



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 REVESTIMIENTOS DUROS APLICADOS POR PROCESO
SMAW SOBRE ACERO AL CARBONO A36 Y SU INCIDENCIA EN EL
DESGASTE ABRASIVO EVALUADO BAJO LA NORMA ASTM G-65”

AUTOR: Milton Andrés Bautista Romero

TUTOR: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

AMBATO – ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS DUROS APLICADOS POR PROCESO SMAW SOBRE ACERO AL CARBONO A36 Y SU INCIDENCIA EN EL DESGASTE ABRASIVO EVALUADO BAJO LA NORMA ASTM G-65”, elaborado por el Sr. Milton Andrés Bautista Romero, portador de la cedula de ciudadanía: 0503886483, 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.

.....
Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Milton Andrés Bautista Romero, con C.I # 050388648-3 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 REVESTIMIENTOS DUROS APLICADOS POR PROCESO SMAW SOBRE ACERO AL CARBONO A36 Y SU INCIDENCIA EN EL DESGASTE ABRASIVO EVALUADO BAJO LA NORMA ASTM G-65”, es exclusivamente autentico personales y son absoluta responsabilidad del autor, a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentra citadas en el trabajo de investigación.

Ambato, enero 2018

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 de 2018

.....

Milton Andrés Bautista Romero

C.I 0503886483

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Milton Andrés Bautista Romero, de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS DUROS APLICADOS POR PROCESO SMAW SOBRE ACERO AL CARBONO A36 Y SU INCIDENCIA EN EL DESGASTE ABRASIVO EVALUADO BAJO LA NORMA ASTM G-65”.

Ambato, marzo del 2018

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg Diego Núñez

.....

Ing. Mg Cristian Pérez

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis papás Edmundo Bautista y Carmita Romero porque me han brindado bendiciones y sabiduría para salir adelante en cada etapa de mi vida.

A mi hermana Nicole quien ha sido mi compañera y amiga que siempre me brindó su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos a lo largo de mi vida.

A mis primos, tíos, abuelos y amigos que siempre me apoyaron con sus consejos y palabras de aliento para seguir adelante.

A mi abuelita Hipatia quien fue como mi segunda madre y desde cielo siempre me envió bendiciones para cumplir con mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por todas sus bendiciones, a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato por haberme formado académicamente con docentes que guiaron mis pasos para formarme como profesional y como persona.

A mi tutor Ing. Mg. Henry Vaca por su guía y apoyo en la elaboración de la investigación.

A mis papas por su apoyo incondicional en mi etapa estudiantil.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO.....	III
DERECHOS DEL AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
TABLA DE CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FICHAS TÉCNICAS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO	XIV
EXECUTIVE SUMMARY.....	XIV
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 Tema del proyecto experimental.....	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General:.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos:	3
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN	4
2.2 Fundamentación Teórica	4
2.2.1 Acero ASTM A36	4
2.2.2 Revestimientos Duros.....	5
2.2.3 Electrodos.....	6
2.2.3.1 Electrodos INDURA de revestimiento duro.....	8
2.2.4 Desgaste	9
2.2.4.1 Tipos de desgaste	9
2.2.4.2 Desgaste Abrasivo.....	11
2.2.4.3 Clasificación del Desgaste Abrasivo.....	12
2.2.5 Proceso de soldadura SMAW	13
2.2.6 Ensayos.....	15

2.2.6.1	Ensayo abrasivo	15
2.2.6.2	Ensayo de dureza	16
2.2.7	Microestructura resistente al desgaste	17
2.2.7.1	Martensita	17
2.2.7.2	Carburos de cromo	18
2.2.7.3	Austenita	19
2.3	Hipótesis	20
2.4	Señalamiento de variables de la hipótesis	20
2.4.1	Variable independiente	20
2.4.2	Variable dependiente	20
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		21
3.1	Nivel o tipo de investigación	21
3.1.1	Descriptiva	21
3.1.2	Exploratoria	21
3.1.3	Experimental	21
3.1.4	Bibliográfica	21
3.2	Población y muestra	22
3.2.1	Población	22
3.2.2	Muestra	22
3.3	Operacionalización de variables	23
3.3.1	Variable independiente	23
3.3.2	Variable dependiente	24
3.4	Plan de recolección de información	25
3.5	Plan procesamiento y análisis	26
3.5.1	Dimensionamiento de las probetas	29
3.5.2	Fabricación de probetas	29
3.5.3	Ensayo de desgaste	31
3.5.4	Ensayo de dureza	34
3.5.5	Análisis metalográfico	35
3.5.6	Análisis de espectrometría	38
3.5.7	Cálculo de densidades	39
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		41
4.1	Recolección de datos	41

4.2	Análisis de resultados	53
4.2.1	Ensayo de Dureza.....	53
4.2.2	Metalografía	56
4.2.3	Ensayo de desgaste.....	62
4.3	Verificación de hipótesis	64
4.3.1	Ho (Hipótesis Nula)	64
4.3.2	Ha (Hipótesis Alternativa)	64
4.3.3	Regla de decisión	65
4.3.4	Verificación de la hipótesis con respecto al grupo A y E.....	66
4.3.5	Ho (Hipótesis Nula)	67
4.3.6	Ha (Hipótesis Alternativa)	67
4.3.7	Verificación de la hipótesis con respecto al grupo B y F	68
4.3.8	Ho (Hipótesis Nula)	69
4.3.9	Ha (Hipótesis Alternativa)	69
4.3.10	Verificación de la hipótesis con respecto al grupo D y S	69
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		71
4.1	Conclusiones.....	71
4.2	Recomendaciones.....	72
Bibliografía		74
Anexos		76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Composición química de los electrodos de revestimiento duro.	7
Figura 2.2 Desgaste Adhesivo.	9
Figura 2.3 Desgaste Abrasivo	10
Figura 2.4 Desgaste por Fatiga Superficial.....	10
Figura 2.5 Desgaste Corrosivo.....	11
Figura 2.6 Situaciones donde el desgaste abrasivo es preponderante.....	12
Figura 2.7 Desgaste abrasivo a 2 cuerpos.....	12
Figura 2.8 Desgaste abrasivo a 3 cuerpos.....	13
Figura 2.9 Proceso de soldadura SMAW.....	14
Figura 2.10 Equipo para realizar el ensayo de desgaste abrasivo.....	16
Figura 2.11 Estructura martensítica.	18
Figura 2.12 Estructura con presencia de carburos.	18
Figura 2.13 Estructura Austenítica.....	19
Figura 3.1 Diagrama de flujo para el ensayo de desgaste abrasivo y sus parámetros	28
Figura 3.2 Dimensionamiento de las probetas	29
Figura 3.3 Probeta sin aplicar el recargue duro.	30
Figura 3.4 Probeta con el recargue duro	30
Figura 3.5 Probetas enumeradas	31
Figura 3.6 Partes de la máquina para ensayo de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G-65	33
Figura 3.7 Líneas de barrido de Dureza.....	34
Figura 3.8 Durómetro marca ERNST.	35
Figura 3.9 Cortadora metalográfica en frío.....	35
Figura 3.10 Prensa metalográfica.....	36
Figura 3.11 Máquina pulidora.....	37
Figura 3.12 Proceso de Pulido	37
Figura 3.13 Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C.....	39
Figura 3.14 Balanza digital	39
Figura 3.15 Probeta graduada	40
Figura 4. 1 Barrido de la dureza con el electrodo Overlay-62.....	53
Figura 4. 2 Barrido de la dureza con el electrodo Antifrix-450.....	53
Figura 4. 3 Barrido de la dureza con el electrodo Weldmang-14	54
Figura 4. 4 Barrido de la dureza con todas las muestras.....	54
Figura 4. 5 Pérdidas volumétricas.....	62
Figura 4. 6 Campana de referencia T-student del grupo A y E	67
Figura 4. 7 Campana de referencia T-student del grupo B y F.....	68
Figura 4. 8 Campana de referencia T-student del grupo D y S.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición química del acero A36.	4
Tabla 2.2 Propiedades mecánicas del acero A36.	4
Tabla 3.1 Número de muestras para desgaste abrasivo.....	22
Tabla 3.2 Variable Independiente	23
Tabla 3.3. Variable Dependiente.....	24
Tabla 3.4 Plan de recolección de información	25
Tabla 3.5 Alcance y usos de la norma ASTM G-65	32
Tabla 3.6 Reactivos y su composición química	37
Tabla 3.7 Valores de las Densidades de cada revestimiento duro	40
Tabla 4.1 Promedio de las pérdidas volumétricas.....	62
Tabla 4. 2 Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo A y E.....	66
Tabla 4. 3 Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo B y F.....	68
Tabla 4. 4 Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo D y S.....	69

ÍNDICE DE FICHAS TÉCNICAS

Ficha 4.1.1	Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Overlay con 1pasada	42
Ficha 4.1.2	Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Overlay con 2 pasadas.....	43
Ficha 4.1.3	Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Antifrix con 1pasada	44
Ficha 4.1.4	Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Antifrix con 2 pasadas.....	45
Ficha 4.1.5	Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Weldmang con 1pasada...	46
Ficha 4.1.6	Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Weldmang con 2 pasadas	47
Ficha 4.1.7	Reporte de desgaste abrasivo en el acero ASTM A36	48
Ficha 4.1.8	Reporte del ensayo de dureza para el electrodo Overla-62	49
Ficha 4.1.9	Reporte del ensayo de dureza para el electrodo Antifrix-450	50
Ficha 4.1.10	Reporte del ensayo de dureza para el electrodo Weldmang-14.....	51
Ficha 4.1.11	Reporte de composición química por Espectometria XRF	52
Ficha 4.2.1	Ensayo metalográfico en el electrodo Overlay-62	53
Ficha 4.2.2	Ensayo metalográfico con el electrodo Antifrix-450	54
Ficha 4.2.3	Ensayo metalográfico con el electrodo Weldmang-14.....	55

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo experimental tiene como objetivo principal: Analizar los revestimientos duros aplicados por proceso SMAW sobre acero al carbono A36 y su incidencia en el desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM G-6, para lo cual se fabricaron probetas de 72 x 60 x 12 mm , se recubrieron con tres tipos de electrodos de la marca Indura, 10 probetas se revistieron con electrodo a base de carburos de cromo (Overlay – 62), 5 con una pasada y 5 con dos pasadas, el mismo procedimiento se lo realizó con los electrodos a base de aleaciones Martensíticas (Antifrix-450) y con los electrodos a base de aleaciones Austeníticas altas en manganeso.

La máquina en la que se realizaron los ensayos de desgaste abrasivo establecen los parámetros de la norma ASTM G-65.

Los ensayos de metalografía ayudaron a verificar su microestructura en cada tipo de electrodo, también se realizaron ensayos de dureza y espectrometría para obtener su porcentaje en composición química, con el fin de analizar los parámetros que brindan mejor resistencia al desgaste.

Finalmente se pesaron las muestras para obtener la diferencia de masa pérdida (g) y calcular las pérdidas volumétricas en cada uno de los casos, con lo cual se pudo determinar que la menor pérdida volumétrica se obtuvo con el electrodo Overlay-62 con una pérdida volumétrica de 49.909mm³ y 41.697 mm³ con una y dos pasadas respectivamente el segundo mejor resultado fue con el electrodo Weldmang-14 con una pérdida volumétrica de 74.58 mm³ y 65.189 mm³ con una y dos pasadas respectivamente, el electrodo que no brindo buenas características para la resistencia al desgaste fue el electrodo Antifrix-450 con una pérdida de 305.548mm³ y 274.876 mm³ con una y dos pasadas respectivamente.

EXECUTIVE SUMMARY

This experimental work has as main objective: Analyze the hard coatings applied by the SMAW process on carbon steel A36 and its incidence in the abrasive wear evaluated under the ASTM G-6 standard, for which 72 x 60 x 12 mm specimens were manufactured, were coated with three types of Indura brand electrodes, 10 specimens were coated with chromium carbide based electrode (Overlay - 62), 5 with one pass and 5 with two passes, the same procedure was performed with the electrodes based on Martensitic alloys (Antifrix-450) and with the electrodes based on Austenitic alloys high in manganese.

The machine in which the abrasive wear tests were carried out established the parameters of the ASTM G-65 standard.

The metallography tests helped to verify their microstructure in each type of electrode, hardness and spectrometry tests were also carried out to obtain their percentage in chemical composition, in order to analyze the parameters that provide better resistance to wear.

Finally the samples were weighed to obtain the difference of mass loss (g) and calculate the volumetric losses in each one of the cases, with which it was possible to determine that the smaller volumetric loss was obtained with the electro-Overlay-62 with a volumetric loss of 49.909mm^3 and 41.697mm^3 with one and two passes respectively the second best result was with the Weldmang-14 electrode with a volumetric loss of 74.58mm^3 and 65.189mm^3 with one and two passes respectively, The electrode that did not provide good characteristics for wear resistance was the Antifrix-450 electrode with a loss of 305.548mm^3 and 274.876 with one and two passes respectively

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Tema del proyecto experimental

“ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS DUROS APLICADOS POR PROCESO SMAW SOBRE ACERO AL CARBONO A36 Y SU INCIDENCIA EN EL DESGASTE ABRASIVO EVALUADO BAJO LA NORMA ASTM G-65”

1.2 Antecedentes

Este proyecto experimental toma como referencia para su desarrollo tres trabajos realizados entre ellos una tesis y dos líneas de investigación en diferentes universidades

Como se indica en [1], el análisis de revestimientos duros con electrodos AGA B84, AGA B85 y E-7018 en juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, el mismo que tiene por objeto analizar y comparar las propiedades mecánicas de dichos materiales de aporte con la aplicación de los tres electrodos en mención por lo tanto este trabajo se tomó como punto de partida para el análisis de desgaste abrasivo.

Por otra parte, Marqués, Cardoso y Silva [2], analizaron un equipo minero hidráulico en el que se ha tomado sus partes más vulnerables al desgaste para su estudio, el chasis de este equipo se compone de dos partes que son las siguientes la estructura constituida en acero al carbono SAE 1020 y la segunda parte es la caja de transporte constituido de un material aleado HARDOX-450 siendo la superficie de mayor vulnerabilidad por tener contacto directo con el material escavado. Este ensayo se realizó bajo la norma ASTM G 65 y se tomó en cuenta el electrodo UTP-Ledurit 61 de similares características a un electrodo AGA B84, los resultados fueron satisfactorios realizando estudios de pérdida volumétrica, micro estructural y dureza.

Como se demuestra en [3], se tomaron varias variables para el estudio de revestimientos duros altos Cr y W, el material base utilizado fue acero estructural AISI A36 mediante soldadura eléctrica SMAW, la resistencia al desgaste fue evaluado bajo la norma ASTM G 65 cuyos resultados obtenidos demostraron que la mayor resistencia al desgaste abrasivo se obtuvo mediante recubrimientos con una microestructura a base de carburos primarios.

Los trabajos previamente estudiados son de gran importancia ya que complementan al conocimiento de los parámetros para los ensayos acerca del desgaste abrasivo sobre recubrimientos duros.

1.3 Justificación

Este estudio en profundidad nos permite conocer la aplicación de recargues duros enriqueciendo nuestro conocimiento en el uso de la soldadura por proceso SMAW y tener la capacidad de diferenciar la gran variedad de marcas y tipos de electrodos que existen en el mercado para esta aplicación. Esta investigación analiza la reducción de pérdidas volumétricas con la aplicación de recargues duros con el objetivo de prevenir la paralización en procesos industriales por causa de estos fenómenos y la negativa económica que esto conlleva ayudando así al mantenimiento preventivo en las partes más vulnerables a sufrir estos desgastes.

Al realizar un análisis de revestimientos duros con desgaste abrasivo por la fricción en juntas o pares tribológicos de materiales como el acero al carbono ASTM A36 con electrodos de recubrimiento protector a la abrasión será factible ya que contamos con los instrumentos necesarios como el taller, probetas y equipos de laboratorio al alcance de la mano, además con el conocimiento de varios ingenieros de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato que poseen un amplio conocimiento en este tema. La finalidad de este proyecto experimental es evaluar los efectos del desgaste abrasivo por lo que puede ser aplicado en distintas áreas donde es necesario la presencia de revestimientos duros.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Analizar los revestimientos duros aplicados por proceso SMAW sobre acero al carbono A36 y su incidencia en el desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM G-65

1.4.2 Objetivos Específicos:

- ❖ Evaluar el desgaste abrasivo producido en los diferentes procesos de recubrimiento realizados.
- ❖ Realizar el análisis de dureza en cada uno de los procesos de recubrimientos.
- ❖ Evaluar las pérdidas Volumétricas existentes mediante el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G-65.
- ❖ Determinar el tipo de electrodo más adecuado que garantice sus buenas propiedades contra el desgaste abrasivo.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Acero ASTM A36

El acero estructural ASTM A36 se utiliza para la fabricación de puentes, edificaciones, torres. Este acero se produce en planchas, perfiles, láminas; se pueden unir con procesos de soldadura como SMAW, GMAW y oxiacetilénica, también son unidas por tornillos, remaches para aplicaciones como puentes, edificios. La utilización de este acero se ha desarrollado debido a las propiedades que posee como alta resistencia, elasticidad, durabilidad, ductilidad y tenacidad. Se puede encontrar algunas desventajas de este material como la corrosión, fatiga, fractura frágil y la susceptibilidad al pandeo. [4]

Tabla 2.1 Composición química del acero A36.

ELEMENTOS	%
Carbono (C)	0.2-0.29
Cobre (Cu)	0.20
Hierro (Fe)	98.0
Manganeso (Mn)	1.03
Fosforo (P)	≤ 0.04
Silicio (Si)	0.28
Azufre (S)	≤ 0.05

Fuente: [5]

Tabla 2.2 Propiedades mecánicas del acero A36.

PROPIEDADES	VALOR
Densidad g/cm^3	7.85
Resistencia a la tracción, MPa	400-552
Módulo de Fluencia, Mpa	250
Módulo de Young, MPa	200000
Módulo de Cortante, MPa	79300
Coefficiente de Poisson	0.26
Elongación, %	18
Dureza Rockwell B	67 - 83
Dureza Brinell	119 - 159

Fuente: [5]

2.2.2 Revestimientos Duros

El revestimiento duro con soldadura consiste en el aporte de material de aleación sobre un elemento metálico para mejorar la resistencia al desgaste o recuperar las dimensiones adecuadas. Generalmente lo que se desea mejorar es la resistencia al desgaste que se produce por la abrasión, calor, corrosión. Existe una gran variedad de aleaciones de recubrimientos para dar el dimensionamiento original o para evitar el desgaste en los elementos mecánicos. [6]

Razones para utilizar revestimientos duros

- Aplicando material de recubrimiento duro a un elemento desgastado reduce el costo en 25 – 75 % del repuesto nuevo.
- Extiende la vida útil de un elemento mecánico en el 30 – 300 % comparando con el elemento sin recubrimiento.
- Evita paradas por mantenimiento debido al alargamiento de la vida útil de los elementos de máquinas.
- No es necesario disponer de una gran cantidad de repuestos en el inventario si se pueden reconstruir. [7]

Usos del revestimiento duro

- La reconstrucción de elementos mecánicos se realiza aplicando capas de relleno hasta tener las dimensiones adecuadas para darle un acabado superficial al elemento y obtener las dimensiones originales.
- El recubrimiento anti desgaste es usado en elementos usados o nuevos para aumentar la vida útil de los mismos, se aplica en las zonas de mayor riesgo de desgaste. [6]

2.2.3 Electrodo

En la norma AWS 5.13 con la figura 2.1 se detalla la composición química de los electrodos con revestimiento duro. La utilización de este tipo de electrodos permite la fácil remoción de escoria y no necesariamente se realiza un acabado superficial después de colocar el material de aporte. [7]

Se utilizan generalmente para el recubrimiento de acero al manganeso que están expuestos a un excesivo desgaste como: mandíbulas de trituración, dragas, zapatas de orugas, dientes de excavadoras, cruces en vías férreas, entre otras. Se debe utilizar el mínimo amperaje sin que el elemento mecánico supere los 300°C para descartar fisuras. [6]

Chemical requirements for bare surfacing welding rods and electrodes

AWS Classification	Carbon, per cent	Manganese, per cent	Cobalt, per cent	Tungsten, per cent	Nickel, per cent	Chromium, per cent	Molybdenum, per cent	Iron, per cent	Vanadium, per cent	Copper, per cent	Aluminum, per cent	Zinc, per cent	Silicon, per cent	Lead, per cent	Tin, per cent	Phosphorus, per cent	Total other elements, per cent
RFe5-A	0.7 to 1.0	0.50	—	5.0 to 7.0	—	3.0 to 5.0	4.0 to 6.0	remainder	1.0 to 2.5	—	—	—	0.50	—	—	—	1.0
RFe5-B	0.5 to 0.9	0.50	—	1.0 to 2.5	—	3.0 to 5.0	5.0 to 9.5	remainder	0.8 to 1.3	—	—	—	0.50	—	—	—	1.0
RFeCr-Al	3.7 to 5.0	2.0 to 6.0	—	—	—	27.0 to 35.0	—	remainder	—	—	—	—	1.10 to 2.5	—	—	—	1.0
RCoCr-A	0.9 to 1.4	1.00	remainder	3.0 to 6.0	3.0	26.0 to 32.0	1.0	3.0	—	—	—	—	2.0	—	—	—	0.50
RCoCr-B	1.2 to 1.7	1.00	remainder	7.0 to 9.5	3.0	26.0 to 32.0	1.0	3.0	—	—	—	—	2.0	—	—	—	0.50
RCoCr-C	2.0 to 3.0	1.00	remainder	11.0 to 14.0	3.0	26.0 to 33.0	1.0	3.0	—	—	—	—	2.0	—	—	—	0.50
RCuZn-E ^b	—	0.30	—	—	—	—	—	1.50	—	56.0 min	0.01 ^a	remainder	0.04 to 0.25	0.05 ^a	2.00 to 3.00	—	0.50
ERCuSi-A ^b	—	1.5 ^c	—	—	*	—	—	0.5	—	94.0 min	0.01 ^a	1.5 ^a	2.8 to 4.0	0.02 ^a	1.5 ^a	*	0.50
ERCuAl-A2 ^b	—	—	—	—	—	—	—	1.5	—	remainder	9.0 to 11.0	0.02	0.10	0.02 ^a	—	—	0.50
ERCuAl-A3	—	—	—	—	—	—	—	3.0 to 5.0	—	remainder	10.0 to 11.0	0.10	0.10	0.02 ^a	—	—	0.50
RCuAl-C	—	—	—	—	—	—	—	3.0 to 5.0	—	remainder	12.0 to 13.0	0.02	0.04	0.02	—	—	0.50
RCuAl-D	—	—	—	—	—	—	—	3.0 to 5.0	—	remainder	13.0 to 14.0	0.02	0.04	0.02	—	—	0.50
RCuAl-E	—	—	—	—	—	—	—	3.0 to 5.0	—	remainder	14.0 to 15.0	0.02	0.04	0.02	—	—	0.50
ERCuSn-A ^b	—	*	—	—	*	—	—	*	—	93.5 min	0.01 ^a	*	*	0.02 ^a	4.0 to 6.0	0.10 to 0.35	0.50
RCuSn-D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	88.5 min	0.01 ^a	—	—	0.05 ^a	9.0 to 11.0	0.10 to 0.30	0.50
RNiCr-A	0.30 to 0.60	—	1.50	—	remainder	8.0 to 14.0	—	1.25 to 3.25	2.00 to 3.00 per cent boron			—	1.25 to 3.25	—	—	—	0.50
RNiCr-B	0.40 to 0.80	—	1.25	—	remainder	10.0 to 16.0	—	3.00 to 5.00	2.00 to 4.00 per cent boron			—	3.00 to 5.00	—	—	—	0.50
RNiCr-C	0.50 to 1.00	—	1.00	—	remainder	12.0 to 18.0	—	3.50 to 5.50	2.50 to 4.50 per cent boron			—	3.50 to 5.50	—	—	—	0.50

Figura2.1 Composición química de los electrodos de revestimiento duro.

