



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DEL ACERO
AL CARBONO ASTM A-36 Y DEL AISI 1045, CON TRATAMIENTO
SUPERFICIAL, PARA UTILIZAR EN LA REPARACIÓN DE CUCHARONES
DE RETROEXCAVADORAS”

AUTOR: Edison Stalin Capus Solano

TUTOR: Ing. Mg. Cristian Pérez

AMBATO – ECUADOR

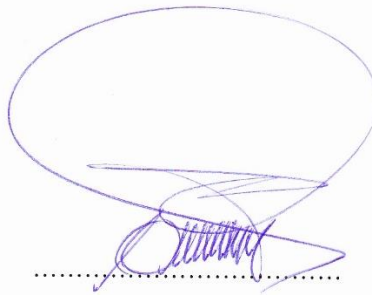
2020

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DEL ACERO AL CARBONO ASTM A-36 Y DEL AISI 1045, CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL, PARA UTILIZAR EN LA REPARACIÓN DE CUCHARONES DE RETROEXCAVADORAS”, elaborado por el Sr. Edison Stalin Capus Solano, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componente.
- Esta concluido en su totalidad.



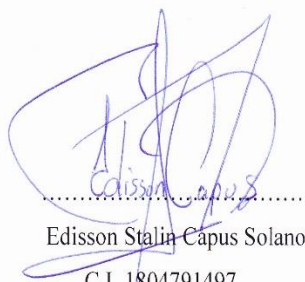
Ambato, Enero del 2020

Ing. Mg. Cristian Pérez
TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo, Edison Stalin Capus Solano, con C.I 180479149-7 declaro que las actividades y tareas para la obtención de resultados en el presente trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico con el tema “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DEL ACERO AL CARBONO ASTM A-36 Y DEL AISI 1045, CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL PARA UTILIZAR EN LA REPARACIÓN DE CUCHARONES DE RETROEXCAVADORAS”, es exclusivamente auténtico y de absoluta responsabilidad del autor, a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentra citadas en el trabajo de investigación.

Ambato, Enero del 2020



Edison Stalin Capus Solano

C.I. 1804791497

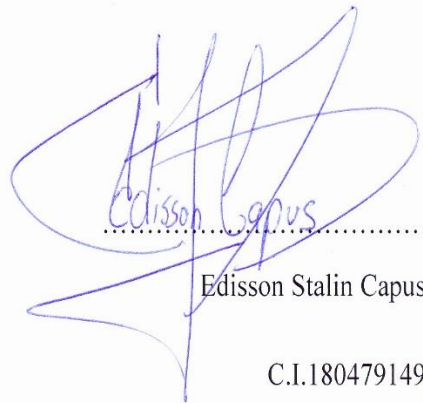
Autor

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Enero del 2020



Edisson Stalin Capus Solano

C.I.1804791497

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Edison Stalin Capus Solano, de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DEL ACERO AL CARBONO ASTM A-36 Y DEL AISI 1045, CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL PARA UTILIZAR EN LA REPARACIÓN DE CUCHARONES DE REROEXCAVADORAS”.

Ambato, Enero del 2020

Para constancia firman:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'O. Analuiza', is written over a horizontal dotted line. The signature is enclosed within a large, hand-drawn blue oval.

Ing. Mg. Oscar Analuiza

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. B. Paredes', is written over a horizontal dotted line.

Ing. Mg. María Belén Paredes

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicó principalmente a Dios, por darme la fuerza y sabiduría para lograr mis metas.

A mis padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí, el ejemplo de esfuerzo y sacrificio.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi familia por sus consejos de sabiduría y el apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Técnica de Ambato, y a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a los profesores quienes con la enseñanza de sus conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes.

Finalmente quiero expresar mi sincero agradecimiento al Ing. Mg. Cristian Pérez, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| CERTIFICACIÓN DEL TUTOR..... | II |
| AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN..... | III |
| DERECHOS DEL AUTOR..... | IV |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO | IV |
| DEDICATORIA..... | VI |
| AGRADECIMIENTO..... | VII |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XI |
| ÍNDICE DE TABLAS | XII |
| RESUMEN EJECUTIVO | XIII |
| EXECUTIVE SUMMARY..... | XIV |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| MARCO TEÓRICO | 1 |
| 1. Antecedentes investigativos | 1 |
| 1.1. Contextualización..... | 1 |
| 1.2. Estado de Arte | 2 |
| 1.3. Fundamentación Teórica | 4 |
| 1.3.1.Cucharón de Excavadora..... | 4 |
| 1.3.1.1. Tipos de cucharones | 4 |
| 1.3.1.2. Fabricación de cucharones | 4 |
| 1.3.2.1. Factores que causan el desgaste | 5 |
| 1.3.2.2. Desgaste abrasivo por contacto | 6 |
| 1.3.3. Partículas abrasivas | 7 |
| 1.3.4. Tratamientos térmicos superficies | 8 |
| 1.3.4.1. Cementación | 8 |
| 1.3.4.2. Característica de la cementación | 9 |
| 1.3.4.3. Cementación en la Caja | 9 |
| 1.3.4.4. Aceros para cementación..... | 10 |

| | |
|--|----|
| 1.3.4.5. Nitruración..... | 11 |
| 1.3.4.6. Nitruración en baño de sales..... | 11 |
| 1.3.4.7. Ventajas de la nitruración..... | 11 |
| 1.3.4.8. Aceros para nitruración | 12 |
| 1.4. Objetivos..... | 13 |
| 1.4.1. Objetivo general: | 13 |
| 1.4.2. Objetivos específicos:..... | 13 |
| CAPÍTULO II | 14 |
| METODOLOGÍA | 14 |
| 2.1. Materiales y Equipos | 14 |
| 2.1.1. Materiales | 14 |
| 2.1.1.1. Plancha ASTM A-36..... | 14 |
| 2.1.1.2. Plancha de AISI 1045..... | 15 |
| 2.1.1.3. Plancha antiabrasiva | 16 |
| 2.1.2. Equipos | 17 |
| 2.1.2.1. Durómetro..... | 17 |
| 2.1.2.2. Máquina de desgaste abrasivo..... | 18 |
| 2.2. Métodos | 20 |
| 2.2.1. Modalidad de la investigación..... | 20 |
| 2.2.1.1. Descriptiva..... | 20 |
| 2.2.1.2. Experimental..... | 20 |
| 2.2.1.3. Exploratoria | 20 |
| 2.2.1.4. Explicativa..... | 20 |
| 2.2.1.5. Bibliográfica | 20 |
| 2.2.2. Población y Muestra | 21 |
| 2.2.2.1. Población | 21 |
| 2.2.2.2. Muestra | 21 |
| 2.2.3. Recolección de Información..... | 22 |
| 2.2.4. Plan procesamiento y análisis..... | 22 |
| 2.2.5. Desarrollo del proyecto | 25 |

| | |
|--|----|
| 2.2.5.1. Dimensionamiento de las probetas..... | 25 |
| 2.2.5.3. Proceso de cementación | 27 |
| 2.2.5.4. Proceso de Nitruración | 29 |
| 2.2.5.5. Ensayo de dureza..... | 31 |
| 2.2.5.7. Ensayo de desgaste | 33 |
| ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 34 |
| 3.1. Recolección de Datos..... | 34 |
| 3.1.1. Ensayo de dureza Brinell del acero Antiabrasión | 34 |
| 3.1.2. Ensayo de dureza Brinell de acero ASTM A36 con nitruración. | 35 |
| 3.1.3. Ensayo de dureza de acero ASTM A-36 con de cementación..... | 36 |
| 3.1.4. Ensayo de dureza de acero AISI 1045 con tratamiento de nitruración..... | 37 |
| 3.1.5. Ensayo de dureza de acero AISI 1045 con tratamiento de cementación. ... | 38 |
| 3.1.6. Ensayo de desgaste abrasivo del acero Antiabrasión..... | 39 |
| 3.1.7. Ensayo de desgaste abrasivo del acero ASTM A-36 con nitruración..... | 40 |
| 3.1.8. Ensayo de desgaste abrasivo del acero ASTM A-36 con cementación. | 41 |
| 3.1.9. Ensayo de desgaste abrasivo del acero AISI 1045 con nitruración. | 42 |
| 3.1.10. Ensayos de desgaste del acero AISI 1045 con cementación. | 43 |
| 3.2. Análisis y discusión de resultados | 44 |
| 3.2.1. Ensayo de Dureza | 44 |
| 3.2.2. Desgaste Abrasivo | 46 |
| 3.3. Verificación de Hipótesis..... | 47 |
| CAPÍTULO IV | 53 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 53 |
| 4.1. Conclusiones | 53 |
| 4.2 Recomendaciones | 54 |
| Bibliografía..... | 55 |
| Anexos..... | 57 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-1. Cucharón de retroexcavadora..... | 4 |
| Figura 1-2. Desgaste Abrasivo..... | 5 |
| Figura 1-3. Desgaste por contacto..... | 6 |
| Figura 1-4. Cementación..... | 8 |
| Figura 1-5. Cementación en Caja..... | 9 |
| Figura 1-6. Nitruración..... | 11 |
| Figura 2-1. Plancha de ASTM A-36..... | 11 |
| Figura 2-2. Plancha de AISI 1045..... | 11 |
| Figura 2-3. Plancha Antiabrasiva..... | 11 |
| Figura 2-4 Equipo para ensayo de dureza..... | 11 |
| Figura 2-5. Máquina para ensayo de desgaste..... | 11 |
| Figura 2-6. Diagrama de flujo para ensayos y sus parametros..... | 24 |
| Figura 2-7. Obtención de probetas..... | 25 |
| Figura 2-8. Probeta ASTM A36..... | 25 |
| Figura 2-9. Probeta AISI 1045..... | 26 |
| Figura 2-10. Probeta antiabrasión..... | 26 |
| Figura 2.11 Probetas AISI 1045 Cementadas..... | 28 |
| Figura 2.12. Probetas ASTM A36 Cementadas..... | 28 |
| Figura 2.13. Probetas ASTM A36 Nitrurada..... | 30 |
| Figura 2.14. Probetas AISI 1045 Nitrurada..... | 30 |
| Figura 2.15. Durómetro..... | 31 |
| Figura 2.16 Balanza Digital..... | 32 |
| Figura 3.1 Dureza del acero ASTM A36 y un acero antiabrasión..... | 44 |
| Figura 3.2 Comparación de dureza del acero AISI 1045- acero antiabrasión..... | 45 |
| Figura 3.3 Comparación de las pérdidas volumétricas..... | 46 |
| Figura 3.4 Campana de referencia T student Acero AISI 1045 Cementado-acero Antiabrasión..... | 49 |
| Figura 3.5 Campana de referencia T student Acero ASTM A-36 cementado-acero Antiabrasión..... | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1 Materiales abrasivos de Minería | 7 |
| Tabla 2-1 Composición química del acero ASTM -36. | 14 |
| Tabla 2-2 Composición química del acero ASTM -36. | 14 |
| Tabla 2-3 Composición química del acero AISI 1045 | 15 |
| Tabla 2-4 Propiedades Mecánicas del acero AISI 1045. | 15 |
| Tabla 2-5 Composición química del acero de fabricación de cucharones. | 16 |
| Tabla 2-6 Propiedades mecánicas del acero de fabricación de cucharones. | 16 |
| Tabla 2-7 Parámetros de la norma ASTM G-65-94 | 19 |
| Tabla 2-8 Total de probeta a ensayar | 21 |
| Tabla 2-9 Temperaturas de Cementación | 27 |
| Tabla 2-10 Etapas de la Cementación | 27 |
| Tabla 2-11 Temperaturas para Nitruración | 29 |
| Tabla 2-12 Etapas de la Nitruración | 29 |
| Tabla 2-13 Determinación de la Densidad | 32 |
| Tabla 3-1 Pérdidas Volumétricas | 46 |
| Tabla 3-2 Acero Antiabrasión- acero AISI 1045 cementado | 48 |
| Tabla 3-3 Acero Antiabrasión -Acero ASTM A-36 | 50 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE ABRASIVO DEL ACERO AL CARBONO ASTM A-36 Y DEL AISI 1045, CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL, PARA UTILIZAR EN LA REPARACIÓN DE CUCHARONES DE RETROEXCAVADORAS”

Autor: Edison Stalin Capus Solano

Tutor: Ing. Mg. Cristian Pérez

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental tiene la finalidad de evaluar la resistencia al desgaste abrasivo según la norma ASTM G 65, para realizar este análisis se fabricaron probetas de aceros ASTM A-36 y AISI 1045 de 25.4x72x12.5 mm con cementación y nitruración.

El proceso de cementación consistió en colocar los aceros en una caja de hierro fundido en el horno a una temperatura de 950 grados centígrados durante 8 horas, el temple se efectuó a la temperatura de 880 grados centígrados rápidamente se enfrió en agua y finalmente se realizó el revenido a temperaturas de 200 grados centígrados. La nitruración consistió en incorporar nitrógeno a la superficie del acero compuesto principalmente por fase ferrítica, mediante el calentamiento en una atmósfera de amoníaco a la temperatura de 500 grados centígrados, durante 15 horas para lograr una capa de nitruración profundidad. Los resultados de dureza que se obtuvieron el acero ASTM A-36 con cementación es de 484 HB y con nitruración es 151 HB, en el acero AISI 1045 con cementación es de 586 HB, y con nitruración es de 178 HB, en el ensayo de desgaste abrasivo se realizó una comparación de perdidas volumétricas entre los aceros con tratamiento superficial y acero antiabrasión ya que este material es utilizado en la construcción de cucharones de retroexcavadoras, obteniendo resultados que el desgaste es menor en aceros cementados, acero antiabrasión, pero es mayor en aceros con tratamiento de nitruración.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING CAREER

"ANALYSIS OF THE RESISTANCE TO ABRASIVE WEAR OF CARBON STEEL
ASTM A36 AND AISI 1045, WITH SURFACE TREATMENT TO USE IN THE
REPAIR OF RETROEXCAVATOR LADLE"

Author: Edison Stalin Capus Solano

Tutor: Ing. Mg. Cristian Pérez

EXECUTIVE SUMMARY

This experimental work aims to evaluate abrasive wear resistance according to ASTM G 65, to carry out this analysis were manufactured specimens of ASTM A-36 and AISI 1045 steels of 25.4x72x12.5 mm with cementation and nitriding.

The cementing process consisted of placing the steels in a cast iron box in the oven at a temperature of 950 degrees Celsius for 8 hours, the tempering was performed at the temperature of 880 degrees Celsius quickly cooled in water and finally realized or the tempering at temperatures of 200 degrees Celsius. Nitriding consisted of incorporating nitrogen into the surface of steel composed mainly by ferritic phase, by heating in an ammonia atmosphere at a temperature of 500 degrees Celsius, for 15 hours to achieve a layer of depth nitriding. The hardness results obtained by ASTM A-36 steel with cementation is 484 HB and with nitriding is 151 HB, in AISI 1045 steel with cementation is 586 HB, and with nitration is 178 HB, in the abrasive wear test a vol loss comparison was made umetrics between surface-treated steels and anti-abrasion steel as this material is used in the construction of backhoe buckets, obtaining results that wear is less on cemented steels, anti-abrasion steel, but is greater steels with nitriding treatment.

CAPÍTULO I.

MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes investigativos

1.1. Contextualización

En Ecuador se analizó que el desgaste en cucharones de retroexcavadoras se da por el contacto entre partículas abrasivas, por esta razón a este componente se realiza mantenimiento con el fin de alargar la vida útil ya que este componente debe estar en buen estado ya que está diseñado para aplicaciones de servicio pesado en las industrias de minería y construcción. Las partes que sufren desgaste son la placa lateral e inferior del cucharón, esto ocasiona fisuras, grietas, y fractura en el material, siendo este el problema más común. Luego de romperse el cucharón se realiza reparaciones mediante un procedimiento empírico, el cual consiste en utilizar materiales de baja resistencia al desgaste generando costos adicionales de mantenimiento. Para identificar de qué material está fabricado el cucharón han realizado ensayos de dureza en muestra de 50x50 mm de la parte inferior del cucharón obteniendo resultados de que es un acero AISI 1522, cuya dureza es de 200 HB, para realizar reparación de cucharones de maquinaria de minería este estudio recomienda utilizar materiales que tengan dureza de 450 HB y así evitar los daños producidos por fatiga, desgaste y fracturas en el cucharón producidos por trabajos donde existe gran cantidad de material minero. [1]

En Perú se realizó la evaluación del proceso de endurecimiento superficial en un acero de bajo contenido de carbono. Realizado por la necesidad que existe en la industria metalmeccánica, ya que actualmente se fabrican componentes mecánicos que requieren de un tratamiento termoquímico para realizar el trabajo para el cual han sido diseñados. La producción de partes y componentes mediante procesos combinados de cementación y temple más revenido permite la modificación de las propiedades del material como la resistencia al desgaste, impacto y fatiga, por lo que se facilita el uso de aceros de bajo contenido de carbono, lo que disminuye los costos de fabricación y materia prima.[2]

1.2. Estado de Arte

La selección de un material que vaya a ser utilizado para un componente mecánico expuesto al desgaste abrasivo es muy importante, ya que, debido a su estructura metalográfica y propiedades mecánicas se podrá conocer la resistencia que este material puede poseer frente al desgaste abrasivo, de esta manera, podríamos determinar la vida útil para que preste un buen servicio para el que fue diseñado, por tal razón se determina cuál de estos materiales como lo son: acero Hadfield al manganeso, acero Maxdur 450 y Hierro alto cromo, se comportara mejor frente a situaciones en donde el desgaste abrasivo. Los aceros al manganeso son ampliamente utilizados en aplicaciones que requieren gran dureza y resistencia como por ejemplo en tractores, moledoras, trituradoras, martillos de impacto y cucharones de excavadoras. [3]

Obteniendo como resultado de durezas Brinell 560 en los aceros Hadfield al manganeso, en el acero Maxdur 450 dureza de 700 HB y el acero en alto carbono 300 HB. Las pérdidas volumétricas son menores en Hadfiel al manganeso con un promedio de desgaste de 39.1635 mm^3 en los demás aceros las pérdidas volumétricas superan los 100 mm^3 .

El desgaste en componentes de cargadores frontales, retroexcavadoras utilizados frecuentemente la industria minera de Cobre, es ocasionado durante la extracción del mineral en la roca. Cuando la falla de uno de estos elementos no es detectada previamente, bien sea durante una inspección programada, o durante la operación del equipo, y su reemplazo no se hace de manera oportuna, es posible que el daño afecte directamente la estructura del balde. De esta manera, los costos y tiempos de reparación pueden verse incrementados significativamente. [4]

Los componentes de las maquinas utilizadas en la industria de la minería se diseñan con materiales que tengan alta resistencia al degaste por abrasión. Esta selección depende del contacto y la fricción al que van a estar sometidos, se puede seleccionar un material adecuado para bajar los costos y reducir el nivel de mantenimiento, hay casos en los que se selecciona un material muy duradero y resistente, pero a su vez muy costoso para un trabajo muy corto o con bajos requerimientos, esto conlleva a un desperdicio de material y el aumento de los costos. Mejorar propiedades superficiales mediante tratamientos

térmicos con el fin de obtener mejores propiedades físicas y mecánicas en el material para aumentar la resistencia al desgaste por abrasión, los tratamientos que se han realizado son cementación, templado y revenido.[5]

La pala eléctrica es una máquina de criticidad en el sistema productivo de las minas del Perú; una de sus partes más importantes es el cucharón este componente es vital para que la maquina alcance una alta confiabilidad y disponibilidad. Es por eso que se identifica la necesidad de conocer las zonas más críticas del cucharón y mejorar el sistema de protección antidesgaste del mismo. Las fisuras, problemas de revestimiento y deficiencias estructurales en el cucharón, llevan consigo paradas no programadas y menor material acarreado, lo que deriva en pérdidas económicas a la empresa minera. [6]

La reparación de cucharones de retroexcavadoras se realiza con el fin de alargar la vida útil de este componente, ya que, por el paso del tiempo y el permanente contacto con partículas abrasivas, el material del cucharón pierde propiedades mecánicas y físicas (reducción de material). Ocasionando que en este componte empiece aparecer fisuras grietas y por ende tiende a fallar ocasionando paros de producción. Las reparaciones que se realiza a este componente es cambiar las placas laterales del cucharón con materiales de baja resistencia al desgaste por abrasión. Este estudio está enfocado en analizar dos materiales ASTM A-36 y AISI 1045 porque se comercializan en plancha de 2000x6000 mm en espesores de 8 mm para posteriormente obtener muestras de 25.4x74.2x12.5mm para realizar tratamiento superficial de cementación y nitruración con el fin de obtener propiedades mecánicas mejores o similares al acero antiabrasión utilizado en fabricación de cucharones de retroexcavadoras, ya que este material excelentes propiedades mecánicas y alta resistente al desgaste por abrasión y por ende tiene alto precio, por esta razón realizar el mantenimiento con estos materiales aumentaría los costos de mantenimiento.

