

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)

TEMA: “ANÁLISIS DE ACEROS Y RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS EN TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS DE LA EMPRESA HOLCIM AMBATO Y SU INFLUENCIA EN EL DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105”

Trabajo de Investigación, Previo a la obtención del Grado Académico de Magíster
en Diseño Mecánico

Autor: Ing. David Andrés Villacrés Padilla

Tutor: Ing. Diego Núñez, Msc.

Ambato-Ecuador

2017

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

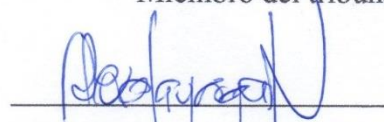
El Tribunal receptor del trabajo de Investigación presidido por el Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg., e integrado por los señores: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg., Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg., e Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Análisis de aceros y recubrimientos utilizados en tambores de mezclador de los mixers de la empresa Holcim Ambato y su influencia en el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105”, elaborado y presentado por el señor Ing. David Andrés Villacrés Padilla, para optar por el Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en la biblioteca de la UTA.



Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg.
Presidente del Tribunal



Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.
Miembro del tribunal



Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg.
Miembro del tribunal



Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.
Miembro del tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “Análisis de aceros y recubrimientos utilizados en tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato y su influencia en el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105”, le corresponde exclusivamente a: Ing. David Andrés Villacrés Padilla, Autor bajo la Dirección de: Ing. Diego Fernando Núñez Núñez, Msc., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



.....
Ing. David Andrés Villacrés Padilla
C.I.: 1803723483

AUTOR



.....
Ing. Diego Fernando Núñez Núñez, Msc.
C.I.: 1803367729

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



.....
Ing. David Andrés Villacrés Padilla
C.I.: 1803723483

Índice De Contenidos

Páginas Preliminares

Portada	i
Índice de Contenidos.....	v
Índice de Tablas	xi
Índice de Gráficos	xiii
Dedicatoria	xix
Agradecimiento.....	xx
Resumen Ejecutivo	xxi
Executive Summary	xxii
Introducción	xxiii

Índice de Contenidos:

Capítulo I	1
El Problema.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico	3
1.2.3 Prognosis	3
1.2.4 Formulación del Problema	4
1.2.5 Preguntas directrices	4
1.2.6 Delimitación del Problema.....	4
1.2.6.1 Delimitación temporal.....	4
1.2.6.2 Delimitación Espacial	5
1.2.6.3 Delimitación de contenido	5
1.3 Justificación.....	5

1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
Capítulo II.....	7
Marco Teórico.....	7
2.1 Antecedentes Investigativos.....	7
2.2 Fundamentación filosófica	8
2.3 Fundamentación legal	8
2.4 Categorías Fundamentales	9
2.4.1 Fundamentación de la variable independiente	9
2.4.1.1 Ingeniería de Materiales.....	9
2.4.1.2 Ingeniería de Superficies.....	11
2.4.1.3 Tipos de Acero y Recubrimientos.....	12
2.4.2 Fundamentación de la Variable Dependiente	26
2.4.2.1 Tribología.....	26
2.4.2.2 Propiedades en Tribología.....	27
2.4.2.3 Desgaste Abrasivo.....	31
2.5 Hipótesis.....	36
2.6 Señalamiento de Variables	36
2.6.1 Variable Independiente:	36
2.6.2 Variable Dependiente:.....	36
Capítulo III.....	37
Metodología	37
3.1 Enfoque	37
3.2 Modalidad Básica de la Investigación.....	37
3.2.1 De Campo	37

3.2.2 Bibliográfico	37
3.3 Nivel o tipo de Investigación	38
3.3.1 Exploratoria.....	38
3.3.2 Descriptivo	38
3.3.3 Asociación de Variables.....	38
3.4 Población y Muestra.....	38
3.4.1 Población.....	38
3.4.2 Muestra.....	39
3.5 Operacionalización de las Variables	40
3.5.1 Variable Independiente: Análisis de los tipos de aceros y recubrimientos utilizados en los tambores de mezclado de los mixers.....	40
3.5.2 Variable Dependiente: Desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM 105.....	41
3.6 Recolección de la Información.....	42
3.7 Procesamiento y Análisis	42
3.8 Plan De Análisis e Interpretación de resultados.....	42
Capítulo IV.....	43
Análisis E Interpretación de Resultados	43
4.1 Proceso de Análisis de Resultados.....	43
4.1.1 Preparación de Probetas.....	46
4.1.2 Proceso de Metalización de las muestras.....	47
4.1.3 Proceso de Nitruración	53
4.1.4 Proceso de Cementación.....	54
4.2 Presentación de los Resultados	55
4.2.1 Análisis del Acero AISI 1020.....	59
4.2.2 Análisis del Acero ASTM A 514 Grado F	63

4.2.3 Análisis Microscopia Sem de muestras de Aceros, Revestimientos y tratamientos térmicos	67
4.2.4 Dureza de los revestimientos metalizados y tratamientos térmicos sobre los aceros AISI 1020 y ASTM A514.....	72
4.2.5 Peso inicial de las probetas	76
4.2.6 Análisis del desgaste abrasivo	78
4.2.7 Resultados de los análisis de desgaste abrasivo en aceros AISI 1020 y ASTM A514 consolidados.....	83
4.3 Interpretación de resultados	88
4.3.1 Interpretación de los ensayos metalográficos	88
4.3.2 Interpretación de los ensayos de dureza Rockwell	90
4.3.3 Análisis de resultados de desgaste abrasivo en un medio acuoso según la norma ASTM G105-89 - ACERO AISI 1020.....	91
4.3.4 Análisis de resultados de desgaste abrasivo en un medio acuoso según la norma ASTM G105-89 - ACERO ASTM A 514	105
4.3.5 Comparación de resultados de desgaste abrasivo en un medio acuoso según la norma ASTM G105-89, para aceros AISI 1020 y ASTM A 514, sin revestimiento, tratados térmicamente, nitrurados y cementados, metalizados con recubrimientos de base aluminio, níquel-cromo, tungsteno amorfo.	119
4.4 Verificación de la hipótesis	125
4.4.1 Verificación de la hipótesis	125
4.4.1.1 Verificación de la hipótesis. procedimiento realizado con el disco neopreno shore a50 ±20 en el acero AISI 1020	128
4.4.1.2 Supuestos del modelo Z para dos muestras relacionada	128
4.4.1.3 Nivel de significancia.....	129
4.4.1.4 Verificación de la hipótesis con el acero AISI 1020 sin recubrimiento y con el recubrimiento metalizado en aleación de tungsteno.....	129
4.4.1.5. Prueba Z	130

4.4.1.6 Verificación de la hipótesis. procedimiento realizado con el disco neopreno shore a50 ±20 en el acero ASTM A514 GRADO F.....	133
4.4.1.7 Supuestos del modelo Z para dos muestras relacionada	133
4.4.1.8 Nivel de significancia.....	134
4.4.1.9 Verificación de la hipótesis con el acero ASTM A514 sin recubrimiento y con tratamiento térmico de cementación, 850°C-0.3%C.....	134
4.4.1.10. Prueba Z.....	135
Capítulo V	137
Conclusiones y Recomendaciones	137
5.1 Conclusiones	137
5.2 Recomendaciones.....	139
Capítulo VI.....	140
Propuesta.....	140
6.1 Introducción	140
6.2 Diagrama de flujo para el desarrollo de la propuesta.....	141
6.2 Información y análisis de datos	142
6.2.1 Antecedentes de la propuesta	142
6.2.2 Justificación.....	144
6.3 Objetivos	144
6.3.1 Objetivo General.....	144
6.3.2 Objetivos Específicos.....	145
6.4 Análisis de factibilidad.....	145
6.4.1 Análisis Económico.....	145
6.5 Fundamentación	147
6.6 Metodología	148
6.7 Conclusiones y Recomendaciones de la propuesta.....	159
Bibliografía	160

Anexos	164
Artículo Científico – Paper	269

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales procesos de deposición de recubrimientos	11
Tabla 2. Composición Química de acero AISI 1020.....	14
Tabla 3. Propiedades Mecánicas de Acero Aisi 1020.....	14
Tabla 4. Composición Química (Máximo %) del acero ASTM A514.....	15
Tabla 5. Propiedades mecánicas del acero ASTM A-514.....	15
Tabla 6. Parámetros de Nitruración.....	19
Tabla 7. Coeficiente de rozamiento de algunas sustancias	29
Tabla 8. Número de Ensayos.....	39
Tabla 9. Operacionalización Variable Independiente	40
Tabla 10. Operacionalización Variable Dependiente.....	41
Tabla 11. Identificación de los ensayos en acero AISI 1020 con Disco Shore A50±20.....	56
Tabla 12. Identificación de los ensayos del acero AISI 1020 Con Disco Shore A70±20.....	56
Tabla 13. Identificación de los ensayos en acero Astm A514 con disco Shore A50±20.	57
Tabla 14. Identificación de ensayos en acero ASTM A514 con disco Shore A70±20.	57
Tabla 15. Resumen del número de probetas para la investigación.	58
Tabla 16. Composición Química Acero AISI 1020	88
Tabla 17. Composición Química Acero ASTM A514 F.....	89
Tabla 18. Durezas en los aceros sin recubrimiento de probetas, centro de fomento "CFPMC - HGP.TUNGURAHUA"	90
Tabla 19. Durezas en los revestimientos y tratamientos térmicos aplicados sobre las probetas de acero Aisi 1020, desarrollado en el centro de fomento "Cfpmc - Hgp.Tungurahua"	90
Tabla 20. Durezas en los revestimientos y tratamientos térmicos aplicados sobre las probetas de acero ASTM A 514, desarrollado en centro de fomento "Cfpmc - Hgp.Tungurahua"	90

Tabla 21. Resultados De Ensayos De Desgaste Abrasivo En Los Acero AISI 1020 Normalizado.	126
Tabla 22. Parámetros del modelo Z.....	128
Tabla 23. Contraste de medias del modelo estadístico Z	129
Tabla 24. Datos obtenidos de la velocidad de desgaste con el acero AISI 1020 sin recubrimiento y con metalizado en aleación de tungsteno	129
Tabla 25. Prueba Z para medias de dos muestras.....	130
tabla 26. Resultados de ensayos de desgaste abrasivo en el acero ASTM A 514 grado f.....	131
Tabla 27. Parámetros del modelo z	134
Tabla 28. Contraste de medias del modelo estadístico Z	134
Tabla 29. Datos obtenidos de la velocidad de desgaste con el acero ASTM A514F sin recubrimiento y con tratamiento térmico de cementación, 850°C-0.3%C	135
Tabla 30. Prueba Z para medias de dos muestras.....	135
Tabla 31. Espesores de tambores mezclador mcneilus número 463 De Holcim Ambato.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 32. Espesores de tambores mezclador mcneilus número 420 De Holcim Ambato.	152
Tabla 33. Espesores de tambores mezclador mcneilus número 444 De Holcim Ambato.	153
Tabla 34. Espesores de tambores mezclador mcneilus número 434 De Holcim Ambato.	154
Tabla 35. Espesores de tambores mezclador mcneilus número 436 de Holcim Ambato.	155
Tabla 36. Espesores de tambores mezclador mcneilus número 405 de Holcim ambato.	156
Tabla 37. Espesores de tambores mezclador mcneilus número 406 de Holcim ambato.	157
Tabla 38. Barra de colores correspondiente a cada espesor.	158
Tabla 39. Planificación para la recuperación por recubrimiento de carburo de tungsteno.....	158

