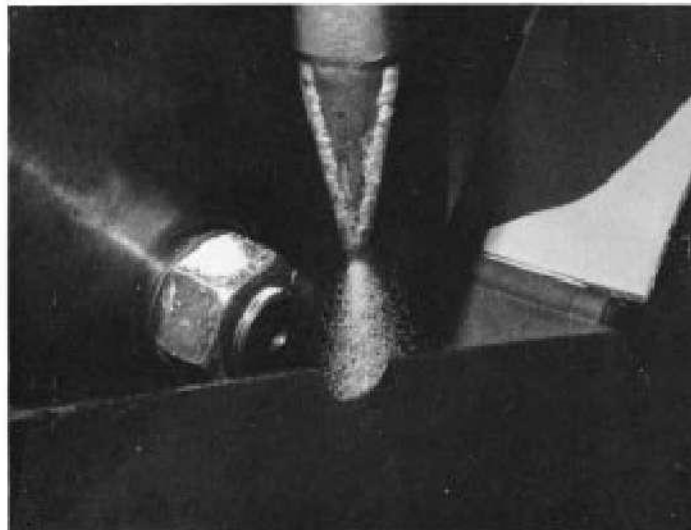


FIG. 10 Sand Flow—Turbulence

TABLE 2 Test Parameters

Specified Procedure	Force Against Specimen, ^a N (lb)	Wheel Revolutions	Lineal Abrasion ^a m (ft)
A	130 (30)	6000	4309 (14 138)
B	130 (30)	2000	1436 (4 711)
C	130 (30)	100	71.8 (236)
D	45 (10.1)	6000	4309 (14 138)
E	130 (30)	1000	718 (2 360)

^a See 8.4.

N = Newton (SI metric term for force)

1 lbf = 4.44822 N

1 Kgf = 9.806650 N

^b Force tolerance is $\pm 3\%$.

by the testing of Reference Materials (11.6). The volume loss data developed by the initial qualification tests (11.4) or the volume loss data developed by the periodic re-qualification tests (11.4.3) should be listed on the data sheet (Table 3).

11. Precision and Bias

11.1 The precision and bias of the measurements obtained with this test method will depend upon strict adherence to the stated test parameters and maintenance of the proper sand flow rate and sand curtain throughout the duration of the test.

11.2 The degree of agreement in repeated tests on the same material will depend upon material homogeneity, machine and material interaction, and close observation of the test by a competent machine operator.

11.3 Normal variations in the abrasive, rubber wheel characteristics, and procedure will tend to reduce the accuracy of this test method as compared to the accuracy of such material property tests as hardness or density.

11.4 *Initial Machine Operation and Qualification*—The number of tests to establish precision and bias of the apparatus

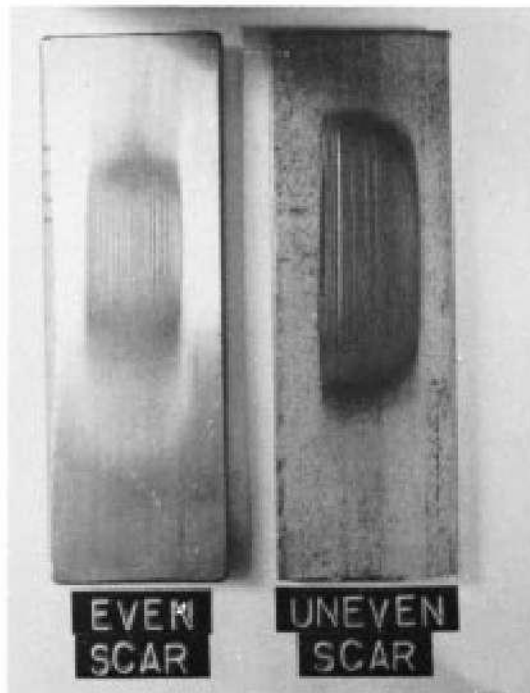


FIG. 11 Typical Wear Scars Uneven and Nonuniform Wear Scars Indicate Improper Alignment or Wear of Rubber Wheel

for initial machine operation shall be at least five. After initial qualification, a minimum of three tests may be used to periodically monitor precision and bias. These tests shall be made using Reference Materials (11.6) and the statistical calculations made, using formulas described in Practice E 122.

11.4.1 Tables X1.1 and X1.2 show representative coefficients of variation or standard deviations, or both, which were obtained in the interlaboratory tests. The coefficient of variation or the standard deviation, or both, for reference materials shall not exceed the values reported. If this value is exceeded, the machine operation shall be considered out of control and steps taken to eliminate erratic results.

11.4.2 The coefficient of variation tends to be higher for materials with volume losses in the range from 1 to 5 mm³. In such cases, the coefficient of variation is about 20 %.