1.3. Fundamentación Teórica

1.3.1. Cucharón de Excavadora

El cucharón de una excavadora hidráulica está diseñado para aplicaciones de movimiento de tierra de servicio pesado y alta producción, por lo cual está sometido a diferentes esfuerzos. [7]

Estos componentes son necesario y deben estar en perfecto estado ya que realizan trabajos pesado removiendo toneladas de material en menor tiempo. [7]



Figura 1-1. Cucharón de retroexcavadora

Fuente: Autor

1.3.1.1. Tipos de cucharones

Se encuentran diferentes tipos de cucharones especializados para realizar diferentes tipos de trabajo pesado, cada uno de ellos diseñado y probado para funcionar como parte integral de su excavadora y proporcionar el mejor rendimiento posible en su aplicación particular. Este componente está formado por placa de reborde, diente o punta, esquina de fundición, placas horizontales e inferiores, placa lateral de desgaste, articulaciones y armazón del cucharón [7]

1.3.1.2. Fabricación de cucharones

Los Cucharones están diseñado para que resistan al desgaste por contacto y fabricados con materiales antiabrasión de 400-500 HB. Incrementar la dureza de los materiales a través de tratamiento superficiales permiten alargar la vida útil de este componente mayor duración sin necesidad utilizar planchas más gruesas y pesadas.[7]

1.3.2. Desgaste Abrasivo

Se define el desgaste como la pérdida o deterioro progresivo no intencional del material de la superficie debido al movimiento relativo y al contacto entre superficies. El desgaste es una de las influencias más destructivas a que están expuestas los metales y aleaciones. Los distintos productos tienen muchos componentes que se desgastan al hacer su trabajo lo que hace necesario reemplazar estos componentes periódicamente. [8]

El abrasivo ocurre cuando las partículas duras se deslizan o ruedan bajo presión a través de una superficie o cuando una superficie dura se brota contra otra. Las partículas desgastadas por rozamiento del objeto más duro tienen a rasguñar o acanalar al material más suave. [8]

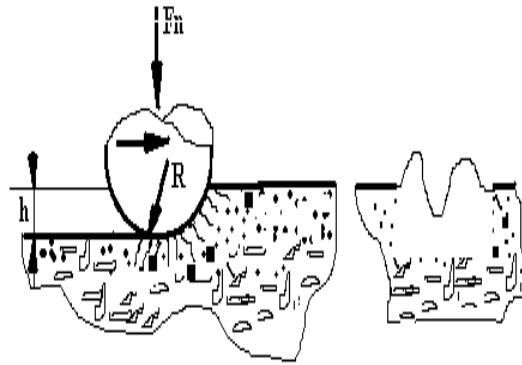


Figura 1-2. Desgaste Abrasivo

Fuente.[8]

1.3.2.1. Factores que causan el desgaste

El desgaste también es conocido como el desprendimiento de partículas que ocurren en la superficie de sólidos, que se encuentran en contacto y movimiento relativo, sometido a una carga. Cada forma de desgaste está afectada por una variedad de condiciones, incluyendo el ambiente, tipo de carga aplicada, velocidades relativas, piezas que se acoplan, lubricante, temperaturas, dureza, terminado de la superficie, presencia de partículas extrañas y composición del material. [9]

Las características de la superficie producidas por el desgaste abrasivo varían dependiendo de las condiciones abrasivas existentes. Superficies pulidas, superficies satinadas y superficies con corte y ranuradas son causadas por tipos diferentes de partículas. [9]

Superficies pulidas: Partículas abrasivas son pequeñas y duras, como partículas de polvo, pueden entrar en la mayoría de los sistemas y producen cortes y arañazos finos que dejan una apariencia pulida. [9]

Superficies Satinadas: Son partículas abrasivas duras un poco más grande como partículas de arena fina, producen corte y arañazos más grandes y dejan un acabado superficial satinado o un aspecto mate. [9]

Superficies con corte y ranuradas: Son partículas abrasivas duras y grandes, como partículas de arena o partículas residuales de maquinado pueden producir arañazos y ranuras profundas. [9]

1.3.2.2. Desgaste abrasivo por contacto

Al entrar en contacto dos superficies ambas sufren desgaste, generándose mayor daño en alguna de ellas, la que sufrió un menor daño se le denomina superficie abrasiva. La magnitud del daño producido depende de la cantidad de partículas abrasivas en ambas superficies, la velocidad de contacto, condiciones ambientales, temperatura y fuerza ejercida en ambas superficies. [9]

Abrasión de dos cuerpos. Ocurre cuando una superficie irregular de un material es presionada contra otra con menor dureza. [9]

Abrasión de tres cuerpos. Se presenta cuando existen partículas con una dureza superior atrapadas en medio de dos superficies. La fuerza aplicada se transmite a través de las partículas abrasivas [9]

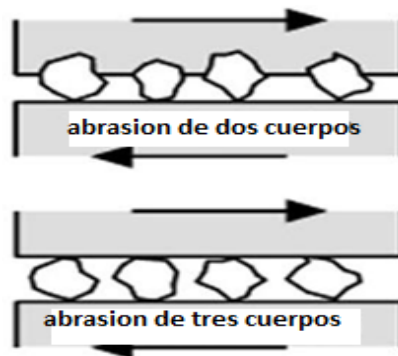


Figura 1-3. Desgaste por contacto

Fuente. [9]

1.3.3. Partículas abrasivas

Son partículas de cualquier tipo de tamaño que sean tan duras o más duras que desgastan la superficie en contacto. Suele ser partículas de material abrasivo de minas, canteras, arenas, y virutas de material. [10]

Tabla 1-1 Materiales abrasivos de Minería

| Materiales de Extracción | Tamaño de grano | |
|--|------------------------|---|
| Es un suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros. | 0.075-100 mm |  |
| Material de mina | 0.085- 80 mm |  |
| Material de desalojo, presenta un tamaño irregular, utilizado para mejoramiento de la subrasante, sustitución de suelos | Diferentes tamaños |  |
| Es una roca muy dura de color gris oscuro, brillo opaco. Es de origen volcánico, que proviene de un evento geológico, enfriamiento de magma. | 100-300 mm |  |

Fuente. [10]

1.3.4. Tratamientos térmicos superficiales

El endurecimiento superficial se utiliza para ampliar la versatilidad en ciertos aceros mediante la combinación de propiedades no obtenibles de otras maneras. Entre los objetivos más comunes de estos tratamientos es aumentar la dureza superficial de las piezas dejando el núcleo más blando y tenaz y aumentar la resistencia al desgaste. Por lo tanto, la pieza puede fabricarse con un acero de bajo o medio carbono y endurecer la superficie por un tratamiento térmico final. [11]

1.3.4.1. Cementación

Aumenta la dureza superficial de una pieza de acero dulce, aumentando la concentración de carbono en la superficie. Se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. El tratamiento logra aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo [11]

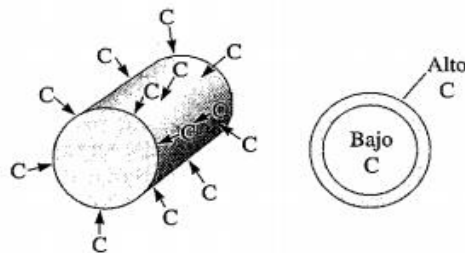


Figura 1-4. Cementación

Fuente: [10]

La cementación tiene por objetivo endurecer la superficie de un componente metálico sin modificar el núcleo, dando lugar a un componente formado por diferentes contenidos de carbono, la del núcleo con bajo índice de carbono, tenaz y resistente a la fatiga, y la parte de la superficie, de acero con mayor concentración de carbono, más dura, resistente al desgaste y a las deformaciones y así formando una pieza más compacta. La profundidad de capa debe ser tal que no se produzcan deformaciones permanentes en ella. Por lo tanto, será tanto mayor (de 0.8 al 4 mm.), cuanto más grande sea el esfuerzo a que está sometida la misma. Si sólo se requiere resistencia al desgaste, se usan capas de baja profundidad (0.1 a 0.5 mm.). [11]

1.3.4.2. Ventajas de la cementación

- Endurece la superficie
- No afecta al corazón de la pieza
- Aumenta el carbono de la superficie
- Su temperatura de calentamiento es de alrededor de 900 °C
- Se rocía la superficie con polvos de cementar
- El enfriamiento es Lento y se hace necesario un tratamiento posterior.

1.3.4.3. Cementación en la Caja

Los equipos utilizados para la cementación sólida son cajas donde se cementa con mezcla cementante que rodea a la pieza en un recipiente cerrado, el cual se calienta a la temperatura adecuada durante el tiempo requerido y luego se enfría con lentitud. Este equipo no se presta para alta producción, siendo sus principales ventajas su economía, eficiencia y la no necesidad de una atmósfera preparada. En realidad, el agente cementante son los gases, que ésta pasta rodea al material que desprende cuando se calienta en el horno. [11]

Los compuestos carburantes comerciales normales tienen una mezcla de alrededor de 10 a 20% de carbonatos alcalinos u otros metales, con carbón de leña o coke exento de azufre, o ambos a la vez. El carbonato de bario es el principal activador y usualmente comprende el 60 a 70 % del contenido total de carbonatos. [11]

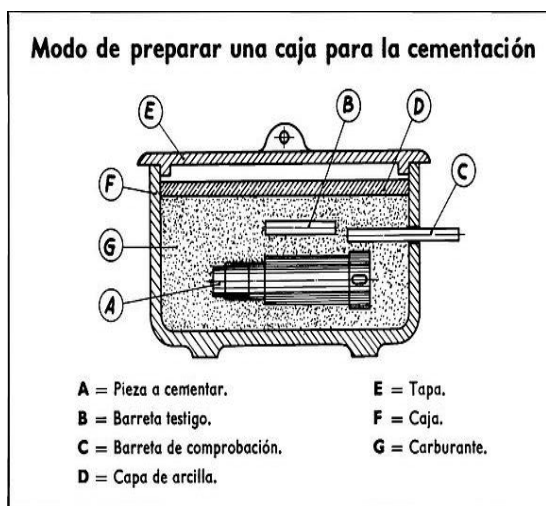


Figura 1-5. Cementación en Caja

Fuente. [10]

1.3.4.4. Aceros para cementación

Son apropiados para cementación los aceros de baja contenido de carbono, que conserven la tenacidad en el núcleo. El cromo acelera la velocidad de penetración del carbono. Los aceros al cromo níquel tienen buenas cualidades mecánicas y responden muy bien a este proceso. Una concentración de níquel por encima del 5 %, retarda el proceso de cementación. [12]

Según sean los requisitos de dureza y resistencia mecánica existen varios tipos de aceros adecuados para recibir el tratamiento de cementación y posterior tratamiento térmico. Algunos ejemplos de aceros aptos para la cementación son:

- **Aceros al carbono.** La cementación se realiza entre 900 °C y 950 °C, el primer temple se realiza entre 875 °C y 925 °C en agua o aceite, el segundo temple se realiza entre 925 °C y 775 °C en agua, y el revenido a una temperatura máxima de 200 °C. [12]
- **Aceros al cromo-níquel (Cr-Ni).** Tiene una composición de cromo de 1 % y de níquel un 4,15 %. La cementación se realiza entre 850 °C y 900 °C, el primer temple entre 825 °C y 900 °C en aceite, el segundo temple se realiza entre 725 °C y 800 °C, y el revenido a una temperatura máxima de 200 °C. [12]
- **Aceros para cromo-molibdeno (Cr-Mo).** Tiene una composición de cromo de 1,15 % y de molibdeno un 0,20 %. La cementación se realiza entre 875 °C y 950 °C, el primer temple se realiza entre 875 °C y 900 °C en aceite, el segundo temple se realiza entre 775 °C y 825 °C en aceite, y el revenido a una temperatura máxima de 200 °C. [12]
- **Aceros al cromo-níquel-molibdeno (Cr-Ni-Mo).** Tiene una composición de cromo de 0,65 %, de níquel un 4 %, y de molibdeno un 0,25 %. La cementación se realiza entre 850 °C y 950 °C, el primer temple se realiza entre 825 °C y 875 °C en aire o aceite, el segundo temple se realiza entre 725 °C y 775 °C en aceite, y el revenido a una temperatura máxima de 200 °C. [12]

1.3.4.5. Nitruración

Consiste en enriquecer la superficie de la pieza en nitrógeno calentándola en una atmósfera específica a temperatura comprendida entre 500 y 580 °C, formándose una capa de muy poca profundidad. [13]



Figura 1-6. Nitruración

Fuente. [13]

1.3.4.6. Nitruración en baño de sales.

La nitruración en baño de sales se realiza a la misma temperatura que la nitruración gaseosa, entre 500 °C y 575 °C. Para ello se introduce la pieza en un baño de sales fundidas compuesto por cianuros (CN-) y cianatos (CON-) en estado fundido. Durante este tratamiento, el material absorbe C y N del baño. Dadas las bajas temperaturas a las que se opera, la carburación es muy pequeña, dando paso a la nitruración. Así, se forma una capa cuya composición química es de un 25 % de carburos y de un 75 % de nitruros de hierro. mayor resistencia a la corrosión. .[13]

1.3.4.7. Ventajas de la nitruración

Resistencia a la corrosión: después del nitrurado, los aceros resisten mejor la acción corrosiva del agua dulce, agua salada y atmósferas húmedas, que los aceros ordinarios. Por eso se suele utilizar el nitrurado en piezas que deben sufrir ciertos agentes corrosivos. La resistencia está dada por la capa más superficial de nitrurado, la más externa. Rápidamente, se evitan los grandes inconvenientes por deformaciones. [13]

Retención de dureza a elevada temperatura: las capas nitruradas conservan la dureza hasta los 500° C, si no es muy prolongado el período de calentamiento. [13]

1.3.4.8. Aceros para nitruración

No todos los aceros son aptos para nitruración, ya que en ocasiones el procedimiento puede resultar contraproducente, tales como los aceros al carbono, en los que el nitrógeno penetra demasiado rápido en la estructura y la capa nitrurada tiende a desprenderse. [13]

- **Aceros al carbono:** Contenido de Carbono 0,2 y 0,60 % C, aleados con Al, Cr, Mo y V. El contenido de C no influye en la dureza y levemente en la profundidad de capa, disminuyendo ésta con él % de C. El Al es el elemento más importante para lograr las máximas durezas, pero debe ir siempre acompañado de otras aleaciones para evitar capas nitruradas muy frágiles. El Mo aumenta la dureza de la capa, mejora la tenacidad del núcleo y evita la fragilidad de los aceros sin Mo, cuando permanecen mucho tiempo a temperaturas próximas a 500° C. [13]
- **Acero al Cr-Mo-V de alta resistencia.** La composición extra de este acero es la siguiente: 0,32 % C, 3,25% Cr, 0,40% Mo y 0,22% V. Una vez tratado alcanza una resistencia mecánica de 120 kg/mm². La capa nitrurada se adhiere muy bien al núcleo sin temor a descascarilla miento. [13]
- **Acero al Cr-Mo-V de resistencia media.** La composición extra de este acero es 0,25% C, 3,25%Cr, 0,40% Mo y 0,25% V. Tiene características y aplicaciones parecidos al anterior, solamente que su resistencia mecánica es de 100kg/mm². [13]
- **Acero para nitruración al Cr-Al-Mo de alta dureza.** La composición extra de este acero es 0,40% C, 1,50% Cr, 0,20% Mo y 1% Al. La capa nitrurada de este acero puede descascarillarse y es de gran fragilidad. Se utiliza para piezas que soporten una resistencia media y la mayor dureza superficial posible. Este tratamiento también es aplicable a algunos aceros inoxidables, aceros al cromo-níquel y ciertas fundiciones al aluminio o al cromo. [13]

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general:

- Analizar la resistencia al desgaste abrasivo según la norma ASTM G65 del acero al carbono ASTM A36 y del AISI 1045, con tratamiento superficial, para utilizar en la reparación cucharones de retroexcavadoras.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Determinar la temperatura de cementación del acero ASTM A 36.
- Determinar la temperatura de nitruración del acero AISI 1045.
- Evaluar el desgaste abrasivo por medio de la norma ASTM G65 del acero al carbono ASTM A-36 y del AISI 1045 con tratamiento superficial.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. Materiales y Equipos

2.1.1. Materiales

2.1.1.1. Plancha ASTM A-36

El acero A36 es un acero al carbono de propósito general, es el tipo más común de acero utilizado en la construcción, la manufactura y muchas otras industrias. De los aceros al carbono, el acero ASTM A36 es una de las variedades más comunes en parte debido a su bajo costo. Ofrece una excelente resistencia y fuerza para un acero bajo en carbono y aleación. [14]

Tabla 2-1 Composición química del acero ASTM -36.

| Composición Química | | | | | |
|---------------------|----------|-----|------|------|------|
| %C | %Mn | %Si | % P | %S | %Cu |
| 0.25-0.29 | 0.80-1.2 | 0.4 | 0.04 | 0.05 | 0.20 |

Fuente: [14]

Tabla 2-2 Composición química del acero ASTM -36.

| Propiedades Mecánicas | | | | | | |
|-----------------------|-----|----------------------|-----|------------|--------|-------|
| Esfuerzo de fluencia | | Esfuerzo de tracción | | Elongación | Dureza | |
| kg/mm ² | Mpa | kg/mm ² | Mpa | % | HB | HRC |
| 25,5 | 250 | 4,8 | 400 | 200 | 120 | 67-83 |

Fuente: [14]



Figura 2-1. Plancha ASTM A36

Fuente: [14]

2.1.1.2. Plancha de AISI 1045

El AISI 1045 es un acero de amplia utilización en ingeniería y de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico. La producción de este acero se realiza en planchas y perfiles. [15]

Tabla2-3 Composición química del acero AISI 1045

| Composición Química | | | | | |
|---------------------|---------|---------|------|------|-----|
| %C | %Mn | %Si | % P | %S | %Cu |
| 0.43-0.5 | 0.6-0.9 | 0.2-0.4 | 0.04 | 0.05 | - |

Fuente: [15]

Tabla 2-4 Propiedades Mecánicas del acero AISI 1045.

| Propiedades Mecánicas | | | | | | |
|-----------------------|-----|----------------------|-----|------------|--------|-----|
| Esfuerzo de fluencia | | Esfuerzo de tracción | | Elongación | Dureza | |
| kg/mm ² | Mpa | kg/mm ² | Mpa | % | HB | HRB |
| 25,49 | 250 | 57.61 | 565 | 12 | 130 | 67 |

Fuente: [15]

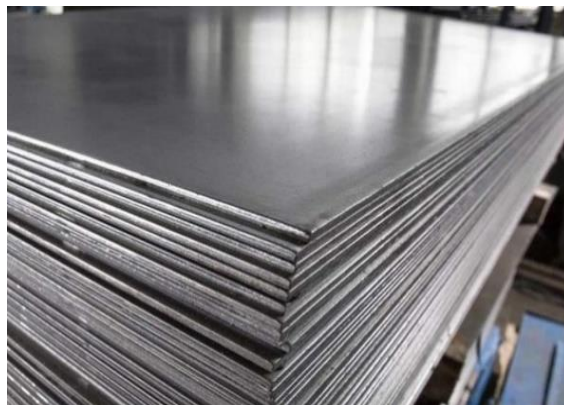


Figura 2-2. Plancha AISI 1045

Fuente: [15]

2.1.1.3. Plancha antiabrasiva

El material utilizado en la construcción de cucharones de retroexcavadoras es una plancha aleada de gran resistencia al desgaste por abrasión, impacto y deslizamiento. Más tenaz y resistente a la corrosión que otros aceros al carbono. Además, se utiliza en la fabricación de tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras y maquinas trituradoras. [2] En la tabla N.º 2.5-2.6 se muestra las características químicas y mecánicas. [16]

Tabla 2-5 Composición química del acero de fabricación de cucharones.

| Composición química | | | | | | |
|---------------------|------|------|-----|-----|------|-------|
| Dureza | C | Si | Mn | Cr | Ti | B |
| 400 HB | 0.26 | 0.55 | 1.6 | 0.4 | 0.02 | 0.004 |
| 500 HB | 0.36 | 0.55 | 1.6 | 0.8 | 0.02 | 0.004 |

Fuente: [16]

Tabla 2-6 Propiedades mecánicas del acero de fabricación de cucharones.

| Propiedades Mecánicas (Mpa) | | |
|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Dureza | Resistencia Mecánica | Punto de Fluencia |
| 400 HB | 1316 | 1163 |
| 500HB | 1449 | 1449 |

Fuente: [16]

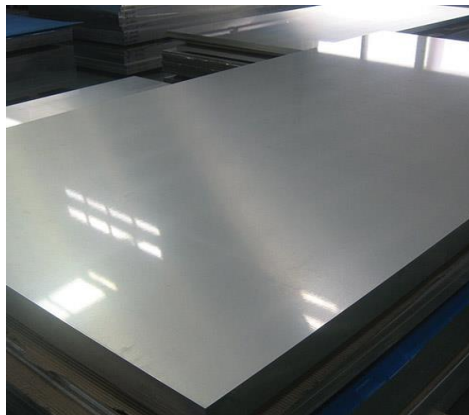


Figura 2-3. Plancha Antiabrasiva

Fuente. [16]

2.1.2. Equipos

2.1.2.1. Durómetro

Un durómetro es un aparato que mide la dureza de los materiales, existiendo varios procedimientos para efectuar esta medición. Los más utilizados son los de Rockwell, Brinell, Vickers y Micro Vickers. Se aplica una fuerza normalizada sobre un elemento penetrador, también normalizado, que produce una huella sobre el material. En función del grado de profundidad o tamaño de la huella, obtendremos la dureza. [19]

Dentro de cada uno de estos procedimientos, hay diversas combinaciones de carga y penetradores, que se utilizarán dependiendo de la muestra a ensayar. Para la medición de la dureza del material el durómetro funciona de la siguiente manera. Una vez que se selecciona el material del cual se requiere conocer la dureza se normaliza la fuerza que se ha de aplicar a través de un elemento penetrador que también debe estar normalizado.