Fuente: [7]

2.2.3.1 Electrodo INDURA de revestimiento duro

Indura es una empresa que ha desarrollado una gran variedad de electrodos para los diferentes casos que presentan sus compradores. Los electrodos de revestimiento duro que ellos proponen son para realizar un mantenimiento preventivo y en el caso que los elementos se encuentren deteriorados realizar un mantenimiento correctivo. Para las piezas que ya se encuentran deterioradas pueden ser recuperadas recuperando su geometría original mediante soldadura de mantención para ser recubiertas dándole así cualidades anti desgaste.

Los electrodos de indura anti desgaste son soluciones para procesos de recubrimiento de piezas y reparación.

Los electrodos más conocidos con los cuales se trabajan son los siguientes:

- **OVERLAY 62:** es un electrodo de recubrimiento para superficies que están sometidas a desgaste por una elevada abrasión e impacto, tiene una dureza alta a elevadas temperaturas y una buena resistencia a la compresión. Es un electrodo con microestructura de una aleación de cromo-carbono que entrega una muy buena combinación de resistencia al desgaste y una buena apariencia, diseñado para rellenos tenaces y duros de equipos para movimiento de escombros o tierra. [8]
- **ANTIFRIX:** Es un electrodo de recubrimiento de superficies que se encuentran sometidas al desgaste por abrasión e impacto, excelente resistencia al desgaste abrasivo y una aceptable resistencia al desgaste. Electrodo con aleación Martensíticas. Electrodo manual usado para recubrimiento y relleno de piezas de acero al carbono y baja aleación. [8]
- **WELDMANG:** es un electrodo de acero austenítico al manganeso tipo AWS EFeMn-B, adecuado para relleno y recubrimiento de piezas de acero al manganeso tipo Hadfield. Excelente resistencia al desgaste por impacto y compresión. Se recomienda mantener la temperatura de la pieza en el proceso de soldadura inferior a 250°C. [8]

2.2.4 Desgaste

El desgaste se reconoce como el fenómeno de eliminación de material de una superficie debido a la interacción con una superficie de acoplamiento. Por lo general casi el 100% de las máquinas pierden su durabilidad y fiabilidad debido al desgaste, y la posibilidad de generar nuevas máquinas más avanzadas se disminuyen por problemas de desgaste. [9]

Las velocidades que producen el desgaste van cambiando radicalmente en rangos que van desde $10e-15$ mm³/Nm hasta $10e-1$ mm³/Nm, estos valores van dependiendo de las condiciones en que se opera y los materiales seleccionados. [9]

La manera de desgaste dominante puede variar de una a otra por razones que incluyen cambios en las características del material superficial y resultados de superficie dinámicas provocadas por el calentamiento por fricción, formación de película química y desgaste. [9]

2.2.4.1 Tipos de desgaste

Existen diversos términos para describir los procesos de desgaste. Comúnmente clasifican por el mecanismo de desgaste predominante. Según K.-H. Z. Gahr los mecanismos principales de desgaste son:

- **Desgaste Adhesivo:** En la figura 2.2, ocurre la formación y la ruptura de las conexiones adhesivas interfaciales, como en las uniones soldadas en frío. Los componentes como las levas, los engranajes y los cojinetes pueden sufrir este tipo de desgaste. [9].

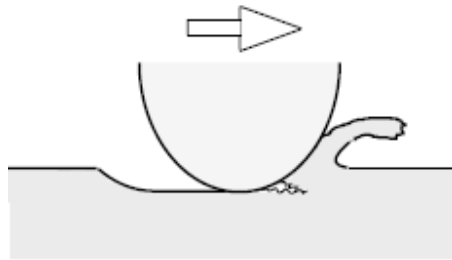


(a) Adhesive wear

Figura 2.2 Desgaste Adhesivo.

Fuente: [9]

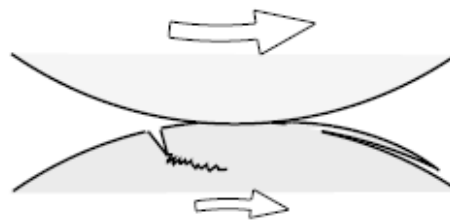
- **Desgaste Abrasivo:** En la figura 2.3, muestra como ocurre esto debido a la remoción de material al ser rallado, tener desapego del material, suciedad en el material, etc. Extrusoras, rieles y palas excavadoras son algunos ejemplos en donde comúnmente se observa abrasión. [9]



(b) Abrasive wear

Figura 2.3 Desgaste Abrasivo
Fuente: [9]

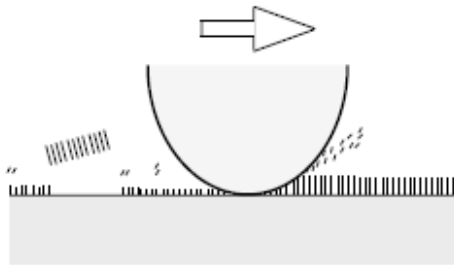
- **Desgaste por Fatiga Superficial:** En la figura 2.4, ocurre fatiga y formación de grietas en las regiones superficiales debido a ciclos de tensión tribológicos que resultan en la separación de material. puede ocurrir en engranes, cojinetes, laminación y otros. [9]



(c) Fatigue wear

Figura 2.4 Desgaste por Fatiga Superficial
Fuente: [9]

- **Desgaste Corrosivo:** En la figura 2.5, ocurre la formación de productos de reacción química como resultado de las interacciones químicas entre los elementos de un Tribo-sistema. Las cadenas, los muelles, las juntas remachadas y otros pueden sufrir este tipo de desgaste. [9]



(d) Corrosive wear

Figura 2.5 Desgaste Corrosivo.
Fuente: [9]

2.2.4.2 Desgaste Abrasivo

La norma ASTM G 40-92 determina al desgaste abrasivo como una disminución de masa provocada por la interacción de partículas o asperezas duras forzadas a una superficie y se mueven a lo largo de ella lo cual provoca daños superficiales y por medio de esto la destrucción parcial o total de los elementos. [10]

Según la norma ASTM G65-94, el desgaste abrasivo es debido a partículas duras o protuberancias duras forzadas contra y moviéndose a lo largo de una superficie sólida. Esto abarca diferentes maneras de desgaste o mecanismos que están bajo la clase de desgaste abrasivo. Estos métodos pueden degradar la superficie rayando, cortando, deformando o ranurado. [11]

Zum Gahr, en su libro indica que el desgaste abrasivo es el desplazamiento del material causado por la presencia de partículas duras entre o embutidas en una o ambas superficies en movimiento relativo, o la presencia de protuberancias en una o ambas superficies en movimiento relativo. La figura 2.6 indica situaciones prácticas donde el desgaste abrasivo

es preponderante como en canales, sistemas hidráulicos con polvos, extrusores, trituradores, matrices para metalurgia y deslizamiento sobre superficies rugosas. [9]

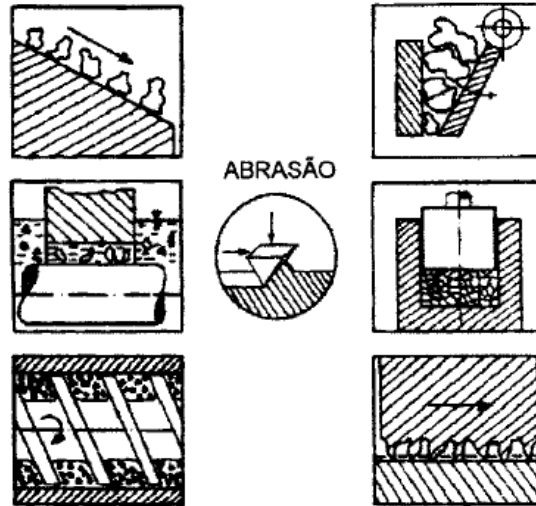


Figura 2.6 Situaciones donde el desgaste abrasivo es preponderante
Fuente: [12]

2.2.4.3 Clasificación del Desgaste Abrasivo

La clasificación del desgaste abrasivo se encuentra en dos clases simples: abrasión a 2 cuerpo y abrasión a 3 cuerpos. En la figura 2.7 se puede observar la abrasión a 2 cuerpos, la partícula abrasiva se mueve libremente sobre la cara del material como cuando la arena se desliza en un canal. [12]

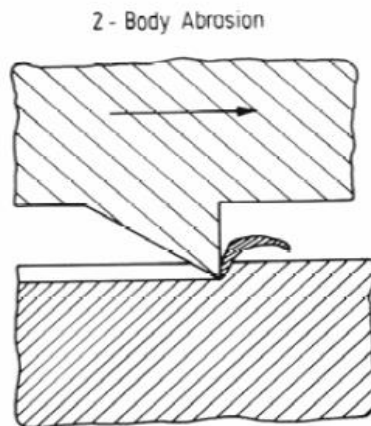


Figura 2.7 Desgaste abrasivo a 2 cuerpos.
Fuente: [12]

En la abrasión a 3 cuerpos como indica la figura 2.8 la partícula abrasiva actúa como un elemento interfacial entre el cuerpo y el contra cuerpo como en una rosca de extrusora y trituradoras. El desgaste es aproximadamente uno a dos órdenes de magnitud menor en el desgaste a 3 cuerpos en relación al desgaste a 2 cuerpos. En el desgaste a 3 cuerpos solo una pequeña porción de las partículas provoca desgaste debido a la variación en el ángulo de ataque. [12]

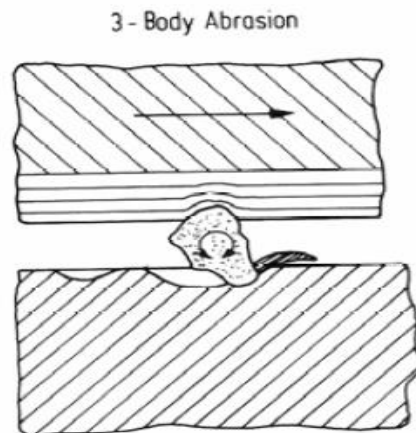


Figura 2.8 Desgaste abrasivo a 3 cuerpos.
Fuente: [12]

2.2.5 Proceso de soldadura SMAW

Es un proceso donde la fusión de metal se genera gracias al calor por el arco eléctrico generado entre el extremo de un electrodo y el metal de trabajo.

El material de aporte se genera por la fusión del electrodo metálico en forma de gotas pequeñas y la protección es obtenida por la escoria que produce el recubrimiento en forma de gases. [13]

El proceso de soldadura por arco de metal revestido (SMAW) es de los primeros procesos de soldadura por arco, y el proceso más común para soldar varios tipos de metales no ferrosos y metales ferrosos principalmente. Este proceso usa electrodos cubiertos. El electrodo consiste en un alambre metálico de núcleo cubierto con ligantes de silicato y materiales que pueden ser fluoruros, carbonatos, óxidos, aleaciones metálicas y celulosa. La cubierta se construye sobre el alambre y se seca en un horno. [14]

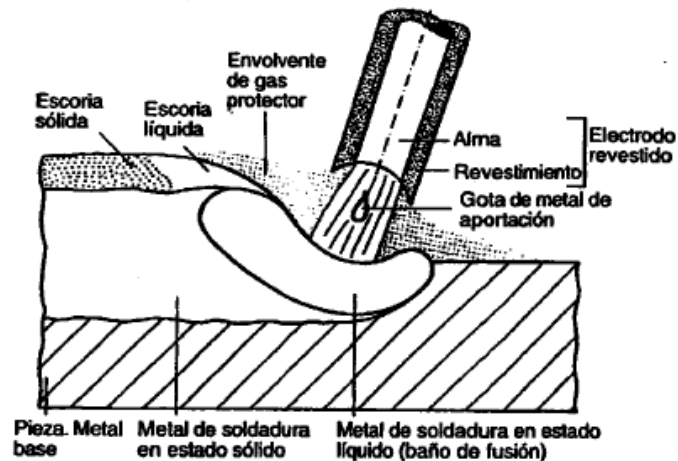


Figura 2.9 Proceso de soldadura SMAW.

Fuente: [13]

La cubierta tiene varias funciones como:

- Estabilizador de arco
- Protección contra contaminación durante el estado de fundición por la evolución de los gases y durante la solidificación protegiendo el metal de soldadura con escoria.
- Suministra desoxidantes y agentes fundentes para limpiar la soldadura y de esta manera tratar de evitar el crecimiento descomunal de grano en el metal de soldadura.
- Proporciona una capa de escoria la cual protege el metal del aire y de esta manera mejorar las propiedades mecánicas.
- Es fuente de elementos de aleación para producir metal de soldadura compatible.

La función de este proceso es sencilla el extremo del metal desnudo del electrodo se sujeta a la pinza que está conectada a la fuente de alimentación, el otro extremo de la fuente de alimentación se conecta al terminal de trabajo. Se produce el arco poniendo en contacto el electrodo con la superficie de trabajo y tiene que separarse aproximadamente de 2 a 3mm, provocando así una ionización del gas con los dos extremos eléctricos. El arco genera calor suficiente para fundir el metal de trabajo y el electrodo. [14]

2.2.6 Ensayos

2.2.6.1 Ensayo abrasivo

La norma ASTM G65 – 94 detalla los procedimientos para determinar la resistencia al desgaste abrasivo de metales mediante el ensayo con un equipo que posee arena seca y una rueda de goma. 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. [10]

El procedimiento “A” cubre un amplio rango de pérdida de volumen de los materiales expuestos al ensayo, se aplica para materiales que tienen media y extrema resistencia al desgaste abrasivo. [10]

El procedimiento “B” se aplica para materiales que poseen media y baja resistencia al desgaste abrasivo, El procedimiento “B” debe utilizarse cuando los valores de pérdida de volumen desarrollados por el Procedimiento “A” exceden 100 mm³. [10]

El procedimiento “C” se utiliza para materiales que tienen revestimientos delgados. [10]

El procedimiento “D” se ocupa para materiales que baja resistencia al desgaste abrasivo, también se utiliza para materiales en los que la pérdida de volumen esté muy cerca a los rangos del procedimiento A. [10]

El procedimiento “E” es una ligera variación del procedimiento “B” que se utiliza para materiales con resistencia media o baja al desgaste abrasivo. [10]

La norma ASTM G65 – 94 no aborda los problemas referentes a la seguridad por la utilización de estos materiales, es responsabilidad del usuario determinar los procedimientos adecuados. [10]

El volumen perdido se calcula con la fórmula: [10]

$$Volumen\ perdido, mm^3 = \frac{masa\ pérdida\ (g)}{densidad\ (g/cm^3)} \times 1000 \quad Ec. (2.1)$$

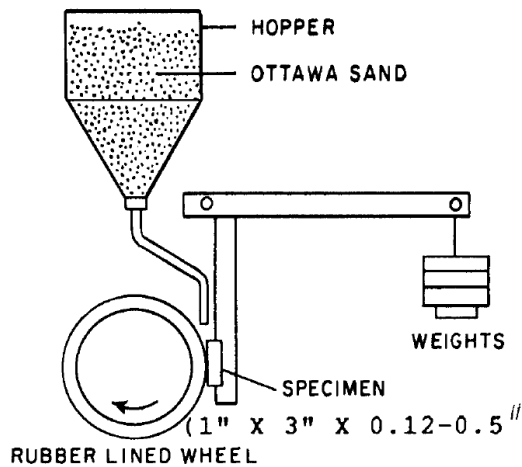


Figura 2.10 Equipo para realizar el ensayo de desgaste abrasivo.
Fuente: [10]

2.2.6.2 Ensayo de dureza

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 (Kgf), la dureza se calcula con la ecuación: [15]

$$HBEW = \frac{2F_{kgf}}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde:

F_{kgf} = Fuerza de la prueba en kgf.

D = Diámetro de la bola del indentador en mm.

d = Diámetro medio de la indentación en mm.

La norma ASTM E18 -15 muestra el procedimiento del ensayo para determinar la dureza Rockwell de materiales metálicos con el principio de indentación, también muestra los procedimientos para realizar las máquinas de dureza Rockwell. En esta norma los niveles de fuerza se miden en kilogramos fuerza (kgf) y el diámetro de las bolas del indentador en pulgada (in). La dureza Rockwell se determina con la fórmula: [16]

$$Dureza\ Rockwell = 130 - \frac{h}{0.002} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

2.2.7 Microestructura resistente al desgaste

2.2.7.1 Martensita

La estructura martensítica es monofásica resultante de la transformación sin difusión de la austenita, puede considerarse como un producto de transformación de la vainita y perlita. Esta transformación martensítica ocurre cuando se evita la difusión del carbono para ello la velocidad del temple debe ser lo suficientemente rápida. La presencia de alguna difusión acarreará a la formación de las fases de cementita y ferrita. De las distintas microestructuras que se pueden formar en una aleación de acero determinada, la estructura martensítica después de los carburos se considera como un constituyente duro y resistente pero la más frágil con una ductilidad despreciable, esta dureza está en función del contenido de carbono hasta un aproximado de 0.6 % en peso por lo que los distintos elementos aleantes no afectan en nada, su dureza está en un rango aproximado de 50 a 68 HRc. Los granos de martensítica toman una apariencia de forma acicular o lenticular similares a agujas entrecruzadas como se muestra en la figura. [17]



Figura 2.11 Estructura martensítica.
Fuente: [18]

2.2.7.2 Carburos de cromo

Existen elementos que son creadores de carburo para formar compuestos duros con el carbono estos son cromo, tungsteno, vanadio, molibdeno y titanio. Estos elementos tienen la capacidad de disolverse hasta cierto grado en la ferrita también se combinan con el carbono fácilmente. Los carburos tienen la característica de ser duros y frágiles pero los carburos que se forman por el cromo son extremadamente duros y tienen la característica de resistir al desgaste. [18]

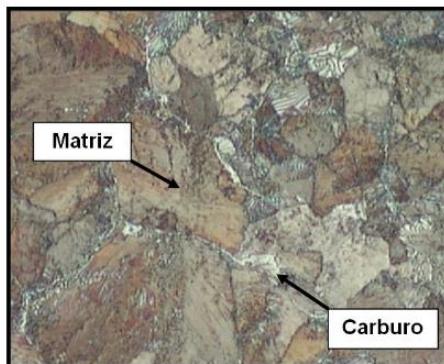


Figura 2.12 Estructura con presencia de carburos.
Fuente: [18]

2.2.7.3 Austenita

La austenita como principal característica tiene la capacidad de disolver carbono intersticialmente hasta un máximo de 2% a 2065 °F esto quiere decir que no es una mezcla sino una solución sólida por lo que es la fase del acero con mayor densidad y además tiene una baja conductividad térmica. La forma de sus granos es poligonal como se muestra en la figura 2.13. Las propiedades mecánicas de la austenita están en función del porcentaje de carbono su dureza esta alrededor de 30 HRC. [19]

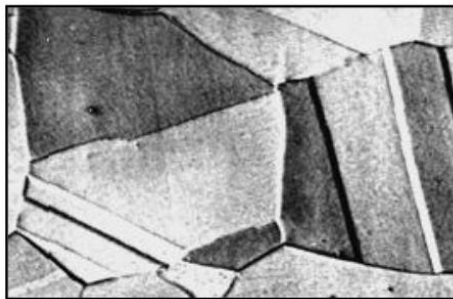


Figura 2.13 Estructura Austenítica.