11.4.3 In any test series all data must be considered in the calculation including outliers (data exceeding the obvious range). For example, an exceedingly high- or low-volume loss must not be disregarded except in the case of observed faulty machine operation.

11.4.4 *Re-Qualification of Apparatus*— After the test apparatus has been initially qualified, it is required that one or more standard reference materials be periodically tested to ensure the accuracy of the data generated by the apparatus. This is particularly necessary when new test operators are involved or when the apparatus is not used on a regular basis. Re-qualification is also required for interlaboratory testing and for the qualification of materials as specified in customer and vendor contracts.

11.5 While two or more laboratories may develop test data that is within the acceptable coefficient of variation for their

own individual test apparatus, their actual averages may be relatively far apart. The selection of sample size and the method for establishing the significance of the difference in averages shall be agreed upon between laboratories and shall be based on established statistical methods in Practices E 122, E 177, and Manual MNL 7.¹⁰

11.6 *Reference Materials*—Reference materials¹¹ may be used for periodic monitoring of the test apparatus and procedures in individual laboratories.

11.6.1 While any of the four test procedures (Table 2) may be used on reference materials, it is recommended that Procedure A be used for the more abrasion-resistant materials such as AISI D-2 Tool Steel. When Procedure A volume loss values exceed 100 mm³ in materials such as annealed low-carbon steel, greater accuracy in material ranking can be obtained by using Procedures B or D.

11.6.2 *Three Types of Reference Materials:*

11.6.2.1 *AISI D-2 Tool Steel (Nonfree-Machining Type)*— This is Reference Material No. 1 for Procedure A.¹²

(a) Harden 1010°C (1850°F)—25 min at temperature.

(b) Air cool to room temperature.

(c) Temper at 205°C (400°F)—1 h at temperature.

(d) Air Cool Hardness 59–60 HRC.

(e) Procedure A, qualifying volume loss range—36 ± 5 mm³.

11.6.2.2 *AISI H-13 Tool Steel*—This is Reference Material No. 2 for Procedure B.¹³

(a) Harden 1010/1024°C (1850/1875°F) in neutral salt bath 25 min at temperature.

(b) Air cool to room temperature.

(c) Double temper at 593°C (1100°F) for 2 h and 2 h. Air cool between tempers. Hardness 47–48 HRC.

(d) Procedure B, qualifying volume loss range—56 ± 4 mm³.

11.6.2.3 *AISI 4340 Steel*—This is Reference Material No. 3 for Procedures B or E.

(a) Normalizing heat treatment.

(b) Hardness 31-33 HRC.

(c) Procedure E, qualifying volume loss range—49 ± 3 mm³.

(d) Procedure B, qualifying volume loss range—91 ± 5 mm³.

11.6.3 Volume loss values for reference materials are developed in interlaboratory testing by the Abrasive Wear Task Group of ASTM Subcommittee G02.30.¹⁴ (See X1.3 for typical volume loss values of other materials.) It is the intent of Subcommittee G02.30 to develop several reference materials for abrasive wear testing.

¹⁰ Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis, ASTM MNL 7, ASTM.

¹¹ Contact the Office of Standard Reference Materials, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, or ASTM Headquarters.

¹² For information on D02 Tool Steel, Standard Reference Material No. 1857, contact the Office of Standard Reference Materials, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899.

¹³ For information on H-13 Tool Steel and 4340 steel contact ASTM Headquarters, Subcommittee G02.30. A qualified source for test specimen is 1020 Airpark Dr., Sugar Grove, IL 60554.

¹⁴ Supporting data available from ASTM Headquarters. Request RR: G02-1006.

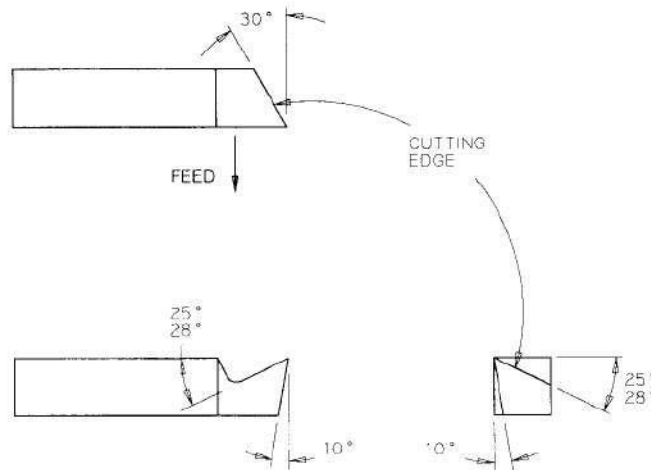
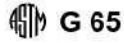