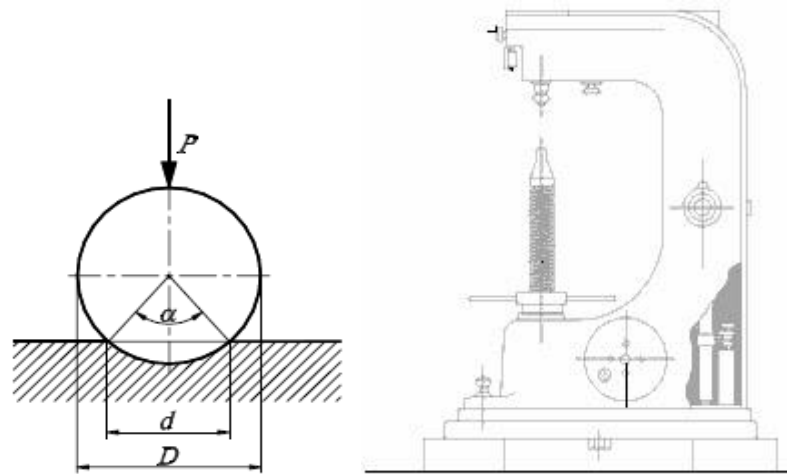


Figura 2-4. Durómetro

Fuente: [19]

La norma ASTM E10 – 15 detalla el procedimiento para la determinación de la dureza Brinell de materiales metálicos, no contiene los problemas por la utilización de los materiales, es responsabilidad del usuario establecer las precauciones necesarias. En esta norma la fuerza se trabaja con unidades de kilogramo fuerza (Kg), [20]

2.1.2.2. Máquina de desgaste abrasivo

La máquina de desgaste abrasivo con arena seca y rueda de caucho especificado en la norma ASTM G-65, simula el desgaste de materiales por medio de partículas abrasivas de tamaño controlado, en condiciones de bajo esfuerzo y abrasión por tres cuerpos. El equipo consta principalmente de la tolva y una boquilla para el paso de la arena seca, una rueda de acero recubierta con caucho vulcanizado, palanca para control de la carga, porta-probeta y motor. [17] Se debe asegurar que el flujo de la arena sea laminar como se puede observar en la figura 9 y debe cumplir un flujo de 300 a 400 g/min, para comprobar el flujo se tomaron 5 muestras de arena, cada una de 1 minuto y la maquina operando normalmente. Como características de funcionamiento, la máquina tiene un variador de velocidad, un contador de revoluciones y un sistema de control. Entre el disco y la probeta se mantiene un flujo laminar y constante de abrasivo (arena) a través de la boquilla que deja pasar las partículas. 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. [17]

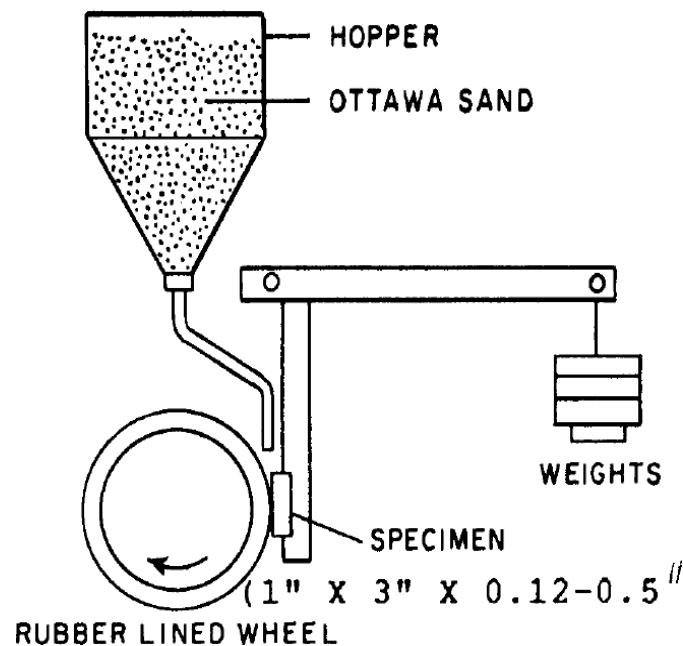


Figura 2-5. Máquina para ensayos de desgaste

Fuente: [17]

Además, la norma ASTM G65 – 94 detalla los procedimientos para determinar la resistencia al desgaste abrasivo. El objetivo de esta norma es clasificar los materiales por su resistencia a la abrasión mediante cinco procedimientos, los resultados de esta prueba se indican como pérdida de volumen en mm³. [18]

Tabla 2-7 Parámetros de la norma ASTM G-65-94

| Procedimiento | Parámetros | F. aplicada | Nº Revoluciones |
|---------------|---|-------------|-----------------|
| A | Es útil en ensayos para los materiales resistentes a la abrasión media a extrema. Con una pérdida de volumen baja a extrema. | 130 N | 6000 |
| B | Es útil en ensayos para los materiales resistentes a la abrasión media y baja y se lo aplica cuando los valores de pérdida volumen desarrollados por el Procedimiento A exceden 100 mm ³ . | 130 N | 2000 |
| C | Una variación a corto plazo del Procedimiento A para su uso en recubrimientos finos. | 130 N | 100 |
| D | Es útil en ensayos para los materiales de baja resistencia a la abrasión. | 45 N | 6000 |
| E-A | Variación a corto plazo del procedimiento B que es útil en el ranking de materiales con medio y baja resistencia a la abrasión | 130 N | 1000 |

Fuente: [18]

El volumen perdido se calcula con la siguiente fórmula:

Donde:

V: Volumen mm³

m: masa g

d: densidad g/cm³

$$V = \frac{m}{d} \times 100$$

Ec.2.1

2.2. Métodos

2.2.1. Modalidad de la investigación

2.2.1.1.Descriptiva

El estudio fue descriptivo con el fin de describir los diferentes fenómenos ocurridos durante los procesos de cementación y nitruración en los aceros ASTM A36 y AISI 1045, y comprar resultados obtenidos tanto de dureza como de desgaste abrasivo.

2.2.1.2.Experimental

Además, se realizó investigación experimental ya que se realizó ensayos de dureza Brinell en los aceros ASTM A36 y AISI 1045 con tratamiento superficial, además se realizaron ensayos de desgaste abrasivo mediante el proceso en arena seca y rueda de caucho con los parámetros establecidos en la norma ASTM G 65.

2.2.1.3. Exploratoria

En este estudio exploratorio se necesitó identificar los usos de fichas técnicas para recolección de información de los ensayos de dureza y desgaste abrasivo de los aceros ASTM A36 y 1045 con tratamiento superficial, para verificar que beneficios ofrece frente a otros materiales resistentes al desgaste por abrasión.

2.2.1.4. Explicativa

Se utilizó este nivel de investigación porque los resultados obtenidos de dureza y desgaste abrasivo permitirán dar una explicación a los que realizan reparación de cucharones de retroexcavadora las ventajas mecánicas y económicas de implementar materiales con tratamiento superficial.

2.2.1.5.Bibliográfica

Esta investigación se realizó basándose en libros, documento, fichas técnicas de materiales ya que se requiere conocer el diferente parámetro de temperatura para realizar tratamiento superficial. Conocer los parámetros normas que establecen los parámetros para realizar ensayos de dureza y desgaste por abrasión.

2.2.2. Población y Muestra

2.2.2.1.Población

Se analizará como población los materiales disponible en la plancha en dimensiones de 2000x6000 mm por esta razón se escogió la plancha de acero ASTM A-36 y de AISI 1045 para posteriormente obtener muestra para realizar tratamiento superficial de cementación y nitruración, con el fin de analizar su resistencia al desgaste por abrasión.

2.2.2.2.Muestra

Para este trabajo experimental se consideró como muestra 5 probetas de acero ASTM A36 y 5 probetas de acero AISI 1045 para cada probeta se realizó proceso de tratamiento superficial, las dimensiones de las probetas están acorde a los parámetros de la norma ASTM G65. Además, se añadió 5 probetas de material antiabrasión para realizar la comparación de resultados, se realizará ensayos de dureza, desgaste abrasivo en cada probeta.

Tabla 2-8 Total de probeta a ensayar

| Material | Tratamiento superficial | N° de Probetas | Ensayo |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Acero ASTM A-36 | Cementación | 5 | - Dureza - Desgaste Abrasivo |
| | Nitruración | 5 | |
| Acero AISI 1045 | Cementación | 5 | - Dureza - Desgaste Abrasivo |
| | Nitruración | 5 | |
| Acero Antiabrasión | - | 5 | - Dureza - Desgaste Abrasivo |
| Total | | 25 | |

Fuente: Autor

2.2.3. Recolección de Información

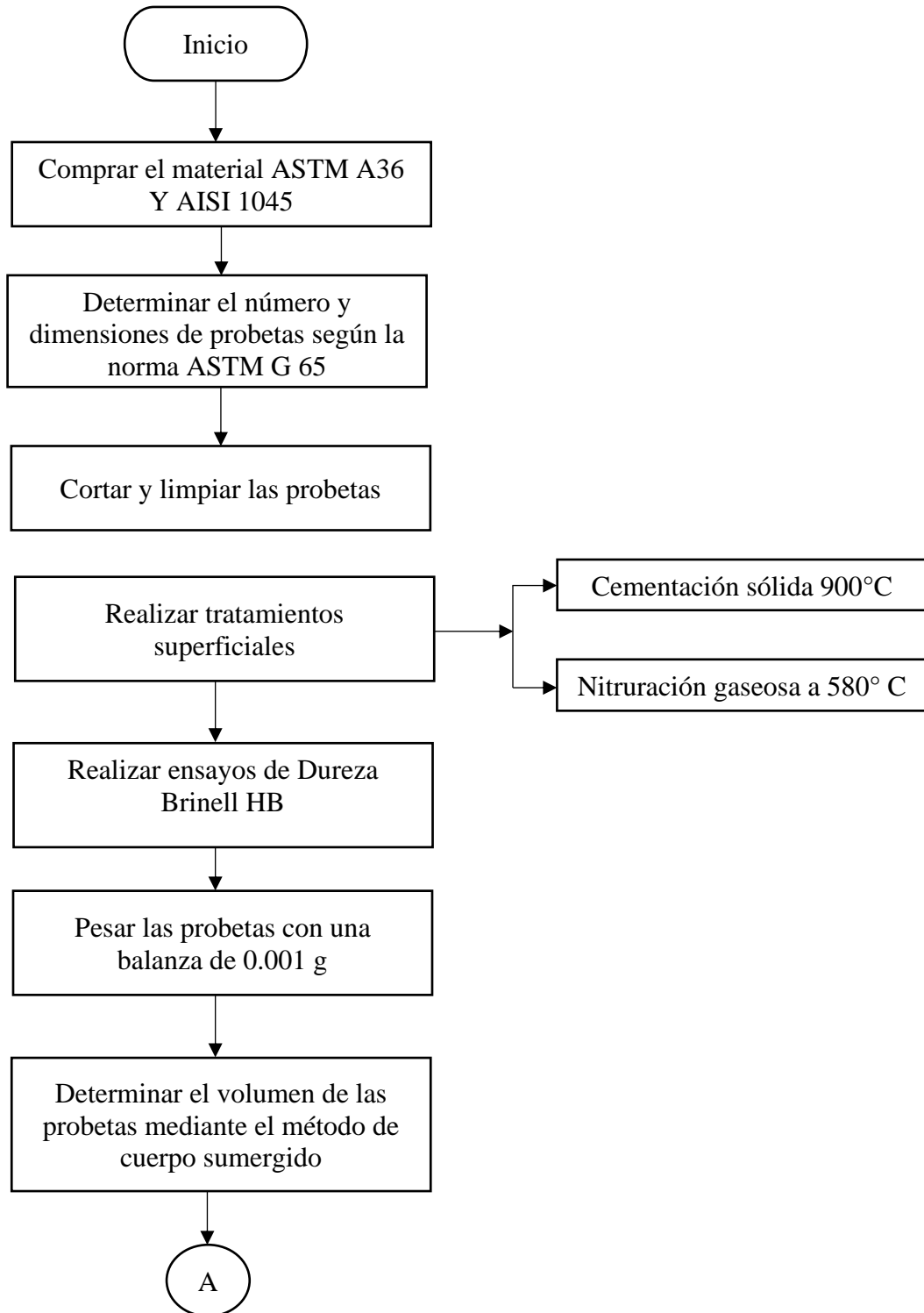
Para este trabajo experimental la recolección de información se realizó de manera documental basándose en información de libros, publicaciones, artículos técnicos, fichas técnicas, catálogos, para determinar parámetros para realizar los proceso de cementación y nitruración, para realizar los ensayos de desgaste abrasivo se tomó la información de la norma ASTM G65 de esta norma se obtuvo las dimensiones de las probetas y los procedimientos para realizar el ensayo., la recolección de resultados de los ensayos de dureza y desgaste se realizó en fichas técnicas para posterior realizar el análisis y la comparación de resultados.

2.2.4. Plan procesamiento y análisis

Para el proceso y análisis de obtención de información se siguió los siguientes pasos.

- Se analizó los parámetros de funcionamiento de la máquina bajo la norma ASTM G65.
- Se estableció parámetros de temperaturas para los procesos de cementación y nitruración.
- Se realizó ensayo de dureza Brinell en las probetas con tratamiento superficial para evaluar el incremento de dureza en las probetas.
- Se realizó el ensayo de desgaste abrasivo a todas las probetas según el procedimiento B.
- Tabulación de datos de dureza y pérdidas volumétricas analizando cada uno de los procesos realizados en función tratamiento superficial.
- Tabulación de los resultados mediante tablas y gráficas.
- Análisis e interpretación de resultados obtenidos en los ensayos de desgaste abrasivo de los caeros cementados y aceros antiabrasión.

En el trabajo experimental se consideró el siguiente diagrama de flujo para la obtención de variables en el desarrollo y análisis de los ensayos bajo la norma especificada



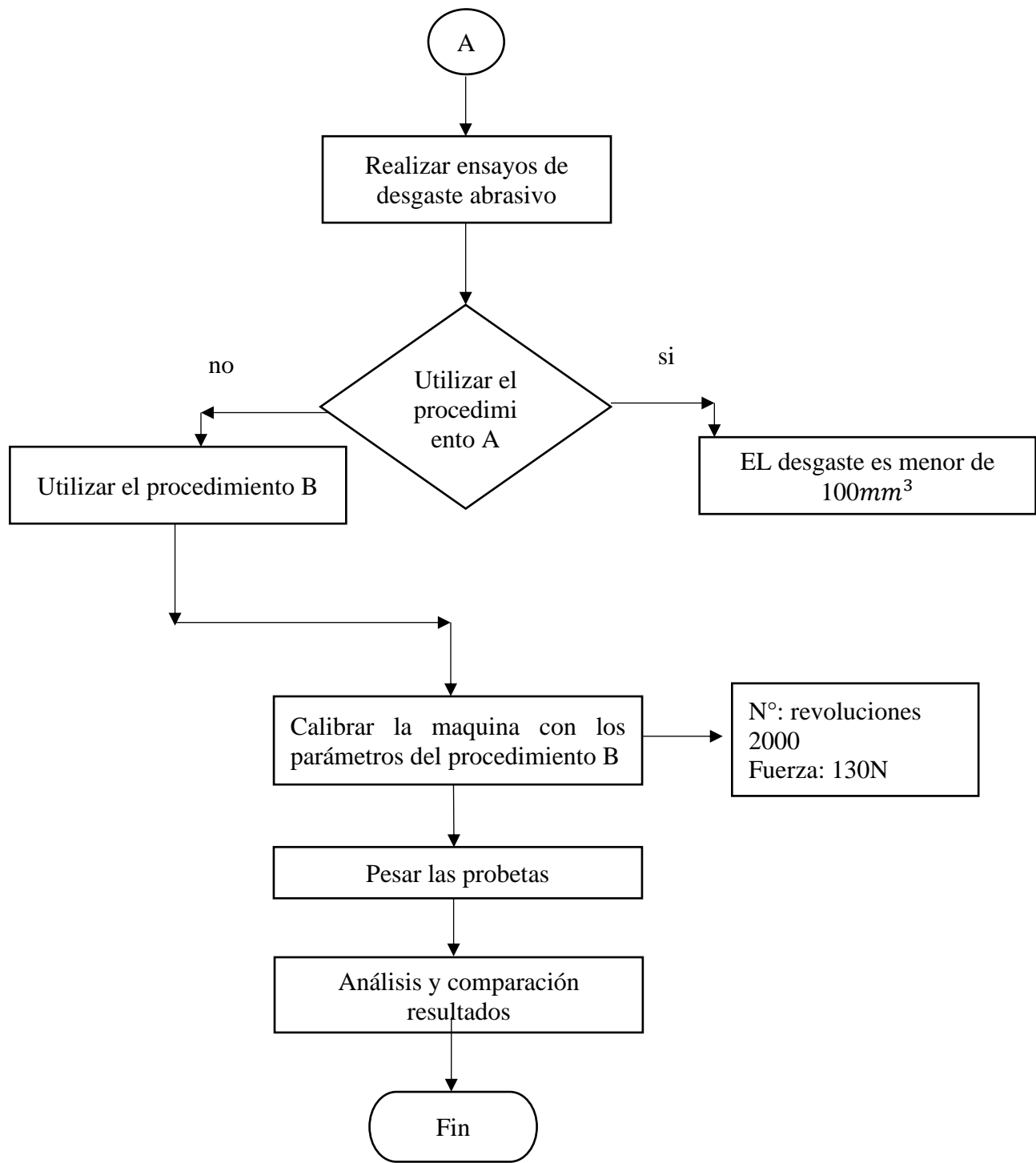


Figura 2-6 Diagrama de flujo para el ensayo de desgaste abrasivo y sus parámetros

2.2.5. Desarrollo del proyecto

2.2.5.1. Dimensionamiento de las probetas

Con los parámetros y materiales específicos se procedió a la construcción de las muestras para el análisis de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G-65 a continuación se presenta el proceso realizado.