Fuente: [18]

Las aleaciones austeníticas al manganeso con un contenido del 12% o más de manganeso se consideran resistentes al desgaste, en el proceso de soldadura el material se fragiliza cuando en el proceso se enfría lentamente por lo tanto para soldar se recomienda bajas temperaturas o en ocasiones el temple en agua. [18]

2.3 Hipótesis

La aplicación de recargues duros por proceso SMAW podrá reducir el desgaste abrasivo sobre el acero al carbono A-36.

2.4 Señalamiento de variables de la hipótesis

2.4.1 Variable independiente

Análisis de revestimientos duros aplicados por proceso SMAW sobre acero al carbono ASTM A36

2.4.2 Variable dependiente

Desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM G-65

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1 Nivel o tipo de investigación

3.1.1 Descriptiva

El estudio fue descriptivo con el fin de detallar los fenómenos presentes en los ensayos de desgaste abrasivo mediante la norma ASTM G 65 en función del tipo de recubrimiento de los electrodos sobre el material acero ASTM A36.

3.1.2 Exploratoria

En el estudio exploratorio se necesitó identificar los usos, técnicas y aplicaciones de los tipos de recubrimientos utilizados con el fin de realizar los balances en los ensayos de desgaste abrasivo mediante el proceso SMAW.

3.1.3 Experimental

Se realizaron los ensayos de desgaste abrasivo mediante el proceso en arena seca y rueda de caucho con diferentes parámetros de operación para lograr los resultados de pérdidas volumétricas, dureza y comprobación de las especificaciones de cada uno de los recubrimientos utilizados.

3.1.4 Bibliográfica

La investigación se realizó en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, basándose en tesis y líneas de investigación realizadas en otras universidades del mundo como base investigativa para la realización de los ensayos y parámetros especificados.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Para este proyecto experimental la población de estudio se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Acero al Carbono ASTM A36.
2. Proceso de soldadura.
3. Material de Aporte
4. Ensayo de desgaste abrasivo.

3.2.2 Muestra

En el trabajo experimental se consideró como muestra 5 probetas por cada proceso y tipo de recubrimiento utilizado 2 probetas más por alguna falla en el proceso del ensayo, las dimensiones van en función de la norma ASTM G65, para los ensayos de dureza, espectrometría y metalografía se usó una muestra por cada tipo de electrodo.

Tabla 3.1 Número de muestras para desgaste abrasivo

Tipo de Recubrimiento	Microestructura	N° Capas	N° Probetas	Análisis
OVERLAY	Aleaciones a Base de Carburos de Cromo	1	5	<ul style="list-style-type: none">• Desgaste abrasivo• Pérdidas volumétricas
		2	5	
WELDMANG	Aleaciones Austeníticas altas en Manganeso	1	5	<ul style="list-style-type: none">• Desgaste abrasivo• Pérdidas volumétricas
		2	5	
ANTIFRIX	Aleaciones Martensíticas	1	5	<ul style="list-style-type: none">• Desgaste abrasivo• Pérdidas volumétricas
		2	5	

Fuente: Autor

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Variable independiente

Análisis de revestimientos duros aplicados por proceso SMAW sobre acero al carbono ASTM A36

Tabla 3.2 Variable Independiente

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas instrumentación e
<p>Los electrodos para recubrimientos duros para proceso SMAW utilizados sobre materiales con el fin de evitar los fenómenos de desgaste y deformación contienen aleaciones distintas en su microestructura en función de su aplicación de campo</p>	<p>Revestimientos Duros</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Material Base • Material de Aporte 	<p>Acero ASTM A36</p> <p>Aleaciones a base de carburos de cromo.</p> <p>Aleaciones Austeníticas altas en Manganeso</p> <p>Aleaciones Martensíticas</p>	<p>Ficha de datos Fuentes bibliográficas Ensayos Normas ASTM Manuales Catálogos Libreta de notas</p>

Fuente: Autor

3.3.2 Variable dependiente

Desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM G-65

Tabla 3.3. Variable Dependiente

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentación
<p>Comportamiento micro estructural de los revestimientos duros al aplicar fuerzas y contacto tribológico evaluadas bajo la norma ASTM G65 mediante ensayos específicos con dimensiones estandarizadas de cada una de las probetas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas Volumétricas • Ensayos de Dureza • Parámetros de Desgaste abrasivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen (mm³) • Dureza. (HB,HRc) • Carga Aplicada • Número de Revoluciones • Abrasión lineal 	<p>¿Cuál son las perdidas volumétricas? ¿Cuáles son las Pérdidas volumétricas más críticas? ¿Qué dureza debe tener? ¿El revestimiento duro? 130(N) (A, B) 6000 rev. Ensayo preliminar con el procedimiento (A). 2000 rev. procedimiento (B) 4309 (m) 1436 (m)</p>	<p>Ficha de datos Fuentes bibliográficas Ensayos Normas ASTM Manuales Catálogos Libreta de notas</p>

Fuente: Autor

3.4 Plan de recolección de información

Tabla 3.4 Plan de recolección de información

¿Qué?	Adquisición de datos de desgaste abrasivo (Pérdidas volumétricas y Dureza) de las probetas del material acero al carbono ASTM A36 reforzado con revestimientos duros.
¿Para qué?	Se realizó para conocer las propiedades de cada uno de los tipos de revestimientos duros aplicados sobre el material base acero al carbono con el fin de adquirir resultados óptimos frente al desgaste abrasivo.
¿Quién?	El presente trabajo experimental fue realizado por el investigador (Milton Bautista)
¿A quiénes?	Los datos obtenidos servirán de ayuda a próximas investigaciones y para aplicaciones de campo.
¿Cómo?	Se realizó por medio de normas, archivos bibliográficos y fichas técnicas.
¿Con que?	Para la obtención de datos de cada uno de los ensayos se utilizaron fichas de tomas de datos.
¿Cuándo?	Se realizó en el año 2017
¿Cuántas veces?	Se realizaron 5 ensayos de desgaste abrasivo con una pasada, 5 ensayos con dos pasadas utilizando diferente tipo de recubriendo.
¿Dónde?	El trabajo de investigación se realizó en la Universidad Técnica de Ambato en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica campus Huachi Chico también en los laboratorios del Centro de Fomento Metalmecánico Carrocero perteneciente al Consejo Provincial de Tungurahua.

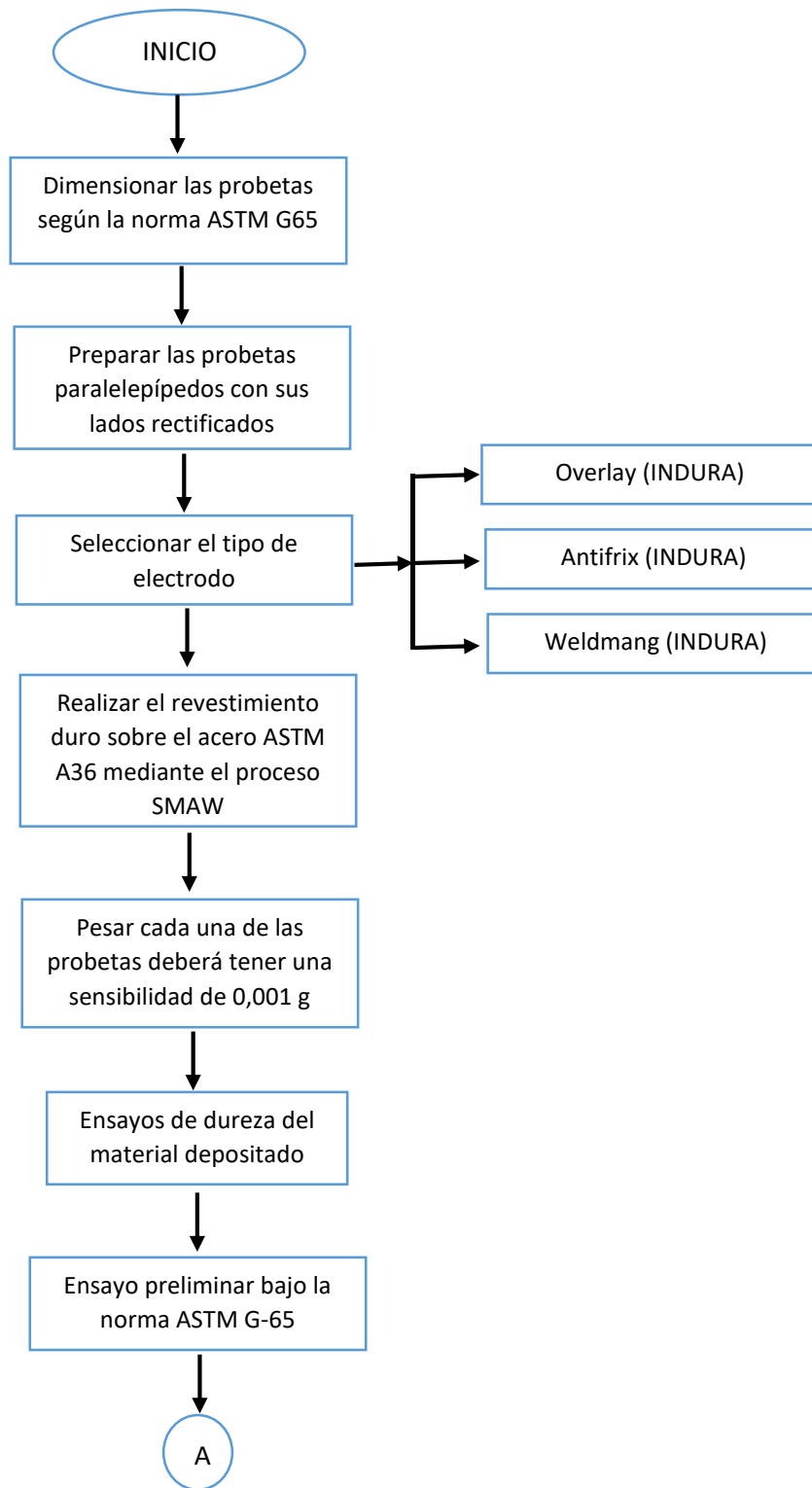
Fuente: Autor

3.5 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 procesó los datos obtenidos experimentalmente para lograr el objetivo deseado.
- Tabulación de los resultados mediante tablas y gráficas.
- Tabulación de datos de dureza y pérdidas volumétricas analizando cada uno de los procesos realizados en función del tipo de revestimiento y número de pasadas realizadas en cada una de las probetas.
- Análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de espectrometría y metalografía.
- Tabulación e interpretación de resultados obtenidos en los ensayos de desgaste abrasivo en revestimientos duros analizando cada uno de los procesos.

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



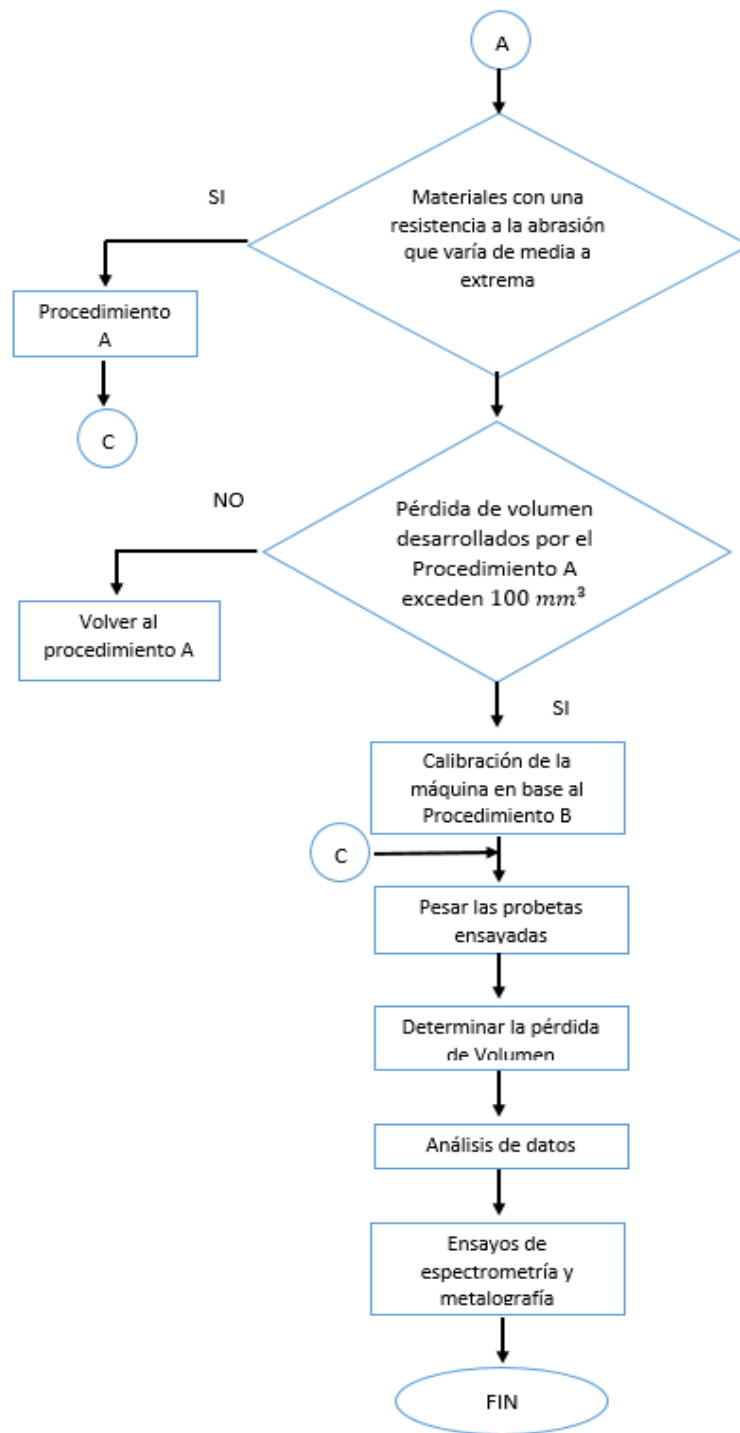


Figura 3.1 Diagrama de flujo para el ensayo de desgaste abrasivo y sus parámetros
Fuente: Autor

3.5.1 Dimensionamiento de las probetas

Las probetas se obtuvieron de platinas en acero estructural ASTM A36 de DIPAC PLT 30 x 12 la preparación se realizó mediante corte manual y fresado para obtener un correcto dimensionamiento y obtener todas las caras rectas cumpliendo los parámetros de la norma espécimen típico de una forma rectangular 25 por 76 mm (1.0 por 3 pulgadas) y entre 11.5 y 12,7 mm (0,45 y 0,50 pulgadas) de grosor dependiendo del material depositado.

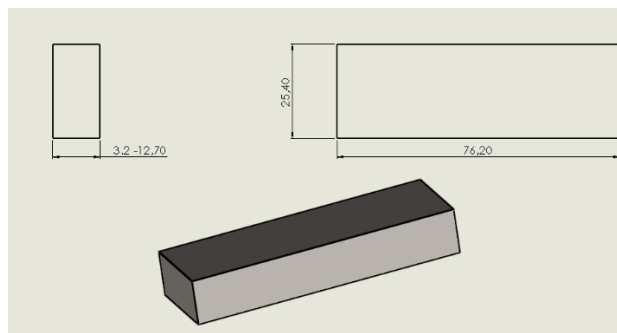


Figura 3.2 Dimensionamiento de las probetas

Fuente: Autor

3.5.2 Fabricación de 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.

3.5.2.1 Obtención de la probeta base

Las muestras se obtuvieron del perfil estructural DIPAC PLT 30 x 12 de la que se obtuvo pedazos de (30x80x12) mm el procedimiento se lo realizó con corte manual. Las muestras se cepillaron y se rectificaron para obtener homogeneidad en todas sus caras

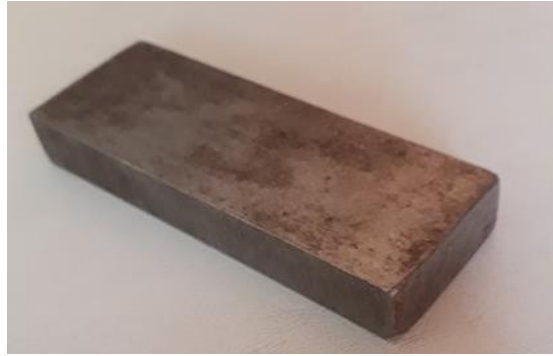


Figura 3.3 Probeta sin aplicar el recargue duro.
Fuente: Autor

3.5.2.2 Proceso de revestimiento duro

Una vez obtenidas las probetas base se colocaron en mordazas para evitar que se produzca pandeo al momento de soldar. El proceso de soldadura SMAW se lo realizó en función de los catálogos de cada electrodo, las probetas se enfriaron a temperatura ambiente para posteriormente limpiar la escoria producida por el proceso de soldadura.



Figura 3.4 Probeta con el recargue duro
Fuente: Autor

En la elaboración de las probetas se depositó el material de aporte cubriendo toda la superficie de un acero ASTM A36 utilizado como metal base, se realizaron probetas con una y dos pasadas con los diferentes electrodos seleccionados para el análisis del trabajo experimental.

Una vez obtenidas todas las probetas procedemos a marcar con el código respectivo para cada tipo de electrodo evitando confusiones al momento de pesar las muestras para el proceso de obtención de las pérdidas volumétricas como se muestra en la figura 3.5.

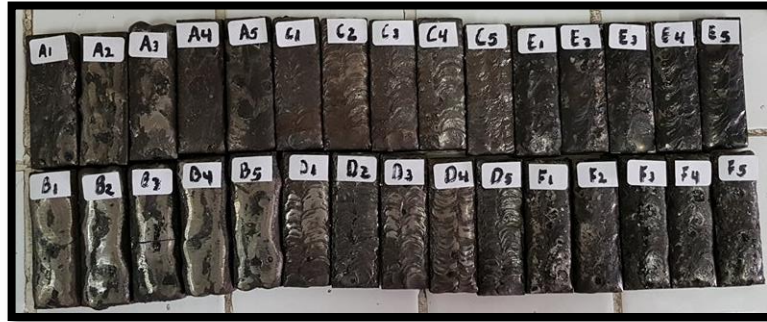




Figura 3.5 Probetas enumeradas
Fuente: Autor

3.5.3 Ensayo de desgaste

El ensayo a desgaste abrasivo que se evaluó en la investigación es un método estandarizado usando un equipo de arena seca con una rueda de caucho según la norma ASTM G65, esta técnica evalúa a los materiales metálicos en su resistencia al desgaste abrasivo obteniendo resultados cuantitativos con la finalidad de comparar diferentes materiales bajo un mismo parámetro. Esta norma trabaja bajo 5 tipos de procedimientos de ensayo en función de los materiales a ensayar o espesores presentando los resultados de pérdidas volumétricas en mm^3 . A continuación, esta detallada una breve descripción de los tiempos de procedimientos.

Tabla 3.5 Alcance y usos de la norma ASTM G-65

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
NORMA ASTM G-65			
ALCANCE		USOS	
El método tiene el alcance de cubrir los procedimientos para el análisis de desgaste abrasivo en materiales metálicos por medio de arena seca y rueda de goma cubriendo los parámetros para la realización del mismo y el cálculo de las pérdidas volumétricas.		El desgaste abrasivo producido está en función del tamaño de las partículas abrasivas, la dureza, la geometría, tiempo de contacto de la partícula abrasiva con el material analizado y la tensión aplicada por la partícula. En esta práctica estas condiciones se estandarizan para desarrollar una condición uniforme de desgaste que se ha denominado abrasión por rascado.	
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 de 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: Autor

Se utilizó el equipo de desgaste abrasivo del Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato este equipo consta de los siguientes elementos.

- Tolva
- Manguera de Arena

- Sistema de control
- Rueda de caucho
- Mecanismo de brazo de palanca
- Porta probetas
- Pesos
- Motor reductor (No aparece en la imagen)



Figura 3.6 Partes de la máquina para ensayo de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G-65
Fuente: Autor

Debido a la alta resistencia a la abrasión del revestimiento duro se tomó en cuenta los dos procedimientos A y B especificados en la norma, inicialmente se realizó una prueba preliminar con el procedimiento A en donde la pérdida volumétrica fue de 126.515mm^3 por tal razón los ensayos de desgaste abrasivo se realizaron bajo los parámetros del procedimiento B especificados en la tabla 3.5.

3.5.4 Ensayo de dureza

El ensayo de Dureza se realizó en una muestra de cada tipo de procedimiento realizado en función del electrodo según la norma ASTM E18 -15. Las probetas utilizadas para el ensayo son como las mostradas en la figura 3.7, las probetas tienen un corte transversal en la que se identifica la zona del recargue duro, zona térmicamente afectada (ZTA) y el material base.