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Categorías fundamentales	9
Gráfico 2. Conocimiento de materiales	10
Gráfico 3. Tipos de tratamientos superficiales	12
Gráfico 4. Corrosión en recubrimientos metálicos deteriorados	16
Gráfico 5. Metalizado por proyección térmica	18
Gráfico 6. Recubrimiento de cromo duro	20
Gráfico 7. Recubrimiento de níquel químico	21
Gráfico 8. Ejemplos de depósito en multicapa	22
Gráfico 9. Cementación sólida	26
Gráfico 10. Diagrama de cuerpo libre que ilustra el deslizamiento de un cuerpo libre sobre una superficie	28
Gráfico 11. Desgaste por adherencia	30
Gráfico 12. Desgaste por fatiga superficial	31
Gráfico 13. Desgaste erosivo	31
Gráfico 14. Desgaste abrasivo	32
Gráfico 15. Mecanismo de formación de surcos en los metales	32
Gráfico 16. Diagrama de la máquina según la Norma ASTM G 65	35
Gráfico 17. Diagrama de la máquina según la Norma ASTM G 105	36
Gráfico 18. Diagrama de Flujo para el proceso de análisis de resultados y preparación de probetas.....	44
Gráfico 19. Diagrama de flujo para el proceso de análisis de desgaste abrasivo según Norma ASTM G105.....	45
Gráfico 20. Dimensiones de Probetas para el ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso (Norma ASTM G 105).....	46
Gráfico 21. Corte de aceros para probetas de ensayo abrasivo en medio acuoso, acero ASTM A 514 grado F, Sección aleta del tambor de Mixer.....	46
Gráfico 22. Probetas, a) acero AISI 1020 y b) acero ASTM A514, material sin recubrimientos, ni tratamientos térmicos.	47

Gráfico 23. Máquina de metalizado TAFAs Arc Spray 8830, de proyección térmica por arco eléctrico.....	49
Gráfico 24. Preparación de las probetas mediante pulido y desbaste de las superficies previo a la aplicación del revestimiento metálico.....	51
Gráfico 25. Colocación y sujeción de las probetas para la aplicación de la capa base de aluminio por metalización.	51
Gráfico 26. Proyección térmica de metal por aspersion de partículas, revestimiento base Aluminio.	52
Gráfico 27. Probetas metalizadas con revestimiento base de aluminio.	52
Gráfico 28. Probetas metalizadas con revestimiento níquel-cromo,.....	52
Gráfico 29. Proyección térmica de metal por aspersion de partículas, revestimiento aleación de tungsteno amorfo.	53
Gráfico 30. Probetas nitruradas, acero ASTM A 514, Aceros Böhler del Ecuador.	54
Gráfico 31 Probetas cementadas, acero ASTM A 514, Aceros Böhler del Ecuador.	55
Gráfico 32. Microscopio de Barrido (SEM) – TESCAN de la FICM-UTA.....	69
Gráfico 33. Microscopia SEM de la sección transversal de probeta de Acero ASTM A 514 con recubrimiento base de aluminio, tamaño de revestimiento: 254.11 micrómetros.....	69
Gráfico 34. Microscopia SEM de la sección transversal de probeta de acero ASTM A 514 con recubrimiento níquel-cromo, tamaño de revestimiento base aluminio: 107.12 micrómetros. Tamaño de revestimiento níquel-cromo: 708.81 micrómetros.	70
Gráfico 35. Microscopia SEM de la sección transversal de probeta de acero ASTM A 514 con recubrimiento aleación de tungsteno amorfo, tamaño de revestimiento base aluminio: 98.35 micrómetros. Tamaño de revestimiento tungsteno: 859.25 micrómetros.....	70
Gráfico 36. Microscopia SEM de la sección transversal de Probeta de Acero ASTM A 514 con tratamiento térmico de nitruración, presencia de nitruros en la superficie.	71

Gráfico 37. Microscopia SEM de la sección transversal de probeta de Acero ASTM A 514 con tratamiento térmico de cementación.....	71
Gráfico 38. Durómetro ERNST modelo NR.3D	72
Gráfico 39. Patrón de calibración UKAS de Durómetro ERNST NR 3D, dureza calibrada: 82.4HRB.....	73
Gráfico 40. Obtención del peso de las probetas, previo al ensayo de desgaste abrasivo.	80
Gráfico 41. Colocación del disco de Neopreno shore A50, en la cámara.....	80
Gráfico 42. Llenado de mezcla agua y arena silícica en la cámara hermética.	81
Gráfico 43. Colocación de probeta en porta especímenes, muestra con revestimiento metalizado de base Aluminio en Acero AISI 1020.....	81
Gráfico 44. Ensayo de Desgaste abrasivo según Norma ASTM G105-89, con carga 222N.....	82
Gráfico 45. Imagen de microscopio óptico del acero AISI 1020, 200x50 micrómetros.....	88
Gráfico 46. Imagen de microscopio óptico del acero ASTM A 514F, 200x50 micrómetros.....	89
Gráfico 47. Pérdida por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A50±20 para el acero AISI 1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	91
Gráfico 48. Volumen perdido promedio en mm ³ producido por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente en función del desplazamiento.....	94
Gráfico 49. Tasa de desgaste abrasivo promedio (miligramos/metro) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	95
Gráfico 50. Coeficiente de desgaste abrasivo promedio en miligramos/metro. Newton en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	96

Gráfico 51. Velocidad promedio de desgaste abrasivo (mm^3/s) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50 \pm 20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	97
Gráfico 52. Pérdida por Desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70 \pm 20 para el acero AISI 1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	98
Gráfico 53. Volumen perdido promedio en mm^3 producido por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70 \pm 20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente en función del desplazamiento.	101
Gráfico 54. Tasa de desgaste abrasivo promedio (miligramos/metro) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70 \pm 20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	102
Gráfico 55. Coeficiente de desgaste abrasivo promedio en miligramos/metro. Newton en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70 \pm 20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	103
Gráfico 56. Velocidad promedio de desgaste abrasivo (mm^3/s) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70 \pm 20 para el acero AISI 1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	104
Gráfico 57. Pérdida por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A50 \pm 20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	105
Gráfico 58. Volumen perdido promedio en mm^3 producido por Desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50 \pm 20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente en función del desplazamiento.	108
Gráfico 59. Tasa de desgaste abrasivo promedio (miligramos/metro) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50 \pm 20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente. ...	109
Gráfico 60. Coeficiente de desgaste abrasivo promedio en miligramos/Newton.metro en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno	

A50±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	110
Gráfico 61. Velocidad Promedio de desgaste abrasivo (mm ³ /s) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente. Fuente: El Autor	111
Gráfico 62. Pérdida por Desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	112
Gráfico 63. Volumen perdido promedio en mm ³ producido por Desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente en función del desplazamiento.	115
Gráfico 64. Tasa de desgaste abrasivo promedio (miligramos/metro) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente. ...	116
Gráfico 65. Coeficiente de desgaste abrasivo promedio en miligramos/metro. Newton en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	117
Gráfico 66. Velocidad Promedio de desgaste abrasivo (mm ³ /s) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.	118
Gráfico 67. Comparación de la Pérdida por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 GRADO F, sin revestimientos	119
Gráfico 68. Comparación de la Pérdida por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 GRADO F, con recubrimiento metalizado con Níquel-Cromo y revestimiento de Tungsteno.	120

Gráfico 69. Comparación de la Pérdida por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 GRADO F, con tratamiento térmico de Nitrurado y Cementado.	123
Gráfico 70. Comparación de la Tasa de Desgaste en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 GRADO F, sin recubrimientos, metalizados con base aluminio, Níquel Cromo, Aleación de Tungsteno amorfo y tratamiento térmico de Nitrurado y Cementado.	124
Gráfico 71. Verificación de la hipótesis en el acero AISI 1020 Normalizado, evaluado con el disco Neopreno dureza Shore A50 ±20.	127
Gráfico 72. Verificación de la hipótesis en el Acero ASTM A514 Normalizado, evaluado con el disco Neopreno Dureza Shore A50 ±20.	132
Gráfico 73. Diagrama de flujo para el desarrollo de la propuesta.....	141
Gráfico 74. Desgaste abrasivo [8]	272
Gráfico 75. Mecanismo de formación de surcos en los metales [8]	272

DEDICATORIA

En primer lugar, a nuestro señor, Dios quien me ha dado la vida y la maravillosa oportunidad de educación, formación y realización personal en el presente trabajo de investigación y postgrado, a mis padres, quienes con tesón y ahínco han forjado mi camino, particularmente a mi padre Amable que con su apoyo que me ha brindado, ha permitido el desarrollo de mis estudios.

A mi esposa que con su aliento y perseverancia ha contribuido el avance en este nuevo reto de vida, a mis hijos David y Andrés quienes son mi fortaleza e inspiración de mi hogar, por quienes soy y para quienes mi dedicación del presente trabajo.

AGRADECIMIENTO

A mis maestros por su experiencia y conocimiento quienes me han impartido el saber, en especial al Ing. Diego Núñez por su ayuda desinteresada ha contribuido en las respuestas al presente informe.

Expresar un gran reconocimiento a todos quienes contribuyeron para el efecto de este proyecto de educación y son parte importante en la realización del presente, para todos ellos, un afecto sincero.

A cada una de las entidades de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, jefes de laboratorio y ayudantes quienes han prestado su ayuda voluntaria y desinteresada para el análisis del presente trabajo de investigación, al Centro de Fomento Productivo metalmecánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial del Tungurahua, quienes también brindaron su apoyo en la consecución del presente documento; a la empresa Holcim Ambato por la ayuda otorgada, y todos quienes respaldaron la construcción del presente conocimiento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)

TEMA:

“ANÁLISIS DE ACEROS Y RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS EN TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS DE LA EMPRESA HOLCIM AMBATO Y SU INFLUENCIA EN EL DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105”.