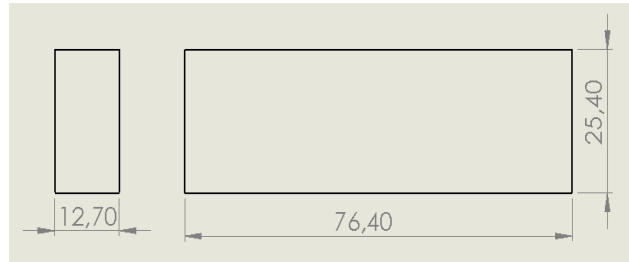


Figura 2-7 Obtención de probetas
Fuente: Autor

2.2.5.2. Fabricación de probetas

Las probetas del acero estructural ASTM A36 se obtuvieron de una platina (1.0 por 0.5 pulgadas), se realizó corte manual y fresado para obtener las dimensiones y caras rectas. Se realizó la limpieza para eliminar óxidos y grasas.



Fig. 2-8: Probeta ASTM A36
Fuente: Autor

Las probetas de acero AISI 1045 se obtuvo de un perfil cuadrado de 1 pulgada, se realizó el corte manual y fresado para obtener la probeta de (1x3x0.5) pulg. Se realizó la limpieza eliminando grasas y óxidos.



Fig. 2-9 Probeta AISI 1045

Fuente: Autor

Las probetas de acero antiabrazión se obtuvieron de un cucharón de retroexcavadora para realizar una comparación de sus propiedades de resistencia al desgaste por abrasión la obtención se dio mediante corte se realizó fresado para obtener homogeneidad en las caras.



Fig. 2-10 Probeta acero antiabrazión

Fuente: Autor

2.2.5.3. Proceso de cementación

Para realizar la cementación de los aceros ASTM A-36 y AISI 1045, las probetas se limpian eliminando la suciedad y la grasa. Luego se colocaron en la caja de cementación, hecha con hierro fundido de 6 mm de espesor, El fondo de la caja se colocó el carburante en una capa de 25 mm, sobre ésta se coloca la primera fila de piezas distanciadas entre 20 mm y desde la pared de la caja a unos 30 mm. La tapa de la caja se cubre con material refractario para formar un sello hermético, luego se lo puso en el horno y se dejó para la carburizar por 8 horas, después de este tiempo la capa cementada es de 0.7 – 1 mm.. Las temperaturas que se realizó este proceso se describen en la tabla 2.9.

Tabla 2-9 Temperaturas de Cementación (Anexo2)

| Aceros al carbono para cementación | |
|---|--------------------|
| Tratamiento térmico | Temperatura |
| Cementación | 950°C |
| Temple | 850C |
| Revenido | 200°C |

Fuente: [12]

Tabla 2-10 Etapas de la Cementación

| Tratamiento térmico | Características |
|----------------------------|---|
| Cementación | El proceso aporta carbono a la superficie mediante difusión, que se impregna modificando su composición. |
| Temple | Con fin de obtener una transformación que proporcione una estructura martensítica dura y resistente. |
| Revenido | Con el fin de variar su dureza y cambiar su resistencia mecánica. El propósito fundamental es disminuir la gran fragilidad que tienen los aceros después del temple |

Fuente: Autor

Luego de haber realizado los procesos se tiene como resultado que en la superficie del acero el porcentaje de carbono es de 0.77-0.88. los aceros alto carbono se componen de capas alternas de hierro esta microestructura es conocida como perlita, cuando el acero se calienta lo suficiente la perlita se disuelve y la microestructura se trasforma en austenita, como se enfrió rápidamente en agua la austenita no tiene tiempo suficiente para volver a separarse, la microestructura resultante se llama martensita, que está compuesta de fragmentos de hierro y da como resultado alta dureza.



Figura 2-11. Probetas AISI 1045 Cementada

Fuente. Autor



Figura 2-12. Probetas ASTM A-36 cementada

Fuente. Autor

2.2.5.4. Proceso de Nitruración

Para realizar el proceso de nitruración, la probeta se limpia, quitándole la suciedad y la grasa. Luego se lo coloca en un horno de tratamiento térmico se introduce el amoníaco (NH₃) a temperaturas de 500° C, se descompone en nitrógeno e hidrógeno. El hidrógeno, más ligero, se separa del nitrógeno por diferencia de densidad. El nitrógeno liberado por la descomposición del amoníaco forma la atmósfera en el interior del horno que, en contacto con la superficie de hierro y a esa temperatura, forma nitruro de hierro, un compuesto de gran dureza, pero frágil. (Anexo 3)

Tabla 2-11 Temperaturas para Nitruración

| Tratamiento Térmico | Temperatura |
|---------------------|-------------|
| Forjado | 1100-850 °C |
| Recocido | 650-700°C |
| Normalizado | 840-870°C |
| Temple | 790-850°C |
| Nitruración | 500°C |

Fuente: [13]

Tabla 2-12 Etapas de la Nitruración

| Tratamiento térmico | Características |
|---------------------|---|
| Nitruración | El cual se incorpora Nitrógeno a la superficie del acero, compuesto principalmente por fase ferrítica, mediante el calentamiento en una atmósfera de amoníaco. |
| | Un primer tratamiento de conversión química superficial, en el que tiene lugar la formación de una capa compuesta principalmente por nitruro de hierro (Fe ₂ N). |
| | Un segundo tratamiento de difusión de Nitrógeno como solución sólida y de combinación con algunos elementos de aleación del acero) para formar el endurecimiento estructural. |

Fuente: Autor

Para conseguir una zona de compuestos compacta y regular es necesario que las piezas entren al baño de nitrurado libres de residuos aceitosos, óxidos o sales que hayan permanecido impregnados de operaciones anteriores. Además de las dificultades que entraña en la mecánica de la nitruración una deficiente limpieza de superficies, existe el riesgo de contaminación del baño y dejarlo parcialmente inutilizado. La penetración de este tratamiento es muy lenta, del orden de un milímetro de espesor por cada 100 horas de duración, aunque después de esto, la pieza no precisará de temple. Este tratamiento se realiza normalmente en hornos eléctricos a temperaturas aproximadas de 500 °C, por cuya cámara circula el gas de amoníaco. Tanto la temperatura como la concentración del gas en amoníaco deben mantenerse constante durante todo el proceso.



Figura 2-13 ASTM A-36 Nitrurada

Fuente. Autor



Figura 2-14 AISI 1045 Nitrurada

Fuente. Autor

2.2.5.5. Ensayo de dureza

Este ensayo se realizó para determinar la dureza en la superficie de los materiales con tratamientos superficial, la medición se realice mediante lectura directa, para medir la dureza del material se utilizó un durómetro de la marca ERNST que funciona mediante la penetración de una esfera o bola de acero templado de determinado diámetro en la superficie que se ensaya, bajo una carga dada y durante intervalo de tiempo de 10s. Para el ensayo el patrón de calibración es PR3.A1MgSiO-10mm95.4HB/30+-5, luego de estar calibrada se realice el ensayo en las probetas de aceros ASTM A36, AISI 1045 Nitruada y cementada, luego se aplica una carga mediante palancas. después se visualizó la dureza del material en escala HB este procedimiento se realizó por 5 veces en cada probeta. La recolección de resultado se realizó mediante fichas técnicas en la cuales constan con las mediciones y promedios respectivos



Figura 2-15. Durómetro

Fuente: Autor

2.2.5.6. Cálculo de densidades

Para determinar la densidad de los materiales, se utilizó el método que consiste graduar un tubo de ensayo con agua, y después sumergir la probeta, la diferencia de volúmenes es el volumen de la probeta. Previamente se midió la masa con una balanza digital de 0.001 g.

Tabla 2-13 Determinación de la Densidad

| Material | Densidad g/cm ³ |
|---------------------|----------------------------|
| AISI 1045 Nitrurado | 7,441 |
| AISI 1045 Cementado | 7,164 |
| ASTM A36 Nitrurado | 7,355 |
| ASTM A36 Cementado | 7,498 |
| Acero Antiabrazión | 6,134 |

Fuente: Autor



Figura 2-16. Balanza digital

Fuente: Autor



Figura 2-17- Tubo de Ensayo

Fuente: Autor

2.2.5.7. Ensayo de desgaste

El ensayo de desgaste abrasivo se realizó para determinar las pérdidas volumétricas de un acero ASTM A36 y AISI 1045 nitrurada y cementada, Este ensayo se realizó con la máquina de desgaste abrasivo la cual consiste en simular el desgaste de la probeta mediante una rueda de caucho y arena, Se verifico el procedimiento con una probeta de AISI 1045 cementada con los parámetros del procedimiento A , número de revoluciones 6000 y 130N, la pérdida volumétricas es de 125.028 mm³ con lo que excede 100mm³ por lo tanto, el ensayo se realizó el procedimiento B la cual sugiere aplicar una fuerza de 130N y número de revoluciones de 2000 rpm. Para este ensayo se debe determinar la masa inicial para posteriormente determinar las pérdidas volumétricas.



Figura 2.18 Ensayo de desgaste Abrasivo

Fuente: Autor



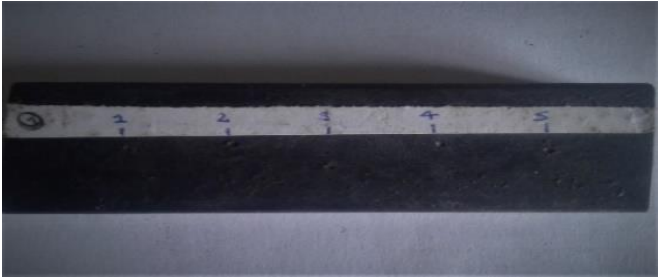
CAPÍTULO III
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1.Recolección de Datos.


3.1.1.Ensayo de dureza Brinell del acero Antiabrasión

| ENSAYO DE DUREZA | | | |
|---|---|---|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | |  |
| Tipo de Estudio | De laboratorio | Ensayo N°: | 1 |
| Fecha: | 11/109/2019 | Probeta N°: | EDB-04 |
| Material | Acero Antiabrasión | | |
| Solicitado | Edisson Capus | Dirección: | Laboratorios FICM- UTA |
| Centro de estudios y análisis: | Laboratorio de Análisis metalográfico | | |
| Realizado | Ing. Fernando Tiban | Revisado Por: | Ing. Cristian Pérez |
| PARAMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA | | | |
| Método: | Dureza Brinell (HRB) | | |
| Patrón Utilizado | PR3.AIMgSiO-10mm95.4HB/30 | | |
| Cantidad de carga aplicada: | 100Kg | Tiempo de duración de la fuerza: | 10 Seg |
| RESULTADOS (Anexo 9) | | | |
| Me.1 | 450 | | |
| Med.2 | 451 | | |
| Med.3 | 452 | | |
| Promedio | 451 | | |
| Gráfico |  | | |
| Observaciones | La medicion de dureza Brinell 451 HB, con esto se comprueba que es un material antiabrasion. Se observa que tiene alta dureza por ende buena resistencia al desgaste. | | |

3.1.2. Ensayo de dureza Brinell de acero ASTM A36 con nitruración.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  | | | |
|---|---|---|---------------------------|
| ENSAYO DE DUREZA | | | |
| Tipo de Estudio | De laboratorio | Ensayo N°: | 1 |
| Fecha: | 11/109/2019 | Probeta N°: | EDB-01 |
| Parte Especificada: | Material ASTM A36 Nitrurada | | |
| Solicitado Por: | Edisson Capus | Dirección: | Catiglata. Rio de Janeiro |
| Centro de estudios y análisis: | Laboratorio de Análisis metalográfico | | |
| Realizado Por: | Ing. Fernando Tiban | Revisado Por: | Ing. Cristian Pérez |
| PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA | | | |
| Método: | Dureza Brinell (HB) | | |
| Patrón Utilizado | PR3.AIMgSiO-10mm95.4HB/30 | | |
| Cantidad de carga aplicada: | 100Kg | Tiempo de duración de la fuerza: | 10 Seg |
| RESULTADOS (Anexo 8) | | | |
| Med.1 | 155 | | |
| Med.2 | 148 | | |
| Med.3 | 147 | | |
| Med.4 | 155 | | |
| Med.5 | 150 | | |
| Promedio | 151.00 | | |
| Gráfico |  | | |
| Observaciones | Con el tratamiento superficial de nitruración se obtenido un promedio de dureza de 151 HB, no se alcanzado incremento deseado de dureza 451 HB. | | |




3.1.3. Ensayo de dureza de acero ASTM A-36 con tratamiento de cementación.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  | | | |
|---|--|---|-------------------------------------|
| ENSAYO DE DUREZA | | | |
| Tipo de Estudio | De laboratorio | Ensayo N°: | 1 |
| Fecha: | 11/109/2019 | Probeta N°: | EDB-03 |
| Parte Especificada: | Material ASTM A-36 Cementada | | |
| Solicitado Por: | Edisson Capus | Dirección: | Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto |
| Centro de estudios y análisis: | | Laboratorio de Análisis metalográfico - CFPMC | |
| Realizado Por: | Ing. Fernando Tiban | Revisado Por: | Ing. Cristian Pérez |
| PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA | | | |
| Método: | | Dureza Brinell (HB) | |
| Patrón Utilizado | | PR3.AIMgSiO-10mm95.4HB/30 | |
| Cantidad de carga aplicada: | 100Kg | Tiempo de duración de la fuerza: | 10 Seg |
| RESULTADOS(Anexo 8) | | | |
| Zona del ensayo | | | |
| Med.1 | 492 | | |
| Med.2 | 501 | | |
| Med.3 | 472 | | |
| Med.4 | 484 | | |
| Med.5 | 473 | | |
| Promedio | 484.40 | | |
| Gráfico |  | | |
| Observaciones | Con tratamiento superficil de cementación la dureza obtenida es de 484.40 HB, esta dureza a superado a la dureza de un acero antiabrasion. | | |

3.1.4. Ensayo de dureza de acero AISI 1045 con tratamiento de nitruración.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  | | | |
|---|---|---|-------------------------------------|
| ENSAYO DE DUREZA | | | |
| Tipo de Estudio | De laboratorio | Ensayo N°: | 1 |
| Fecha: | 11/109/2019 | Probeta N°: | EDB-02 |
| Parte Especificada: | Material AISI 1045 Nitrurada | | |
| Solicitado Por: | Edisson Capus | Dirección: | Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto |
| Centro de estudios y análisis: | Laboratorio de Análisis metalográfico - CFPMC | | |
| Realizado Por: | Ing. Fernando Tiban | Revisado Por: | Ing. Cristian Pérez |
| PARAMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA | | | |
| Método: | Dureza Brinell (HB) | | |
| Patrón Utilizado | PR3.AIMgSiO-10mm95.4HB/30 | | |
| Cantidad de carga aplicada: | 100Kg | Tiempo de duración de la fuerza: | 10 Seg |
| RESULTADOS (Anexo 8) | | | |
| Zona del ensayo | | | |
| Med.1 | 184 | | |
| Med.2 | 174 | | |
| Med.3 | 174 | | |
| Med.4 | 177 | | |
| Med.5 | 181 | | |
| Promedio | 178.00 | | |
| Gráfico |  | | |
| Observaciones | El acero AISI 1045 con tratamiento superficial de nitruración se obtenido un promedio de dureza de 178 HB con esto no alcanzado la dureza de un acero antiabrasión de 451 HB. | | |





3.1.5. Ensayo de dureza de acero AISI 1045 con tratamiento de cementación.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  | | | |
|---|---|---|-------------------------------------|
| ENSAYO DE DUREZA | | | |
| Tipo de Estudio | De laboratorio | Ensayo N°: | 1 |
| Fecha: | 11/109/2019 | Probeta N°: | EDB-04 |
| Parte Especificada: | Material AISI 1045 Cementado | | |
| Solicitado Por: | Edisson Capus | Dirección: | Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto |
| Centro de estudios y análisis: | Laboratorio de Análisis metalográfico - CFPMC | | |
| Realizado Por: | Ing. Fernando Tiban | Revisado Por: | Ing. Cristian Pérez |
| PARAMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA | | | |
| Método: | Dureza Brinell (HRB) | | |
| Patrón Utilizado | PR3.AIMgSiO-10mm95.4HB/30 | | |
| Cantidad de carga aplicada: | 100Kg | Tiempo de duración de la fuerza: | 10 Seg |
| RESULTADOS (Anexo 8) | | | |
| Zona del ensayo | | | |
| Med.1 | 579 | | |
| Med.2 | 556 | | |
| Med.3 | 568 | | |
| Med.4 | 565 | | |
| Med.5 | 574 | | |
| Promedio | 568.40 | | |
| Gráfico |  | | |
| Observaciones | La dureza obtenida en acero AISI 1045 con cementación es de 568.40 HB , se observa que los resultados obtenidos son mejores que en el acero antiabrasion. | | |

3.1.6. Ensayo de desgaste abrasivo del acero Antiabrasión

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | |  | |
|---|--------------------------------------|---|--|---|---------------|
| REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO | | | | | |
| Tipo de estudio: | Experimental | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución: | 29/10/2019 | | | | |
| Lugar de estudio: | Laboratorio de Materiales FICM – UTA | | | | |
| Realizado | Edisson Capus | Revisado | Ing. Cristian Pérez | | |
| PARÁMETROS DE ENSAYO | | | | | |
| Material | | | Acero Antiabrasión | | |
| Tratamiento superficial | | | - | | |
| Norma: | ASTM G 65 | Carga: | 130N (30lb) | | |
| N° de revoluciones: | 2000 rev | Caudal de la arena: | 300 a 400 g/min | | |
| Dist: Recorrida: | 1436 m | Velocidad en RPM: | 200 rpm | Tiempo: | 10 min |
| REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS | | | | | |
| Probeta | m1 (g) | m2 (g) | Δ m (g) | Desgaste mm ³ | |
| Acero Anti abrasivo | 74,629 | 74,261 | 0,368 | 59,173 | |
| Acero Antiabrasión | 74,986 | 74,601 | 0,385 | 61,612 | |
| Acero Antiabrasión | 73,84 | 73,452 | 0,388 | 63,055 | |
| Acero Antiabrasión | 74,425 | 74,062 | 0,363 | 58,529 | |
| Acero Antiabrasión | 74,396 | 74,009 | 0,387 | 62,423 | |
| PROMEDIO | | | | 60,931 | |
| Antes | | | Después | | |
|  | | |  | | |
| <p>El desgaste de este acero es relativamente bajo ya que tiene una dureza de 451 HB, la pérdida de masa es de 0.386 g. Obteniendo una pérdida volumetrica de 60.931 mm³ este acero tiene buena resitencia al desgaste abrasivo.</p> | | | | | |





3.1.7. Ensayo de desgaste abrasivo del acero ASTM A-36 con nitruración

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  | | | | | |
|---|--------------------------------------|----------------------------|--|-----------------------------|--------|
| REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO | | | | | |
| Tipo de estudio: | Experiment al | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución: | 11/09/2019 | | | | |
| Lugar de estudio: | Laboratorio de Materiales FICM – UTA | | | | |
| Realizado por: | Edisson Capus | Revisado | Ing. Cristian Pérez | | |
| PARÁMETROS DE ENSAYO | | | | | |
| Material | | Acero ASTM A-36 | | | |
| Tratamiento superficial | | Nitruración | | | |
| Norma: | ASTM G 65 | Carga: | 130N (30lb) | | |
| N° de revoluciones: | 2000 rev | Caudal de la arena: | 300 a 400 g/min | | |
| Dist: Recorrida: | 1436 m | Velocidad en RPM: | 200 rpm | Tiempo: | 10m in |
| REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS | | | | | |
| Probeta | m1(g) | m 2 (g) | m1-m2 (g) | Desgaste (mm ³) | |
| Acero ASTM A36 N | 175,811 | 173,011 | 2,845 | 382,229 | |
| Acero ASTM A36 N | 178,929 | 176,095 | 2,834 | 380,128 | |
| Acero ASTM A36 N | 177,769 | 174,925 | 2,844 | 383,959 | |
| Acero ASTM A36 N | 175,71 | 172,916 | 2,794 | 381,629 | |
| Acero ASTM A36 N | 186,49 | 183,493 | 2,997 | 385,694 | |
| PROMEDIO | | | | 364,552 | |
| Antes | | | Después | | |
|  | | |  | | |
| <p>El desgaste es mayor ya que la dureza es de 151 HB, la pérdida de masa es de 2.965 gramos. Se observa que no resiste al desgaste por abrasión ya que se obtenido perdidas volumétricas de 364.552 mm³.</p> | | | | | |