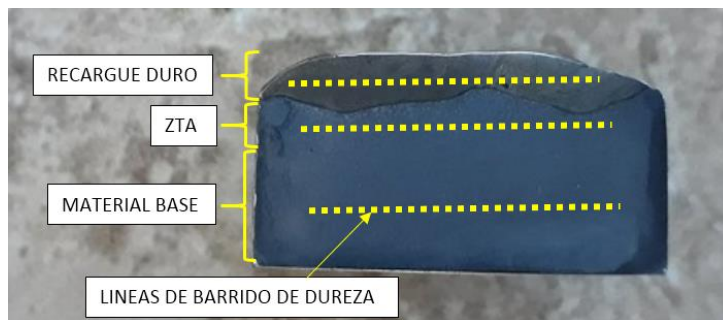


Figura 3.7 Líneas de barrido de Dureza

Fuente: Autor

Este ensayo utiliza un instrumento de lectura directa en función del principio de medición de profundidad diferencial, La prueba se lo realiza levantando la muestra contra el marcador aplicando una carga determinada menor observado en el disco medidor, a continuación se aplica una carga mayor con la ayuda de un sistema de palancas, una vez que la aguja llegue al reposo se retira la carga mayor para visualizar la dureza del material en el indicador digital, se utilizó un durómetro marca ERNST como se muestra en la figura 3.8. El análisis se realizó con dureza en HRB con el fin de obtener los resultados en una escala equivalente para las zonas identificadas.



Figura 3.8 Durómetro marca ERNST.

Fuente: Autor

3.5.5 Análisis metalográfico

Para realizar el análisis metalográfico las muestras se obtuvieron con la ayuda de la cortadora metalográfica en frío del laboratorio de metalografía del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero como se muestra en la figura 3.9 para evitar cambios en la microestructura por las altas temperaturas que se produce al momento del corte.



Figura 3.9 Cortadora metalográfica en frío

Fuente: Autor

Los especímenes se montaron en resina fenólica con la ayuda de la prensa metalográfica este procedimiento está estandarizado en (ASTM E-3 9.4). La resina se pesa en balanzas digitales para lograr la cantidad que se encuentre dentro de los parámetros en nuestro caso se utilizó 15 gr. La presión a la que se encuentra es 4 bar con una temperatura de calentamiento de 170°C y a una temperatura de enfriamiento de 60°C, este procedimiento de encapsulado se lleva a cabo en un tiempo de 8 a 10 minutos, la máquina automáticamente enfría la muestra encapsulada para su fácil extracción.



Figura 3.10 Prensa metalográfica
Fuente: Autor

Una vez encapsulada la probeta procedemos a pulir la sección que se desea analizar, se empieza con el disco abrasivo número 220 con un tiempo máximo de 5 minutos posteriormente se utilizó el disco número 600 por un tiempo de 10 minutos, finalmente se colocó el disco número 1200 por un tiempo máximo de 20 minutos. La velocidad debe ser constante en la máquina pulidora para evitar rayas en la muestra.



Figura 3.11 Máquina pulidora.
Fuente: Autor

En el proceso de pulido final se utilizó la pasta de diamante DiaMaxx Poly 3 μm , se cambia la manguera del fluido a *Oil*, el flujo debe ser constante como recomienda el fabricante del paño, el tiempo está en función del acabado final de la muestra con el fin de tener una superficie libre de rayas.

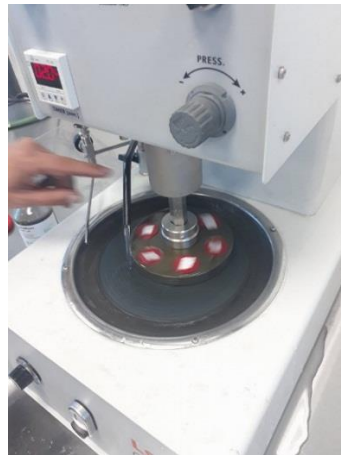


Figura 3.12 Proceso de Pulido
Fuente: Autor

Para la visualización de la microestructura de las probetas se utilizó diferentes reactivos tal como se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Reactivos y su composición química

Reactivo	Composición Química
Nital 4	1-5 mL HNO ₃ y 100 mL etanol
Vilella	5 mL HCl, 1g ácido pícrico y 100 mL etanol

Fuente: Autor

Las probetas fueron atacadas por zonas con los reactivos mencionados para observar la microestructura.

El Nital 4% se utilizó para observar los granos de ferrita y perlita en el material base también permitió revelar la existencia de carburos en los límites del cambio de microestructura, el reactivo Vilella se lo utilizó para revelar la microestructura en los aceros aleados en este caso en la zona del recargue duro permitiendo visualizar carburos en caso de que existan y observar los tipos de granos formados en dicha zona.

3.5.6 Análisis de espectrometría

Para realizar el análisis químico se tomaron muestras de cada tipo de electrodo se soldaron en las placas utilizadas para desgaste abrasivo no se realizó en la superficie analizada ningún proceso de rectificado ni cepillado para evitar cambios en la composición química. El ensayo se lo realizó en el laboratorio de ensayos no destructivos del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero el equipo utilizado es un Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C como se muestra en la figura 3.13 y el método utilizado fue de comparación por fluorescencia de rayos X (XRF) por energía dispersiva de materiales con una precisión de 0.01.



Figura 3.13 Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C
Fuente: Autor

3.5.7 Cálculo de densidades

Para conocer las densidades del material de aporte se utilizó el método de empuje, este método es un principio físico en donde un cuerpo es sumergido en un fluido en reposo para ello las probetas fueron pesadas en una balanza digital con una precisión de 0.001 g como se muestra en la figura 3.14, las mediciones se tomaron antes y después del proceso de revestimiento duro para obtener la diferencia de peso en el revestimiento.



Figura 3.14 Balanza digital
Fuente: Autor

Una vez pesadas las muestras se colocaron en una probeta graduada con agua para identificar el volumen en cm^3 antes y después del proceso de revestimiento como se muestra en la figura 3.15 logrando obtener el volumen aproximado del revestimiento, este proceso se realizó en cada una de las muestras con el fin de obtener las densidades de cada revestimiento en función del tipo de electrodo utilizado.



Figura 3.15 Probeta graduada
Fuente: Autor

Los valores obtenidos de las densidades mostradas en la tabla 3.7 se utilizaron para determinar el índice de pérdida volumétrica con la ecuación 2.1.

Tabla 3.7 Valores de las Densidades de cada revestimiento duro

Material	Densidad
Overalay	6.60 g/cm^3
Antifrix	10.85 g/cm^3
Weldmang	9.52 g/cm^3
ASTM A 36	7.85 g/cm^3

Fuente: Autor





CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS





4.1 Recolección de datos

Las fichas presentadas a continuación contienen los valores de las pérdidas volumétricas en cada uno de los casos por el proceso de desgaste abrasivo también indica el tipo de electrodo utilizado y los parámetros establecidos por la norma ASTM G 65. Para identificar las probetas se marcó con cada ítem por ejemplo el ítem A y B se lo utilizó para las probetas con el electrodo a base de Carburos de Cromo Overlay-62 de una pasada y dos pasadas respectivamente, en el ítem C y D se lo identifico para las probetas con el electrodo Antifrix-450 de una y dos pasadas respectivamente y para el ítem E y F para las probetas con el electrodo Weldmang-14 de la misma manera. También se presenta las fichas de los ensayos de dureza y de la composición química por espectrometría.



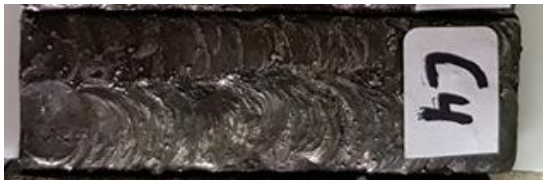

Ficha 4.1.1 Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Overlay-62 con 1pasada





		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:	11/09/2017				
Lugar de estudio:	Laboratorio de Materiales FICM – UTA Sector Huachi Chico				
Realizado por:	Milton Bautista	Revisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETRO DE SOLDADURA					
Material:	Acero al carbono ASTM A36				
Proceso de soldadura:	SMAW				
Numero de pasadas	1				
Electrodo utilizado:	Indura (Overlay 62)	Tipo de recubrimiento:	Recargues duros		
Composición química:	Carburos de Cromo	Diámetro:	1/8 pulg		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM G 65	Carga:	130N (30lb)		
Nº de revoluciones:	2000 rev	Caudal de la arena:	300 a 400 g/min		
Distancia Recorrida:	1436 m	Velocidad en RPM:	200 rpm	Tiempo:	10 min
REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS					
Probeta	Masa. 1 (g)	Masa. 2 (g)	Diferencia de Masas (g)	Perdida Volumétrica mm ³	
A 1	215,201	214,935	0,266	40,303	
A 2	218,371	218,015	0,356	53,939	
A 3	215,356	215,001	0,355	53,788	
A 4	215,058	214,727	0,331	50,152	
A 5	216,014	215,675	0,339	51,364	
PROMEDIO TOTAL				49,909	
RESULTADOS					
Antes			Después		
					
Proceso:			Desgaste abrasivo		

Ficha 4.1.2 Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Overlay-62 con 2 pasadas





		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO					
Tipo de estudio:	Experimental	Ítem	B		
Fecha de ejecución:	12/09/2017				
Lugar de estudio:	Laboratorio de Materiales FICM – UTA Sector Huachi Chico				
Realizado por:	Milton Bautista	Revisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETRO DE SOLDADURA					
Material:		Acero al carbono ASTM A36			
Proceso de soldadura:		SMAW			
Numero de pasadas		2			
Electrodo utilizado:	Indura (Overlay 62)	Tipo de recubrimiento:	Recargues duros		
Composición química:	Carburos de Cromo	Diámetro:	1/8 pulg		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM G 65	Carga:	130N (30lb)		
Nº de revoluciones:	2000 rev	Caudal de la arena:	300 a 400 g/min		
Distancia Recorrida:	1436 m	Velocidad en RPM:	200 rpm	Tiempo:	10 min
REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS					
Probeta	Masa. 1 (g)	Masa. 2 (g)	Diferencia de Masas (g)	Perdida Volumétrica mm^3	
B 1	239,851	239,603	0,248	37,576	
B 2	246,809	246,532	0,277	41,970	
B 3	246,251	245,955	0,296	44,848	
B 4	252,398	252,108	0,29	43,939	
B 5	245,084	244,819	0,265	40,152	
PROMEDIO TOTAL				41,697	
RESULTADOS					
Antes			Después		
					
Proceso:			Desgaste abrasivo		

Ficha 4.1.3 Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Antifrix-450 con 1pasada





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO						
Tipo de estudio:	Experimental	Ítem	C			
Fecha de ejecución:	12/09/2017					
Lugar de estudio:	Laboratorio de Materiales FICM – UTA Sector Huachi Chico					
Realizado por:	Milton Bautista	Revisado por:	Ing. Henry Vaca			
PARÁMETRO DE SOLDADURA						
Material:	Acero al carbono ASTM A36					
Proceso de soldadura:	SMAW					
Numero de pasadas	1					
Electrodo utilizado:	Indura (Antifrix 450)	Tipo de recubrimiento:	Recargues duros			
Composición química:	Aleaciones Martensíticas	Diámetro:	1/8 pulg			
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Norma:	ASTM G 65	Carga:	130N (30lb)			
Nº de revoluciones:	2000 rev	Caudal de la arena:	300 a 400 g/min			
Distancia Recorrida:	1436 m	Velocidad en RPM:	200 rpm	Tiempo:	10 min	
REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS						
Probeta	Masa. 1 (g)	Masa. 2 (g)	Diferencia de Masas (g)	Pérdida Volumétrica mm^3		
C 1	202,717	199,425	3,292	303,410		
C 2	201,741	198,437	3,304	304,516		
C 3	201,902	198,617	3,285	302,765		
C 4	200,401	197,04	3,361	309,770		
C 5	200,345	197,011	3,334	307,281		
PROMEDIO TOTAL				305,548		
RESULTADOS						
Antes			Después			
						
Proceso:			Desgaste abrasivo			

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO							
Tipo de estudio:	Experimental	Ítem	D				
Fecha de ejecución:	14/09/2017						
Lugar de estudio:	Laboratorio de Materiales FICM – UTA Sector Huachi Chico						
Realizado por:	Milton Bautista	Revisado por:	Ing. Henry Vaca				
PARÁMETRO DE SOLDADURA							
Material:		Acero al carbono ASTM A36					
Proceso de soldadura:		SMAW					
Numero de pasadas		2					
Electrodo utilizado:	Indura (Antifrix 450)	Tipo de recubrimiento:	Recargues duros				
Composición química:	Aleaciones Martensíticas	Diámetro:	1/8 pulg				
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Norma:	ASTM G 65	Carga:	130N (30lb)				
Nº de revoluciones:	2000 rev	Caudal de la arena:	300 a 400 g/min				
Distancia Recorrida:	1436 m	Velocidad en RPM:	200 rpm	Tiempo:	10 min		
REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS							
Probeta	Masa. 1 (g)	Masa. 2 (g)	Diferencia de Masas (g)	Perdida Volumétrica mm^3			
D 1	210,212	207,221	2,991	275,668			
D 2	211,159	208,152	3,007	277,143			
D 3	210,636	207,676	2,960	272,811			
D 4	213,658	210,642	3,016	277,972			
D 5	213,06	210,122	2,938	270,783			
PROMEDIO TOTAL				274,876			
RESULTADOS							
Antes				Después			
							
Proceso:				Desgaste abrasivo			





Ficha 4.1.5 Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Weldmang-14 con 1pasada

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO							
Tipo de estudio:	Experimental	Ítem		E			
Fecha de ejecución:	14/09/2017						
Lugar de estudio:	Laboratorio de Materiales FICM – UTA Sector Huachi Chico						
Realizado por:	Milton Bautista	Revisado por:		Ing. Henry Vaca			
PARÁMETRO DE SOLDADURA							
Material:		Acero al carbono ASTM A36					
Proceso de soldadura:		SMAW					
Número de pasadas		1					
Electrodo utilizado:	Indura (weldmang 14)	Tipo de recubrimiento:		Recargues duros			
Composición química:	Aleaciones Austeníticas altas en Mn	Diámetro:		1/8 pulg			
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Norma:	ASTM G 65	Carga:		130N (30lb)			
Nº de revoluciones:	2000 rev	Caudal de la arena:		300 a 400 g/min			
Distancia Recorrida:	1436 m	Velocidad en RPM:	200 rpm	Tiempo:	10 min		
REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS							
Probeta	Masa. 1 (g)	Masa. 2 (g)	Diferencia de Masas (g)	Pérdida Volumétrica mm ³			
E 1	207,980	207,241	0,739	77,626			
E 2	205,723	205,017	0,706	74,160			
E 3	208,728	207,984	0,744	78,151			
E 4	206,391	205,724	0,667	70,063			
E 5	204,119	203,425	0,694	72,899			
PROMEDIO TOTAL				74,580			
RESULTADOS							
Antes				Después			
							
Proceso:				Desgaste abrasivo			

Ficha 4.1.6 Reporte de desgaste abrasivo con electrodo Weldmang-14 con 2 pasadas

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO					
Tipo de estudio:	Experimental	Ítem	F		
Fecha de ejecución:	18/09/2017				
Lugar de estudio:	Laboratorio de Materiales FICM – UTA Sector Huachi Chico				
Realizado por:	Milton Bautista	Revisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETRO DE SOLDADURA					
Material:	Acero al carbono ASTM A36				
Proceso de soldadura:	SMAW				
Numero de pasadas	2				
Electrodo utilizado:	Indura (weldmang)	Tipo de recubrimiento:	Recargues duros		
Composición química:	Aleaciones Austeniticas altas en Mn	Diámetro:	1/8 pulg		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM G 65	Carga:	130N (30lb)		
N° de revoluciones:	2000 rev	Caudal de la arena:	300 a 400 g/min		
Distancia Recorrida:	1436 m	Velocidad en RPM:	200 rpm	Tiempo:	10 min
REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS					
Probeta	Masa. 1 (g)	Masa. 2 (g)	Diferencia de Masas (g)	Perdida Volumétrica mm ³	
F 1	227,55	226,954	0,596	62,605	
F 2	226,63	225,964	0,666	69,958	
F 3	231,527	230,902	0,625	65,651	
F 4	226,041	225,453	0,588	61,765	
F 5	225,761	225,133	0,628	65,966	
PROMEDIO TOTAL				65,189	
RESULTADOS					
Antes			Después		
					
Proceso:			Desgaste abrasivo		

Ficha 4.1.7 Reporte de desgaste abrasivo en el acero ASTM A36

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE ABRASIVO					
Tipo de estudio:	Experimental	Ítem	S		
Fecha de ejecución:	21/09/2017				
Lugar de estudio:	Laboratorio de Materiales FICM – UTA Sector Huachi Chico				
Realizado por:	Milton Bautista	Revisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETRO DE SOLDADURA					
Material:	Acero al carbono ASTM A36				
Proceso de soldadura:	Ninguno				
Numero de pasadas	-				
Electrodo utilizado:	Ninguno	Tipo de recubrimiento:	Ninguno		
Composición química:	Acero ASTM A 36	Diámetro:	Ninguno		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Norma:	ASTM G 65	Carga:	130N (30lb)		
Nº de revoluciones:	2000 rev	Caudal de la arena:	300 a 400 g/min		
Distancia Recorrida:	1436 m	Velocidad en RPM:	200 rpm	Tiempo:	10 min
REGISTRO DE MEDICIONES EN PÉRDIDAS VOLUMÉTRICAS					
Probeta	Masa. 1 (g)	Masa. 2 (g)	Diferencia de Masas (g)	Perdida Volumétrica mm^3	
S 1	180,832	176,719	4,113	523,949	
S 2	179,56	175,185	4,375	557,325	
S 3	179,235	175,115	4,120	524,841	
S 4	178,576	174,215	4,361	555,541	
S 5	180,743	176,401	4,342	553,121	
PROMEDIO TOTAL				542,955	
RESULTADOS					
Antes			Después		
					
Proceso:			Desgaste abrasivo		

Ficha 4.1.8 Reporte del ensayo de dureza para el electrodo Overla-62

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
	ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA			
Tipo de Estudio	De laboratorio	Ensayo N°:	1	
Fecha:	08/12/2017	Probeta N°:	EDR-01	
Parte Especificada:	Material de aporte, ZAT, Material base			
Composición Química del Recargue:	Aleaciones de Carburos de Cromo (OVERLAY 62)			
Solicitado Por:	Milton Bautista	Dirección:	Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto	
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Análisis metalográfico - CFPMC			
Realizado Por:	Ing. Fernando Galarza	Revisado Por:	Ing. Henry Vaca	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA				
Método:	Rockwell B (HRB)			
Tipo de Penetrador:	Bola de acero extraduro de 1/16"			
Cantidad de carga aplicada:	100Kg	Tiempo de duración de la fuerza:	6 Seg	
RESULTADOS				
Zona del ensayo	Recargue Duro	ZAT	Material Base	
Med.1	119.30	71.30	70.30	
Med.2	119.80	72.80	70.60	
Med.3	116.30	72.40	71.10	
Med.4	118.75	71.25	70.15	
Med.5	119.35	72.10	70.75	
Promedio	118.70	71.97	70.58	
Evidencia				RECARGUE DURO ZAT MATERIAL BASE



Ficha 4.1.9 Reporte del ensayo de dureza para el electrodo Antifrix-450

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA		
Tipo de Estudio	De laboratorio	Ensayo N°:	2
Fecha:	08/12/2017	Probeta N°:	EDR-02
Parte Especificada:	Material de aporte, ZAT, Material base		
Composición Química del Recargue:	Aleaciones Martensíticas (ANTIFRIX 450)		
Solicitado Por:	Milton Bautista	Dirección:	Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Análisis metalográfico - CFPMC		
Realizado Por:	Ing. Fernando Galarza	Revisado Por:	Ing. Henry Vaca
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
Método:	Rockwell B (HRB)		
Tipo de Penetrador:	Bola de acero extraduro de 1/16"		
Cantidad de carga aplicada:	100Kg	Tiempo de duración de la fuerza:	6 Seg
RESULTADOS			
Zona del ensayo	Recargue Duro	ZAT	Material Base
Med.1	98.80	75.10	70.60
Med.2	97.80	74.85	70.95
Med.3	100.20	75.20	71.25
Med.4	98.25	74.10	70.80
Med.5	98.86	73.98	71.75
Promedio	98.80	74.65	71.07
Evidencia			

Ficha 4.1. 10 Reporte del ensayo de dureza para el electrodo Weldmang-14

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA			
Tipo de Estudio	De laboratorio	Ensayo N°:	3
Fecha:	08/12/2017	Probeta N°:	EDR-03
Parte Especificada:	Material de aporte, ZAT, Material base		
Composición Química del Recargue:	Aleaciones Austeníticas altas en Mn (WELDMANG 14)		
Solicitado Por:	Milton Bautista	Dirección:	Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto
Centro de estudios y análisis:	Laboratorio de Análisis metalográfico - CFPMC		
Realizado Por:	Ing. Fernando Galarza	Revisado Por:	Ing. Henry Vaca
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
Método:	Rockwell B (HRB)		
Tipo de Penetrador:	Bola de acero extraduro de 1/16"		
Cantidad de carga aplicada:	100Kg	Tiempo de duración de la fuerza:	6 Seg
RESULTADOS			
Zona del ensayo	Recargue Duro	ZAT	Material Base
Med.1	107.90	80.80	73.10
Med.2	109.00	75.80	72.80
Med.3	111.10	76.75	73.60
Med.4	110.80	78.60	71.0
Med.5	111.30	75.60	72.50
Promedio	110.02	77.51	72.60
Evidencia			

Ficha 4.1.11 Reporte de composición química por Espectrometría

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div> 													
REPORTE DE COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF													
Tipo de Estudio		De laboratorio				Ensayo N°:				1			
Fecha:		18/12/2017				Probeta N°:				ERX			
Parte Especificada:						Material de aporte Revestimientos Duros							
Solicitado Por:		Milton Bautista				Dirección:		Ambato/ Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto					
Centro de estudios y análisis:						Laboratorio de Ensayos no Destructivos (END) - CFPMC							
Realizado Por:		Ing. Fernando Galarza				Revisado Por:		Ing. Henry Vaca					
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA													
Tipo de Ensayo:		Cuantitativo				Equipo utilizado:		Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C					
Patrón de Calibración:		Acero inoxidable 316. OLYMPUS				Energía:		40 keV					
Temperatura del Ensayo:		19° C				Conteos por segundo:		33610					
Método de utilizado:						Comparación por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED)							
Resolución (EV):		146				Precisión:		0.01					
RESULTADOS													
Probeta	Tipo de Recargue		Fe	Cr	Mn	Ti	Mo	Zr	Co	Cu	Ni	Si	P
ERX01	Aleaciones de Carburos de Cromo	% Cont.	69.83	22.26	2.63	1.89	1.27	1.27	0.55	-	-		
		+/- Error	0.18	0.14	0.08	0.07	0.02	0.01	0.09				
ERX02	Aleaciones Martensíticas	% Cont.	96.98	1.70	0.60	0.57	-	0.014	-	0.07	0.06		
		+/- Error	0.06	0.03	0.03	0.04	-	0.002	-	0.01	0.01		
ERX03	Aleaciones Austeníticas altas en Mn	% Cont.	83.05	0.04	13.28	0.21	-	0.046	-	-	2.85	0.22	0.188
		+/- Error	0.13	0.01	0.11	0.03	-	0.003	-	-	0.08	0.01	0.006

4.2 Análisis de resultados

4.2.1 Ensayo de Dureza

Para el ensayo de dureza se realizaron barridos en diferentes zonas como se menciona en el capítulo 3. Se realizó varios puntos en las zonas identificadas para medir la dureza en Rockwell B (HRB).