AUTOR: *Ing. David Andrés Villacrés Padilla*

DIRECTOR: *Ing. Diego Núñez, Msc.*

FECHA: 24 de noviembre de 2017

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto de investigación se desarrolló bajo el objetivo de analizar los tipos de aceros y recubrimientos utilizados en los tambores de mezclado de los mixers de la empresa HOLCIM Ambato y su influencia en el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105, para lo cual se realizaron ensayos de desgaste abrasivo y un análisis de la tasa de dicho desgaste. Para el desarrollo de la investigación se empleó una metodología de modalidad bibliográfica, de campo y experimental, de tipo exploratoria y descriptiva para abordar el fenómeno de estudio que incluyó 8 ensayos con la aplicación de diferentes configuraciones para la evaluación de la variable, además de que se desarrolló un esquema de 40 muestras con Aceros ASTM AISI 1020 y Acero de alta resistencia al desgaste ASTM A514 grado F correspondiente al tambor de Mixer Holcim, a los que se les aplicó tres tipos de recubrimientos como son: nitrurado, metalizado, y cementado. Con esto se pudo concluir que la aplicación de recubrimientos y tratamientos térmicos sobre los aceros mejoran las características y propiedades con respecto al desgaste abrasivo, estos procesos contribuyen a una mayor dureza y resistencia abrasiva. Además, se determina que, en el caso del recubrimiento de aleación de tungsteno amorfo, presenta el mayor incremento de dureza de las superficies, lo que define como el mejor tratamiento aplicable en los aceros, razón por lo que se plantea un procedimiento para la recuperación de los mixers de acuerdo a la ubicación de las partes del tambor del mixer de la empresa HOLCIM.

Palabras clave: tambor, recubrimientos, desgaste abrasivo, tratamiento térmico, metalizado, nitrurado, cementado, superficie, dureza, resistencia.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS FACULTY
POSTGRADUATE UNIT
MASTER IN MECHANICAL DESIGN (II COHORT)
TOPIC:

ANALYSIS OF STEELS AND COATINGS USED IN MIXING DRUMS FROM THE MIXERS THE HOLCIM COMPANY AMBATO AND ITS INFLUENCE ON THE ABRASIVE WEAR UNDER ASTM G105

AUTHOR: *Ing. David Andrés Villacrés Padilla*

DIRECTOR: *Ing. Diego Núñez, Msc.*

DATE: November/24th/2017

EXECUTIVE SUMMARY

This research project was developed under the objective of analyzing the types of steels and coatings used in the mixing drums of the mixers of the HOLCIM company Ambato and its influence on the abrasive wear under the ASTM G105 standard, which tests were carried out from abrasive wear and an analysis of the rate of such coatings. For the development of the research, a bibliographic, field and experimental methodology was used, also exploratory and descriptive to address the study phenomenon that included 8 trials with the application of different configurations for the evaluation of the variable, besides a 40 sample scheme was developed with ASTM AISI 1020 steels and ASTM A514 grade F high strength steel corresponding to the Holcim Mixer drum, which were applied to three types of coatings such as nitrided, metallized and cemented. Due to this it was possible to conclude that the application of coatings and thermal treatments on the steels improve the characteristics and properties with respect to the abrasive wear, these processes contribute to a greater hardness and abrasive resistance. In addition, it is determined that, in the case of the amorphous tungsten alloy coating, it presents the greatest increase of hardness of the surfaces, which defines as the best treatment applicable in the steels, reason why a procedure for the recovery of the mixers according to the location of the parts of the mixer drum of the HOLCIM company.

KEY WORDS: Drums, Coatings, abrasive wear, thermic treatment, metalized, nitrided, cemented, surface, hardness, resistance.

INTRODUCCIÓN

El desgaste de los materiales es uno de los problemas principales que se presenta en la industria que afecta gran parte de los sectores de producción, por tal motivo se establece la necesidad de evaluar el comportamiento frente al desgaste de los materiales y poder predecir su respuesta y anticiparse ante posibles fallos, para de esa manera programar las labores de mantenimiento que eviten problemas más graves. En virtud de lo expuesto el presente proyecto es de gran importancia debido a que en las industrias se presentan grandes pérdidas económicas debido al fenómeno de desgaste y fricción de los componentes, pues genera tiempos muertos por el deterioro de las herramientas, además de que no se garantizaría un funcionamiento correcto de los elementos, los mismos que se muestran expuestos a presentar fallas en cualquier momento debido al problema de desgaste, originando pérdidas de energía, económicas y tiempo en mantenimiento y reparación. Por cuanto, el presente proyecto de investigación se ha estructurado de la siguiente forma:

Capítulo I. El Problema: donde se aborda el problema de investigación a nivel macro, meso y micro, de donde se desprenden las preguntas directrices, la justificación y los objetivos bajo los cuales se desarrolla la investigación.

Capítulo II. Marco teórico: apartado donde se plasman los antecedentes investigativos afines al proyecto planteado, la fundamentación legal y filosófica que rigen el tema investigativo, se presentan las bases teóricas tanto de la variable independiente como dependiente y seguidamente se plantea la hipótesis.

Capítulo III. Metodología: donde se señala con claridad la modalidad y el nivel de investigación, se expone la población y muestra objeto de estudio, la operacionalización de las variables, las técnicas de recolección y procesamiento de información.

Capítulo IV. Análisis e Interpretación de Resultados: capítulo donde de manera detallada se presentan los resultados desprendidos de los ensayos efectuados sobre los tipos de acero presentados.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones: apartado en el que se puntualizan las conclusiones del proyecto investigativo y consecuentemente las recomendaciones que mejorarían y optimizarían el proceso.

Capítulo VI. Propuesta: capítulo en el que a partir de los resultados obtenidos se formula una alternativa de solución al problema.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

“ANÁLISIS DE ACEROS Y RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS EN TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS DE LA EMPRESA HOLCIM AMBATO Y SU INFLUENCIA EN EL DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Actualmente las necesidades de incrementar la productividad en la industria han impulsado el desarrollo de nuevos compuestos para la fabricación de herramientas y procesamiento de materiales. Este esfuerzo ha llevado a la aplicación de recubrimientos duros sobre aceros de herramientas o materiales sintetizados, por tal motivo, el 90% del mercado en el área de materiales de ingeniería se enfoca en el tratamiento de superficies y recubrimientos de metales y aleaciones [1].

En el contexto mundial, el acero y sus aleaciones como elementos primordiales de la maquinaria hormigonera, son tema de gran interés de estudio en post de la prevención de fallos en los elementos dinámicos sometidos a cargas cíclicas, siendo los fabricantes de piezas y los productores de áridos, quienes conciernen analizar la problemática del desgaste en el acero luego de cierto periodo de tiempo, conocimiento que promueve el desarrollo del metal para que preserve una mejor vida útil durante el proceso de mezclado del concreto, pues la eficiencia ante el desgaste de los aceros, contribuye a la optimización de tiempos muertos necesarios para su sustitución y ahorro en el coste económico en dicho proceso [2].

El desgaste de los materiales es uno de los problemas principales que se presenta en la industria que afecta gran parte de los sectores de producción, por tal motivo se establece la necesidad de evaluar el comportamiento frente al desgaste de los

materiales para de esa manera predecir su respuesta y anticiparse ante posibles fallos, logrando programar las labores de mantenimiento que eviten problemas más graves [3].

En la actualidad el uso del hormigón ha impulsado el desarrollo del sector inmobiliario y de la construcción en el Ecuador, el uso masivo y directo de plantas hormigoneras ha posibilitado que se opte por un mejor manejo de recursos pétreos, depurando así la producción manual del hormigón y mejorando el sistema de producción artesanal o rudimentaria del concreto realizada por mano de obra no calificada.

Según las políticas implementadas por el régimen ecuatoriano, se promueve intensificar el sector de la construcción a través de estímulos para fortalecer el mercado e inducir rentabilidad económica y mejorar el área social. De acuerdo con la Federación Interamericana de la Industria de la Construcción, “FIIC”, el PIB (Producto interno bruto) total en nuestro país ha tenido un incremento significativo a través de la inversión pública en desarrollo vial y de la construcción de un 8,6% de crecimiento en el 2013 y, el 5,5 % en 2014, sin embargo en el 2015 debido a la desaceleración económica que atravesó el país generó que la tasa de variación del PIB sectorial se ubique en -1,1%, pero a pesar de llevar cuatro trimestres de decrecimiento seguidos, para el último trimestre del 2016 el sector de la construcción ya dio señales de reactivación, razón por la cual se constituye como uno de los sectores de mayor incremento económico del país [4].

En el Ecuador en las últimas tres décadas se han desarrollado plantas hormigoneras de gran producción es así que el sector ha crecido notablemente en la generación de obras de amplia trascendencia para el sector de la vivienda, y de la industria, tanto en el sector público como en el sector privado es por ello que se han requerido nuevas infraestructuras del proceso y transporte de hormigón in situ, siendo el sector de la construcción el cual tiene la necesidad de mejora de sus unidades de transporte, en este sector es dónde los costos de dichas plantas de producción del hormigón han promovido al mejoramiento de los recursos productivos, haciendo que para el transporte se requieran nuevos camiones los cuales cuenten con tambores cuya configuración permita que sean desarrollados a nivel nacional, ya

que el costo de importación implica mayores inversiones, y por ende se crea la posibilidad de desarrollo de una nueva industria capaz de implementar la construcción de nuevos tambores de mezclado, con mano de obra nacional, contribuyendo a la matriz productiva del país.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

La industria hormigonera requiere una inversión importante en materiales para la fabricación de elementos para el transporte de mezcla *in situ*, para lo cual se ven abocados a la importación directa de distintos tipos de aleaciones de gran resistencia que se ven escasos en producción nacional, por lo que las empresas nacionales conscientes de la necesidad, exigen de un estudio que promueva el uso de metales existentes dentro del territorio con el objeto de mejorar sus costos de fabricación y operación que fortalezcan la matriz productiva local.

En todo material se puede evidenciar el desprendimiento de partículas del mismo como efectos del desgaste debido a algún tipo de agentes; en los metales la mayoría de casos de desgaste se originan por dos razones fundamentales que son la corrosión y fricción, lo que lleva consigo pérdidas considerables de energía y disminución de su vida útil, por tal motivo se considera de vital importancia disponer de un método para estudiar el comportamiento de los materiales ante el desgaste.

En la actualidad nuestro país ha sufrido muchos cambios en todo nivel y se han visto afectados varios sectores, entre ellos el sector carroceros y el metalmeccánico en general, ya que, debido al desconocimiento en el desarrollo de nuevos materiales se ha tenido que importar, por lo que las empresas dedicadas a esta actividad no pueden ser competitivas con industrias de la región.

1.2.3 PROGNOSIS

El desconocimiento del desgaste abrasivo en los sistemas tribológicos bajo la norma ASTM G 105 del acero utilizado en los tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato afectan a los materiales con la pérdida de masa y propiedades, razón por la cual no se podrá garantizar el funcionamiento correcto de

estos elementos, los mismos que se encontrarán expuestos a presentar fallas en cualquier momento debido al problema de desgaste, originando pérdidas de energía, económicas y tiempo en mantenimiento y reparación. Por este motivo se propone el análisis de los tipos de aceros y recubrimientos utilizados en los tambores de mezclado de los mixers de la industria.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los aceros y recubrimientos utilizados en los tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato y cómo influyen en el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Cuáles son los tipos de aceros y recubrimientos utilizados en la fabricación de tambores de mezclado de los mixers?