3.1.8. Ensayo de desgaste abrasivo del acero ASTM A-36 con de cementación.

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | |  | | |
|---|--|--|---------------------|-----------------------------|
| REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO | | | | |
| Tipo de estudio: | Experimental | Ítem | A | |
| Fecha de ejecución: | 11/09/2019 | | | |
| Lugar de estudio: | Laboratorio de Materiales FICM – UTA Sector Huachi Chico | | | |
| Realizado por: | Edison Capus | Revisado | Ing. Cristian Pérez | |
| PARAMETROS DE ENSAYO | | | | |
| Material | | ASTM A36 | | |
| Tratamiento Superficial | | Cementación | | |
| Norma: | ASTM G 65 | Carga: | 130N (30lb) | |
| N° de revoluciones: | 2000 rev | Caudal de la arena: | 300 a 400 g/min | |
| Dist: Recorrida: | 1436 m | Velocidad en RPM: | 200 rpm | |
| | | Tiempo: | 10min | |
| REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS | | | | |
| Probeta | m1(g) | m2(g) | Δm | Desgaste (mm ³) |
| Acero ASTM A36 C | 174,655 | 174,29 | 0,365 | 50,156 |
| Acero ASTM A36 C | 175,481 | 175,098 | 0,383 | 52,382 |
| Acero ASTM A36 C | 174,659 | 174,292 | 0,367 | 50,430 |
| Acero ASTM A36 C | 173,625 | 173,247 | 0,378 | 52,251 |
| Acero ASTM A36 C | 174,909 | 174,509 | 0,4478 | 54,886 |
| PROMEDIO | | | | 51,993 |
| Antes | | Después | | |
|  | |  | | |
| <p>La pérdida de masa es de 0.445 g esto significa que tiene alta resistencia al desgaste por abrasión. Ya que la perdida volumétrica es de 51.993 mm³.</p> | | | | |

3.1.9. Ensayo de desgaste abrasivo del acero AISI 1045 tratamiento de nitruración.

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | |  | |
|--|--|---|--|---|-------|
| REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO | | | | | |
| Tipo de estudio: | Experimental | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución: | 11/09/2019 | | | | |
| Lugar de estudio: | Laboratorio de Materiales FICM – UTA Sector Huachi Chico | | | | |
| Realizado por: | Edisson Capus | Revisado por: | Ing. Cristian Pérez | | |
| PARÁMETROS DE ENSAYO | | | | | |
| Material | | AISI 1045 | | | |
| Tratamiento Superficial | | Nitruración | | | |
| Norma: | ASTM G 65 | Carga: | 130N (30lb) | | |
| Nº de revoluciones: | 2000 rev | Caudal de la arena: | 300 a 400 g/min | | |
| Dist: Recorrida: | 1436 m | Velocidad en RPM: | 200 rpm | Tiempo: | 10min |
| REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS | | | | | |
| Probeta | Masa 1 (g) | Masa. 2 (g) | M1-M2 (g) | Desgaste (mm ³) | |
| Acero AISI 1045 N | 187,752 | 185,006 | 2,746 | 365,642 | |
| Acero AISI 1045 N | 189,99 | 187,234 | 2,76 | 363,177 | |
| Acero AISI 1045 N | 186,89 | 184,162 | 2,728 | 364,921 | |
| Acero AISI 1045 N | 187,745 | 185,013 | 2,732 | 363,791 | |
| Acero AISI 1045 N | 186,729 | 184,001 | 2,728 | 365,235 | |
| PROMEDIO | | | | 364,552 | |
| Después | | | Antes | | |
|  | | |  | | |
| <p>La pérdida de masa es de 2.728 g ya que tiene una dureza de 172 HB. se observa que tiene baja resistencia al desgaste por abrasion.</p> | | | | | |

3.1.10. Ensayos de desgaste del acero AISI 1045 con tratamiento de cementación.

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | |  | |
|---|--------------------------------------|---|--|---|-------|
| REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO | | | | | |
| Tipo de estudio: | Experimental | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución: | 11/09/2019 | | | | |
| Lugar de estudio: | Laboratorio de Materiales FICM – UTA | | | | |
| Realizado por: | Edisson Capus | Revisado por: | Ing. Cristian Pérez | | |
| PARÁMETROS DE ENSAYO | | | | | |
| Material | | | AISI 1045 | | |
| Tratamiento Superficial | | | Cementación | | |
| Norma: | ASTM G 65 | Carga: | 130N (30lb) | | |
| N° de revoluciones: | 2000 rev | Caudal de la arena: | 300 a 400 g/min | | |
| Dist: Recorrida: | 1436 m | Velocidad en RPM: | 200 rpm | Tiempo | 10min |
| REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS | | | | | |
| Probeta | masa1 (g) | masa. 2 (g) | M1-M2 | Desgaste (mm ³) | |
| Acero AISI 1045 C | 187,401 | 187,104 | 0,297 | 41,206 | |
| Acero AISI 1045 C | 187,69 | 187,402 | 0,288 | 39,896 | |
| Acero AISI 1045 C | 185,408 | 185,107 | 0,301 | 42,210 | |
| Acero AISI 1045 C | 186,602 | 186,303 | 0,299 | 41,661 | |
| Acero AISI 1045 C | 187,709 | 187,395 | 0,314 | 43,493 | |
| PROMEDIO | | | | 41,676 | |
| Antes | | | Después | | |
|  | | |  | | |
| <p>El tratamiento de cementación en un acero AISI 1045 se ha obtenido que resiste al desgaste por abrasión ya que se ha tenido como resultado la pérdida de masa de 0.314 gramos.</p> | | | | | |

3.2. Análisis y discusión de resultados

3.2.1. Ensayo de Dureza

En la tabla 3.1, se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de dureza Brinell en el acero ASTM A-36 con tratamiento superficial y el acero antiabrasión.

Tabla 3-1. Resultados de Dureza Brinell

| N° | ASTM A36 Nitrurada | ASTM A 36 Cementado | Acero Antiabrasión |
|----------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 1 | 155 | 492 | 451 |
| 2 | 148 | 501 | 452 |
| 3 | 147 | 472 | 453 |
| 4 | 155 | 484 | 452 |
| 5 | 150 | 473 | 453 |
| Promedio | 151 | 484.04 | 452.2 |

Fuente: Autor

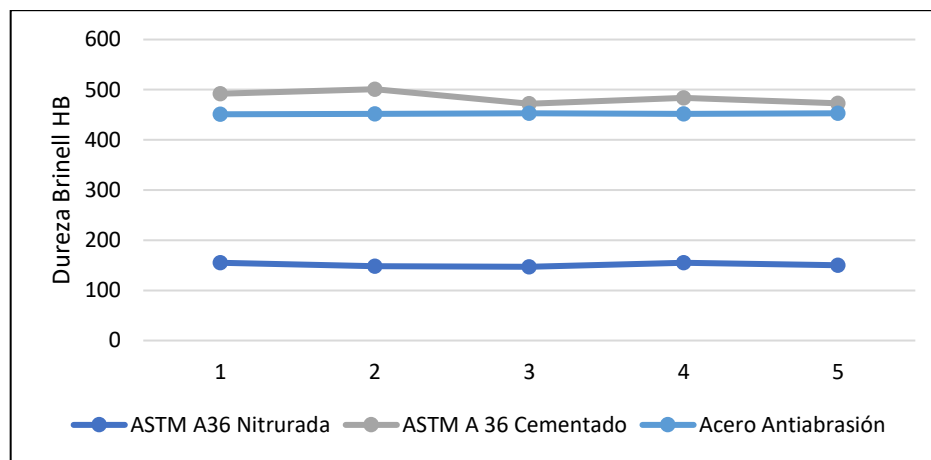


Figura 3.1 Dureza del acero ASTM A36 y un acero antiabrasión.

Fuente: Autor

Analizando los resultados que se obtuvieron en los ensayos de dureza muestran que el incremento de dureza de un acero ASTM A 36 con tratamiento de cementación es de 484. HB y con tratamiento de nitruración es de 155 HB.

En la figura 3.1 se realiza una comparación de dureza entre los aceros ASTM A-36 con tratamiento superficial de cementación y nitruración con un acero antiabrasión. Se observa que la dureza del acero cementado es mayor que del acero antiabrasión.

En la tabla 3.2, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de dureza Brinell en el acero AISI 1045 con tratamiento superficial.

Tabla 3-2. Resultados de dureza del acero AISI 1045

| N° | AISI 1045 Nitrurada | AISI 1045 Cementado | Acero Antiabrasión |
|----------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 1 | 184 | 579 | 451 |
| 2 | 174 | 556 | 452 |
| 3 | 174 | 568 | 453 |
| 4 | 177 | 565 | 452 |
| 5 | 181 | 574 | 453 |
| Promedio | 178 | 568.4 | 452.2 |

Fuente: **Autor**

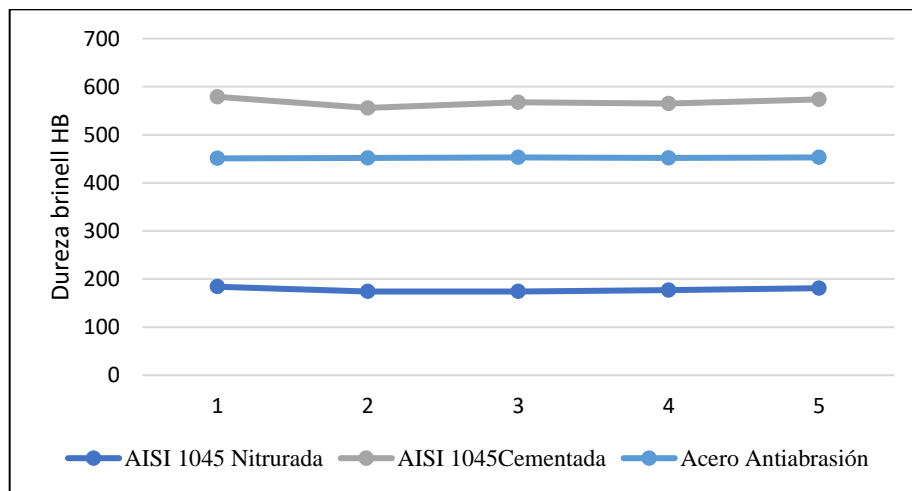


Figura 3.2 Comparación de dureza del acero AISI 1045- acero antiabrasión

Fuente: **Autor**

Analizando los resultados de dureza obtenidos en el acero AISI 1045, mediante el proceso de cementación se obtuvo dureza de 560 HB y mediante el tratamiento de nitruración se obtuvo dureza de 178HB.

En la figura 3.2 se hace una comparación de aceros AISI 1045 con tratamiento superficial de cementación y nitruración con un acero antiabrasión. Se observa que la dureza en el acero cementado es mayor al que del acero antiabrasión.

3.2.2. Desgaste Abrasivo

En la tabla 3.3, se muestran los resultados obtenidos de perdidas volumétricas en los aceros con tratamiento superficial y acero antiabrasión.

Tabla 3-3. Pérdidas Volumétricas

| Material | Perdidas Volumétricas mm ³ |
|----------------------|---------------------------------------|
| AISI 1045 Cementado | 41,676 |
| ASTM A 36 Cementado | 51,993 |
| AISIS 1045 Nitrurado | 364,552 |
| ASTM A36 Nitrurado | 382,722 |
| Acero antiabrasión | 60,931 |

Fuente: Autor

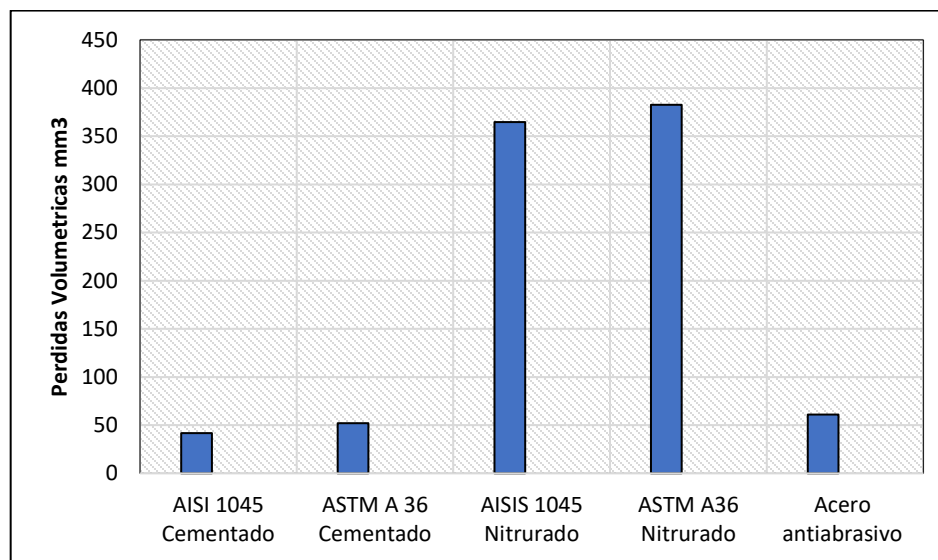


Figura 3.3 Comparación de las pérdidas volumétricas

Fuente: Autor

Analizando los resultados del ensayo de desgaste abrasivo se observa que perdidas volumétricas en aceros con nitruración tienen un promedio de pérdida de 370.123 mm^3 , y en cambio los aceros con cementación las perdidas volumétricas son de 46.256 mm^3 . como conclusión se tiene que el proceso de cementación tiene mejor resistencia al desgaste por abrasión.

3.3. Verificación de Hipótesis

Ho (Hipótesis Nula)

Al realizar el tratamiento de cementación en el acero AISI 1045 no mejorara las propiedades mecánicas con respecto a un acero antiabrasión.

Ha (Hipótesis Alterna)

Al realizar el tratamiento de cementación en el acero AISI 1045 mejorara las propiedades mecánicas con respecto a un acero antiabrasión.

Para la comprobación de la hipótesis se la comprobó con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%, la probabilidad de 0.05, el análisis se realizó para los dos lados $p = 0.025$,

A continuación, procedemos a determinar la probabilidad

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec.3.1}$$

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0.05$$

Esto se divide para los dos lados 0.025

los grados de libertad se aplican determinando la ecuación

$$Gl = n - 1 \quad \text{Ec.3.2}$$

$$Gl = 4$$

Donde:

Gl: Grados de Libertad

n: número de muestras

Con los datos obtenidos de grados de libertad y el valor p determinado previamente, calculamos el t tabulado, utilizando la tabla del anexo 10, el valor que se obtuvo es de $t_{\text{tab}} = \pm 2.7765$ Se acepta la hipótesis nula Ho (Si el desgaste del acero AISI 1045 cementado es igual al desgaste de un acero antiabrasión) si el valor de t calculado está entre el rango de ± 2.7765 , caso contrario se acepta la hipótesis alterna Ha (El desgaste del acero AISI 1045 cementado es diferente al desgaste de un acero antiabrasión)

Tabla 3-4 Desgaste del acero antiabrasión - acero AISI 1045 cementado

| N° | Acero Antiabrasión | Acero AISI 1045 Cementado | H | H ² |
|---------|--------------------|---------------------------|--------|----------------|
| 1 | 59,1727 | 41,206 | 17,967 | 322,811 |
| 2 | 61,6115 | 39,896 | 21,716 | 471,581 |
| 3 | 63,0553 | 42,210 | 20,846 | 434,540 |
| 4 | 58,5287 | 41,661 | 16,868 | 284,524 |
| 5 | 62,4227 | 43,493 | 18,930 | 358,339 |
| Suma | 304,7909 | 208,4647 | 96,326 | 1871,797 |
| Promed. | 60,9581 | 41,692 | 19,265 | |

Fuente: Autor

Con los datos de la tabla 3-2, determinamos la varianza mediante la ecuación 3.3

$$S^2d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad \text{Ec.3.3}$$

Donde:

S²d = Desviacion estandar

H = Diferencia de datos

n = difrencia de datos

$$S^2d = \frac{1871.797 - \frac{(96.326)^2}{5}}{20}$$
$$S^2d = 0.802$$
$$Sd = 0.8955$$

Luego se procedió a calcular t cal con la ecuación 3.4

$$t_{cal} = \frac{H}{Sd} \quad \text{Ec.3.4}$$

Donde:

H: promedio

t cal: t calculado

$$t_{cal} = \frac{19.265}{0.895}$$

$$t_{cal} = 21.06$$

$$t_{cal} = 21.06 > t_{tab} = 2.7765$$

Por lo tanto, t_{cal} se encuentra fuera del rango ± 2.7765 por lo tanto se acepta H_1 y se rechaza H_0 . El desgaste de Acero 1045 cementado es menor que el desgaste de acero antiabrasión.

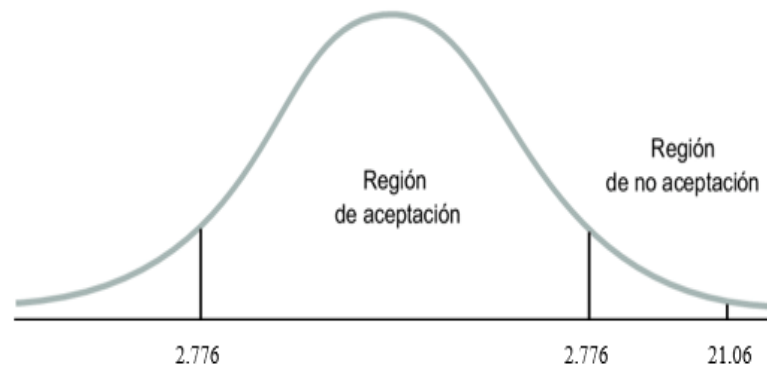


Figura 3.4 Campana de referencia T student Acero AISI 1045 Cementado-acero Antiabrasión

Fuente: Autor

Ho (Hipótesis Nula)

Al realizar el tratamiento de cementación en el acero ASTM A-36 no mejorara las propiedades mecánicas con respecto a un acero antiabrasión.

Ha (Hipótesis Alterna)

Al realizar el tratamiento de cementación en el acero ASTM A-36 mejorara las propiedades mecánicas con respecto a un acero antiabrasión.

Para la comprobación de la hipótesis se la comprobó con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%, la probabilidad de 0.05, el análisis se realizó para los lados.

A continuación, procedemos a determinar la probabilidad

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec.3.1}$$

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0.05$$

Esto se divide para los dos lados 0.025

Los grados de libertad se aplican determinando la ecuación 3.2

$$Gl = n - 1$$

Donde:

Gl: Grados de Libertad

n: número de muestras

$$Gl = 4$$

Con los datos obtenidos de grados de libertad y el valor p determinado previamente, calculamos el t tabulado, utilizamos la tabla (del anexo 10), el valor que se obtuvo es de $t_{\text{tab}} = \pm 2.7765$

Se acepta la hipótesis nula Ho (Si el desgaste del acero ASTM A-36 cementado es igual al desgaste de un acero antiabrasión) si el valor de t calculado está entre el rango de ± 2.7765 , caso contrario se acepta la hipótesis alterna Ha (El desgaste del acero ASTM A-36 1045 cementado es diferente al desgaste de un acero antiabrasión).