FIG. 12 Typical Wheel Dressing Tool

TABLE 3 Data Sheet

Dry Sand/Rubber Wheel Test ASTM G-65 Procedure _____						
Qualification of Apparatus (11.4): _____					Date _____	
Reference Materials _____					Quantity _____	
Adjusted Volume Loss (avg) _____ mm ³ Coefficient of Variation _____					%	
Test Data						
Material Description: _____					Wheel diameter: _____	
Heat Treatment: _____					Wheel width: _____	
Hardness: _____					Wheel hardness: _____	
Surface Preparation _____						
Test No.						
Test load						
Wheel revolutions						
Sand flow, g/min						
Initial mass, g						
Final mass, g						
Mass loss, g						
Density, g/cm ^{3A}						
Volume loss, mm ³ (mass loss/density) × 1000						
Adjusted volume loss, mm ³						
Comments: _____						
Company Name _____			Tested by _____		Date _____	

^A Density of materials may be obtained from *ASM Metals Handbook*, Vol 1, 8th ed. or suppliers of materials.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SOME STATISTICAL CONSIDERATIONS IN ABRASION TESTING

X1.1 Background

X1.1.1 The Dry Sand/Rubber and Wheel Abrasion Test as developed and described by Haworth, Avery, and others (1-7)

has been in various stages of evolution and use since 1960. A number of variations of this test procedure have been used by several research and industrial laboratories in the United States

who were faced with the problem of evaluating hard surfacing alloys, castings, and wrought products for their resistance to abrasive wear. Individual laboratories set their own test parameters with the goal being the generation of reproducible test data within the laboratory. As the need for standardization became apparent, Subcommittee G02.30 formed a task group to study the effect of each test parameter on the overall results within individual laboratories and among all laboratories as a group. While standardization of test parameters was attained, it became evident that the variability or experimental error inherent in each laboratory was a factor that must be considered. Not only must the test method, apparatus, and individual operator generate repeatable results, but the test results must be consistently reproducible within an acceptable range. Another important consideration in establishing repeatable and reproducible test results was the selection of an adequate sample size. More specifically this was the need for laboratories to agree on the number of times a test should be repeated on a given homogeneous material in order to obtain a meaningful average result. While single test results and simple arithmetic averaging may in some few cases be useful in individual laboratories, it is essential that statistical techniques and multiple testing of specimens be utilized for the qualification of each test apparatus, and for the comparison of materials. Further information on statistical methods may be found in Practice E 122, MNL 7, and in the references.

X1.2 Statistical Equations

X1.2.1 Several equations for the calculation of standard deviation and coefficient of variation are used in the statistical analysis of data shown in Table X1.1. To ensure uniformity among laboratories using the dry sand/rubber wheel test, the standard deviation and coefficient of variation of results produced from a series of tests should be calculated by the following equations:

$$S_r = \sqrt{\frac{1}{p}(\sum S_j^2)} \tag{X1.1}$$

- d = deviations from average, $(\bar{x}_j - \bar{x})$
- $S_{\bar{x}}$ = $\sqrt{\frac{\sum(d^2)}{p-1}}$
- S_L = $\sqrt{(S_{\bar{x}}^2) - (S_r^2)}$; $S_L = 0$ if the quantity under the root sign is negative.
- S_R = $\sqrt{(S_r^2) + (S_L^2)}$, is the reproducibility standard deviation of the test method for the parameter measured.
- $V_r(\%)$ = $100(S_r)/(\bar{x})$, the estimated relative standard deviation or coefficient of variation within a laboratory for the parameter measured (repeatability).
- $V_L(\%)$ = $100(S_L)/(\bar{x})$, the estimated relative standard deviation or coefficient of variation between laboratories for the parameter measured (reproducibility).

where:

- p = number of laboratories,
- n = number of replicate tests,
- \bar{x}_j = average of n number of replicate tests of each, laboratory of parameter j ,
- S_j = standard deviation,
- \bar{x} = average of \bar{x}_j 's for all laboratories of each parameter,
- S_r = estimated repeatability standard deviation within, and a laboratory for each parameter measured.

X1.3 Typical Volume Loss Values

X1.3.1 Procedure A of the Dry Sand/Rubber Wheel Test will produce volume losses in metallic materials ranging from 0.25 to 250 mm³. The more abrasion-resistant materials will develop the least volume loss. Table X1.2 shows typical volume loss ranges that may be expected in the metals listed. They are offered as guidelines only and not as purchasing specifications or as standard reference specimens. Any material specifications involving this test method must be by agreement between the seller and the purchaser. When volume losses exceed 100 mm³, greater accuracy in material ranking is obtained by using Procedure D (see Table 2). Procedure A should be used for the more abrasion-resistant materials. Procedure E or B can be used for materials with volume losses in the range from 50 to 100 mm.⁵