¿Cuántos ensayos de desgaste abrasivo de los tipos de acero y recubrimiento de acuerdo a la norma ASTM G105 se pueden realizar?

¿Cuál es la tasa de desgaste de los diferentes tipos de aceros y recubrimientos?

¿Qué procedimientos se pueden aplicar para recuperar los tambores Mixers de la empresa Holcim?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.6.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL

La realización del estudio del desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G 105, del acero utilizado en los tambores de mezclado de los mixers de la empresa HOLCIM Ambato y su influencia en la variación del espesor está previsto realizarse desde abril hasta agosto del 2017.

1.2.6.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL

La investigación del presente estudio se realizará en la flota de camiones hormigoneros de la Empresa HOLCIM Ecuador, sucursal Ambato ubicada en la Av. Atahualpa/E493B, sector Huachi Belén, y en los laboratorios de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato ubicada en Campus Huachi Chico, en la ciudad de Ambato.

1.2.6.3 DELIMITACIÓN DE CONTENIDO

Las áreas que están relacionadas con nuestro tema de investigación son:

- Diseño de Elementos Mecánicos
- Ingeniería de materiales
- Procesos de manufactura
- Sistemas Mecánicos,
- Ensayo de materiales

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto es de gran importancia debido a que en las industrias se presentan grandes pérdidas económicas debido al fenómeno de desgaste y fricción de los componentes, pues genera tiempos muertos por el deterioro de las herramientas, por lo que contribuir con una propuesta de solución para dicho problema es de gran utilidad para las organizaciones

Con el desarrollo del presente proyecto se pretende incentivar la investigación científica y tecnológica como aporte en la solución de los problemas industriales; producir bienes y prestar servicios, para contribuir al mejoramiento de las organizaciones y en consecuencia de la calidad de vida de los ecuatorianos con el impulso del desarrollo sustentable del país.

Por lo anteriormente mencionado el trabajo de investigación es totalmente justificado, el mismo que propone realizar un análisis de aceros y recubrimientos utilizados en tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato y su influencia en el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105”.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar los tipos de aceros y recubrimientos utilizados en los tambores de mezclado de los mixers de la empresa HOLLCIM Ambato y su influencia en el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el acero AISI 1020 con su respectivo recubrimiento como posible reemplazo del acero ASTM A 514
- Realizar ensayos de desgaste abrasivo de los tipos de acero y recubrimiento bajo la norma ASTM G105.
- Analizar la tasa de desgaste de los diferentes tipos de aceros y recubrimientos.
- Plantear un procedimiento de recuperación de los tambores de los Mixers de la empresa Holcim Ambato.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para el desarrollo de la presente investigación se revisó una serie de trabajos relacionados con el tema de estudio, los cuales fueron tomados como referencia:

Varela, A.; García, R. & Artiaga, R. en su estudio titulado “Comportamiento tribológico de un acero austenítico al manganeso usado en revestimientos de molinos de carbón” se estudia el desgaste por abrasión de un acero al manganeso (5 % Mn) obtenido por modelo utilizando el ensayo de “rueda de caucho y arena húmeda”, según la Norma G105 el mismo que concluye que la composición del acero favorece la transformación de la austenita en Martensita por rozamiento, lo que incide en una mayor dureza del acero y, por tanto, en una mayor resistencia al desgaste, además se indica que la resistencia al desgaste del acero hipertemplado en aceite y del revenido durante 2 horas a 250°C son equivalentes [5].

Gutiérrez, J.C; León, L; Mesa, Dairo, H en su estudio titulado “Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo e recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera” estudió la resistencia al desgaste abrasivo de dos recubrimientos duros de alto Cr y alto W, los mismos que fueron aplicados en una sola capa sobre un sustrato de acero estructural AISI A36, con la utilización de soldadura eléctrica SMAW. Una vez realizadas las pruebas se concluyó que los recubrimientos duros aplicados por procesos de soldadura ofrecen una excelente alternativa para la recuperación de las partes que se encuentran sometidas al desgaste abrasivo como en el caso de la industria minera. Además, se determina que la dureza no es un parámetro determinante al momento de realizar la evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo de los materiales estudiados, puesto que pequeñas variaciones en dureza llevaron a cambios muy grandes en pérdidas de masa de abrasión usando ensayo normalizado de arena seca y rueda de caucho [6].

Guerrero, E. en su trabajo titulado “Estudio de los tratamientos térmicos en el acero AISI 1045 en un sistema acuoso evaluados con la Norma ASTM G105-89 que permitirá determinar la velocidad de desgaste del material” se realizaron ensayos de desgaste abrasivo en medio acuoso en un equipo que estaba diseñado bajo los parámetros de la Norma ASTM G105-89, sumergiendo las probetas en el lodo abrasivo con la ayuda de una carga constante por un periodo de tiempo y desplazamiento, para posteriormente evaluar el desgaste a través de la diferencia de pesos y analizar la velocidad de desgaste.

La investigación da como resultado que el tratamiento térmico apropiado en el acero AISI 1045, fue el temple a una temperatura de 840 °C, ya que este ayudó a mejorar las características del material, que posteriormente con los experimentos de desgaste abrasivo realizados con la Norma ASTM G 105-89 se pudo determinar que disminuye la velocidad de desgaste del material (mm^3/s), además se establece que el Acero presenta menor pérdida de volumen y en consecuencia a reducir la velocidad de desgaste y las otras propiedades tribológicas que se evalúan [7].

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La presente investigación se fundamentará en el paradigma crítico propositivo, ya que las características de este paradigma permitirán ser flexibles en cuanto a consideraciones de diseño y métodos de elaboración que a la presente investigación compete.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

El presente trabajo investigativo se sustentó en las normas que se mencionan a continuación:

INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización): Normas para dibujo técnico

ASTM G-105: Norma europea, utilizada en el ensayo para medidas de abrasión por medio del aparato de rueda de goma y arena seca

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

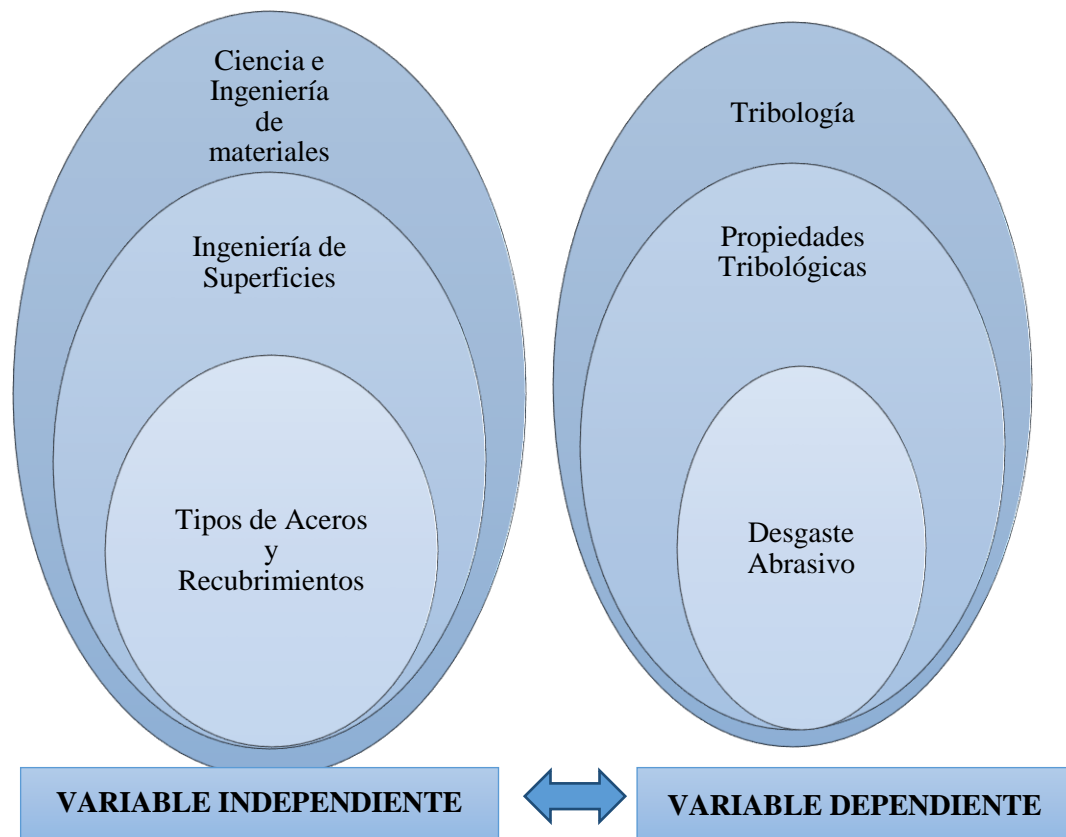


Gráfico 1. Categorías fundamentales
Fuente: El autor

2.4.1 Fundamentación de la variable Independiente

2.4.1.1 Ingeniería de materiales

La disciplina de ingeniería de los materiales está fundamentada en las relaciones, propiedades, estructura y diseño o proyección de la estructura del material para lograr un conjunto predeterminado de propiedades de los materiales, esta ingeniería resulta fundamental en la elección y selección de materiales en los que se pretende mayor durabilidad y economía [8].

Se debe tener en cuenta que el empleo de materiales y los proyectos de ingeniería están en constante cambio y que éste es acelerado en búsqueda de materiales cada vez más resistentes, por esto, el objetivo de la ingeniería de materiales es el conocimiento básico de la estructura interna, propiedades y elaboración de

materiales, la ciencia de los materiales se interesa por el empleo del conocimiento fundamental y aplicado acerca de los materiales, de manera que puedan ser convertidos en los productos que la sociedad requiere o desea [9].

El término ingeniería de materiales combina la ciencia de los materiales y la ingeniería de los materiales, como se refiere en el gráfico 2:

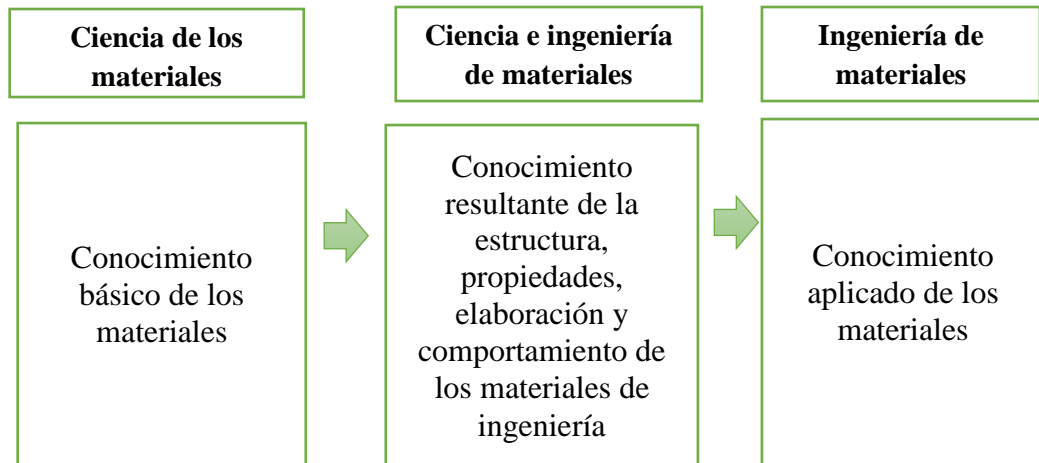


Gráfico 2. Conocimiento de materiales [9].