Tabla 3-5 Desgaste del acero antiabrasión -acero ASTM A-36

| N° | Acero Antiabrasión | Acero ASTM A36 Cementado | H | H^2 |
|---------|--------------------|--------------------------|------------|---------|
| 1 | 59,1727 | 50,156 | 9,017 | 81,300 |
| 2 | 61,6115 | 52,382 | 9,230 | 85,188 |
| 3 | 63,0553 | 50,430 | 12,626 | 159,404 |
| 4 | 58,5287 | 52,251 | 6,278 | 39,415 |
| 5 | 62,4227 | 54,886 | 7,537 | 56,806 |
| Suma | 304,7909 | 260,1037 | 44,6872 | 422,116 |
| Promed. | 60,95817883 | 52,0207358 | 8,93744303 | |

Fuente: Autor

Con los datos de la tabla 3-2, determinamos la varianza mediante la ecuación 3.2

$$S^2d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)}$$

Donde:

S^2d = Desviacion estandar

H = Diferencia de datos

n = diferencia de datos

$$S^2d = \frac{422.116 - \frac{(44.687)^2}{5}}{20}$$

$$S^2d = 1.13$$

$$Sd = 1.06$$

Luego se procedió a calcular t cal con la ecuación 3.3

$$t_{cal} = \frac{H}{Sd}$$

Donde:

H: promedio

t cal: t calculado

$$t_{cal} = \frac{8.937}{1.06}$$

$$t_{cal} = 8.383$$

$$t_{cal} = 8.383 > t_{tab} = \pm 2.7765$$

Por lo tanto, t_{cal} se encuentra fuera del rango ± 2.7765 por lo tanto se acepta H_1 y se rechaza H_0 . El desgaste de acero ASTM A-36 cementado es menor que el desgaste de un acero antiabrazión

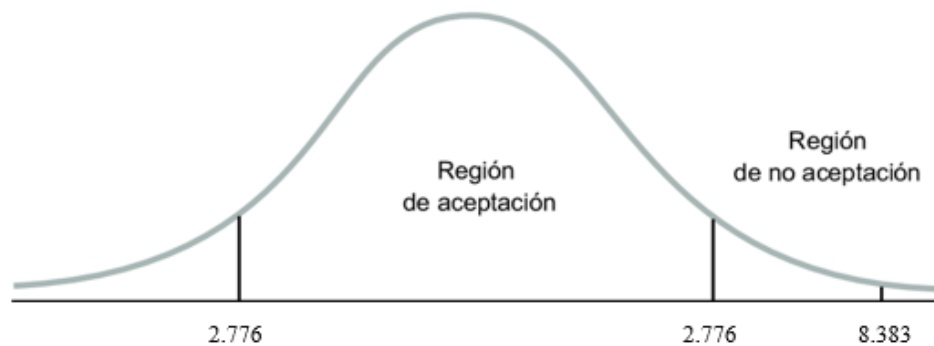


Figura 3.5 Campana de referencia T student Acero ASTM A-36 cementado-acero Antiabrazión

Fuente: Autor

Según la verificación de la hipótesis se analizó que los materiales que tienen mayor resistencia al desgaste son los aceros ASTM A36 y AISI 1045 con tratamiento de cementación. Los aceros con tratamiento de nitruración no ofrecen resistencia al desgaste por abrasión ya que comprobó que tienen altas pérdidas volumétricas

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se realizó la cementación sólida a los aceros ASTM A-36 y al AISI 1045, este proceso se desarrolló a una temperatura de 950°C durante 8 horas, para alcanzar la capa de cementación de 0.7-1mm de profundidad, posteriormente se efectuó el temple a la temperatura de 880 °C, rápidamente se enfrió en agua, finalmente se reael revenido a temperaturas de 200°C, con esto se obtuvo resultado de dureza de 481 HB en el acero ASTM A -36 y 568 HB en el acero AISI 1045.
- El proceso de nitruración en los aceros ASTM A-36 Y AISI 1045 fue realizado mediante la incorporación de nitrógeno a la superficie del acero mediante el calentamiento en una atmósfera de amoníaco en fase ferrítica a la temperatura de 580°C.durante 150 horas, los resultados obtenidos de dureza no son los deseados.
- El degastes abrasivo se evaluó según la norma ASTM G-65, se realizó un ensayo preliminar utilizando el procedimiento A, al acero AISI 1045 cementado con lo que se obtuvo una perdida volumétrica de 125.028 mm³ lo cual excede a 100 mm³. Por lo tanto, para este ensayo se utilizó los parámetros del procedimiento B cual establece utilizar 2000 revoluciones y 130 N de carga.
- Se realizó la comparación de desgaste entre de aceros ASTM A-36 y AISI 1045, cementados con un acero antiabrasión, los resultados obtenidos muestran que los aceros cementados ofrecen más resistencia al desgaste que un acero antiabrasión.
- La plancha de acero antiabrasión se utiliza para construir placas laterales de cucharones de retroexcavadoras, y por ende tienen un alto costo, además este material no se encuentra por medidas específicas, solo se comercializa la plancha completa, una de las soluciones para reparar las placas laterales es utilizar planchas cementadas de AISI 1045 HB o ASTM A- 36 ya que se comprobó que tienen alta resistencia al desgaste.

- El tratamiento de nitruración en planchas ASTM A-36 y AISI 1045, no recomendable para utilizar en la reparación de placas laterales del cucharón de retroexcavadora, ya que se obtuvo baja dureza y elevadas pérdidas volumétricas.

4.2 Recomendaciones

- El corte de las probetas de acero ASTM A 36 y de AISI 1045 se debe realizar mediante corte manual, para conservar las propiedades mecánicas. Además, se debe rectificar mediante fresado para obtener las medias especificadas en la norma ASTM G- 65.
- Para realizar los tratamientos superficiales, las probetas deben estar completamente limpias, libre de óxidos.
- Para determinar las temperaturas de tratamientos superficiales se debe conocer el las propiedades químicas del material.
- Para los ensayos de dureza se debe realizar en superficies planas para obtener mejores resultados.
- Se debe medir la masa al inicio y al final del ensayo de desgaste abrasivo con el fin de obtener mejores resultados, se recomienda usar una balanza digital de 0.001 g
- Para determinar la densidad de los materiales se recomienda realizar mediante la diferencia de volúmenes en un tubo de ensayos.
- Para el uso de la máquina de desgaste abrasivo se debe primero los conocer los parámetros de la norma, para obtener mejores resultados.
- Utilizar equipo de protección de personal, mandil, guantes, mascarilla para el ensayo de desgaste abrasivo.

Bibliografía

- [1] S. Coloma. Simulación de recuperación por método de elemento finito de cucharones para maquinaria de minería. Espoch 2015.
- [2] P. Fuentes, Análisis del desgaste en componentes de cargadores frontales, mediante modelos basados en elementos finitos, Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 2018
- [3] B. López, “Comportamiento frente al desgaste abrasivo de aceros tipo Hadfield de contenido medio en manganeso”, Universidad de Coruña, España 2016.
- [4] C. López, Mejora en la recuperación para la optimización de la vida útil de cucharón de 74yd3 de una pala p&h 4100xpc, Universidad Santa María Perú 2017.
- [5] F.Trellez, N. Ortiz, “Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en tres materiales utilizados en la industria de minería ”, Universidad Francisco José de Caldas. Colombia 2012.
- [6] G, Freire, Mejoramiento de propiedades de material Astm A36 mediante tratamiento de temple y revenido. Colombia 2016
- [7] F. Olivos. Partes de maquinaria pesada, cucharones de excavadora. Maquinaria pesada.org 2015.
- [8] Martínez, “Desgaste abrasivo de materiales”, La tribología, ciencia y técnica para el mantenimiento, 2nd edición, Limusa 202. pp.86-91
- [9] G. Márquez. “Desgaste abrasivo por contacto”, Tribología y contacto, Colombia 2015
- [10] J. Gutiérrez. Materiales abrasivos de mina- cantera- tamaño de grano. Jbejarano naturpiedra. com 2016.
- [11] D. Askeland, P. Fulay, “Tratamientos superficiales”, Ciencia e Ingeniería de materiales; Cengage Learning, México, 2012.
- [12] F. Ortega; Tratamientos superficiales, aceros para cementación, Colombia 2016.
- [13] E, Freire. Tratamientos Superficiales, nitruración, aceros para nitruración. México. 2013.
- [14] Catálogo Dipac. Plancha de acero laminada en caliente acero ASTM A-36.Dipac.com.Ecuador 2014.
- [15] Catálogo Aceros Especiales Bolher. Temperaturas de nitruración de acero AISI 1045.Quito 2012
- [16] Catálogo Dipac. Plancha de acero Antiabrasión Características. Dipac.com.Ecuador 2014.

- [17] W. Gutiérrez, J. Olaya, M. Torres; Construcción de equipo para desgaste abrasivo según la norma ASTM G- 65. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Colombia 2016
- [18] Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus, American Society for Testing and Materials (ASTM) Standard G 65-1994.
- [19] J. Espinoza. Ensayo de dureza de materiales metálicos. Ingemecanic.com 2016
- [20] Norma para la Prueba de Dureza Brinell de Materiales Metálicos, American Society for Testing and Materials (ASTM) E10 – 15.
- [21] S. Freire. Tratamientos superficiales, temperaturas de cementación temperatura Chile 2013.

Anexos

Anexo 1.- Características de Plancha ASTM A-36



DIPAC[®]
PRODUCTOS DE ACERO

PLANCHAS

PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE

Especificaciones Generales

| | |
|------------------|---------------------------|
| Norma | Ver tabla |
| Espesores | 1.20mm a 100mm |
| Rollos | Ancho 1000,1220,1500,1800 |
| Planchas | 4 x 8 y a medida |



Calidad Comercial

| NORMA | COMPOSICION QUIMICA | | | | | | | PROPIEDADES MECANICAS | | | NORMA EQUIVALENTE |
|-------------------|---------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|------------|-----------------------|----------------|--------------|--------------------------------------|
| | % C | %MN | %P | %S | %SI | %AL | %CU | Esfuerzo Máximo (Mpa) | Alargamiento % | Doblado 180° | |
| JIS G3131 SPHC | 0,08 0,13 | 0,3 0,6 | 0,02 max | 0,025 max | 0,05 max | 0,02 0,08 | 0,2 max | 270 min | 29 min | 0= Oe | SAE 1010 ASTM A-569 |
| SAE 1008 | 0,03 0,1 | 0,25 0,5 | 0,02 max | 0,025 max | 0,04 max | 0,02 0,08 | 0,2 max | | | | JIS G3132 SPHT1 |
| SAE 1012 | 0,1 0,15 | 0,3 0,6 | 0,02 max | 0,025 max | 0,03 max | 0,02 0,08 | 0,2 max | | | | ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33 |

Calidad Estructural

| NORMA | COMPOSICION QUIMICA | | | | | | | PROPIEDADES MECANICAS | | | | | NORMA EQUIVALENTE |
|------------------------|---------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|--------------|--------|---|
| | % C | %MN | %P | %S | %SI | %CU | OTROS | Fluencia (Mpa) | Esfuerzo Máximo (Mpa) | Alarga- miento % | Doblado 180° | | |
| ASTM A-588M GRADO A | 0,19 max | 0,8 1,25 | 0,04 max | 0,05 max | 0,3 0,6 | 0,25 0,40 | Ni Cr V | 0,15-0,35 0,40-0,65 0,02-0,10 | 345 min | 485 min | 18 min | | |
| ASTM A-283 GRADO C | 0,12 0,18 | 0,3 0,6 | 0,025 max | 0,03 max | 0,04 max | 0,2 max | | | 205 min | 380 516 max | 25 min | 0=1,5e | SAE 1015 |
| JIS G-3101 SS41 M | 0,17 0,23 | 0,3 0,6 | 0,025 max | 0,025 max | 0,04 max | 0,25 max | | | 250 min | 400 min 550 max | 21 min | | SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36 |
| A 36 | 0,25 0,29 | 0,80 1,2 | 0,04 max | 0,05 max | 0,4 max | 0,20 max | | | 250 min | 400 min 550 max | 20 min | | |

Anexo 2. - Temperatura de Cementación del acero ASTM A 36

ACERO ESTRUCTURAL

ACERO ASTM A36



1. **Descripción:** Acero al carbono estructural conocido como hierro negro, de calidad estructural para el uso en puentes y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas.

2. **Normas involucradas:** ASTM A 36/A 36M - 04

3. **Propiedades mecánicas:** Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 MPa (36300 PSI)
Esfuerzo a la tensión: 400 – 550 MPa (58000 – 79800 PSI)
Elongación mínima en 50 mm (2"): 23%
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

4. **Propiedades físicas:** Densidad 7.85 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. **Propiedades químicas:** 0.25–0.29%C
0.60– 1.20 % Mn
0.15– 0.40 % Si
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. **Usos:** Para componentes estructurales en general.

Tratamientos térmicos: Usualmente a este material no se le da tratamiento térmico debido a que son parte estructural. Puede ser cementado para aumentar la dureza superficial mientras mantiene su núcleo tenaz. La temperaturas de cementación 900-950°C, temple 880-910 °C y revenido 200°C

NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumpla el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

Anexo 3.- Características de plancha AISI 1045

BÖHLER V 945

Tipo de aleación: C 0.45 Si 0.25 Mn 0.65 %

Color de identificación: Blanco
Estado de suministro: Recocido 180 HB

Equivalencia
AISI: ~ 1045
DIN: C45
No. Mat. 1.1191

PROPIEDADES:

Acero al carbono de alta calidad, de mayores propiedades mecánicas que el acero de transmisión, puede mejorar sus propiedades mecánicas si es bonificado.

EMPLEO:

Para la fabricación de partes de maquinaria sometida a esfuerzos normales, como: árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, portamatrices.

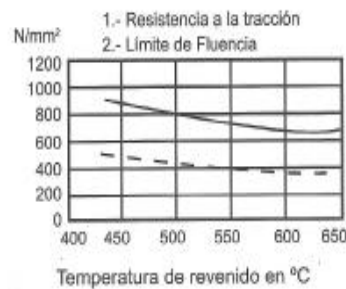
TRATAMIENTO TÉRMICO:

| | |
|--|---------------|
| Forjado: | 1100 - 850 °C |
| Recocido: | 650 - 700 °C |
| enfriamiento lento en el horno | |
| Normalizado: | 840 - 870 °C |
| Distensionado: | 500 °C |
| Temple: | 790 - 850 °C |
| enfriamiento en: agua, aceite (piezas pequeñas), sales | |
| Dureza obtenible: | 54 - 56 HRC |
| Revenido: ver en el diagrama de bonificación la resistencia requerida. | |
| Nitruración: en baño de sales | 580 °C |

PROPIEDADES MECÁNICAS

| Estado | Diámetro mm | Límite de fluencia N/mm ² | Resistencia a la tracción N/mm ² | Alargamiento (L ₀ =5d) mín % | Contracción mín. % |
|----------|-------------|--------------------------------------|---|---|--------------------|
| Recocido | 16 - 100 | 340 | 650 - 750 | 17 | 35 |
| | 100 - 250 | 330 | 600 - 700 | 18 | --- |

DIAGRAMA DE BONIFICACIÓN



Anexo 4.- Catálogo Dipac acero de Anti abrasiva

PLANCHA ANTI-ABRASIVA



Especificaciones Generales:

| | |
|---------------------|---|
| Calidad: | Plancha aleada |
| Dureza: | 400 HB y 500 HB |
| Espesores: | En 400 HB de 5mm a 20mm En 500 HB de 12mm a 25mm |
| Dimensiones: | 2000 x 6000 |

* Oxicrotes según medidas específicas (oxicrotes se realizarán de acuerdo a la disponibilidad del producto)

Descripción:

- Mayor resistencia a la corrosión que otros aceros al carbono.
- Disponible en presentación de Acero Negro, dureza 400HB y 500HB.
- Formato estándar de 2000 x 6000 mm.
- Útil para elementos de movimiento de tierra, minerales y materiales abrasivos tales como tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, etc.

Aplicaciones:

Para elementos de movimiento de tierra, minerales y materiales abrasivos tales como las tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, elementos de máquinas trituradoras, chancadoras y prensas de chatarra. También para construcciones soldadas que requieren alta resistencia y buena dureza a baja temperatura.

Para realizar trabajos de soldadura en la misma se recomienda utilizar procesos bajo en hidrogeno, los electrodos deben estar completamente secos, la plancha libre de grasa o aceites. Precalear a 150 - 200°, remover la escoria entre cada cordón de soldadura. Se recomienda electrodos UTP 6020 UTP65.

En caso de requerir corte por oxiacetileno no presenta dificultades, en espesores de hasta 25mm se debe precalear a 60°C y en caso de espesores mayores se debe precalear a 150°C.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (Max)

| DUREZA | C | Si | Mn | Cr | Ti | B |
|--------|------|------|-----|-----|------|-------|
| 400 HB | 0.26 | 0.55 | 1.6 | 0.4 | 0.02 | 0.004 |
| 500 HB | 0.36 | 0.55 | 1.6 | 0.8 | 0.02 | 0.004 |

PROPIEDADES MECÁNICAS (Max)

| | Resistencia Mecánica | Punto de Frecuencia |
|--------|----------------------|---------------------|
| DUREZA | N/mm2 | N/mm2 |
| 400 HB | 1316 | 1163 |
| 500 HB | 1449 | 1449 |

| DUREZA | ESPEORES (mm) |
|--------|--------------------|
| 400 HB | 5,6,10, 12, 19, 20 |
| 500 HB | 12, 25 |

Anexo 5.- Extracto de la norma para ensayo de dureza ASTM E 10-15



Designation: E10 – 15

American Association State Highway
and Transportation Officials Standard
AASHTO No.: T70–86

Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E10; 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.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials by the Brinell indentation hardness principle. This standard provides the requirements for a Brinell testing machine and the procedures for performing Brinell hardness tests.

1.2 This standard includes additional requirements in four annexes:

| | |
|---|----------|
| Verification of Brinell Hardness Testing Machines | Annex A1 |
| Brinell Hardness Standardizing Machines | Annex A2 |
| Standardization of Brinell Hardness Indenters | Annex A3 |
| Standardization of Brinell Hardness Test Blocks | Annex A4 |

1.3 This standard includes nonmandatory information in an appendix which relates to the Brinell hardness test:

| | |
|---|-------------|
| Table of Brinell Hardness Numbers | Appendix X1 |
| Examples of Procedures for Determining Brinell Hardness Uncertainty | Appendix X2 |

1.4 At the time the Brinell hardness test was developed, the force levels were specified in units of kilograms-force (kgf). Although this standard specifies the unit of force in the International System of Units (SI) as the Newton (N), because of the historical precedent and continued common usage of kgf units, force values in kgf units are provided for information and much of the discussion in this standard refers to forces in kgf units.

1.5 *This standard does not purport to address all of 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.*

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved May 1, 2015. Published June 2015. Originally approved in 1924. Last previous edition approved in 2014 as E10 – 14. DOI: 10.1520/E0010-15.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications

E74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines

E140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness

E384 Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials

2.2 *American Bearings Manufacturer Association Standard:*

ABMA 10-1989 Metal Balls³

2.3 *ISO Standards:*

ISO/IEC 17011 Conformity Assessment—General Requirements for Accreditation Bodies Accrediting Conformity Assessment Bodies⁴

ISO/IEC 17025 General Requirements for the Competence of Calibration and Testing⁴

3. Terminology and Equations

3.1 *Definitions:*

3.1.1 *calibration*—determination of the values of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.1.2 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American Bearing Manufacturers Association (ABMA), 2025 M Street, NW, Suite 800, Washington, DC 20036, <http://www.americanbearings.org>.

⁴ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States

3.1.3 *standardization*—to bring in conformance with a known standard through verification or calibration.

3.1.4 *Brinell hardness test*—an indentation hardness test using a verified machine to force an indenter (tungsten carbide ball with diameter D), under specified conditions, into the surface of the material under test. The diameter of the resulting indentation d is measured after removal of the force.

3.1.5 *Brinell hardness number*—a number, which is proportional to the quotient obtained by dividing the test force by the curved surface area of the indentation which is assumed to be spherical and of the diameter of the ball.

3.1.6 *Brinell hardness scale*—a designation that identifies the specific combination of ball diameter and applied force used to perform the Brinell hardness test.

3.1.7 *Brinell hardness testing machine*—a Brinell hardness machine used for general testing purposes.

3.1.8 *Brinell hardness standardizing machine*—a Brinell hardness machine used for the standardization of Brinell hardness test blocks. The standardizing machine differs from a regular Brinell hardness testing machine by having tighter tolerances on certain parameters.