TABLE X1.1 Statistical Analyses of Interlaboratory Test Results

Round-Robin Test Conditions	Specified Procedure	Number of Samples	Average, mm ³	Standard Deviation Within, mm ³	Standard Deviation Between, mm ³	Coefficient of Variation Within, %	Coefficient of Variation Between, %	Coefficient of Variation Total, %	Standard Deviation Total, mm ³
RR No. 15 4340 steel	E	3	51.63	1.67	0.75	3.2	1.5	3.5	1.83
RR No. 14A and 14B 4340 steel	E	3	47.74	1.84	2.46	3.9	5.2	6.04	3.07
RR No. 14A and 14B 4340 steel	B	3	91.08	2.18	4.98	2.4	3.5	6	5.44
RR No. 12 WC-14 weight % CO 0.010 in. thick	A	4	2.18	0.14	0.42	6.4	19.3	20.4	0.44
RR No. 14 hard-chrome plating 0.010 in. thick	C	3	1.33	0.1	0.25	7.4	19.1	20.5	0.27

TABLE X1.2 Volume Loss Range

	Standard Values (Mean \pm Standard Deviation) ^A				
	Practice A, mm ³	Practice B, mm ³	Practice C, mm ³	Practice D, mm ³	Practice E, mm ³
AISI Tool Steel D-2 Reference Material No. 1 ^B	35.6 \pm 5.2	...	...	...	...
AISI Tool Steel H-13 Reference Material No. 2 ^B	...	55.6 \pm 4.2	...	...	...
AISI 4340 Steel Reference Material No. 3 ^B	...	...	...	91.1 \pm 5.4	49.2 \pm 2.9
	Nonstandard Values				
316 stainless bar annealed RB-80	260 \pm 20	...	...	58.5 \pm 26.6	...
AISI 1090 plate-normalized 900°C (1600°F) air-cooled 24-26 HRC	80.7 \pm 8.0	...	...	33.0 \pm 6.0	...
17-4PH stainless-aged 500°C (925°F)-4 h at temperature, air-cooled-43 HRC	220 \pm 20	122.1 \pm 15.3	...	70.9 \pm 6.1	...
Stellite 1016 hard surfacing overlay 57-58 HRC applied by oxyacetylene welding process (35 flame)	17 \pm 4	...	...	...	...
Sintered tungsten carbide (Kennametal K-714, Valenite 2889)	1.9 \pm 0.3	...	...	...	...
WC-Co flame spray coatings	2.2 \pm 0.4	...	...	...	...
Hard-chrome plating	...	...	1.3 \pm 0.3	...	...

^A The mean values and standard deviation for volume loss reported were calculated from the values in Research Report RR:G02.1006.

^B See 11.6.2 for heat treat.

REFERENCES

- (1) Avery, H. S., "The Nature of Abrasive Wear," *SAE Preprint 750822*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1975.
- (2) Tucker, R. C., and Miller, A. E., *Low Stress Abrasive and Adhesive Wear Testing, ASTM STP 615*, Philadelphia, PA, 1975, pp. 68–90.
- (3) Avery, H. S., "The Measurement of Wear Resistance," *Wear*, Vol 4, No. 6, November/December 1961, pp. 427–449.
- (4) "Report of Iron and Steel Technical Committee," *Abrasive Wear*, 1965, Society of Automotive Engineers, 1966.
- (5) Bonik, F., "Rubber Wheel Abrasion Test," *SAE Preprint 700687*, Society of Automotive Engineers, 1970.
- (6) Avery, H. S., "Classification and Precision of Abrasion Tests," *Source Book on Wear Control Technology*, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1978.
- (7) Haworth, R. D., Jr., "The Abrasion Resistance of Metals," *Transactions American Society for Metals*, Vol 41, 1949, pp. 819–854.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE DESGASTE MICRO ABRASIVO PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI - LA MANÁ, 2022”**, presentado por **Carrasco Dueñas Jonathan Alexander** y **Maldonado Pérez Fernando Adrián**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

La Maná, 31 agosto del 2022

Atentamente,



Mg. Fernando Toaquiza
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502229677

Document Information

Analyzed document	tesis_carrasco_maldonado.pdf (D143579122)
Submitted	9/4/2022 5:57:00 PM
Submitted by	
Submitter email	yoandrys.morales@utc.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	yoandrys.morales.utc@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / proyecto_titulacion_corregido_nuevo_formato_ultimo.docx Document proyecto_titulacion_corregido_nuevo_formato_ultimo.docx (D111517686) Submitted by: yoandrys.morales@utc.edu.ec Receiver: yoandrys.morales.utc@analysis.arkund.com	 2
W	URL: https://www.ggbearings.com/es/tribou/tribologia Fetched: 9/4/2022 5:58:00 PM	 1
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Tesis_chanaluisa_wagner.pdf Document Tesis_chanaluisa_wagner.pdf (D143406496) Submitted by: yoandrys.morales@utc.edu.ec Receiver: yoandrys.morales.utc@analysis.arkund.com	 1