La ingeniería de materiales clasifica a los mismos en tres grupos principales: materiales metálicos, poliméricos y cerámicos, cuyas características son:

- **Materiales metálicos:** sustancias inorgánicas compuestas por uno o más elementos metálicos como el hierro, cobre, aluminio, níquel, titanio, pero existen ciertos materiales metálicos que pueden contener elementos no metálicos como carbono, nitrógeno y oxígeno.
- **Materiales poliméricos:** los materiales polímeros constan de largas cadenas o redes moleculares basadas en compuestos orgánicos, desde el punto de vista estructural, la mayoría de polímeros no son cristalinos, la resistencia y durabilidad de estos materiales varía considerablemente.
- **Materiales cerámicos:** materiales inorgánicos formados por elementos metálicos y no metálicos, la mayoría tienen gran dureza y resistencia a altas temperaturas, pero tienden a ser frágiles [9].

2.4.1.2 Ingeniería de Superficies

Las ingenierías de superficies consisten en modificación de la microestructura y composición superficial de un componente mediante métodos mecánicos, físicos o químicos composición superficial de un componente mediante métodos mecánicos físicos o químicos que pueden implicar en aporte de otro material para cambiar las propiedades superficiales del mencionado componente. Una consecuencia más importantes empleados en un gran número de aplicaciones industriales. Por otra parte, contribuye al ahorro energético por permitir el aumento de las temperaturas de combustión consiguiendo una mayor eficiencia, por contribuir a la reducción de peso y por colaborar de forma significativa disminuir la fricción entre componentes [10].

Tipos de tratamientos superficiales

Las modificaciones superficiales que conlleva la ingeniería de superficies pueden clasificarse como:

Trasformaciones estructurales sin aporte de material. Mediante tratamientos mecánicos o térmicos se modifican la micro estructura y la morfología de la superficie del material [11]. A continuación, en la tabla 1 se mencionan los principales procesos de deposición de recubrimientos.

Tabla 1. Principales procesos de deposición de recubrimientos [11].

Vía	Proceso	Material depositado
Acuosa	Electro-deposición Electroless	Ni, Cu, Cr, Cd, Zn, Ag, Pt, Aleaciones Ni (Ni-P, Ni-B)
Inmersión en metal fundido	Galvanizado Hot Dip	Zn, Zn-Al Sn, Al, Sn, Pb, Pb-Sn
Gaseosa	PVD, CVD	Óxidos, nitruros, carburos, metales
Sólida	Proyección Térmica (llama, arco, plasma, alta velocidad y detonación) Láser Soldadura	Metales Cerámicos Refractarios Polímeros Materiales compuestos
Suspensiones	Rociado Inmersión Electroforesis Brocha	

La interdifusión con otros elementos poniendo en contacto precursores sólidos, líquidos o gaseosos con la pieza a recubrir se puede lograr la interdifusión de uno o varios elementos con el material del sustrato mediante calentamiento.

Tratamiento por conversión química: Mediante estos tratamientos se consigue oxidación del material del sustrato, con o sin aporte de otros elementos. El cromatado y el fosfatado de óxidos protectores que también se emplean como imprimación para después aplicar pinturas proyectivas.

Aporte de una capa de otros materiales: Mediante una serie de procesos físicos o químicos es posible aportar todo tipo de materiales sobre un sustrato como se puede apreciar en el gráfico 3. La denominación ingeniería de superficies resulta de la complejidad de estos sistemas [12].

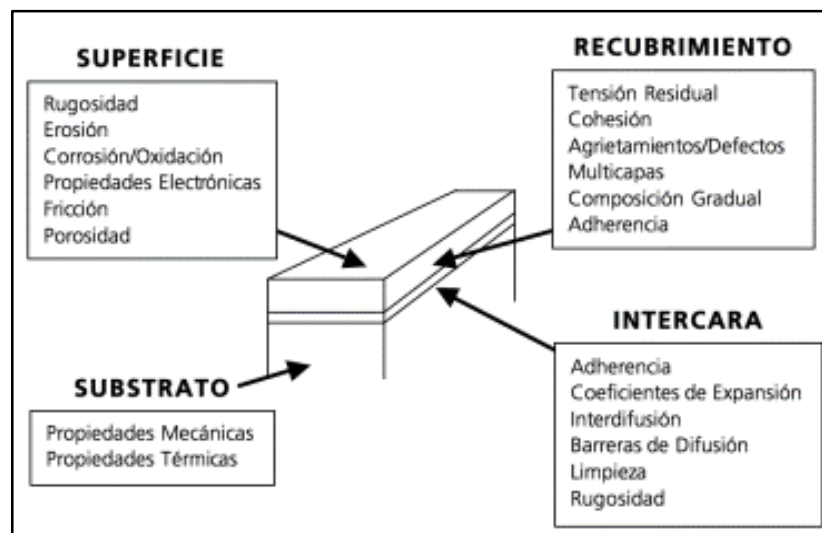


Gráfico 3. Tipos de tratamientos superficiales [11].

2.4.1.3 Tipos de Acero y recubrimientos

En los últimos años se ha fortalecido la utilización masiva del acero, debido a la enormidad de los usos que se le puede dar y la versatilidad de sus propiedades mecánicas, las mismas que pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se le quiere otorgar al producto.

Tipos de aceros según la Norma ASTM

La Norma ASTM (American Society for Testing and Materials) no especifica directamente la composición, sino que especifica el ámbito de aplicación del acero. Esta Norma categoriza las propiedades del acero y mide su rendimiento a través de cuatro características que son:

Módulo de elasticidad: Es decir que tanto se puede reformar un trozo de acero por tensión aplicada y regresar a su forma original.

Tensión de dureza: se refiere a la cantidad de tensión que se puede aplicar al material antes de que se deformen.

Rendimiento mínimo de tensión: Hace referencia al punto en que el acero se deforma de manera permanente.

Despojar: Se aplica a la cantidad de fuerza que el acero experimenta en el punto en que un trozo de acero es sometido a un quiebre limpio en su eje perpendicular a la fuerza [13].

Tomando en cuenta estas características se detallan los siguientes tipos de acero:

Acero AISI 1020 (American Iron and Steel Institute)

Acero de bajo contenido de carbono, resulta de fácil mecanizado y buena soldabilidad, de baja dureza para la utilización convencional de baja exigencia, cuando se requiere una superficie muy dura y un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente, estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica y maquinabilidad. Este tipo de acero es aplicado en bases de matrices, soportes, engranajes, sellos, pernos de anclaje, ejes, cadena, bujes, tornillería corriente y pasadores de baja resistencia, además que, debido a su ductilidad resulta ideal para procesos de transformación en frío como: doblar, estampar, recalcar y entre otros. En la tabla 2 se menciona la composición química del acero AISI 1020 [14].

Tabla 2. Composición química de acero AISI 1020 [15].

C	0,20%
Mn	0,45%
P	0,03%
S	0,05

Características:

- Resistencia: bajo contenido de C, tiene una resistencia a la tracción relativamente baja, por lo que no debe ser seleccionado cuando las piezas requieran gran esfuerzo.
- Maquinado: tipo de acero que no se maquina con facilidad, por tanto, se debe evitar usar cuando las piezas a elaborar necesiten un acabado fino superficial.
- Soldadura: este acero no presenta dificultad al soldar por medios comunes, así es recomendado su uso en piezas construidas estructuralmente, que incluso involucren mecanizados.
- Ductilidad: acero que sirve para numerosas piezas forjadas, estampadas o embutidas.
- Tratamiento térmico: este tipo de acero se mejora sometiéndoselo a un aumento superficial del contenido de C, mediante cementación y temple al agua o aceite, así también es posible mejorar su comportamiento mecánico mediante Lam en frío [15].

Tabla 3. Propiedades mecánicas de acero AISI 1020 [16].

Resistencia a la tracción	40-45 Kgf/mm ²
Límite de fluencia	27 Kgf/mm ²
Elongación	20%
Reducción de área	50%
Maquinabilidad	72%
Dureza (HB)	110-140

Acero ASTM A514

Los aceros estructurales de alta resistencia mecánica se encuentran caracterizados por su fácil soldabilidad y conformabilidad. Entre de este tipo de aceros se destacan los utilizados para aplicaciones estructurales donde se requiere de altos límites de fluencia como el ASTM A514. Su uso permite garantizar una vida útil sin que se presenten deformaciones significativas en la estructura a pesar de exponerlos a altas temperaturas [16].

El Acero ASTM A514 es utilizado generalmente en estructuras de alta exigencia mecánica y soldabilidad, como por ejemplo grúas, brazos telescópicos, puentes, brazos de levante, etc. [16].

En la tabla 4 se presenta la composición química (máximo %) del acero en estudio:

Tabla 4. Composición química (máximo %) del acero ASTM A514 [17].

ACERO	C	Si	MN	Cr	Mo	Ni	V+Nb	B
ASTM A514	0,18	0,50	1,60	1,50	0,60	1,50	1,0	0,004

Además, en la tabla 5 se presenta las propiedades mecánicas del acero ASTM A514:

Tabla 5. Propiedades mecánicas del acero ASTM A-514 [17].

ACERO	Límite de Fluencia (N/mm ²)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Alargamiento (%)	Energía de impacto (J) -60°C
ASTM A514	690	940	15	30/27

Tipos de recubrimientos del acero

La vida útil y la seguridad de funcionamiento de las piezas y elementos constructivos se encuentran ligados al grado en que se puedan evitar los procesos

de corrosión, es por ello que todos los procedimientos de protección anticorrosivos tienden a evitar la formación de elementos galvánicos o impedir el ataque de sustancias que descompongan químicamente los materiales [17]. Entre los recubrimientos más utilizados se encuentran los siguientes:

Metalizado

Consiste en la aplicación de un metal noble sobre la superficie de un metal activo, donde el primero se corroe. Para obtener una buena protección contra la corrosión mediante recubrimientos metalizados es imprescindible conocer el comportamiento electroquímico del metal de protección con respecto al metal de base. Si en un recubrimiento de cinc sobre acero se deteriora el recubrimiento y existe también humedad, el cinc es de polaridad negativa en relación al metal de base. El recubrimiento de cinc se corroerá mientras que la destrucción del metal de base se retrasará. En el gráfico 4 se muestra la corrosión en recubrimientos metálicos deteriorados.