3.1.9 *force-diameter ratio*—a number calculated as the ratio of the test force in kgf to the square of the indenter ball diameter in mm (see [Table 1](#)).

3.2 *Equations:*

3.2.1 The *Brinell hardness number* is calculated as:

$$HBW = \frac{2F_{kgf}}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

where:

- F_{kgf} = test force in kgf,
- D = diameter of the indenter ball in mm, and
- d = measured mean diameter of the indentation in mm (see [Table 1](#)).

3.2.2 The *repeatability R* in the performance of a Brinell hardness machine at each hardness level, under the particular verification conditions, is estimated by the range of diameter measurements of n indentations made on a standardized test block as part of a performance verification, defined as:

$$R = d_{max} - d_{min} \quad (2)$$

where:

- d_{max} = mean diameter of the largest measured indentation, and
- d_{min} = mean diameter of the smallest measured indentation.

3.2.3 The *average \bar{H}* of a set of n Brinell hardness measurement values H_1, H_2, \dots, H_n is calculated as:

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (3)$$

3.2.4 The *error E* in the performance of a Brinell hardness machine at each hardness level is determined as:

$$E = \bar{H} - H_{STD} \quad (4)$$

where:

- \bar{H} (Eq 3) = average of n hardness tests H_1, H_2, \dots, H_n made on a standardized test block as part of a performance verification, and
- H_{STD} = certified average hardness value of the standardized test block.

3.2.5 The *mean diameter of an indentation d* is calculated as:

$$d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} \quad (5)$$

Where:

- d_1, d_2, \dots, d_n = measured indentation diameters in mm, and
- n = the number of diameter measurements.

3.2.6 The *average mean diameter \bar{d}* of a set of indentations is calculated as:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{N} \quad (6)$$

where:

- d_1, d_2, \dots, d_n = mean indentation diameters in mm, and
- N = number of indentations (see [Annex A4](#)).

4. Significance and Use

4.1 The Brinell hardness test is an indentation hardness test that can provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear

TABLE 1 Symbols and Designations

| Symbol | Designation |
|----------------------|---|
| D | Diameter of the ball, mm |
| F | Test force, N |
| F_{kgf} | Test force, kgf |
| | $F_{kgf} = \frac{1}{g_n} \times F$ |
| | where g_n is the acceleration due to gravity, $g_n = 9.80665$ kgf/N |
| d | Mean diameter of the indentation, mm |
| | $d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$ |
| | where $d_1 + d_2 + \dots + d_n$ are the measured indentation diameters in mm, and n is the number of diameter measurements. |
| h | Depth of the indentation, mm |
| | $h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$ |
| Force-Diameter ratio | $= \frac{F_{kgf}}{D^2}$ |
| HBW | Brinell hardness |
| | $= \frac{\text{Test Force}}{\text{Surface area of indentation}}$ |
| | $= \frac{2F_{kgf}}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ |

resistance, ductility, or other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials.

4.2 Brinell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and have been used extensively in industry for this purpose.

4.3 Brinell hardness testing at a specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product.

5. Principles of Test and Apparatus

5.1 *Brinell Hardness Test Principle*—The general principle of the Brinell indentation hardness test consists of two steps (see Fig. 1).

5.1.1 *Step 1*—The indenter is brought into contact with the test specimen in a direction perpendicular to the surface, and the test force *F* is applied. The test force is held for a specified dwell time and then removed.

5.1.2 *Step 2*—The diameter of the indentation is measured in at least two directions perpendicular to each other. The Brinell hardness value is derived from the mean of the diameter measurements.

5.2 *Brinell Testing Machine*—Equipment for Brinell hardness testing usually consists of a testing machine, which supports the test specimen and applies an indenting force to a ball in contact with the specimen, and a system for measuring the mean diameter of the indentation in accordance with the Brinell hardness test principle. The design of the testing machine shall be such that no rocking or lateral movement of the indenter or specimen occurs while the force is being applied. The design of the testing machine shall ensure that the force to the indenter is applied smoothly and without impact forces. Precautions shall be taken to prevent a momentary high test force caused by the inertia of the system, hydraulic system overshoot, etc.

5.2.1 See the Equipment Manufacturer’s Instruction Manual for a description of the machine’s characteristics, limitations, and respective operating procedures.

5.2.2 *Anvils*—An anvil, or specimen support, should be used that is suitable for the specimen to be tested. The seating and supporting surfaces of all anvils should be clean and free of foreign material. Typically, anvils need only be replaced if they fail to support the test surface perpendicular to the indenter, or they are deemed unsafe.

5.2.3 *Indenters*—Indenters for the Brinell hardness test shall be tungsten carbide balls of four allowed diameters (1, 2.5, 5 and 10 mm). Indenters shall meet the requirements defined in Annex A3.

5.2.4 Oil, dirt, or other foreign materials shall not be allowed to accumulate on the indenter, as this will affect the test results.

5.2.5 *Measurement Device*—The measurement device used for the measurement of the diameter of Brinell indentations may be an integral part of the hardness machine or a separate stand-alone instrument. The allowable measurement devices are classified into two types. The Type A device includes microscopes having movable measuring lines with some type of indicator or computerized measuring system, or an image analysis system. The Type B device is a hand-held microscope (usually 20× or 40×) with fixed measuring lines.

5.2.5.1 *Type A Device*—The acceptable minimum resolution for a Type A device shall be as given in Table 2.

5.2.5.2 *Type B Device*—The acceptable maximum spacing between the graduated lines of Type B devices shall be as given in Table 2. Type B devices shall not be used for measuring indentations made with 2.5 mm and 1 mm ball indenters.

5.3 *Verification*—Brinell testing machines and indentation measurement devices shall be verified periodically in accordance with Annex A1.

5.4 *Test Blocks*—Test blocks meeting the requirements of Annex A4 shall be used to verify the testing machine in accordance with Annex A1.

5.5 *Brinell Hardness Scales*—The combinations of indenters and test forces define the Brinell hardness scales. The standard Brinell hardness scales and test forces are given in Table 3, corresponding to force-diameter ratios (see Table 1) of 1, 1.25, 2.5, 5, 10 and 30. Brinell hardness values should be determined and reported in accordance with one of these standard scales. Other scales using non-standard test forces may be used by special agreement. Examples of other scales and the corresponding force-diameter ratio (in parentheses) are HBW 10/750 (7.5), HBW 10/2000 (20), HBW 10/2500 (25), HBW 5/187.5 (7.5), and HBW 5/500 (20).

5.6 *Calculation of the Brinell Hardness Number*—The Brinell hardness number shall be calculated from the mean diameter *d* of the indentation using Eq 1 or from the values given in Appendix X1.

5.6.1 Brinell hardness values shall not be designated by a number alone because it is necessary to indicate which indenter and which force has been employed in making the test (see

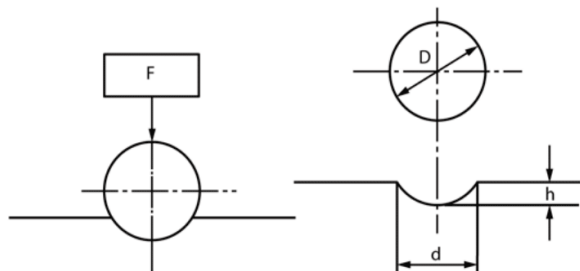


FIG. 1 Principle of Test

TABLE 2 Resolution and Graduation Spacing of Indentation Measuring Devices

| Ball Diameter mm | Type A | Type B |
|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| | Minimum Indicator Resolution mm | Maximum Graduation Spacing mm |
| 10 | 0.0100 | 0.100 |
| 5 | 0.0050 | 0.050 |
| 2.5 | 0.0025 | — |
| 1 | 0.0010 | — |

Anexo 6.- Norma para ensayo de desgaste abrasivo ASTM G-65



Designation: G 65 – 00^{ε1}

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 reappraisal. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

^{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 mm = 6.102 × 10⁻³ in³.

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 mm³.

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.

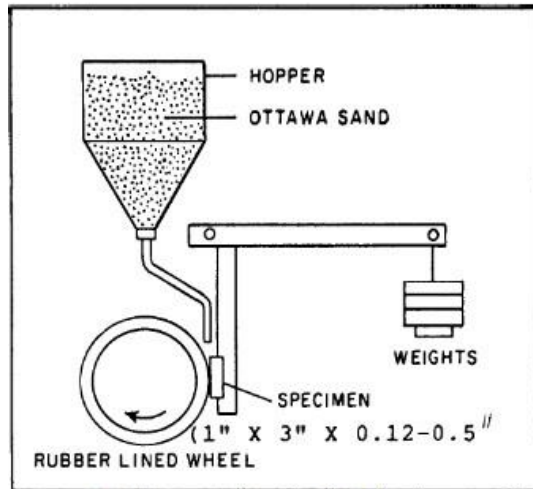


FIG. 1 Schematic Diagram of Test Apparatus

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

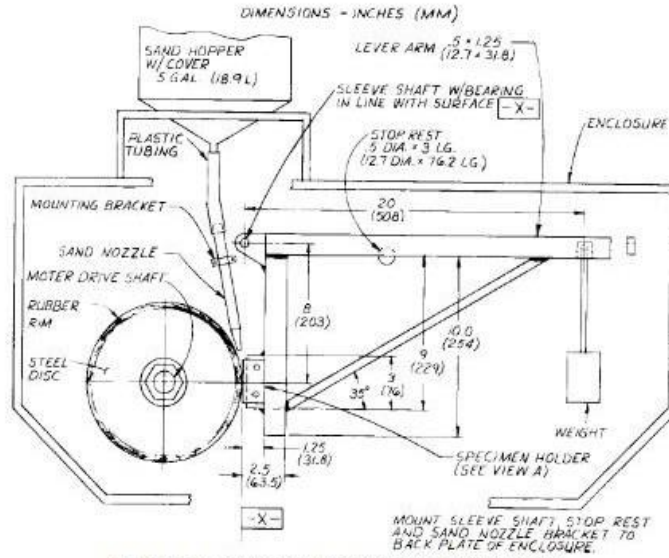
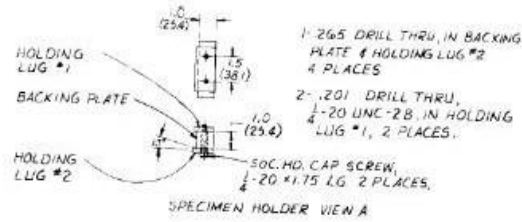


FIG. 2 Dry Sand/Rubber Wheel Abrasion Test Apparatus

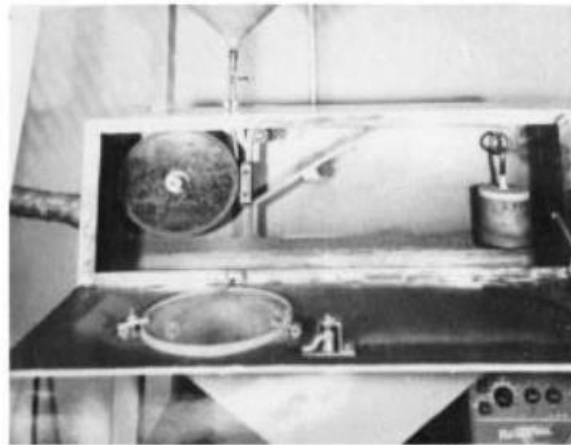


FIG. 3 Wheel and Lever Arm

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

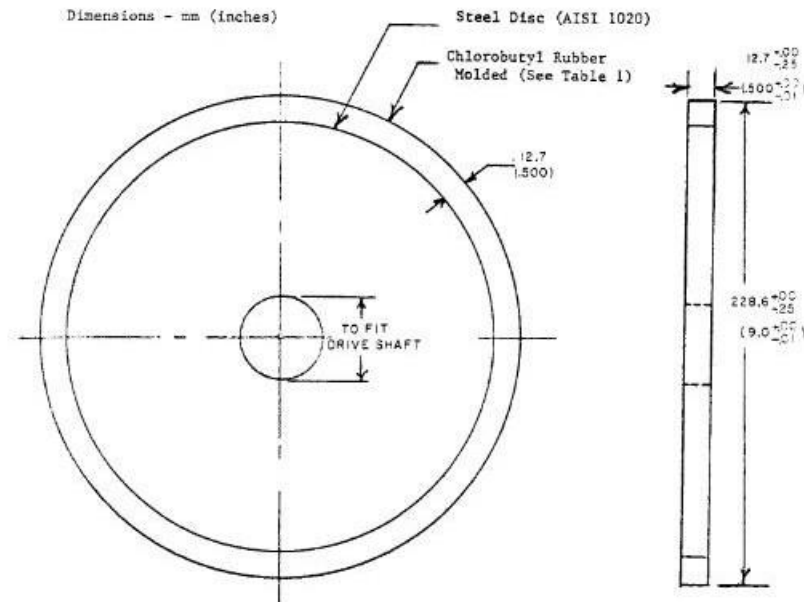


FIG. 5 Rubber Wheel

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.

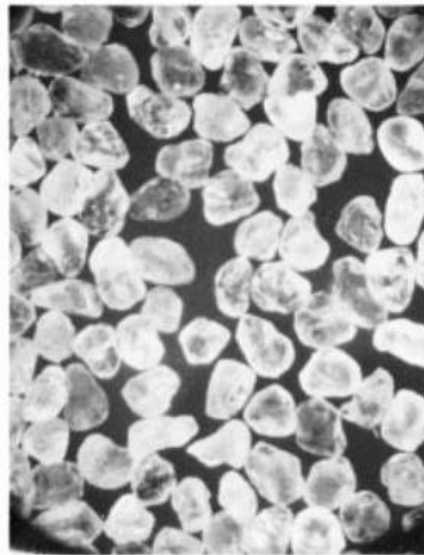


FIG. 6 25X Magnification AFS 50/70 Test Sand Ottawa Silica Co.

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, electroplated, 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 $\mu\text{in.}$) 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

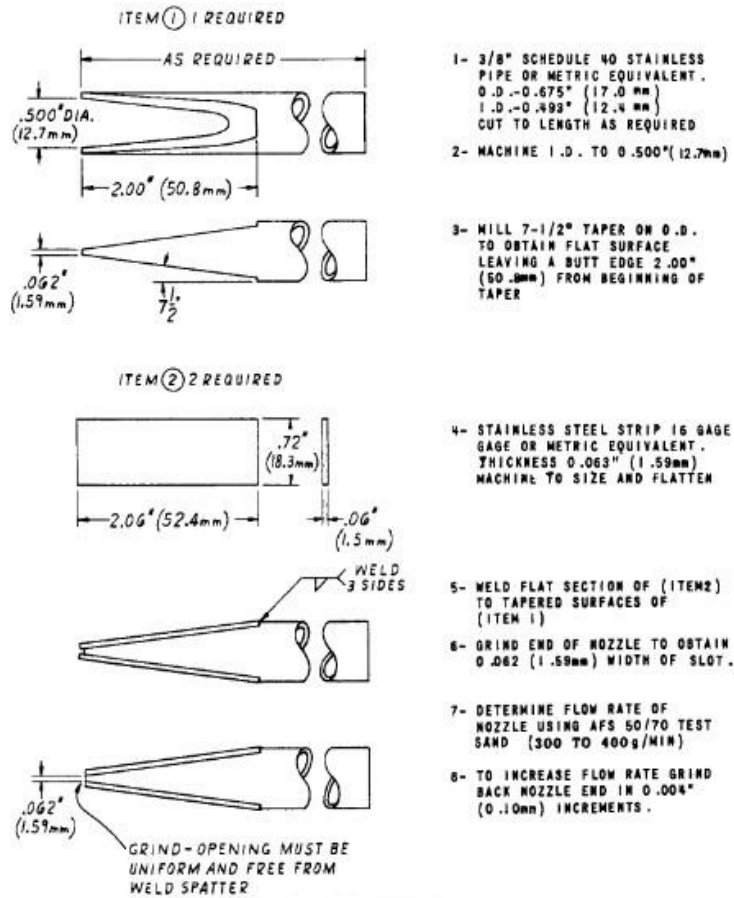


FIG. 7 Sand Nozzle

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

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.

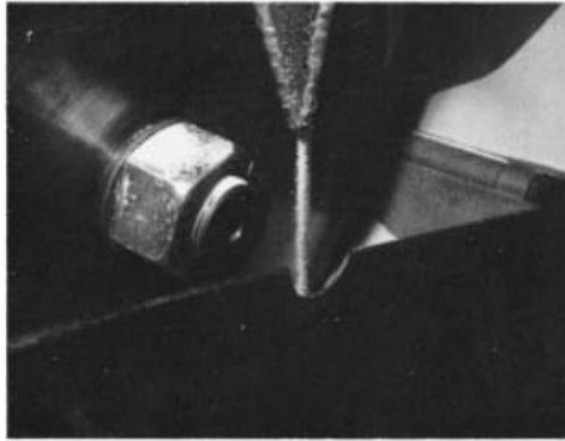


FIG. 9 Sand Flow—Streamlined

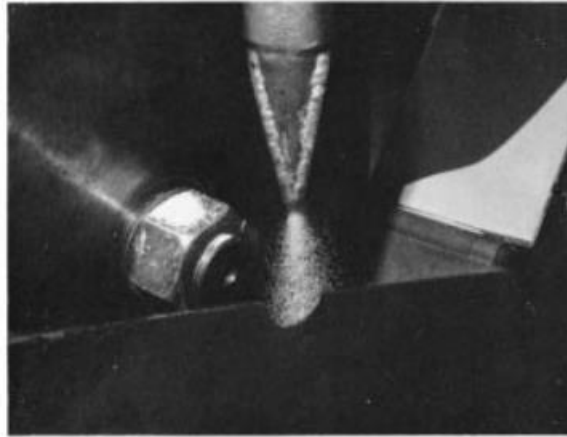


FIG. 10 Sand Flow—Turbulence

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

^a 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

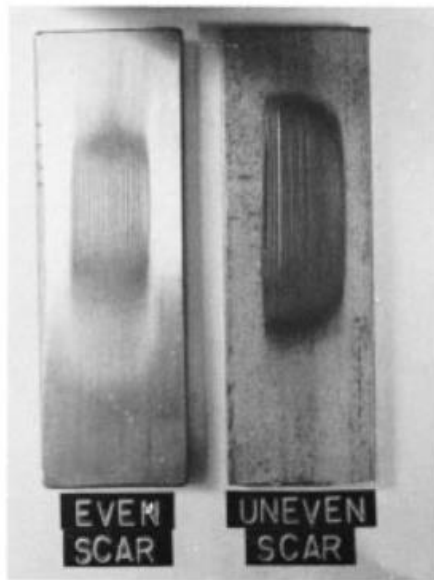


FIG. 11 Typical Wear Scars Uneven and Nonuniform Wear Scars Indicate Improper Alignment or Wear of Rubber Wheel

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.