En la Figura 4.1, Figura 4.2, Figura 4.3 se observan los resultados de los barridos de dureza en cada muestra.

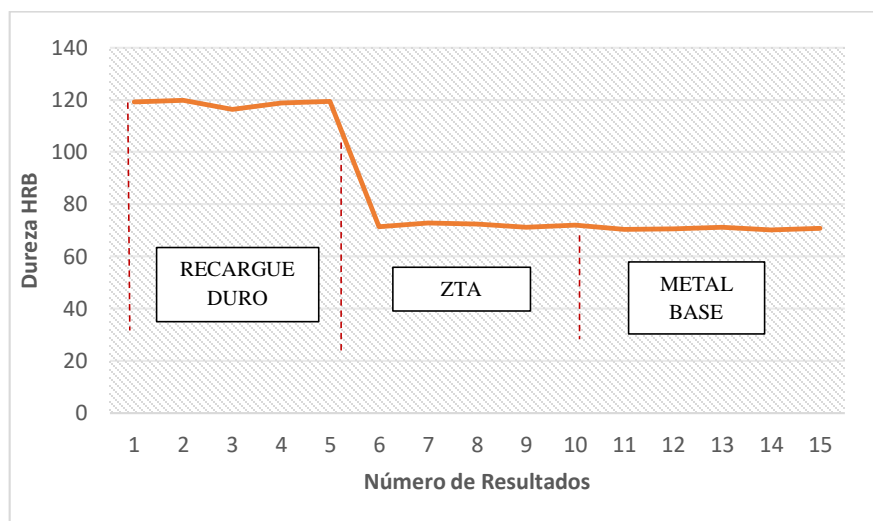


Figura 4. 1 Barrido de la dureza con el electrodo Overlay-62

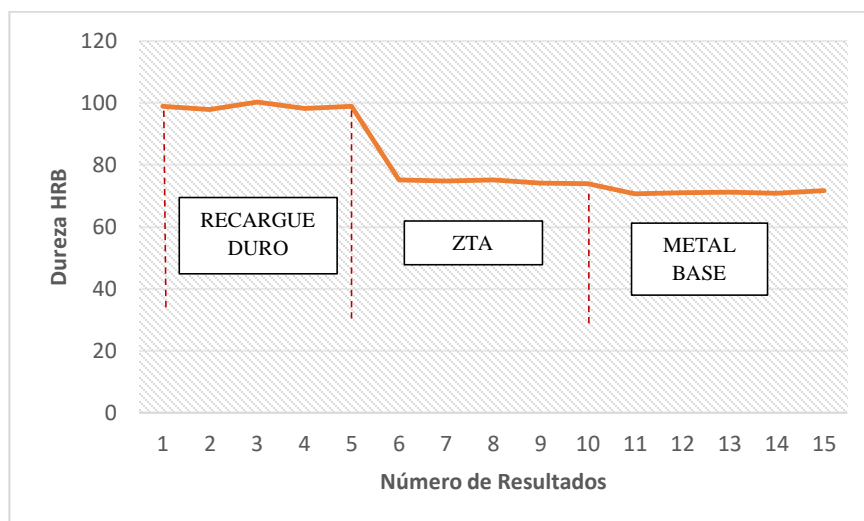


Figura 4. 2 Barrido de la dureza con el electrodo Antifrix-450

Fuente: Autor

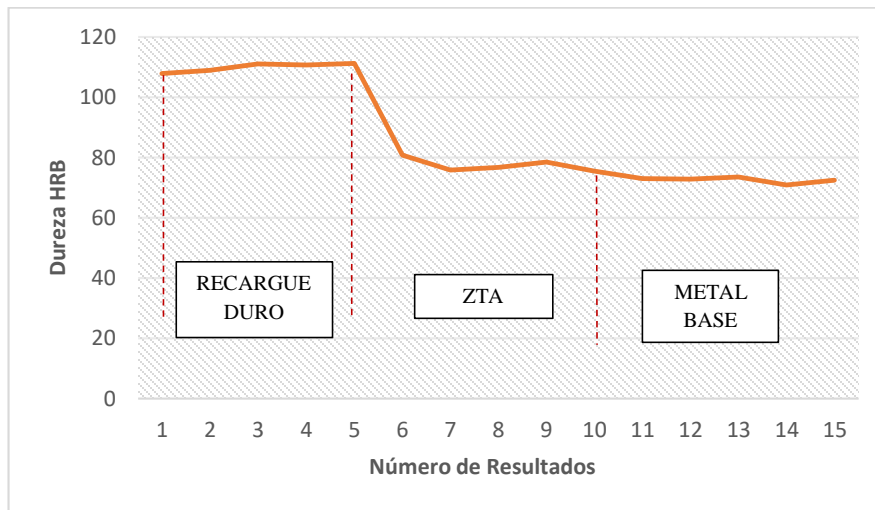


Figura 4. 3 Barrido de la dureza con el electrodo Weldmang-14
Fuente: Autor

El barrido de dureza para los casos presentes muestra un mayor valor en las zonas donde existe recargue duro por lo que disminuye conforme se acerca al material base. Los valores promedios de dureza en las zonas de recargue duro en las aleaciones de carburos de cromo, aleaciones martensíticas y aleaciones austeníticas altas en manganeso fueron 118.70 HRB, 98.90 HRB y 110.02HRB respectivamente.

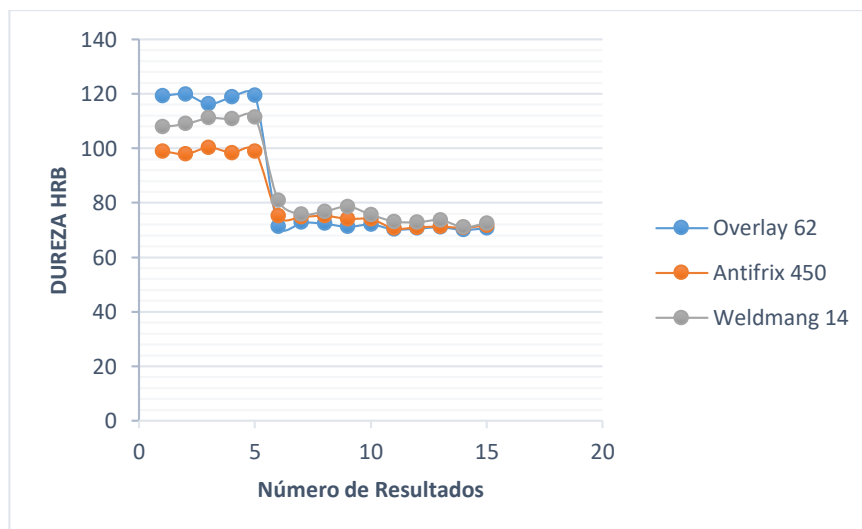





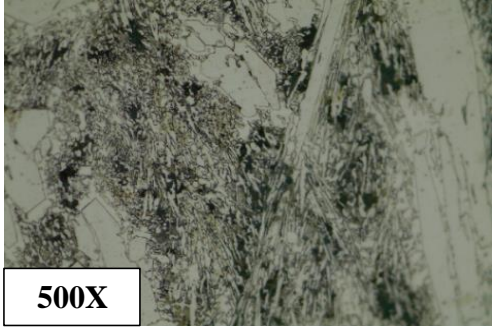
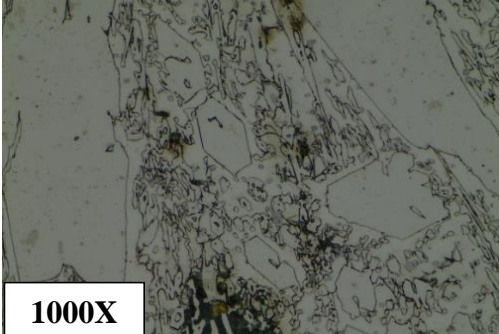
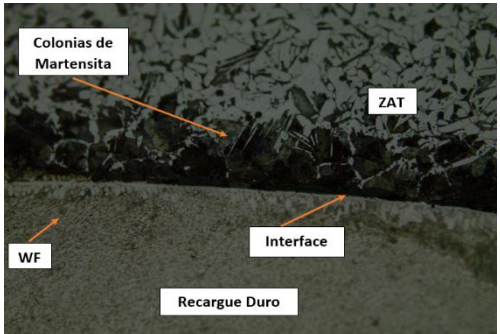
Figura 4. 4 Barrido de la dureza con todas las muestras
Fuente: Autor


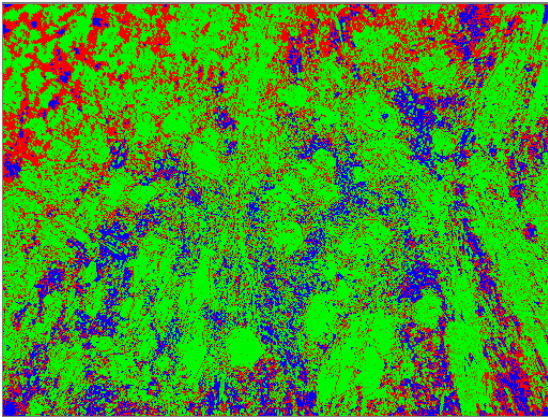
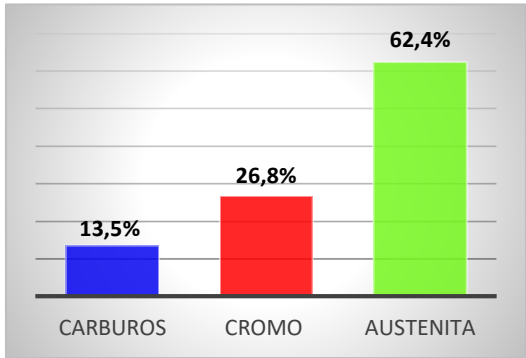
Los valores de dureza son elevados en la zona de recargue duro en función del metal base esto sucede por el tipo de microestructura de cada uno de los recubrimientos y su composición química los valores más altos en dureza fue la muestra con revestimiento a base de carburos de cromo con un porcentaje en cromo según la ficha 4.1.11 de 22.26% esto indica que el cromo brinda una mayor dureza también se analizó su microestructura en donde la presencia de carburos en forma hexagonal aumenta su dureza de 119.8 HRB siendo la más alta en comparación a las muestras estudiadas.

La muestra con un recargue duro a base de aleaciones austeníticas altas en manganeso presento un valor intermedio entre las tres muestras con un porcentaje en manganeso según la ficha 4.1.11 de 13.28% esto indica que el manganeso también brinda dureza al material depositado, su microestructura formada por austenita en forma de dendritas en una matriz eutéctica formada por austenita más carburos y colinas de perlita brindando una dureza máxima de 111.30 HRB. La muestra con recargue duro a base de aleaciones martensíticas presentaron los valores de dureza más bajos en la zona del revestimiento ya que su contenido de cromo y manganeso según la ficha 4.1.11 son de 1.70% y 0.60 % respectivamente estos valores son extremadamente bajos a comparación de las muestras anteriores pero su microestructura aporta características de resistencia por la presencia de inclusiones de carburos y de colonias martensíticas brindando un valor máximo en dureza de 100.2 HRB.

4.2.2 Metalografía

Ficha 4.2.1 Ensayo metalográfico en el electrodo Overlay-62

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO METALOGRAFICO			
Datos informáticos:			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	01
Material: Aleaciones a base de carburos de cromo			
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/12/2017
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – CFPMC	
Realizado por:	Milton Bautista	Supervisado por:	Ing. Henry Vaca, Mg.
PARAMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:		Ambato/ Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto	
Temperatura Ambiente:	20	Iluminación:	Buena
Velocidad del aire circulante:	0.1 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Preparación de la superficie:		Pulido Mecánico	
Tiempo de ataque:	16 Seg	Ataque químico:	Vilella
RESULTADO			
FOTOGRAFIA DE LA MICROESTRUCTURA			
 <p style="text-align: center;">200X</p>		 <p style="text-align: center;">500X</p>	
 <p style="text-align: center;">1000X</p>		 <p style="text-align: center;"> Colonias de Martensita ZAT Interface WF Recargue Duro </p>	

ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA										
Determinación del tamaño de grano:		Microestructura:								
Método:	ASTM E 112	Magnificación: 200x								
Cálculo:										
$NA = f \left(N_i \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(24 + \frac{14^4}{2} \right)$										
$f = 0.0002 M^2 = 8$										
$NA = 8 * 31 = 248$										
$G = 3.321918 * \log NA - 2.954$										
$G = 5.00017$										
Tamaño de grano:	5									
FASES PRESENTES										
Componentes microestructurales:		Porcentajes de fases:								
		 <table border="1" style="margin-top: 10px; width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Fase</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CARBUROS</td> <td>13,5%</td> </tr> <tr> <td>CROMO</td> <td>26,8%</td> </tr> <tr> <td>AUSTENITA</td> <td>62,4%</td> </tr> </tbody> </table>	Fase	Porcentaje	CARBUROS	13,5%	CROMO	26,8%	AUSTENITA	62,4%
Fase	Porcentaje									
CARBUROS	13,5%									
CROMO	26,8%									
AUSTENITA	62,4%									
Interpretación de resultados:										
<p>El revestimiento duro a base de Carburos de Cromo presenta una microestructura compuesta por carburos hexagonales de cromo de la forma M_7C_3 en una matriz eutéctica formada por austenita más inclusiones de carburos. Con un 13.5% de inclusiones de Carburo, 26.80% de Cromo y 62.4% Austenita. En la ZAT se pueden observar colonias de martensita y los granos de ferrita y perlita del metal base también en el interface del recargue duro de observa ferrita de Widmanstaetten (WF) se caracteriza porque sigue 3 o 4 direcciones privilegiadas, está formada por agujas de ferrita y perlita entrecruzadas.</p>										



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos informáticos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	02
Material: Aleaciones Martensíticas			
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	11/12/2017
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – CFPMC	
Realizado por:	Milton Bautista	Revisado por:	Ing. Henry Vaca, Mg.

PARAMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

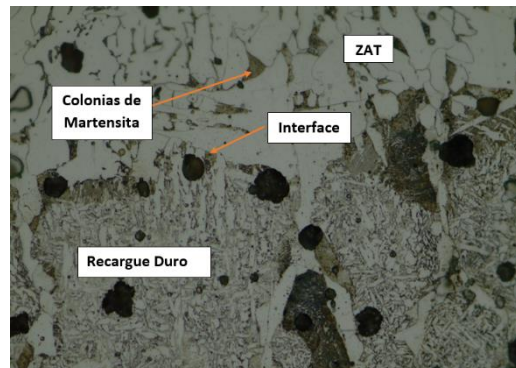
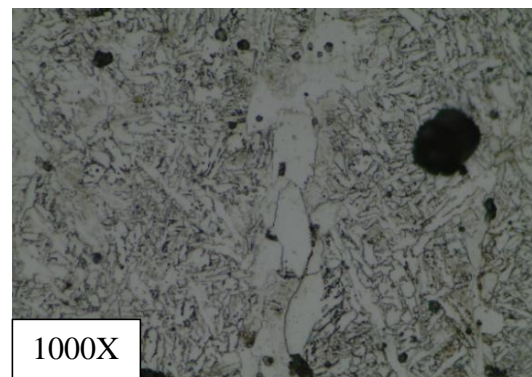
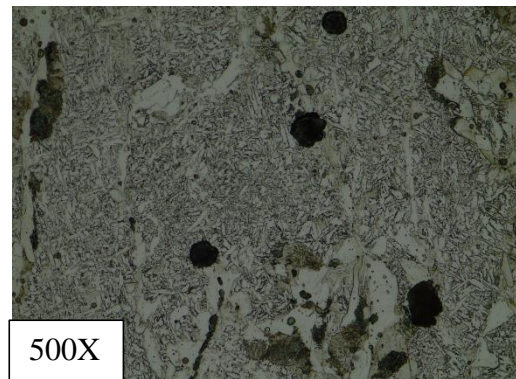
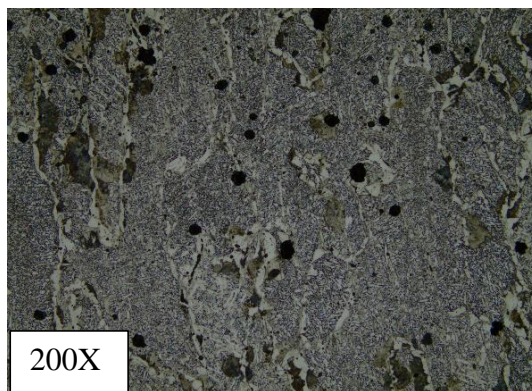
Lugar:	Ambato/ Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto		
Temperatura Ambiente:	20	Radiación:	
Velocidad del aire circulante:	0.1 m/s	Otros:	

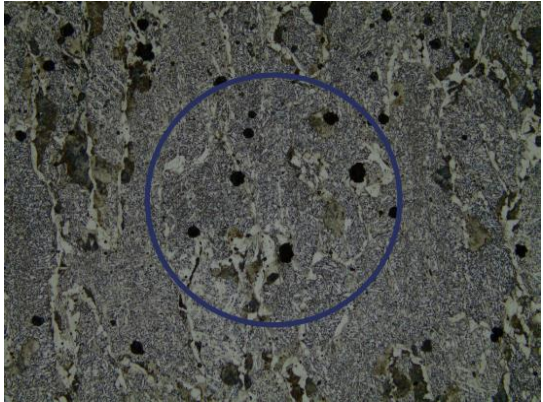
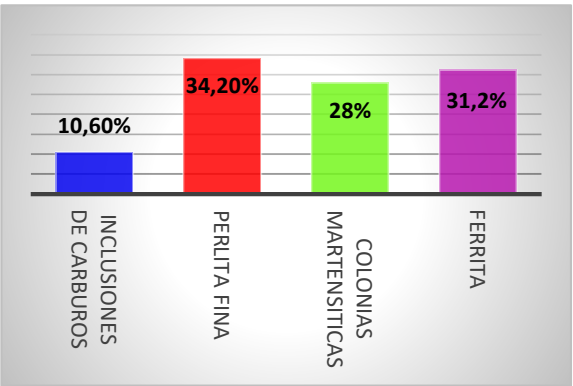
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Preparación de la superficie:		Pulido Mecánico	
Tiempo de ataque:	10 Seg	Ataque químico:	Vilella

RESULTADO

FOTOGRAFIA DE LA MICROESTRUCTURA



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA											
Determinación del tamaño de grano:											
Método:	ASTM E 112										
Microestructura:											
Magnificación: 200x											
Cálculo:											
$NA = f \left(N_i \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(190 + \frac{65}{2} \right)$ $f = 0.0002 M^2 = 8$ $NA = 8 * 222.5 = 1780$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 7.8436$											
Tamaño de grano:	8										
FASES PRESENTES											
Componentes microestructurales:	Porcentajes de fases:										
	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Fase</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inclusiones de Carburos</td> <td>10,60%</td> </tr> <tr> <td>Perlita Fina</td> <td>34,20%</td> </tr> <tr> <td>Colonias Martensíticas</td> <td>28%</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>31,2%</td> </tr> </tbody> </table>	Fase	Porcentaje	Inclusiones de Carburos	10,60%	Perlita Fina	34,20%	Colonias Martensíticas	28%	Ferrita	31,2%
Fase	Porcentaje										
Inclusiones de Carburos	10,60%										
Perlita Fina	34,20%										
Colonias Martensíticas	28%										
Ferrita	31,2%										
Interpretación de resultados:											
<p>El revestimiento duro a base de aleaciones martensíticas tiene una microestructura compuesta de colonias de martensita, perlita fina y ferrita más inclusiones de carburos, con un 10.6% de inclusiones de carburo, 34.20% perlita fina, 28% colonias martensíticas y 31.2% de ferrita. En la interfase se pueden observar los granos de perlita y ferrita del material base con presencia de colonias de martensita e inclusiones de carburos como puntos negros.</p>											



ENSAYO METALOGRAFICO

Datos informáticos:

Tipo de estudio:	De laboratorio	Ensayo N°	03
Material: Aleaciones Austeniticas altas en Mn			
Solicitado por:	UTA-FICM	Fecha:	18/12/2017
Centro de estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales – CFPMC	
Realizado por:	Milton Bautista	Revisado por:	Ing. Henry Vaca, Mg.

PARAMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

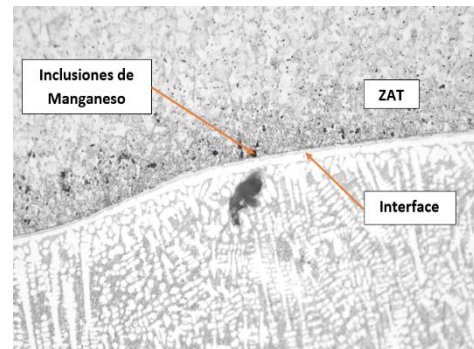
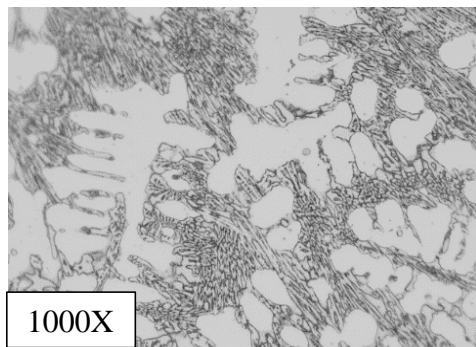
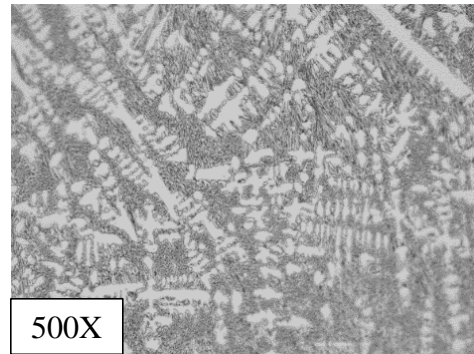
Lugar:	Ambato/ Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto		
Temperatura Ambiente:	20	Radiación:	
Velocidad del aire circulante:	0.1 m/s	Otros:	

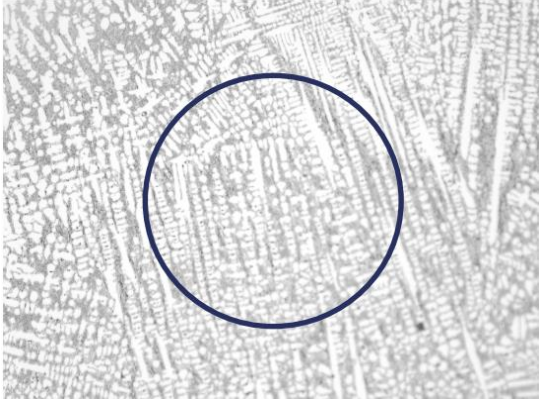
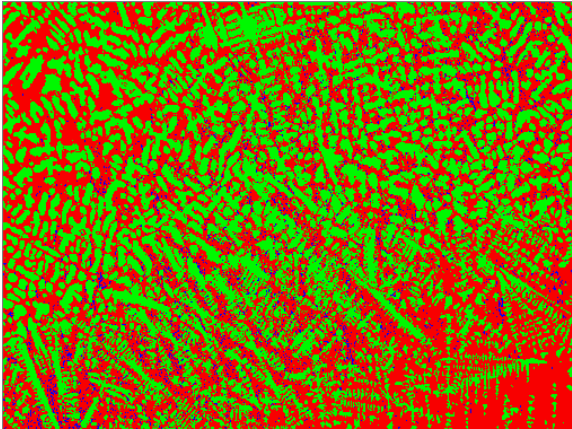
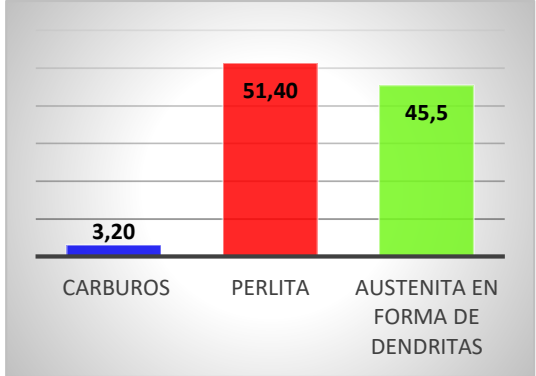
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Preparación de la superficie:	Pulido Mecánico		
Tiempo de ataque:	12 seg.	Ataque químico:	Vilella

RESULTADO

FOTOGRAFIA DE LA MICROESTRUCTURA



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA									
Determinación del tamaño de grano:	Microestructura:								
Método:	Magnificación: 200x								
Cálculo:									
$NA = f \left(N_i \frac{N_{int}}{2} \right) = f \left(223 + \frac{27}{2} \right)$ $f = 0.0002 M^2 = 8$ $NA = 8 * 31 = 236.5$ $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 4.93$									
Tamaño de grano:		5							
FASES PRESENTES									
Componentes microestructurales:	Porcentajes de fases:								
	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Fase</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CARBUROS</td> <td>3,20</td> </tr> <tr> <td>PERLITA</td> <td>51,40</td> </tr> <tr> <td>AUSTENITA EN FORMA DE DENDRITAS</td> <td>45,5</td> </tr> </tbody> </table>	Fase	Porcentaje	CARBUROS	3,20	PERLITA	51,40	AUSTENITA EN FORMA DE DENDRITAS	45,5
Fase	Porcentaje								
CARBUROS	3,20								
PERLITA	51,40								
AUSTENITA EN FORMA DE DENDRITAS	45,5								
Interpretación de resultados:									
<p>El revestimiento duro a base de aleaciones Austeníticas altas en Manganeso tiene una microestructura compuesta por austenita en forma de dendritas en una matriz eutéctica Formada por austenita más carburos y colonias de perlita. Con un 3.20% en inclusiones de carburos, 51.40% perlita y 45.5% Austenita en forma de dendritas. En la interface se observan inclusiones de manganeso y granos de ferrita y perlita fina del material base.</p>									

4.2.3 Ensayo de desgaste

En el ensayo de desgaste se tomó en cuenta la masa inicial, masa final y densidades de cada electrodo para obtener las pérdidas volumétricas en mm^3 como determina la norma ASTM G-65. La tabla 4.1 muestra los promedios de pérdidas volumétricas en cada procedimiento realizado para la comparación de la variación de volumen.

Tabla 4.1 Promedio de las pérdidas volumétricas

Tipo de Material	Promedio de Pérdida Volumétrica (mm^3)
Overlay 1 Pasada	49,909
Overlay 2 Pasadas	41,697
Weldmang 1 Pasada	74,58
Weldmang 2 Pasadas	65,189
Antifrix 1 Pasada	305,548
Antifrix 2 Pasadas	274,876
ASTM A36	542,955

Fuente: Autor

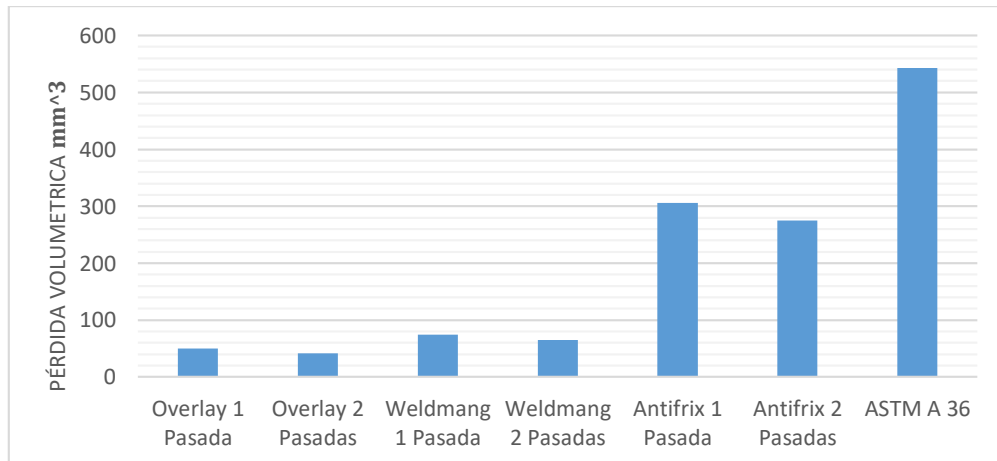


Figura 4.5 Pérdidas volumétricas

Fuente: Autor

En la figura 4.5 se observa que la mayor pérdida de volumen la presenta el acero ASTM A36 con una pérdida promedio de 542.955 mm^3 , la pérdida disminuye notablemente con el proceso de revestimiento duro sobre el material base la presencia de aleaciones de carburos de cromo disminuye con una pérdida volumétrica de 49.909 mm^3 y 41.697 mm^3 con una y dos pasadas respectivamente, este tipo de recargue con contenido de carburos duros funcionan como barreras evitando que las partículas abrasivas penetren el material alcanzando el mínimo desgaste abrasivo.

La presencia de Manganeso ofrece una buena resistencia al desgaste al igual que la matriz Austenítica como se puede observar el recargue duro con el electrodo Weldmang-14 tuvo una pérdida volumétrica de 74.58 mm^3 y 65.189 mm^3 con una y dos pasadas respectivamente.

Los bajos contenidos de cromo y manganeso disminuyen la resistencia al desgaste pero sus contenidos de inclusiones de carburos y su matriz martensítica proporciono una aceptable resistencia a la penetración de partículas abrasivas como se puede observar en el recargue duro con el electrodo Antifrix-450 tuvo una pérdida volumétrica de 305.548 mm^3 y 274.876 mm^3 con una y dos pasadas respectivamente. En este electrodo se tuvo un desgaste máximo en comparación con las otras muestras.

4.3 Verificación de hipótesis

4.3.1 Ho (Hipótesis Nula)

Con la aplicación de recargues duros por proceso SMAW el desgaste es igual para los grupos A y E

4.3.2 Ha (Hipótesis Alterna)

Con la aplicación de recargues duros por proceso SMAW el desgaste es diferente para los grupos A y E

La hipótesis se la comprobó con un ensayo bilateral es decir hacia los dos lados y además con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%

A continuación, procedemos a calcular la probabilidad aplicando la ecuación 4.1.

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Donde:

P = Probabilidad

α = Nivel de significancia

$$P=5/100$$

$$P=0.05$$

Además, se debe tomar en cuenta que se analiza para las dos colas por lo que se divide para 2:

$$P=0.05/2$$

$$P=0.025$$

Posteriormente se calcula los grados de libertad aplicando la ecuación 4.2.

$$Gl = n - 1 \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Donde:

GL = Grados de libertad

n = Número de muestras

$$Gl = 5 - 1$$

$$Gl = 4$$

Con los datos obtenidos de la población y los grados de libertad procedemos a calcular el valor de t tabulado para lo cual utilizamos la tabla que se muestra en el Anexo 9. Por lo tanto, obtuvimos el valor de:

$$t_{tab} = \pm 2.78$$

4.3.3 Regla de decisión

Se acepta la hipótesis nula H_0 (Con la aplicación de recargues duros por proceso SMAW el desgaste es igual para los grupos A y E) si el valor de t calculado está entre el rango de -2.7764 a 2.7764, de otra forma, se acepta la hipótesis alterna H_a (Con la aplicación de recargues duros por proceso SMAW el desgaste es diferente para los grupos A y E)

4.3.4 Verificación de la hipótesis con respecto al grupo A y E

Tabla 4. 2 Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo A y E

Muestra	Grupo A	Grupo E	H	H ²
1	40.303	77.626	37.323	1393.006
2	53.939	74.160	20.221	408.888
3	53.788	78.151	24.363	593.555
4	50.152	70.063	19.911	396.447
5	51.364	72.889	21.525	463.325
Suma	249.546	372.889	123.343	3255.221
Promedio	49.909	74.577	24.668	

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos procedemos a calcular las varianzas de las diferencias aplicando la ecuación 4.3:

$$S^2d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde:

S^2d = desviación

H = Diferencia entre los datos

n = número de muestras

$$S^2d = 10.626$$

$$Sd = 3.26$$

Luego procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 4.4.

$$t_{cal} = \frac{\bar{H}}{Sd} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde:

\bar{H} = Promedio de la diferencia

t_{cal} = t calculado

$$t_{cal} = 7.566$$

$$t_{cal} = 7.566 > t_{tab} = 2.78$$

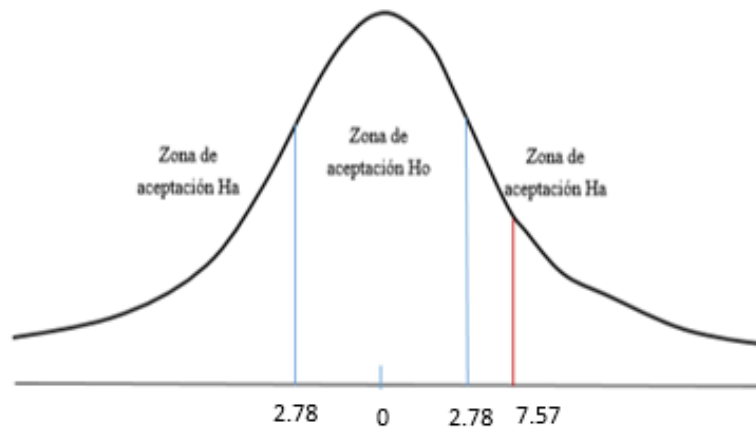


Figura 4. 6 Campana de referencia T-student del grupo A y E
Fuente: Autor

La t calculada se encuentra fuera del rango ± 2.78 por lo tanto se acepta Ha.

4.3.5 Ho (Hipótesis Nula)

Con la aplicación de recargues duros por proceso SMAW el desgaste es igual para los grupos B y F

4.3.6 Ha (Hipótesis Alterna)

Con la aplicación de recargues duros por proceso SMAW el desgaste es diferente para los grupos B y F

La hipótesis se la comprobó con un ensayo bilateral es decir hacia los dos lados y además con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%

4.3.7 Verificación de la hipótesis con respecto al grupo B y F

Tabla 4.3 Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo B y F

Muestra	Grupo B	Grupo F	H	H ²
1	37.576	62.605	25.029	626.450
2	41.970	69.958	27.988	783.328
3	44.848	65.651	20.803	432.764
4	43.939	61.765	17.826	317.766
5	40.152	65.966	25.814	666.36
Suma	208.485	325.945	117.46	2826.672
Promedio	41.697	65.189	23.492	

Fuente: Autor

Cálculo de las varianzas de las diferencias aplicando la ecuación 4.3:

$$S^2d = 3.36$$

$$Sd = 1.83$$

Luego procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 4.4:

$$t_{cal} = 12.80$$

$$t_{cal} = 12.80 > t_{tab} = 2.78$$

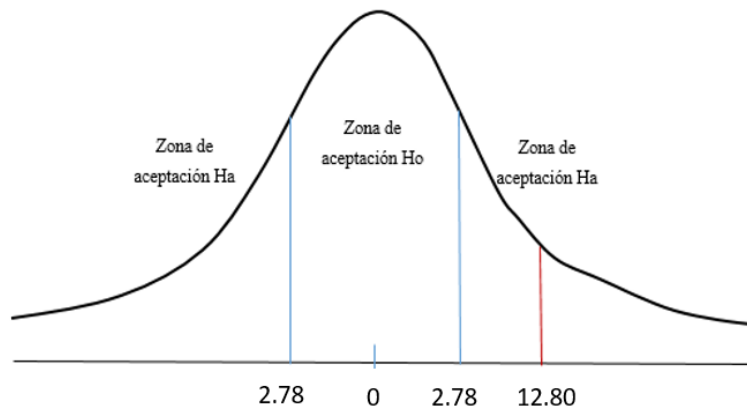


Figura 4.7 Campana de referencia T-student del grupo B y F

Fuente: Autor

La t calculada se encuentra fuera del rango ± 2.78 por lo tanto se acepta Ha.

En los dos casos el t calculado es mayor que el t tabulado por lo cual se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_a (Con la aplicación de recargues duros por proceso SMAW el desgaste es diferente para los grupos B y F).

4.3.8 H_0 (Hipótesis Nula)

Con la aplicación de recargues duros por proceso SMAW el desgaste es igual para los grupos D y S

4.3.9 H_a (Hipótesis Alterna)

Con la aplicación de recargues duros por proceso SMAW el desgaste es diferente para los grupos D y S

La hipótesis se la comprobó con un ensayo bilateral es decir hacia los dos lados y además con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%

4.3.10 Verificación de la hipótesis con respecto al grupo D y S

Tabla 4. 4 Verificación de la hipótesis de las probetas del grupo D y S

Muestra	Grupo D	Grupo S	H	H ²
1	275,668	523,949	220,539	48637,409
2	277,143	557,325	252,809	63912,245
3	272,811	524,841	222,076	49317,655
4	277,972	555,541	245,772	60403,786
5	270,783	553,121	245,840	60437,263
Suma	2714,777	1527,742	1187,035	282708,358
Promedio	542,955	305,548	237,407	

Fuente: Autor

Cálculo de las varianzas de las diferencias aplicando la ecuación 4.3:

$$S^2d = 44.897$$

$$Sd = 6.7$$

Luego procedemos a calcular la t calculada con la ecuación 4.4:

$$t_{cal} = 35.433$$

$$t_{cal} = 35.433 > t_{tab} = 2.78$$

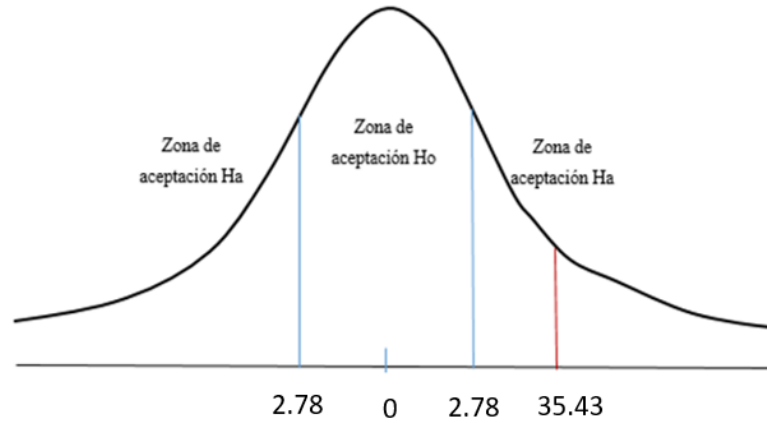


Figura 4. 8 Campana de referencia T-student del grupo D y S
Fuente: Autor

La t calculada se encuentra fuera del rango ± 2.78 por lo tanto se acepta Ha.

En los dos casos el t calculado es mayor que el t tabulado por lo cual se rechaza la hipótesis nula Ho y se acepta la hipótesis alterna Ha (Con la aplicación de recargues duros por proceso SMAW el desgaste es diferente para los grupos D y S)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El desgaste abrasivo según la norma ASTM G-65 se evaluó en función del método B, seleccionado mediante ensayos preliminares en donde se realizaron pruebas por el método A en el que se obtuvo una pérdida volumétrica de 126.515mm^3 en el electrodo con menor desgaste siendo mayor a 100mm^3 por lo tanto los parámetros del método B son los correctos para este tipo de ensayos según la norma.
- El electrodo con aleaciones de carburos de cromo es el que posee la mayor resistencia al desgaste con una pérdida volumétrica de 49.909mm^3 en una pasada y 41.697mm^3 en dos pasadas mejorando la resistencia al desgaste en aproximadamente 11 veces con respecto al acero ASTM A36.
- Las microestructuras citadas con la composición química proporcionada por el catálogo de los electrodos adquiridos coinciden con la microestructura obtenida en los estudios de metalografía realizados.
- El electrodo a base de aleaciones martensíticas obtuvo pérdidas volumétricas en una y dos pasadas de 305.548mm^3 y 274.876mm^3 respectivamente siendo el menos apropiado para mejorar la resistencia al desgaste.
- Con porcentajes altos de Cromo y Manganeso en el revestimiento de los electrodos se obtienen valores altos de dureza similares entre los dos de 118.70 HRB y 110.02 HRB respectivamente, lo que no ocurre con el revestimiento que tiene bajos porcentajes de estos componentes con una dureza menor de 98.80 HRB.
- El electrodo Antifrix-450 obtuvo el mayor desgaste dentro de los tres electrodos estudiados por sus contenidos bajos en Cromo y Manganeso de 0.03% en ambos compuestos siendo el más vulnerable a sufrir un mayor desgaste.

- El análisis estadístico comprueba que el electrodo que obtuvo menor pérdida volumétrica tiene aleaciones de carburos de cromo como se muestra en la figura 4.5 siendo el más recomendable dentro de los tres electrodos estudiados.
- Las microestructuras encontradas fueron diferentes para todos los casos, el material base presenta granos de perlita y ferrita, la ZAT en algunos casos presenta inclusiones de Manganeseo y en otras colonias de martensita en el recargue duro con mayor resistencia al desgaste se presentaron carburos hexagonales de cromo de la forma M_7C_3 en una matriz eutéctica formada por austenita más inclusiones de carburos, en los recargues duros de aleaciones martensíticas que tuvieron mayor desgaste se presentó una microestructura compuesta de colonias de Martensita, perlita fina y ferrita más inclusiones de carburos.
- Se logró encontrar inclusiones de carburos en todas las microestructuras este tipo de inclusiones aportan con dureza al material de aporte lo que le hace diferente del acero estructural ASTM A36.