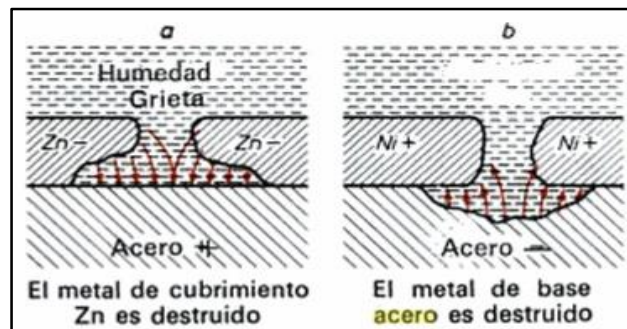


Gráfico 4. Corrosión en recubrimientos metálicos deteriorados [18]

De igual manera en un recubrimiento de níquel sobre acero, el níquel es electroquímicamente más noble que el metal de base, lo que quiere decir que es positivo. Es por ello que al deteriorarse el recubrimiento el metal de base resultará atacado. La corrosión continúa por debajo del metal de recubrimiento, hasta que la oxidación que se produce hace con su gran volumen que se desprenda la capa de níquel. En un lugar deteriorado del recubrimiento, el metal de base resulta en consecuencia más expuesto a la destrucción que si no hubiera una capa metálica de protección [17].

En los recubrimientos con base de zinc la velocidad de consumo es extensamente más reducida que en el acero, es por ello que una corteza delgada de zinc protege al acero durante mucho tiempo. Por este motivo, en atmósferas rurales, la velocidad a la que se desgasta el material es de 1,0 micras/año (0.04 mils/año), debido a que la cantidad y la concentración de contaminante que hay en el ambiente es poca, sin embargo, en este mismo ambiente, la velocidad de corrosión de un acero bajo en carbono es de 10 o más veces mayor [18].

Metalizado por arco spray o proyección térmica

El metalizado por proyección térmica consiste en el recubrimiento de una superficie con material metálico o no metálico calentado hasta el estado plástico o fundido y pulsado como partículas individuales o gotas hacia una superficie que se denomina sustrato. Es una de las técnicas más versátiles para la aplicación de materiales de recubrimiento utilizados para proteger componentes de desgaste por abrasión, adhesión, erosión y corrosión y la fatiga.

En este proceso, dos alambres del material a depositar son llevados simultáneamente hasta un punto de contacto, donde se encuentra un gas atomizado que proyecta el metal líquido en forma de gotas fundidas. La proyección térmica por arco es una de las técnicas más económicas para aplicar recubrimientos metálicos resistentes a la corrosión con buena calidad en cuanto adherencia y composición química. Adicionalmente, los parámetros en el sistema de proyección por arco (voltaje, corriente, presión del aire y distancia de proyección) pueden ser optimizados para aplicaciones específicas [19] [20]. En el gráfico 5 se muestra el esquema del metalizado por proyección térmica.

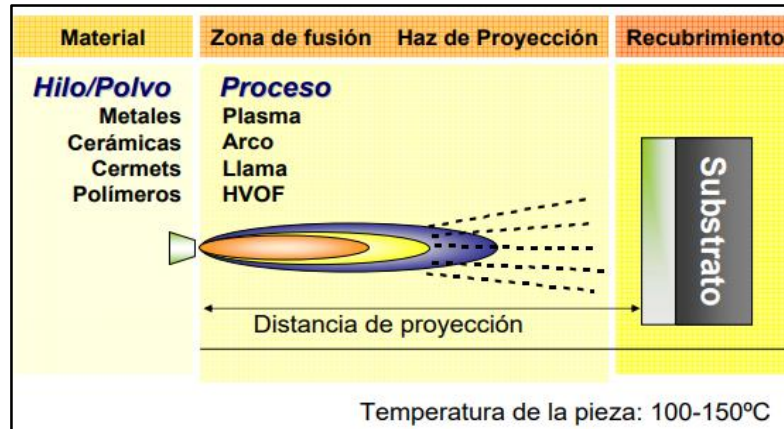


Gráfico 5. Metalizado por proyección térmica [22]

En este proceso se considera como la etapa más crítica a la preparación adecuada del sustrato antes de la aplicación del revestimiento, pues influncia la resistencia de unión y adhesión del recubrimiento al sustrato [21].

Nitrurado

La nitruración por plasma ha propuesto recientemente incrementar más aún la dureza de estos materiales mediante la función de nitrógeno en capas superficiales a través de un tratamiento termoquímico a una temperatura que oscila entre 500°C a 580°C, es decir que está por debajo de A1 en los cristales alpha. Este proceso es la flexibilidad y rendimiento, debido a la factibilidad en forma independiente y precisa de las variables que determinan los resultados cuidando así los parámetros de nitruración para subir gradualmente la dureza, pero dejar intacta la capacidad del material para proteger la corrosión [22] [23].

Los recubrimientos dúplex son técnicas de que comenzaron a aplicarse al principio de los 90 principalmente sobre las herramientas de corte y conformado de dos tecnologías independientes: la deposición de una capa de alta dureza por PVD y tratamiento termoquímico de nitruración iónica. La resistencia al desgaste y a la corrosión de los recubrimientos dúplex depende de las propiedades de la combinación entre sustrato y capas que lo cubren, así como las de las interfaces entre ellas [22].

Parámetros de nitruración

En la tabla 6 se visualiza los parámetros de nitruración de un material.

Tabla 6. Parámetros de nitruración [24].

	Sputtering	Nitruración
Gases y proporción	Ar - H ₂ / 60% - 40%	N ₂ - H ₂ / 23,2% - 76,8%
Tiempo de proceso	2 horas	10 horas
Tensión –Valor medio	400–500 V	500–600 V
Frecuencia DC pulsada	500 Hz, 50% on	500 Hz, 50% on
Densidad de corriente	0,2 – 0,1 mA/cm ²	0,18 mA/cm ²
Temperatura	100 a 200 °C	300 °C

Nitruración en baño de sales

La nitruración en baño de sales con contenido de cianuro data de hace 50 años que para regular la relación cianuro/cianato que se requiere para alcanzar buenos resultados utiliza una cruceta de titanio con ventilación.

La temperatura de nitruración se aproxima a 570° C, con un tiempo normalmente de 30 min a 2 horas. Sin embargo, en el caso de aceros rápidos, el tiempo es de pocos minutos. Una vez realizada la nitruración, las piezas se enfrían en agua o en un baño especial de enfriamiento, aunque también en aceite, al aire, al vacío o en atmósfera inerte [23].

El proceso de TENIFER es utilizado para mejorar la vida útil de las piezas que son fabricadas en acero rápido y acero para trabajo en frío o en caliente, puesto que las piezas nitruradas presentan mejores propiedades de deslizamiento junto con una gran resistencia al desgaste, con una temperatura aproximada de trabajo de aproximadamente 600°C. Además, este proceso aumenta la resistencia a la corrosión atmosférica, así como la que se produce por ambientes marinos [23].

Recubrimiento de níquel-cromo

El recubrimiento de cromo junto con el níquel al que en muchas aplicaciones va unido, es uno de los más representativos de la industria galvanotécnica, a pesar de

que su uso se desplazó parcialmente años atrás por el uso de algunos recubrimientos de tipo orgánico como el plástico y la pintura.

El recubrimiento de cromo es único e insustituible en muchas aplicaciones, pues proporciona un brillo, dureza, una resistencia al desgaste y un bajo coeficiente de fricción, que ningún material aporta. Estas propiedades tienen la gran ventaja de ser durables, por lo que, en términos de vida de servicio, este procedimiento resulta económico y muy rentable siempre y cuando se utilice de forma correcta [24].

El recubrimiento de cromo duro es realizado por vía electrolítica por la que reviste a las piezas con una película fina y dura de cromo como se observa en el gráfico 6. Esta película le da resistencia a la corrosión y proporciona excelentes propiedades mecánicas. “El tratamiento electrolítico de cromo se realiza a baja temperatura, es decir que no excede los 60°C, proporcionando un espesor variable desde unas micras hasta 1mm de espesor y puede ser localizado en las zonas útiles de las piezas.” [25].



Gráfico 6. Recubrimiento de cromo duro [27].

El recubrimiento de Níquel químico como se aprecia en el gráfico 7, se compone por una aleación de 90% de Níquel y 10% de Fósforo. Es aplicado por vía química por lo que una de sus principales características es la uniformidad de la capa puesto que mantiene las tolerancias en todas las zonas tratadas. No es poroso, razón por la cual presenta alta resistencia a la corrosión.



Gráfico 7. Recubrimiento de níquel químico [27].

De acuerdo a diversas investigaciones se ha determinado que un recubrimiento formado por níquel brillante y níquel semibrillante se comporta mejor ante la corrosión, debido a que la parte semibrillante se polariza catódicamente, disminuyendo su facilidad para corroerse, mientras que la capa brillante se polariza de forma anódica, incrementando su grado de corrosión y protegiendo la capa semibrillante de la corrosión por más tiempo y, en consecuencia, protegiendo el metal base. Cuando además se tiene presente el cromo, las dos capas de níquel se polarizan de forma anódica, incrementando por tanto su capacidad para corroerse.

Estos depósitos en multicapa tienen valores de resistencia al desgaste y a la corrosión mejores que de los metales puros. Existe un baño que deposita sobre una base de níquel brillante otra capa de bajo brillo que posee partículas inertes, no metálicas que puede ser de cerámica o teflón, que depositan con el níquel, sirviendo de germen para los microporos que aparecerán en la capa de cromo que se aplica a continuación.

La presencia de partículas inactivas, produce imperfecciones en la superficie de níquel, causando que el cromo no se pueda depositar en toda la superficie, con lo que se obtiene un recubrimiento de cromo con poros. “Con esta técnica se puede proteger ante la corrosión bases de acero, zinc, cobre, aluminio, así como otros

materiales”. En el gráfico 8 se puede apreciar algunos ejemplos de depósito multicapa [26].

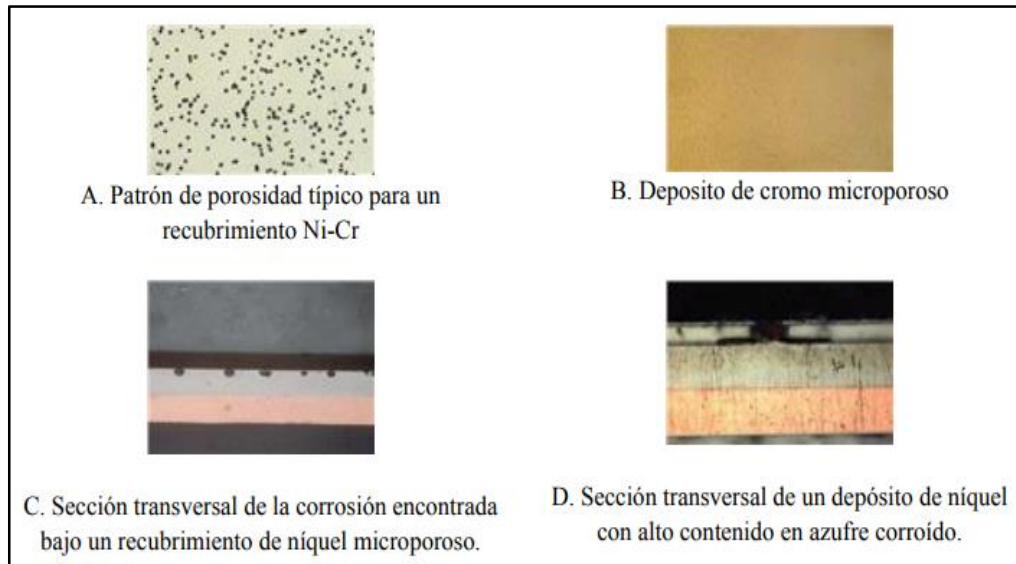


Gráfico 8. Ejemplos de depósito en multicapa [28].