ASTM G 65

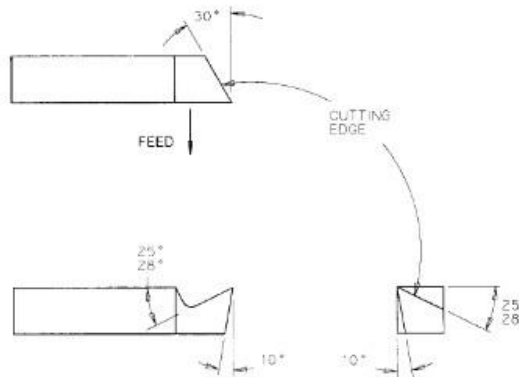


FIG. 12 Typical Wheel Dressing Tool

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)

XI. SOME STATISTICAL CONSIDERATIONS IN ABRASION TESTING

XI.1 Background

XI.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, $(\hat{x}_j - \bar{x})$
- $S_{\hat{x}}$ = $\sqrt{\frac{\sum(d^2)/p - 1}{p - 1}}$
- S_L = $\sqrt{(S_i^2) - (S_r^2)}$; $S_L = 0$ if the quantity under the root sign is negative.
- S_R = $\sqrt{(S_i^2) + (S_L^2)}$, 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 \hat{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.³

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

Anexo 7.- Reporte de ensayo de cementación y nitruración

| <p style="text-align: center;">voestalpine High Performance Metals del Ecuador S.A.</p> <p>Dir. Matriz: De las Avellanás E1-112 y Panamericana Norte, Km. 5 1/2 - Quito (Ecuador) - Quito (Ecuador)</p> <p>Dir. Sucursal: De las Avellanás E1-112 y Panamericana Norte, Km. 5 1/2 - Quito (Ecuador)</p> <p>OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI</p> | <p>R.U.C.: 1791304667001</p> <p style="text-align: center;">GUÍA DE REMISIÓN</p> <p style="text-align: center;">No. 001-004-000002029</p> <p>ESTADO SRI: AUTORIZADO</p> <p>NÚMERO DE AUTORIZACIÓN: 0409201906179130466700120010040000020291791304615</p> <p>FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN: 04/09/2019 09:30:05</p> <p>AMBIENTE: PRODUCCIÓN</p> <p>CLAVE DE ACCESO: 0409201906179130466700120010040000020291791304615</p>  | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|------|-----------------------------------|-------------------|----|------|----------------------|-----------------|----|
| <p>CEDULA (Transportista): 1714060413</p> <p>Razón Social / Nombres y Apellidos: CAICEDO ALMEIDA CARLOS FRANCISCO</p> <p>Placa: POR CONFIRMAR</p> <p>Punto de Partida: DE LAS AVELLENAS E1-112 Y PANAMERICANA NORTE KM 5 1/2</p> <p>Fecha inicio Transporte: 04/09/2019 Fecha fin Transporte: 04/09/2019</p> | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Comprobante de Venta: FACTURA 001-001-59178766.1 Fecha de Emisión: 04/09/2019</p> <p>Número de Autorización:</p> <p>Motivo Traslado: SERVICIO DE TRATAMIENTO TERMICO</p> <p>Destino (Punto de Llegada): TISALEO ALABAMBA AMBATO</p> <p>RUC / CI (Destinatario): 1804791497</p> <p>Razón Social / Nombres y Apellidos: CAPUS SOLANO EDISSON STALIN</p> <p>Documento Aduanero: 001</p> <p>Código Establecimiento Destino: voestalpine QUITO - TRANSPORTES LOS ANDES</p> <p>Ruta:</p> | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Cantidad</th> <th style="width: 60%;">Descripción</th> <th style="width: 15%;">Código Principal</th> <th style="width: 15%;">Código Auxiliar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1.50</td> <td>SERV BOHLER CEMENTACION 0.7-1.0mm</td> <td>57CEMENTA 0.7-1.0</td> <td>KG</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1.50</td> <td>NITRURACION PROFUNDA</td> <td>57NITRUPROFUNDA</td> <td>KG</td> </tr> </tbody> </table> | | Cantidad | Descripción | Código Principal | Código Auxiliar | 1.50 | SERV BOHLER CEMENTACION 0.7-1.0mm | 57CEMENTA 0.7-1.0 | KG | 1.50 | NITRURACION PROFUNDA | 57NITRUPROFUNDA | KG |
| Cantidad | Descripción | Código Principal | Código Auxiliar | | | | | | | | | | |
| 1.50 | SERV BOHLER CEMENTACION 0.7-1.0mm | 57CEMENTA 0.7-1.0 | KG | | | | | | | | | | |
| 1.50 | NITRURACION PROFUNDA | 57NITRUPROFUNDA | KG | | | | | | | | | | |
| <p>Información Adicional</p> <p>DIRECCION DE RETIRO: OFICINAS TRANSPORTES LOS ANDES "AMBATO"</p> <p>TEL.FONO: 0984840547</p> | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="color: purple; font-weight: bold;">04 SET. 2019</p> <p style="color: purple; font-weight: bold;">ENTREGADO POR</p> | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="color: purple; font-weight: bold;">EL PRODUCTO QUE SE ENVÍE POR TRANSPORTES QUE NO PERTENECEN A LA ORGANIZACIÓN VIAJA POR CUENTA Y RIESGO DEL COMPRADOR</p> | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Página 1 de 1</p> | | | | | | | | | | | | | |

Anexo 8.- Reporte de los ensayos de dureza



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

LABORATORIO DE ANÁLISIS METALGRÁFICO ENSAYO DE DUREZA BRINELL

INFORME DE RESULTADOS N°: 180479149720190909-EDB

DATOS GENERALES

N° de proforma: AM_2019_023
Empresa / Cliente: Edison Stalin Capus Solona.
RUC/C.I.: 1804791497 **Ciudad:** Ambato.
Dirección: Panamericana Sur Km 7 ½, Parroquia Huachi Grande
E-mail: edissoncvb@gmail.com. **Teléfono:** 0984840547.
DATOS DEL ENSAYO
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis Metalográfico.
Dirección: Ambato/Catiglatá. Río de Janeiro y Toronto.
Método de ensayo: ASTM E10: Método de prueba estándar de dureza Brinell para materiales metálicos.
Equipo utilizado: Durómetro ERNST. **Modelo:** NR3 DR. **Serie:** 4651.
Tipo de ensayo: Cuantitativo. **Tiempo de duración de la fuerza:** 10 s.
Última verificación de máquina: RG-AM-003.
Patrón utilizado: PR3. AlMgSiO-10mm 95,4 HB/30 ± 5.
Verificación de la máquina por medio de patrón: 96 HB/30 (ACEPTABLE).
Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/09/11. **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2019/09/11.
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de **Materiales Metálicos: ASTM A36 y AISI 1045**. La recepción de las muestras se efectuó en el Laboratorio de Análisis Metalográfico del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas.

| N° | Identificación del grupo | Material | Característica | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|-----------|----------------|--------------------|
| 1 | 180479149720190909-EDB 01 | A36 | Nitrurada | 1 |
| 2 | 180479149720190909-EDB 02 | AISI 1045 | Nitrurada | 1 |
| 3 | 180479149720190909-EDB 03 | A36 | Cementada | 1 |
| 4 | 180479149720190909-EDB 04 | AISI 1045 | Cementada | 1 |
| Total | | | | 4 |

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.

| | |
|---|---|
| | |
| Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Aprobado por: Ing. Estebán López Espinel MEng Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |

Lugar y fecha de emisión de Informe: Ambato, 11 de septiembre de 2019.
N°. Factura: 001-002-000007812

Código: RG-AM-004
 Fecha de Elaboración: 12-08-2017
 Fecha de última aprobación: 06-06-2018
 Revisión: 2

INFORME DE ENSAYO DE DUREZA BRINELL

Página 1 de 3



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dureza BRINELL | |
|---------|---------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|--------|
| 1 | 180479149720190909-EDB 01 | 23,2 | 50,4 | Medición 1 | 155 |
| | | | | Medición 2 | 148 |
| | | | | Medición 3 | 147 |
| | | | | Medición 4 | 155 |
| | | | | Medición 5 | 150 |
| | | | | Promedio \bar{x} | 151,00 |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | 3,81 |
| | | | | Coefficiente de variación CV | 2,52 |

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dureza BRINELL | |
|---------|---------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|--------|
| 2 | 180479149720190909-EDB 02 | 22,2 | 52,3 | Medición 1 | 184 |
| | | | | Medición 2 | 174 |
| | | | | Medición 3 | 174 |
| | | | | Medición 4 | 177 |
| | | | | Medición 5 | 181 |
| | | | | Promedio \bar{x} | 178,00 |
| | | | | Desviación estándar S_{n-1} | 4,42 |
| | | | | Coefficiente de variación CV | 2,48 |

Código: RG-AM-004
Fecha de Elaboración: 12-08-2017
Fecha de última aprobación: 06-06-2018
Revisión: 2

INFORME DE ENSAYO DE DUREZA BRINELL

Página 2 de 3



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocer



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dureza BRINELL |
|-------------------------------|---------------------------|------------------|----------------------|----------------|
| 3 | 180479149720190909-EDB 03 | 21,6 | 53,7 | Medición 1 |
| | | | | 492 |
| | | | | Medición 2 |
| | | | | 501 |
| | | | | Medición 3 |
| 472 | | | | |
| Medición 4 | | | | |
| 484 | | | | |
| Medición 5 | | | | |
| 473 | | | | |
| Promedio \bar{x} | | | | |
| 484,40 | | | | |
| Desviación estándar S_{n-1} | | | | |
| 12,42 | | | | |
| Coefficiente de variación CV | | | | |
| 2,56 | | | | |

| Probeta | Identificación de probeta | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dureza BRINELL |
|-------------------------------|---------------------------|------------------|----------------------|----------------|
| 4 | 180479149720190909-EDB 04 | 21,5 | 54,2 | Medición 1 |
| | | | | 579 |
| | | | | Medición 2 |
| | | | | 556 |
| | | | | Medición 3 |
| 568 | | | | |
| Medición 4 | | | | |
| 565 | | | | |
| Medición 5 | | | | |
| 574 | | | | |
| Promedio \bar{x} | | | | |
| 568,40 | | | | |
| Desviación estándar S_{n-1} | | | | |
| 8,79 | | | | |
| Coefficiente de variación CV | | | | |
| 1,55 | | | | |

Observaciones del ensayo: Ninguna

Código: RG-AM-004
Fecha de Elaboración: 12-08-2017
Fecha de última aprobación: 06-06-2018
Revisión: 2

INFORME DE ENSAYO DE DUREZA BRINELL

Página 3 de 3



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

| | |
|---|------------------------------|
| Informe N°: 180479149720190909-EDB | |
| DATOS DEL CLIENTE | |
| Empresa / Cliente: Edison Stalin Capus Solona. | |
| Dirección: Panamericana Sur Km 7 ½, Parroquia Huachi Grande, Ambato. | |
| Núm. de cédula / RUC: 1804791497 | Teléfono: 0984840547. |
| E-mail: edissoncvb@gmail.com | |

| |
|---|
| DATOS INFORMATIVOS |
| Laboratorio: Análisis Metalográfico |
| Designación del material: Materiales Metálicos: ASTM A36 y AISI 1045. |
| Método de ensayo: ASTM E10: Método de prueba estándar de dureza Brinell para materiales metálicos. |

Número de Probetas cuantificadas:

| N° | Identificación del grupo | Material | Característica | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|-----------|----------------|--------------------|
| 1 | 180479149720190909-EDB 01 | A36 | Nitrurada | 1 |
| 2 | 180479149720190909-EDB 02 | AISI 1045 | Nitrurada | 1 |
| 3 | 180479149720190909-EDB 03 | A36 | Cementada | 1 |
| 4 | 180479149720190909-EDB 04 | AISI 1045 | Cementada | 1 |
| Total | | | | 4 |

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



| ENSAYO SOLICITADO | | | |
|-------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------|
| No. | No. DE PROBETA | DESCRIPCIÓN | FECHA RECEPCIÓN |
| 1 | 180479149720190909-EDB 01 | Cumple criterios dimensionales | 2019/09/09 |
| 2 | 180479149720190909-EDB 02 | Cumple criterios dimensionales | 2019/09/09 |
| 3 | 180479149720190909-EDB 03 | Cumple criterios dimensionales | 2019/09/09 |
| 4 | 180479149720190909-EDB 04 | Cumple criterios dimensionales | 2019/09/09 |

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

| | |
|---|--|
|  |  |
| Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| Cliente |  |



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



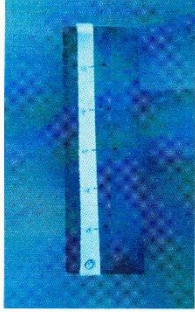
Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

| |
|---|
| Informe N°: 180479149720190909-EDB |
| DATOS DEL CLIENTE |
| Empresa / Cliente: Edisson Stalin Capus Solona. |
| Dirección: Panamericana Sur Km 7 1/2, Parroquia Huachi Grande, Ambato. |
| Núm. de cédula / RUC: 1804791497 |
| E-mail: edissoncvb@gmail.com |
| Teléfono: 0984840547. |

DATOS INFORMATIVOS

| |
|--|
| Laboratorio: Análisis Metalográfico |
| Designación del material: Materiales Metálicos Acero A36 y AISI 1045 |
| Método de ensayo: ASTM E10: Método de prueba estándar de dureza Brinell para materiales metálicos. |

| N° | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES | EVIDENCIAS |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-------------|-----------------------|--|
| 1 | 180479149720190909-EDB 01 | 2019/09/09 | 2019/09/12 | Cliente | Se entrega al cliente |  |

Código: EG-AM-009
Fecha de Elaboración: 22-05-2018
Fecha de última aprobación: 22-05-2018
Revisión: 1

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 1 de 3



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Cairoero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

| N° | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES | EVIDENCIAS |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-------------|-----------------------|------------|
| 2 | 180479149720190909-EDB 02 | 2019/09/09 | 2019/09/12 | Cliente | Se entrega al cliente | |
| 3 | 180479149720190909-EDB 03 | 2019/09/09 | 2019/09/12 | Cliente | Se entrega al cliente | |
| 4 | 180479149720190909-EDB 04 | 2019/09/09 | 2019/09/12 | Cliente | Se entrega al cliente | |

Código: RG-AM-009
Fecha de Elaboración: 22-05-2018
Fecha de última aprobación: 22-05-2018
Revisión: 1

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 2 de 3



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Todas las muestras por acuerdo son entregadas al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

| | |
|--|---|
| | |
| Elaborado por: Ing. Fernando Tíban R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| Cliente | |

Código: RG-AM-009
Fecha de Elaboración: 22-05-2018
Fecha de última aprobación: 22-05-2018
Revisión: 1

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 3 de 3

Anexo 9.- Ensayo de dureza d de acero antiabrasión

Universidad Tecnica de Ambato

Ensayos de dureza Brinell

Datos Generales

Nombre: Edison Capus

Telf: 0984840547

Direccion: Ambato

Fecha: 5 /11/2019

Datos de Especificos

Ensayo de dureza brinell Norma ASTM E10-15

Dimensiones de probeta:

L: 60mm A:25 mm E:6mm

| Cucharon | Dureza HB |
|----------|-----------|
| 1 | 450 |
| 2 | 451 |
| 3 | 452 |

Observaciones.....



Ing.: Gustavo Pomaquero

TECNICO LABORATORISTA



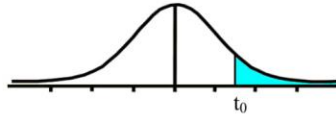
Ing. Sebastián Villegas

JEFE DE LABORATORIO



Anexo 10.- Tabla Tstudent

Tabla t-Student



| Grados de libertad | 0.25 | 0.1 | 0.05 | 0.025 | 0.01 | 0.005 |
|--------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 1.0000 | 3.0777 | 6.3137 | 12.7062 | 31.8210 | 63.6559 |
| 2 | 0.8165 | 1.8856 | 2.9200 | 4.3027 | 6.9645 | 9.9250 |
| 3 | 0.7649 | 1.6377 | 2.3534 | 3.1824 | 4.5407 | 5.8408 |
| 4 | 0.7407 | 1.5332 | 2.1318 | 2.7765 | 3.7469 | 4.6041 |
| 5 | 0.7267 | 1.4759 | 2.0150 | 2.5706 | 3.3649 | 4.0321 |
| 6 | 0.7176 | 1.4398 | 1.9432 | 2.4469 | 3.1427 | 3.7074 |
| 7 | 0.7111 | 1.4149 | 1.8946 | 2.3646 | 2.9979 | 3.4995 |
| 8 | 0.7064 | 1.3968 | 1.8595 | 2.3060 | 2.8965 | 3.3554 |
| 9 | 0.7027 | 1.3830 | 1.8331 | 2.2622 | 2.8214 | 3.2498 |
| 10 | 0.6998 | 1.3722 | 1.8125 | 2.2281 | 2.7638 | 3.1693 |
| 11 | 0.6974 | 1.3634 | 1.7959 | 2.2010 | 2.7181 | 3.1058 |
| 12 | 0.6955 | 1.3562 | 1.7823 | 2.1788 | 2.6810 | 3.0545 |
| 13 | 0.6938 | 1.3502 | 1.7709 | 2.1604 | 2.6503 | 3.0123 |
| 14 | 0.6924 | 1.3450 | 1.7613 | 2.1448 | 2.6245 | 2.9768 |
| 15 | 0.6912 | 1.3406 | 1.7531 | 2.1315 | 2.6025 | 2.9467 |
| 16 | 0.6901 | 1.3368 | 1.7459 | 2.1199 | 2.5835 | 2.9208 |
| 17 | 0.6892 | 1.3334 | 1.7396 | 2.1098 | 2.5669 | 2.8982 |
| 18 | 0.6884 | 1.3304 | 1.7341 | 2.1009 | 2.5524 | 2.8784 |
| 19 | 0.6876 | 1.3277 | 1.7291 | 2.0930 | 2.5395 | 2.8609 |
| 20 | 0.6870 | 1.3253 | 1.7247 | 2.0860 | 2.5280 | 2.8453 |
| 21 | 0.6864 | 1.3232 | 1.7207 | 2.0796 | 2.5176 | 2.8314 |
| 22 | 0.6858 | 1.3212 | 1.7171 | 2.0739 | 2.5083 | 2.8188 |
| 23 | 0.6853 | 1.3195 | 1.7139 | 2.0687 | 2.4999 | 2.8073 |
| 24 | 0.6848 | 1.3178 | 1.7109 | 2.0639 | 2.4922 | 2.7970 |
| 25 | 0.6844 | 1.3163 | 1.7081 | 2.0595 | 2.4851 | 2.7874 |
| 26 | 0.6840 | 1.3150 | 1.7056 | 2.0555 | 2.4786 | 2.7787 |
| 27 | 0.6837 | 1.3137 | 1.7033 | 2.0518 | 2.4727 | 2.7707 |
| 28 | 0.6834 | 1.3125 | 1.7011 | 2.0484 | 2.4671 | 2.7633 |
| 29 | 0.6830 | 1.3114 | 1.6991 | 2.0452 | 2.4620 | 2.7564 |
| 30 | 0.6828 | 1.3104 | 1.6973 | 2.0423 | 2.4573 | 2.7500 |
| 31 | 0.6825 | 1.3095 | 1.6955 | 2.0395 | 2.4528 | 2.7440 |
| 32 | 0.6822 | 1.3086 | 1.6939 | 2.0369 | 2.4487 | 2.7385 |
| 33 | 0.6820 | 1.3077 | 1.6924 | 2.0345 | 2.4448 | 2.7333 |
| 34 | 0.6818 | 1.3070 | 1.6909 | 2.0322 | 2.4411 | 2.7284 |
| 35 | 0.6816 | 1.3062 | 1.6896 | 2.0301 | 2.4377 | 2.7238 |
| 36 | 0.6814 | 1.3055 | 1.6883 | 2.0281 | 2.4345 | 2.7195 |
| 37 | 0.6812 | 1.3049 | 1.6871 | 2.0262 | 2.4314 | 2.7154 |
| 38 | 0.6810 | 1.3042 | 1.6860 | 2.0244 | 2.4286 | 2.7116 |
| 39 | 0.6808 | 1.3036 | 1.6849 | 2.0227 | 2.4258 | 2.7079 |
| 40 | 0.6807 | 1.3031 | 1.6839 | 2.0211 | 2.4233 | 2.7045 |
| 41 | 0.6805 | 1.3025 | 1.6829 | 2.0195 | 2.4208 | 2.7012 |
| 42 | 0.6804 | 1.3020 | 1.6820 | 2.0181 | 2.4185 | 2.6981 |
| 43 | 0.6802 | 1.3016 | 1.6811 | 2.0167 | 2.4163 | 2.6951 |
| 44 | 0.6801 | 1.3011 | 1.6802 | 2.0154 | 2.4141 | 2.6923 |
| 45 | 0.6800 | 1.3007 | 1.6794 | 2.0141 | 2.4121 | 2.6896 |
| 46 | 0.6799 | 1.3002 | 1.6787 | 2.0129 | 2.4102 | 2.6870 |
| 47 | 0.6797 | 1.2998 | 1.6779 | 2.0117 | 2.4083 | 2.6846 |
| 48 | 0.6796 | 1.2994 | 1.6772 | 2.0106 | 2.4066 | 2.6822 |
| 49 | 0.6795 | 1.2991 | 1.6766 | 2.0096 | 2.4049 | 2.6800 |