4.2 Recomendaciones

- El uso de la máquina para el ensayo debe ser el correcto basándose en los parámetros descritos por la norma para evitar resultados incoherentes al momento de los cálculos.
- El flujo de arena debe ser constante para ello se debe controlar que la boquilla no se tape o que la arena no contenga residuos que puedan obstruir el paso de la misma.
- El material que se va a utilizar se debe comprobar mediante análisis metalográfico para verificar si coinciden con los datos de catálogos.
- El proceso de soldadura se lo debe realizar bajo los parámetros descritos en los catálogos del proveedor para obtener mejores resultados en el acabado superficial y en la fusión del metal base con el material de aporte.
- Una vez realizado el ensayo de metalografía se recomienda utilizar la misma probeta para el ensayo de dureza ya que se puede observar con facilidad los límites

de cada zona y la superficie está completamente lisa para la obtención de mejores resultados.

- Al momento de realizar los cortes transversales de las probetas para los estudios metalográficos se debe realizar mediante una cortadora de disco en frío para evitar cambios en la microestructura.
- Se debe seleccionar el reactivo adecuado para los análisis metalográficos en función de la composición química de los materiales.
- Para el ensayo de la composición química de espectrometría por fluorescencia de rayos X la superficie no debe tener ningún proceso de rectificado ni cepillado para evitar cambios en la composición química.

Bibliografía

- [1] J. Telenchana. “Análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW y su incidencia en las propiedades mecánicas” Ingeniería, Universidad Técnica De Ambato, Ecuador, 2013.
- [2] F. Marqués et al., “Análise de desgaste abrasivo do revestimento duro a base de carbonetos de cromo depositado por SMAW.” *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, vol. 20, no. 2, pp. 13-23, 2016.
- [3] J. Gutierrez, L. Leon, D. Mesa, A. Toro. “Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la Industria Minera.” Internet: Agosto 2004
- [4] J. McCormac. *Diseño de Estructuras Metálicas*. México: Alfaomega, 2012.
- [5] *Estándar de Especificación para el Acero Estructural al Carbono*, American Society for Testing and Materials (ASTM) Estándar A36-1997.
- [6] *Recubrimiento Duro*, McKay Miller Electric Mfg. Co., Appleton, Wisconsin, Miami, 2014.
- [7] *Especificación para Varillas de Soldadura y Electrodo de Superficie Sólida*, American Welding Society (AWS) Standard 5.13-1980.
- [8] *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*, INDURA S.A., Cerrillos, Chile, 2010.
- [9] K.H. Zum Gahr. *Microstructure and Wear of Materials*. Amsterdam: Elsevier, 1987.
- [10] *Standard Terminology Relating to Wear and Erosion*, American Society for Testing and Materials (ASTM) Standard G 40-92.
- [11] *Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus*, American Society for Testing and Materials (ASTM) Standard G 65-1994.
- [12] M. F. Martins. “Avaliação dos Parâmetros de Soldagem na Resistência ao Desgaste Abrasivo de Revestimentos Duros.” SciELO, 2014.
- [13] *Soldeo Manual con Electrodo Revestidos (SMAW)*, Lincoln Electric, España, 2010.
- [14] S. Ramesh. *Applied Welding Engineering*. Oxford, Inglaterra: Elsevier, 2012.
- [15] *Norma para la Prueba de Dureza Brinell de Materiales Metálicos*, American Society for Testing and Materials (ASTM) E10 – 15.

- [16] *Norma para la Prueba de Dureza Rockwell de Materiales Metálicos*, American Society for Testing and Materials (ASTM) E18 – 15.
- [17] W.D. Callister. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, 2nd ed. México: Limusa, Wiley, 2009.
- [18] J.E. Neely. *Metalurgia y Materiales Industriales*. México: Limusa, 2002.
- [19] C. Fonseca. *Introducción a la Metalurgia de la soldadura*, 7ma ed. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2007.

Anexos

Anexo 1	Catalogo de la platina estructural	78
Anexo 2	Catalogo del electrodo Overlay-62 Indura.....	79
Anexo 3	Catalogo del electrodo Antifrix-450 Indura.....	80
Anexo 4	Catalogo del electrodo Weldmang-14.....	81
Anexo 5	Extracto de la norma para ensayo de dureza ASTM E 18-15.....	82
Anexo 6	Norma para ensayo de desgaste abrasivo ASTM G-65	85
Anexo 7	Reporte de los ensayos de dureza.....	97
Anexo 8	Reporte del ensayo de espectrometría.....	99
Anexo 9	Tabla Tstudent.....	100

Anexo 1.- Catálogo de la platina estructural



PERFILES LAMINADOS PLATINAS



Especificaciones Generales


Calidad	ASTM A36 SAE 1008
Otras calidades	Previa Consulta
Largo normal	6,00m
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta



Denominación	Dimensiones		Peso		Área
	mm		kg/m	kg/6m	cm ²
	A	e			
PLT 12X3	12	3	0,28	1,70	0,36
PLT 12X4	12	4	0,38	2,45	0,48
PLT 12X6	12	6	0,57	3,40	0,72
PLT 19X3	19	3	0,45	2,68	0,57
PLT 19X4	19	4	0,60	3,58	0,76
PLT 19X6	19	6	0,89	5,37	1,15
PLT 25X3	25	3	0,59	3,53	0,75
PLT 25X4	25	4	0,79	4,71	1,00
PLT 25X3	25	6	1,18	7,07	1,50
PLT 25X12	30	3	0,71	4,24	0,90
PLT 30X4	30	4	0,94	5,65	1,20
PLT 30X6	30	6	1,41	8,47	1,80
PLT 30X9	30	9	2,12	12,71	2,70
PLT 30X12	30	12	2,83	16,95	3,60
PLT 38X3	38	3	0,89	5,37	1,15
PLT 38X4	38	4	1,19	7,16	1,52
PLT 38X6	38	6	1,79	11,40	2,28
PLT 38X9	38	9	2,69	16,11	3,42
PLT 38X12	38	12	3,58	21,48	4,56
PLT 50X3	50	3	1,18	7,08	1,50
PLT 50X4	50	4	1,56	9,42	2,00
PLT 50X6	50	6	2,26	14,16	3,00
PLT 50X9	50	9	3,53	21,20	4,50
PLT 50X12	50	12	4,71	28,26	6,00
PLT 65X6	65	6	3,06	18,37	3,90
PLT 65X9	65	9	4,59	27,55	5,85
PLT 65X12	65	12	6,12	36,73	7,80
PLT 75X6	75	6	3,53	21,20	4,50
PLT 75X9	75	9	5,30	31,80	6,75
PLT 75X8	75	8	7,07	28,26	9,00
PLT 75X12	75	12	7,07	42,39	9,00
PLT 100X6	100	6	4,71	28,26	6,00
PLT 100X8	100	8	7,07	37,58	9,00
PLT 100X9	100	9	7,07	43,00	9,00
PLT 100X12	100	12	9,42	58,00	12,00
PLT 120X12	120	12	67,82	67,82	14,40
PLT 150X15	150	15	105,88	105,88	22,50
PLT 150X20	150	20	145,44	145,00	30,00

PERFILES


Anexo 2 Catalogo del electrodo Overlay-62 Indura



INDURA
Tecnología a su Servicio

OVERLAY - 62

Rev.01-010412



- Electrodo de alta aleación (C+Cr)
- Insuperable en su capacidad de resistencia al desgaste abrasivo

Características y Campos de usos:

- Se caracteriza por producir un arco estable y suave. Aunque se puede usar corriente alterna, es más recomendable soldar con corriente continua electrodo positivo (polaridad invertida).
- Las principales aplicaciones se encuentran en recubrimiento final en chancadores de rodillo, chancadores de cono, dientes de palas mecánicas, etc.

Análisis Típico del metal depositado (% en peso)

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Mo, %	Ni, %
5.00	3.22	2.82	35.00	0.91	0.14

Durezas Típicas del Metal Depositado

Nº de capas	Dureza HRc
1	55 - 62
2	58 - 63

Dureza obtenida sobre acero ASTM A36


Parámetros de Soldadura y Datos


Diámetro, mm	2.4	3.2	4,0	4,8
Longitud, mm	300	350	350	350
Int. de Corr., A.	50 - 100	80 - 150	140 - 200	180 - 280
Nº elect/Kg	45	17	12	8

Secado

Mínimo 1 hora a 300 °C.

Posición de Soldadura






CCEP - CA


Si no encuentra el diámetro o el envase que anda buscando, favor contactarse en Chile con el Centro de Servicio al Cliente INDURA o con su representante local según corresponda.

OVERLAY - 62

INDURA S.A. – Centro de Servicio al Cliente 600 600 3030 – www.indura.net




Anexo 3 Catalogo del electrodo Antifrix-450 Indura



INDURA
Tecnología a su Servicio

ANTIFRIX 450

Rev.01-010412



- Electrodo rutilico para aplicación como recubrimiento duro
- Apto para base de recubrimientos de mayor dureza
- Depósito mecanizable con el uso de herramientas adecuadas
- DIN 8555 E-1-350

Características y Campos de usos:

- Aplicaciones: rodillos de molino, asiento de válvulas, piñones, maquinarias agrícolas, etc.
- Excelente para desgaste por impacto moderado y desgaste metal metal.

Análisis Típico del metal depositado (% en peso)

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Mo, %	Ni, %
0.09	0.50	0.20	4.50	< 0.01	< 0.01

Durezas Típicas del Metal Depositado

Nº de capas	Dureza HRc
1	30 - 40
2	34 - 42

Dureza obtenida sobre acero ASTM A36


Parámetros de Soldadura y Datos

Diámetro, mm	2.4	3.2	4.0	4.8
Longitud, mm	300	350	350	350
Int. de Corr., A	50 - 80	80 - 120	120 - 170	170 - 240
No elect/Kg ≈	70	32	21	12

Secado

No es necesario

Posición de Soldadura




CCEN (CA)


Si no encuentra el diámetro o el envase que anda buscando, favor contactarse en Chile con el Centro de Servicio al Cliente INDURA o con su representante local según corresponda.

ANTIFRIX 450

INDURA S.A. – Centro de Servicio al Cliente 600 600 3030 – www.indura.net




Anexo 4 Catalogo del electrodo Weldmang-14



INDURA[®]
Tecnología a su Servicio

WELDMANG 14
Rev.01-010412



· Electrodo de acero austenítico al manganeso
· Apto para unión, relleno y recubrimiento de piezas de acero al manganeso.

Características y Campos de usos:

- Aplicaciones: reparación de piezas fundidas de acero al Mn, chancadores, etc.
- Excelente para desgaste por impacto y abrasión moderada.

Análisis Típico del metal depositado (% en peso)

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Mo, %	Ni, %
1.2	18.45	0.42	0.07	0.02	4.21

Durezas Típicas del Metal Depositado

Nº de capas : 2	Dureza HB
recién soldado (as welded)	180 – 210
endurecido por trabajo	400 – 500
Dureza obtenida sobre acero ASTM A36	


Parámetros de Soldadura y Datos

Diámetro, mm (plg)	2.4	3.2	4,0	4,8
Longitud, mm (plg)	300	350	350	350
Int. de Corr., A	50 - 80	80 - 140	140 - 180	160 - 230
Nº elect/Kg »	50	24	17	11

Secado:

No es necesario

Posición de soldadura




CCEP - CA

Si no encuentra el diámetro o el envase que anda buscando, favor contactarse en Chile con el Centro de Servicio al Cliente INDURA o con su representante local según corresponda.

WELDMANG 14

INDURA S.A. – Centro de Servicio al Cliente 600 600 3030 – www.indura.net



1

Anexo 5 Extracto de la norma para ensayo de dureza ASTM E 18-15



Designation: E18 – 15

An American National Standard

Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials^{1,2}

This standard is issued under the fixed designation E18; 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.

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

1. Scope*

1.1 These test methods cover the determination of the Rockwell hardness and the Rockwell superficial hardness of metallic materials by the Rockwell indentation hardness principle. This standard provides the requirements for Rockwell hardness machines and the procedures for performing Rockwell hardness tests.

1.2 This standard includes additional requirements in annexes:

Verification of Rockwell Hardness Testing Machines	Annex A1
Rockwell Hardness Standardizing Machines	Annex A2
Standardization of Rockwell Indenters	Annex A3
Standardization of Rockwell Hardness Test Blocks	Annex A4
Guidelines for Determining the Minimum Thickness of a Test Piece	Annex A5
Hardness Value Corrections When Testing on Convex Cylindrical Surfaces	Annex A6

1.3 This standard includes nonmandatory information in appendixes which relates to the Rockwell hardness test.

List of ASTM Standards Giving Hardness Values Corresponding to Tensile Strength	Appendix X1
Examples of Procedures for Determining Rockwell Hardness Uncertainty	Appendix X2

1.4 *Units*—At the time the Rockwell hardness test was developed, the force levels were specified in units of kilograms-force (kgf) and the indenter ball diameters were specified in units of inches (in.). This standard specifies the units of force and length in the International System of Units (SI); that is, force in Newtons (N) and length in millimeters (mm). However, because of the historical precedent and continued common usage, force values in kgf units and ball diameters in inch units are provided for information and much of the discussion in this standard refers to these units.

1.5 The test principles, testing procedures, and verification procedures are essentially identical for both the Rockwell and

Rockwell superficial hardness tests. The significant differences between the two tests are that the test forces are smaller for the Rockwell superficial test than for the Rockwell test. The same type and size indenters may be used for either test, depending on the scale being employed. Accordingly, throughout this standard, the term Rockwell will imply both Rockwell and Rockwell superficial unless stated otherwise.

1.6 *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.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

- A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- A623 Specification for Tin Mill Products, General Requirements
- A623M Specification for Tin Mill Products, General Requirements [Metric]
- B19 Specification for Cartridge Brass Sheet, Strip, Plate, Bar, and Disks
- B36/B36M Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar
- B96/B96M Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes and Pressure Vessels
- B103/B103M Specification for Phosphor Bronze Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar
- B121/B121M Specification for Leaded Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar
- B122/B122M Specification for Copper-Nickel-Tin Alloy, Copper-Nickel-Zinc Alloy (Nickel Silver), and Copper-Nickel Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar
- B130 Specification for Commercial Bronze Strip for Bullet Jackets
- B134/B134M Specification for Brass Wire

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved Feb. 1, 2015. Published March 2015. Originally approved in 1932. Last previous edition approved in 2014 as E18 – 14a. DOI: 10.1520/E0018-15.

² In this test method, the term Rockwell refers to an internationally recognized type of indentation hardness test as defined in Section 3, and not to the hardness testing equipment of a particular manufacturer.

³ 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.

- B152/B152M** Specification for Copper Sheet, Strip, Plate, and Rolled Bar
- B370** Specification for Copper Sheet and Strip for Building Construction
- E29** Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
- E92** Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials (Withdrawn 2010)⁴
- 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
- E691** Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- 2.2 *American Bearings Manufacturer Association Standard:*
- ABMA 10-1989** Metal Balls⁵
- 2.3 *ISO Standards:*
- ISO 6508-1** Metallic Materials—Rockwell Hardness Test—Part 1: Test Method (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)⁶
- ISO/IEC 17011** Conformity Assessment—General Requirements for Accreditation Bodies Accrediting Conformity Assessment Bodies⁶
- ISO/IEC 17025** General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories⁶
- 2.4 *Society of Automotive Engineers (SAE) Standard:*
- SAE J417** Hardness Tests and Hardness Number Conversions⁷

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.

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

3.1.4 *Rockwell hardness test*—an indentation hardness test using a verified machine to force a diamond spheroidal indenter or tungsten carbide (or steel) ball indenter, under specified conditions, into the surface of the material under test, and to measure the difference in depth of the indentation as the force on the indenter is increased from a specified preliminary test force to a specified total test force and then returned to the preliminary test force.

3.1.5 *Rockwell superficial hardness test*—same as the Rockwell hardness test except that smaller preliminary and total test forces are used with a shorter depth scale.

3.1.6 *Rockwell hardness number*—a number derived from the net increase in the depth of indentation as the force on an indenter is increased from a specified preliminary test force to a specified total test force and then returned to the preliminary test force.

3.1.7 *Rockwell hardness machine*—a machine capable of performing a Rockwell hardness test and/or a Rockwell superficial hardness test and displaying the resulting Rockwell hardness number.

3.1.7.1 *Rockwell hardness testing machine*—a Rockwell hardness machine used for general testing purposes.

3.1.7.2 *Rockwell hardness standardizing machine*—a Rockwell hardness machine used for the standardization of Rockwell hardness indenters, and for the standardization of Rockwell hardness test blocks. The standardizing machine differs from a regular Rockwell hardness testing machine by having tighter tolerances on certain parameters.

3.2 Equations:

3.2.1 The *average \bar{H}* of a set of n hardness measurements H_1, H_2, \dots, H_n is calculated as:

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad (1)$$

3.2.2 The *error E* in the performance of a Rockwell hardness machine at each hardness level, relative to a standardized scale, is determined as:

$$E = \bar{H} - H_{STD} \quad (2)$$

where:

\bar{H} = average of n hardness measurements 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.

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

$$R = H_{max} - H_{min} \quad (3)$$

where:

H_{max} = highest hardness value, and

H_{min} = lowest hardness value.

4. Significance and Use

4.1 The Rockwell hardness test is an empirical indentation hardness test that can provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, and other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials.

⁴ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

⁵ Available from American Bearing Manufacturers Association (ABMA), 2025 M Street, NW, Suite 800, Washington, DC 20036.

⁶ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

⁷ Available from Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096-0001, <http://www.sae.org>.

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

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

4.4 Adherence to this standard test method provides traceability to national Rockwell hardness standards except as stated otherwise.

5. Principles of Test and Apparatus

5.1 *Rockwell Hardness Test Principle*—The general principle of the Rockwell indentation hardness test is illustrated in Fig. 1. The test is divided into three steps of force application and removal.

Step 1—The indenter is brought into contact with the test specimen, and the preliminary test force F_0 is applied. After holding the preliminary test force for a specified dwell time, the baseline depth of indentation is measured.

Step 2—The force on the indenter is increased at a controlled rate by the additional test force F_1 to achieve the total test force F . The total test force is held for a specified dwell time.

Step 3—The additional test force is removed, returning to the preliminary test force. After holding the preliminary test force for a specified dwell time, the final depth of indentation is measured. The Rockwell hardness value is derived from the difference h in the final and baseline indentation depths while under the preliminary test force. The preliminary test force is removed and the indenter is removed from the test specimen.

5.1.1 There are two general classifications of the Rockwell test: the Rockwell hardness test and the Rockwell superficial hardness test. The significant difference between the two test classifications is in the test forces that are used. For the Rockwell hardness test, the preliminary test force is 10 kgf (98 N) and the total test forces are 60 kgf (589 N), 100 kgf (981 N), and 150 kgf (1471 N). For the Rockwell superficial hardness test, the preliminary test force is 3 kgf (29 N) and the total test forces are 15 kgf (147 N), 30 kgf (294 N), and 45 kgf (441 N).

5.1.2 Indenters for the Rockwell hardness test include a diamond spheroconical indenter and tungsten carbide ball indenters of specified diameters.

5.1.2.1 Steel indenter balls may be used only for testing thin sheet tin mill products specified in Specifications A623 and A623M using the HR15T and HR30T scales with a diamond spot anvil. Testing of this product may give significantly differing results using a tungsten carbide ball as compared to historical test data using a steel ball.

NOTE 1—Previous editions of this standard have stated that the steel ball was the standard type of Rockwell indenter ball. The tungsten carbide ball is considered the standard type of Rockwell indenter ball. The use of tungsten carbide balls provide an improvement to the Rockwell hardness test because of the tendency of steel balls to flatten with use, which results in an erroneously elevated hardness value. The user is cautioned that Rockwell hardness tests comparing the use of steel and tungsten carbide balls have been shown to give different results. For example, depending on the material tested and its hardness level, Rockwell B scale tests using a tungsten carbide ball indenter have given results approximately one Rockwell point lower than when a steel ball indenter is used.

5.1.3 The Rockwell hardness scales are defined by the combinations of indenter and test forces that may be used. The standard Rockwell hardness scales and typical applications of the scales are given in Tables 1 and 2. Rockwell hardness values shall be determined and reported in accordance with one of these standard scales.

5.2 *Calculation of the Rockwell Hardness Number*—During a Rockwell test, the force on the indenter is increased from a preliminary test force to a total test force, and then returned to the preliminary test force. The difference in the two indentation depth measurements, while under the preliminary test force, is measured as h (see Fig. 1).

5.2.1 The unit measurement for h is mm. From the value of h , the Rockwell hardness number is derived. The Rockwell hardness number is calculated as:

5.2.1.1 For scales using a diamond spheroconical indenter (see Tables 1 and 2):

$$\text{Rockwell Hardness} = 100 - \frac{h}{0.002} \tag{4}$$

$$\text{Rockwell Superficial Hardness} = 100 - \frac{h}{0.001} \tag{5}$$

where h is in mm.