Recubrimiento de carburo de tungsteno

El recubrimiento de piezas con materiales duros como es el caso del carburo de tungsteno, es una gran alternativa para incrementar la vida útil de piezas industriales. La aleación de tungsteno presenta gran resistencia a la abrasión, erosión y corrosión. La vida útil de componentes recubiertos de carburo de tungsteno con este material puede ser de 500% más que las piezas originales, además de presentar un costo de aplicación muy bajo [27].

Este recubrimiento puede ser aplicado en:

- Motores de bombas
- Cuplas de desgaste
- Transportadores helicoidales
- Válvulas de bola
- Válvulas de compuerta
- Partes de turbina hidroeléctricas

Cementación

La cementación es un proceso termoquímico que carbura una capa superficial de una pieza de acero, rodeándola de un producto carburante y calentándola a una temperatura apropiada a través de difusión generalmente del orden de 850-950°, pudiéndose realizar a temperaturas superiores o inferiores, dependiendo del propósito del proceso; lo que permite modificar su composición impregnando la superficie y sometiéndola posteriormente a un tratamiento térmico, un temple y un revenido, alcanzando que la pieza tenga buena tenacidad en el núcleo y con mucha dureza superficial [28].

La cementación es un proceso que se ha empleado desde hace mucho tiempo para producir una capa superficial dura y resistente, por lo general en materiales como aceros. La cementación es un proceso mediante el cual el acero en estado austenítico es puesto en contacto con una atmósfera de potencial de carbono, de manera que induzca a la absorción de carbono en la superficie y por difusión, se genere un gradiente de concentración entre la superficie y el interior del metal [29].

En una pieza de acero dulce, la cementación incrementa la dureza, al aumentar la concentración de carbono en la superficie; este tratamiento permite acrecentar el contenido de carbono en la parte exterior, alcanzando así mediante temple y revenidos, una alta dureza superficial, entereza al desgaste y tenacidad en el núcleo. La profundidad de la capa debe ser de tal manera que no ocasione deformaciones permanentes en ella; por lo que será mayor entre 0.8 a 4 mm cuando más grande sea el esfuerzo a la que se encuentra sometida, mientras que si solo se requiere resistencia al desgaste, se usan capas de baja profundidad (0.1 a 0.5mm) [28].

La cementación es aplicada en aquellas piezas que requieran poseer gran resistencia al choque y tenacidad, en conjunto con una gran resistencia al desgaste, como es el caso de los piñones, levas, ejes, entre otros. A continuación, se describen los métodos de cementación que se utilizan:

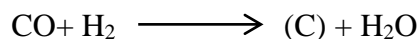
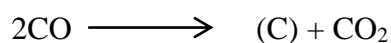
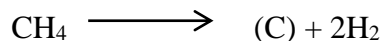
Cementación gaseosa

En el proceso de cementación gaseosa se absorbe carbono hacia la capa superficial del acero, el mismo que posee un porcentaje de carbono relativamente bajo, en el orden de 0,2% en peso. El carbono libre que se genera de una fuente gaseosa a través de reacciones químicas que no involucran directamente al metal, pero que pueden ser catalizadas por su presencia, es absorbido por el acero. “La absorción de carbono hacia la superficie genera un gradiente de concentración y los átomos de carbono se difunden hacia el interior de la pieza” [29].

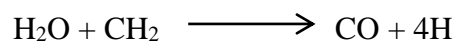
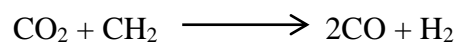
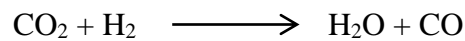
El proceso de cementación se realiza en hornos especiales, en cuyo interior se inyecta como gas cementante algún hidrocarburo saturado tales como el metano, butano, propano, entre otros. Al someterlo a una temperatura entre 900°C y 1000°C aproximadamente, se desprende el carbono elemental que cementa el acero [28].

En la interacción entre una superficie de acero y las mezclas gaseosas multicomponentes es complejo, lo que involucra reacciones de oxidación, reducción, carburización y decarburización. Entre las reacciones que se consideran son las siguientes:

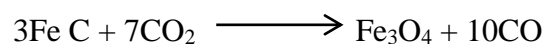
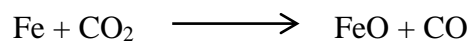
Reacciones Carburización - Decarburización

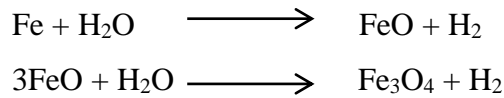


Reacciones de Control de la Atmósfera



Reacciones de Oxidación – Reducción

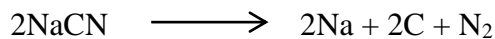




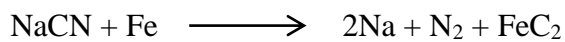
Cementación líquida

Es un proceso que radica en introducir las piezas de acero en un baño de sales fundidas compuesto por cianuros (CN-) y cianatos (CON-), a la temperatura de cementación comprendidas entre 820 y 930°C, que le ceden carbono y con frecuencia un poco de nitrógeno. Una vez que la pieza es sumergida en el baño de sales fundidas permanece un tiempo definitivo y luego se somete a un temple y revenido [30].

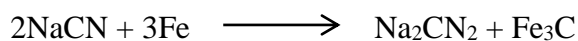
La mezcla de sales utilizadas para la cementación se clasifica en sales activadas y sales no activadas, de acuerdo a este enunciado se establece que el cianuro sódico se descompone térmicamente de acuerdo con la siguiente reacción:



Además, se indica que a 600° C el cianuro sódico reacciona con el polvo de hierro



También a través de la reacción



“De acuerdo a las reacciones anteriores esta cementación es un método de endurecimiento del acero, donde la sal de cianuro de sodio fundida introduce carbono y ciertas veces nitrógeno hacia el acero” [29].

Cementación sólida

La cementación sólida consiste en calentar las piezas dentro de cajas de chapas de acero soldadas y selladas cubierta de una preparación sólida cementante, el mismo que se descompone en la superficie del metal en carbono o dióxido de carbono como se observa en el gráfico 9. Estas cajas se cargan al horno de cementación y,

se mantienen ahí durante varias horas a una temperatura aproximada entre 900°C y 950°C hasta obtener la profundidad de la capa de difusión deseada. El carbono que se ha formado es absorbido hacia el metal por difusión [28] [29].

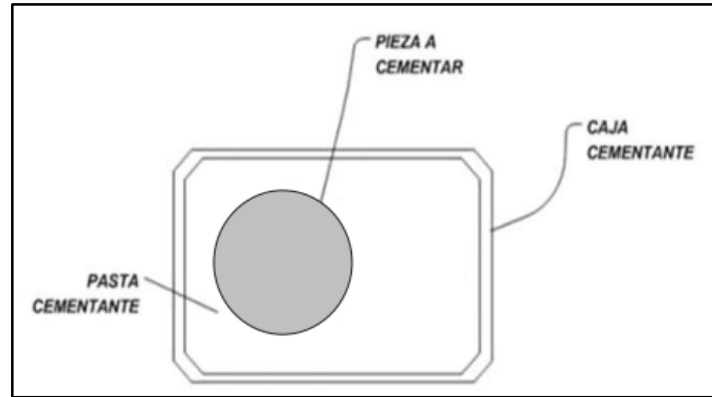
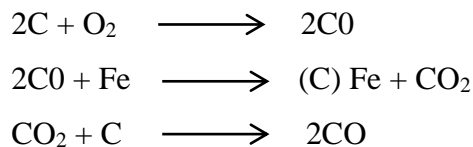


Gráfico 9. Cementación sólida [30].

Las reacciones que se llevan a cabo en este tipo de cementación son las que se indican a continuación:



Donde (C) Fe, significa el carbón disuelto en la austenita.

Estas reacciones se favorecen por activadores tales como carbonato de bario y carbonato de sodio, los mismos que forman parte del proceso cementante. Este tipo de cementación se lo efectúa en un recipiente metálico cerrado (por lo general acero inoxidable o un acero aleado) el mismo que contiene la pieza a cementar rodeada del compuesto [31].

2.4.2 Fundamentación de la variable dependiente

2.4.2.1 Tribología

La tribología es conocida como la ciencia y la tecnología de superficies interactuando en movimiento relativo y prácticas relacionadas, es decir, la tribología estudia condiciones de operación aplicadas a problemas de gran

significado económico, es decir, fiabilidad, mantenimiento y desgaste de equipo técnico, de dispositivos tanto de naves espaciales hasta equipos del hogar [32].

Es una nueva disciplina científica de carácter multidisciplinario en la que entre otras ciencias participan la física, la química, la metalurgia, la economía, la ciencia de materiales, la matemática y la computación. Para poder evaluar el par tribológico de materiales bronce acero es decir el que tenga mejor comportamiento ante el desgaste [33].

Al seguir la revolución industrial el desarrollo tecnológico de la maquinaria para la producción avanzo rápidamente. A inicios del siglo XX, con el gran crecimiento industrial hasta alcanzar la demanda de una mejor tribología, la comprensión de todas las áreas de la tribología se propagó de forma rápida.

La tribología está presente en prácticamente todos los aspectos de la maquinaria motores y componentes de la industria en general. Los componentes tribológicos más comunes son: rodamiento, frenos y embragues, sellos, anillos de pistones, enganches y levas, además las aplicaciones más comunes de los conocimientos tribológicos, aunque en la práctica no se nombren como tales, son en motores eléctricos y de combustión, las turbinas, rolado, fundición, forja, proceso de corte y componentes de almacenamiento magnético [34].

2.4.2.2 Propiedades en tribología

Fricción

Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra (fuerza de fricción cinética) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). Toda fuerza de fricción (F) se opone a la dirección del movimiento relativo y su esquema se presenta en el gráfico 10 [35].