5.2.1.2 For scales using a ball indenter (see Tables 1 and 2):

$$\text{Rockwell Hardness} = 130 - \frac{h}{0.002} \tag{6}$$

$$\text{Rockwell Superficial Hardness} = 100 - \frac{h}{0.001} \tag{7}$$

where h is in mm.

5.2.2 The Rockwell hardness number is an arbitrary number, which, by method of calculation, results in a higher number for harder material.

5.2.3 Rockwell hardness values shall not be designated by a number alone because it is necessary to indicate which indenter and forces have been employed in making the test (see Tables 1 and 2). Rockwell hardness numbers shall be quoted with a scale symbol representing the indenter and forces used. The hardness number is followed by the symbol HR and the scale designation. When a ball indenter is used, the scale designation

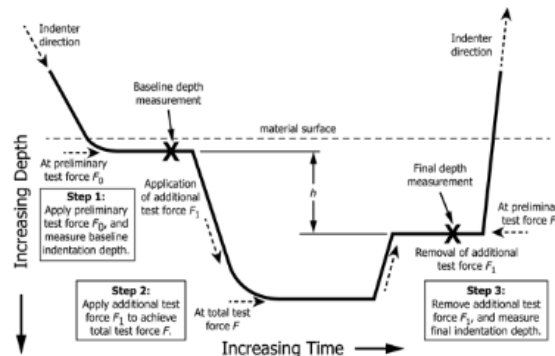


FIG. 1 Rockwell Hardness Test Method (Schematic Diagram)

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



Designation: G 65 – 00^{e1}

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

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

^{e1} Note—The designation year date was corrected editorially in May 2001.

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

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

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

low-abrasion resistance.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 2240 Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness²

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes³

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

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

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion⁴

2.2 American Foundrymen's Society Standards:

AFS Foundry Sand Handbook, 7th Edition⁵

3. Terminology

3.1 Definition:

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

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

4. Summary of Test Method

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

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

Current edition approved Oct. 10, 2000. Published November 2000. Originally published as G 65 – 80. Last previous edition G 65 – 94 (2000)^{e1}.

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.

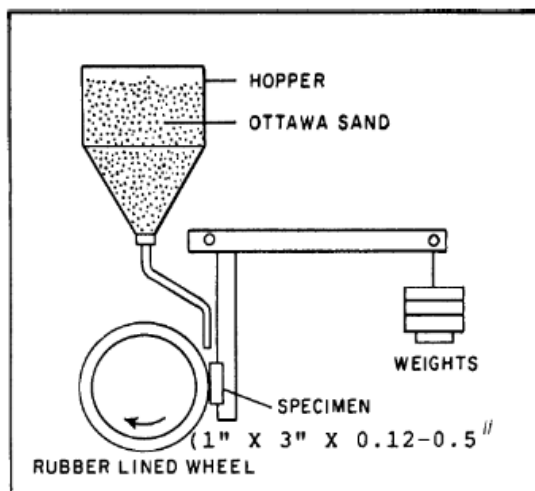


FIG. 1 Schematic Diagram of Test Apparatus

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.

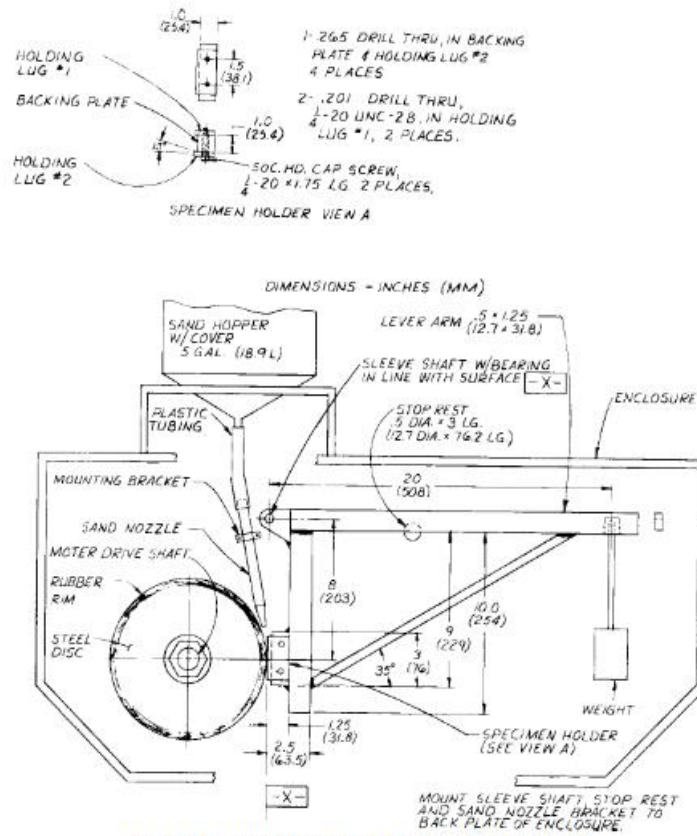


FIG. 2 Dry Sand/Rubber Wheel Abrasion Test Apparatus

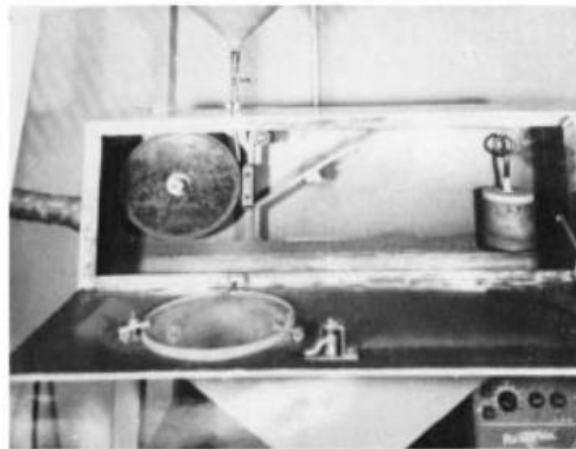


FIG. 3 Wheel and Lever Arm

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

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

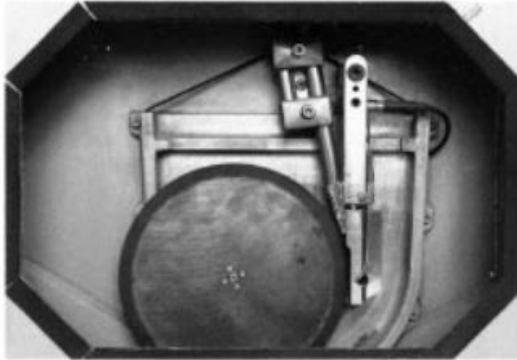


FIG. 4 Enclosure Frame

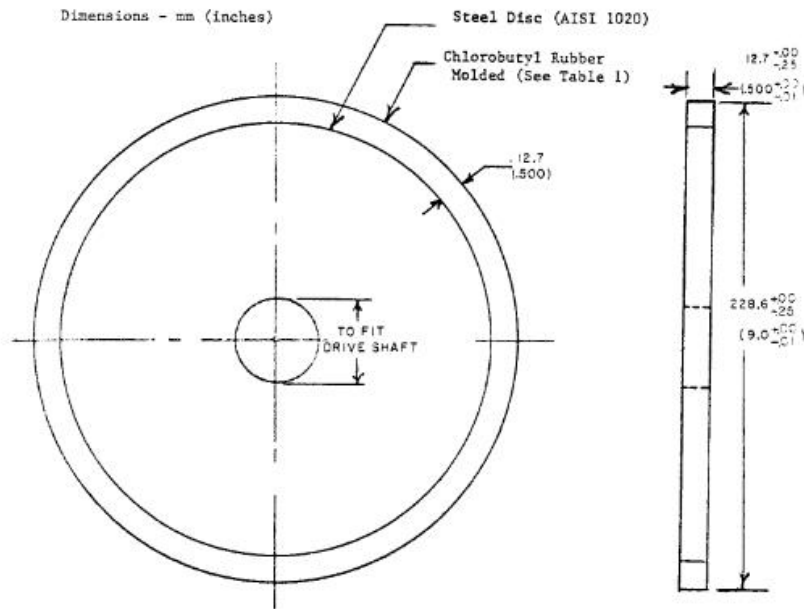


FIG. 5 Rubber Wheel

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 1 Formula for Chlorobutyl Rubber^a

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

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

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

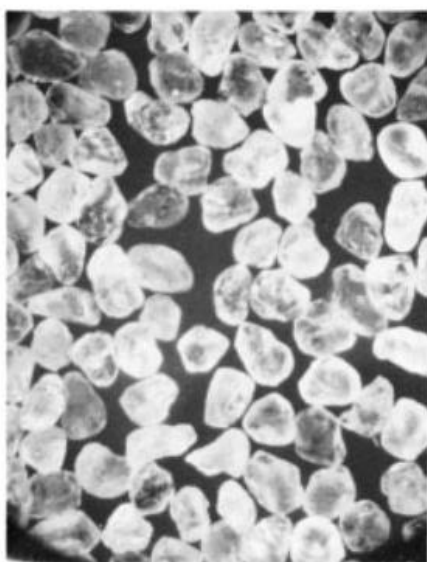


FIG. 6 25X Magnification AFS 50/70 Test Sand Ottawa Silica Co.

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

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

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

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

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

7. Specimen Preparation and Sampling

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

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

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

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

7.5 *Finish*—Test specimens should be smooth, flat, and free of scale. Surface defects such as porosity and roughness may bias the test results, and such specimens should be avoided unless the surface itself is under investigation. Typical suitable surfaces are mill-rolled surfaces such as are present on cold-rolled steel, electroplated and similar deposits, ground surfaces, and finely machined or milled surfaces. A ground surface finish of approximately 0.8 μm (32 $\mu\text{in.}$) 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

G 65

FABRICATED SAND NOZZLE

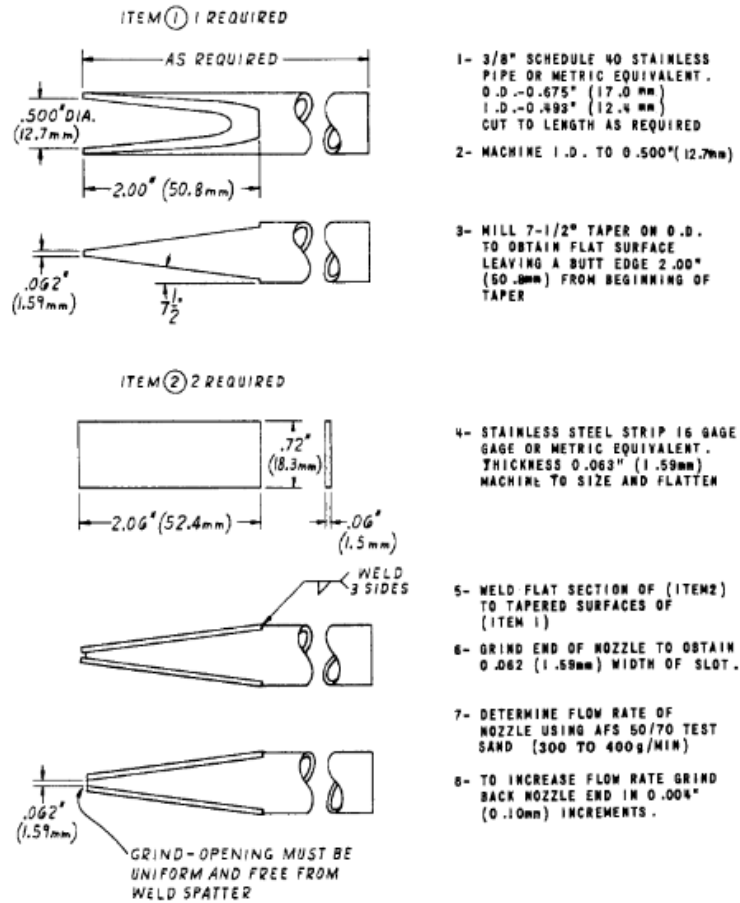


FIG. 7 Sand Nozzle

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

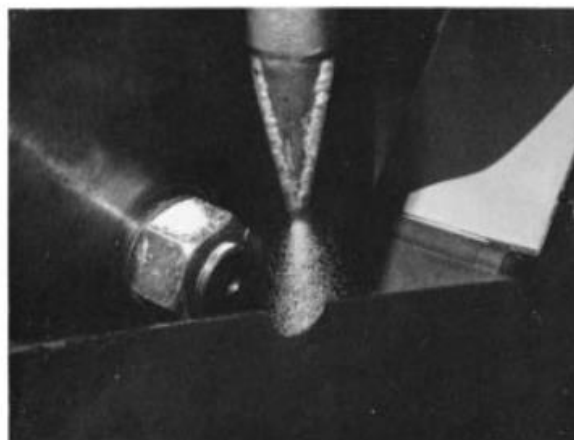


FIG. 10 Sand Flow—Turbulence

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

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

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

11. Precision and Bias

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

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

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

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

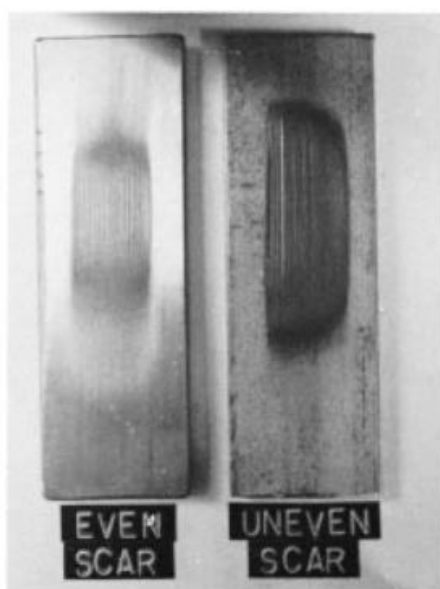


FIG. 11 Typical Wear Scars Uneven and Nonuniform Wear Scars Indicate Improper Alignment or Wear of Rubber Wheel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

11.6.2 *Three Types of Reference Materials:*

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

- (a) Harden 1010°C (1850°F)—25 min at temperature.
- (b) Air cool to room temperature.
- (c) Temper at 205°C (400°F)—1 h at temperature.
- (d) Air Cool Hardness 59–60 HRC.

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

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

- (a) Harden 1010/1024°C (1850/1875°F) in neutral salt bath 25 min at temperature.
- (b) Air cool to room temperature.
- (c) Double temper at 593°C (1100°F) for 2 h and 2 h. Air cool between tempers. Hardness 47–48 HRC.

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

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

- (a) Normalizing heat treatment.
- (b) Hardness 31–33 HRC.
- (c) Procedure E, qualifying volume loss range—49 ± 3 mm³.

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

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

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

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

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

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

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

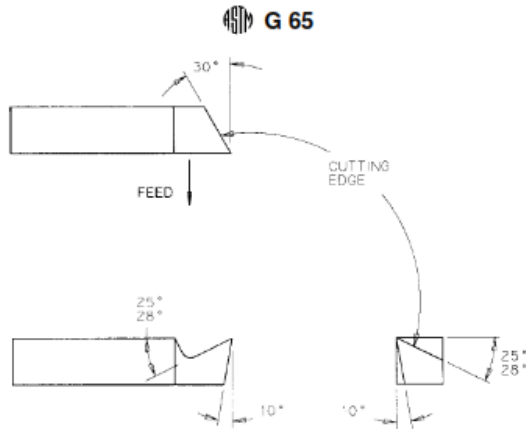


FIG. 12 Typical Wheel Dressing Tool

TABLE 3 Data Sheet

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

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

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. SOME STATISTICAL CONSIDERATIONS IN ABRASION TESTING

X1.1 Background

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

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

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

X1.2 Statistical Equations

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

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

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

where:

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

X1.3 Typical Volume Loss Values

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

TABLE X1.1 Statistical Analyses of Interlaboratory Test Results

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

TABLE X1.2 Volume Loss Range

	Standard Values (Mean ± 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

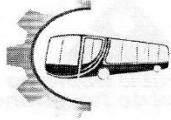
- (1) Avery, H. S., "The Nature of Abrasive Wear," *SAE Preprint 750822*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1975.
- (2) Tucker, R. C., and Miller, A. E., *Low Stress Abrasive and Adhesive Wear Testing, ASTM STP 615*, Philadelphia, PA, 1975, pp. 68–90.
- (3) Avery, H. S., "The Measurement 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 los ensayos de dureza



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

LABORATORIO DE ANÁLISIS METALOGRAFICO ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL

INFORME DE RESULTADOS N°:050388648320171122-EDR

DATOS GENERALES

N° de proforma: AM_2017_011
Empresa / Cliente: Sr. Milton Bautista
RUC/C.I.: 0503886483
Dirección: Calle río Coca y Río Cutuchi, Sector GADMA, Ambato
Teléfono: 0996800665
E-MAIL: milandres1992@gmail.com
Fecha de Inicio de Ensayo: 08 de diciembre del 2017.
Designación del material: Revestimientos duros en Acero A36

Los resultados obtenidos en el informe corresponden a ensayos de dureza realizados en probetas de acero A36 con revestimientos de aleaciones de carburo de cromo, aleaciones martensíticas y Aleaciones austeníticas altas en manganeso.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas.

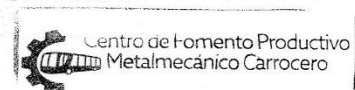
N° Probeta	Designación material	Tipo de recubrimiento	Dimensiones(mm)	Numero de mediciones por probeta	Número de probetas a ensayar
1	ACERO A36	Aleaciones de carburo de cromo	26,83 x 27,50 x 16,09	5	1
2	ACERO A36	Aleaciones martensíticas	29,92 x 27,50 x 12,95	5	1
3	ACERO A36	Aleaciones austeníticas altas en manganeso	26,42 x 27,48 x 13,60	5	1
TOTAL					3

Observaciones: Ninguna

Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Diseño y Desarrollo CFPMC	Ing. Angel Balseca Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel MEng Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Fecha de entrega de Informe: Ambato, 08 de diciembre del 2017.

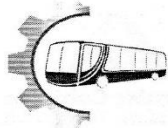
N°. Factura: 001-002-000003893



Código: RG-AM-001
 Fecha de Elaboración: 19-07-2017
 Fecha de última actualización: 20-07-2017

INFORME DE ENSAYO
DE DUREZA ROCKWELL

Página 1 de 2



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.

Dirección: Ambato/Catiglatá. Río de Janeiro y Toronto.

Código del Informe: 050388648320171122-EDR

Fecha de Finalización de Ensayo: 08 de diciembre del 2017.

Tipo de ensayo: Cuantitativo.

Método de ensayo: NTE INEN ISO 6508-1. Materiales metálicos- Ensayo de dureza Rockwell- Parte 1.

Equipo utilizado: Durómetro ERNST Modelo NR.3D

Temperatura del ensayo: 21° C

Tiempo de duración de la fuerza: 6 seg

Última verificación de máquina: RG-AM-003

Patrón utilizado: TECMICRO. 82,4 HRB ± 1

Verificación de la máquina por medio de patrón: 81,9 HRB.

DUREZA ROCKWELL

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
1	050388648320171122-EDR 01-1	119,30
2	050388648320171122-EDR 01-2	119,80
3	050388648320171122-EDR 01-3	116,30
4	050388648320171122-EDR 01-4	71,30
5	050388648320171122-EDR 01-5	70,30
	Promedio \bar{x}	99,40
	Desviación estándar S_{n-1}	26,14
	Coefficiente de variación CV	26,30
Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
6	050388648320171122-EDR 02-1	98,80
7	050388648320171122-EDR 02-2	97,80
8	050388648320171122-EDR 02-3	100,20
9	050388648320171122-EDR 02-4	75,10
10	050388648320171122-EDR 02-5	70,60
	Promedio \bar{x}	88,50
	Desviación estándar S_{n-1}	14,40
	Coefficiente de variación CV	16,27
Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
11	050388648320171122-EDR 03-1	107,90
12	050388648320171122-EDR 03-2	109,00
13	050388648320171122-EDR 03-3	111,10
14	050388648320171122-EDR 03-4	80,80
15	050388648320171122-EDR 03-5	73,10
	Promedio \bar{x}	96,38
	Desviación estándar S_{n-1}	17,98
	Coefficiente de variación CV	18,66

Observaciones del ensayo: Ninguna.

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

Anexo 8 Reporte del ensayo de espectrometría



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

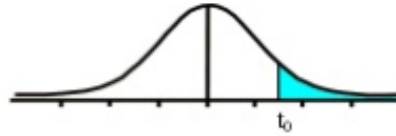
COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF

Probeta		Elementos											Evidencia	
		Fe	Cr	Mn	Ti	Mo	Zr	Co	Cu	Ni	Si	P		Pb
050388648320171213-ERX 01	% Contenido	69,83	22,26	2,63	1,89	1,27	1,27	0,55	-	-				Anexo 2. 12/13/17 #3
	+/- Error	0,18	0,14	0,08	0,07	0,02	0,01	0,09	-	-				
050388648320171213-ERX 02	% Contenido	96,98	1,70	0,60	0,57	-	0,014	-	0,07	0,06			Anexo 3. 12/13/17 #7	
	+/- Error	0,06	0,03	0,03	0,04	-	0,002	-	0,01	0,01				
050388648320171213-ERX 03	% Contenido	83,05	0,04	13,28	0,21	-	0,046	-	-	2,85	0,22	0,188	0,11	Anexo 4. 12/18/17 #3
	+/- Error	0,13	0,01	0,11	0,03	-	0,003	-	-	0,08	0,01	0,006	0,02	

Nota: Las siglas ND significan que el elemento descrito (No se determinó).

Anexo 9 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