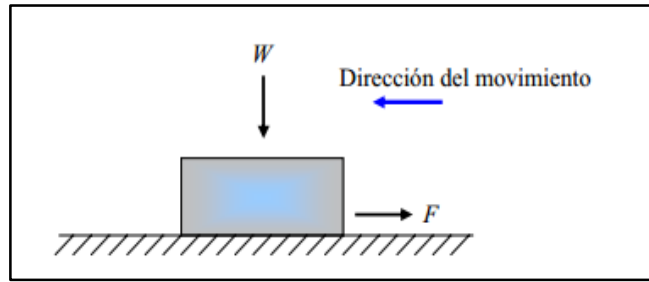


Gráfico 10. Diagrama de cuerpo libre que ilustra el deslizamiento de un cuerpo libre sobre una superficie [34].

Leyes de fricción

Coulomb y Morin indican que la fuerza de fricción se debe a las imperfecciones de las superficies en contacto, por tal motivo formularon las siguientes leyes:

1. La fuerza de fricción estática máxima es directamente proporcional a la magnitud de la reacción normal y a la rugosidad de las superficies que se encuentran en contacto. La fuerza de fricción cinética es directamente proporcional a la magnitud de la reacción normal y a la rugosidad de las superficies en contacto [32]. Esta ley puede simbolizarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 F' &= \mu_s N \\
 F_k &= \mu_k N
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Donde

F' = la fuerza de fricción estática máxima

F_k = la fuerza de fricción cinética

μ_s = el coeficiente de fricción estática

μ_k = el coeficiente de fricción cinética

2. La fuerza de fricción estática máxima es independiente del tamaño del área aparente de contacto entre los cuerpos de contacto.
3. La fuerza de fricción cinética es independiente de la velocidad relativa de deslizamiento una vez que empieza el movimiento [32].

Valores de los coeficientes de fricción

Los coeficientes de rozamiento estático y dinámico dependen de las condiciones de preparación y de la naturaleza de las superficies y son casi independientes del área de superficie de contacto [35], proporcionándose a continuación en la tabla 7:

Tabla 7. Coeficiente de rozamiento de algunas sustancias [37]

Materiales en contacto	Fricción estática	Fricción cinética
Hielo// hielo	0.1	0.03
Vidrio//Vidrio	0.9	0.4
Madera//Cuero	0.4	0.3
Madera//Piedra	0.7	0.3
Madera//Madera	0.4	0.3
Acero//A cero	0.74	0.57
Acero//Hielo	0.03	0.02
Acero//Latón	0.5	0.4
Acero// Teflón	0.04	0.04
Teflón//Teflón	0.04	0.04
Caucho//Cemento(Cemento)	1.0	0.8
Caucho//Cemento(Húmedo)	0.3	0.25
Cobre//Hierro//(Fundido)	1.1	0.3
Esquina(enserado)// Nieve (0°C)	0.1	0.05
Articulaciones Humanas	0.01	0.003

Reducción del desgaste

La fricción puede reducirse por los siguientes factores:

La carga: Es parte de todos los mecanismos, sin embargo, interviene de manera directamente proporcional a la fricción y es difícil de cambiar.

Naturaleza de los materiales: Los cuerpos presentan mayor o menor fricción según la naturaleza química de estos.

Acabado de las superficies: Cuando las superficies son ásperas presentan mayor fricción que cuando son pulidas.

Forma de los cuerpos: Los cuerpos que presentan forma cilíndrica o esférica ocasionan menor fricción debido a que la fricción por rodamiento es menor que por deslizamiento [7].

Desgaste

El proceso de desgaste, puede definirse como una pérdida de material de la interface de dos cuerpos, cuando se les ajusta a un movimiento relativo bajo la acción de una fuerza. “En el proceso de desgaste, el material puede ser removido de la superficie y expulsado o puede resultar transferido a la otra superficie o también puede romperse y quedar atrapado dentro del contacto como una partícula libre de desgaste” [32].

En general, los sistemas de ingeniería implican el movimiento relativo entre componentes fabricados a partir de metales y no metales, y se han definido seis tipos de desgastes, como: desgaste por adherencia, desgaste por abrasión; desgaste por ludimiento, desgaste por fatiga, desgaste por erosión, desgaste corrosivo.

Tipos de desgaste

Desgaste por adherencia: es la remoción de la superficie en contacto por superficies de coincidencia, o con superficies duras que presentan un movimiento relativo en la superficie desgastada como se aprecia en el gráfico 11.

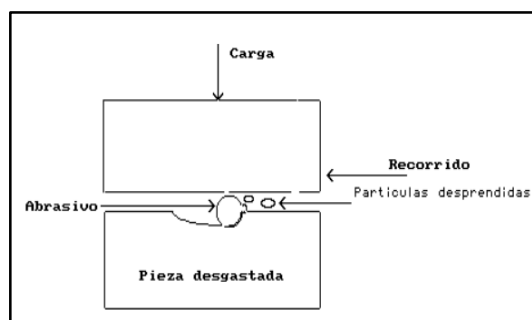


Gráfico 11. Desgaste por adherencia [38].

Desgaste por ludimiento: es el resultado de la oscilación de dos superficies que se encuentran en contacto [36].

Desgaste por fatiga superficial: La pérdida de material es por desprendimiento superficiales y por picaduras, como en los engranes. Se piensa que las grietas por fatiga aparecen de debajo de la superficie en un punto en el que el esfuerzo cortante es máximo. En el gráfico 12 se puede observar el desgaste por fatiga superficial.

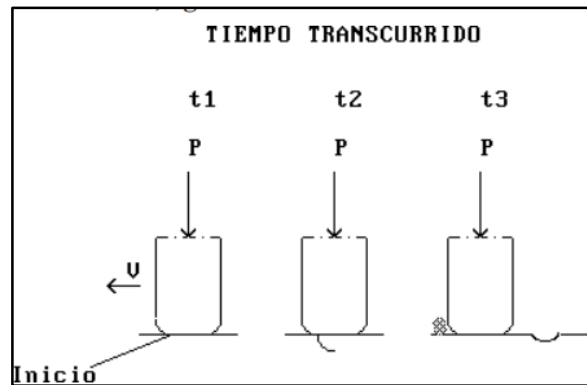


Gráfico 12. Desgaste por fatiga superficial [38]

Desgaste erosivo: este tipo de desgaste es producido en la superficie de un cuerpo debido a la acción de agentes externos tales como el viento o el agua o debido a acción constante de otros cuerpos como se puede observar en el gráfico 13 [36].

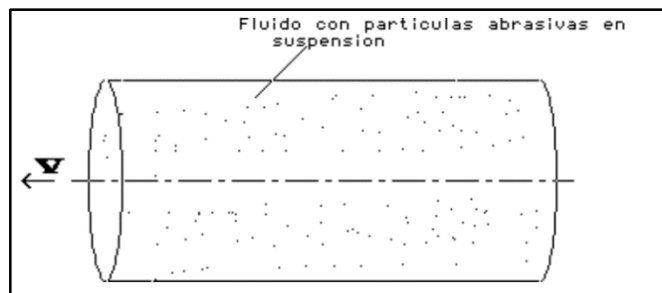


Gráfico 13. Desgaste erosivo [38].

2.4.2.3 Desgaste abrasivo

Según ASTM, la abrasión se da debido a partículas o protuberancias duras que se ven forzadas unas contra otras y se mueven a lo largo de una superficie sólida y se define como el daño a una superficie sólida que por lo general involucra una pérdida

progresiva de material y se da debido al movimiento relativo de la superficie y una o diversas sustancias en contacto [37].

El desgaste abrasivo aparece cuando cualquier aspereza, superficie dura o una superficie blanda con partículas duras embebidas en su superficie se desliza sobre un material blando, cuando este desgaste es producto de partículas de desgaste sueltas y contaminantes, es denominado desgaste abrasivo de tres cuerpos, el desgaste abrasivo intencional es producido por ruedas de moler, limas, papel de lijar, etc., como se aprecia en el gráfico 14 [38].

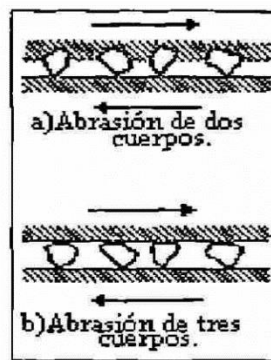


Gráfico 14. Desgaste abrasivo [40].

La abrasión está caracterizada de acuerdo al tipo de contacto, además con el contacto con el ambiente, en tal concepto se incluye:

Teoría de dos cuerpos del desgaste abrasivo: las partículas duras o asperezas superficiales soportadas rígidamente son forzadas a moverse contra la superficie de un material blando, se forma ranuras o surcos como se aprecia en el gráfico 15, dicho proceso concluye o no con la eliminación o remoción del metal [38].

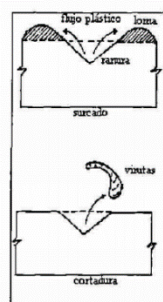


Gráfico 15. Mecanismo de formación de surcos en los metales [40].

La indentación de dureza en un material es un factor importante en el análisis del desgaste abrasivo pues controla la profundidad de penetración de las partículas abrasivas, la teoría de desgaste expresa el volumen total de partículas generales W, por unidad de longitud deslizada como:

$$\frac{W}{L} = K \frac{P}{H} \quad (2)$$

Donde:

P = carga aplicada

H = dureza del material desgastado

K = coeficiente del desgaste abrasivo

El coeficiente de desgaste abrasivo es generalmente más grande que para el desgaste adhesivo.

Teoría de tres cuerpos de desgaste abrasivo: ocurre cuando la superficie es frotada contra un grupo de partículas desprendidas, este se divide en dos: desgaste abrasivo de tres cuerpos abierto y cerrado cuya diferencia es la intensidad de contacto entre las partículas abrasivas y la superficie. La efectividad del desgaste abrasivo de tres cuerpos en remover el material es menor que otros procesos de remoción de materia, una gran energía es requerida antes de desprender cualquier material [38].

Elementos de Control de abrasión

Los factores que intervienen para la disminución de abrasión son los siguientes [39]:

- Incremento de dureza.
- Incremento del contenido de carbono y de carburos duros.
- Control de la relación entre la dureza de la superficie y del abrasivo.
- Disminución del tamaño de las partículas abrasivas.
- Forma de partículas abrasivas redondeadas.

- Reducción de velocidades
- Reducción de cargas.

Clasificación del desgaste abrasivo

El desgaste abrasivo se clasifica de la siguiente manera:

Desgaste abrasivo de baja presión: en este tipo de desgaste las partículas se mueven libremente por la superficie y las tensiones que actúan en esta son bajas.

Desgaste abrasivo de alta presión: “se presenta cuando las partículas abrasivas son atrapadas entre dos superficies, las cuales se encuentran actuando con carga y el desgaste ocurre por penetración, por fractura de las partes móviles y por deformaciones plásticas de la matriz.”

Desgaste abrasivo con impacto: Implica la remoción de material por la acción de un abrasivo cuyas partículas son de un tamaño significativo e impacta a la superficie bajo un ángulo definido. En este desgaste el abrasivo provoca grandes surcos y ralladuras que se diferencian a simple vista [40].

Medición del desgaste

El desgaste se mide en unidades de volumen (mm^3) en función de cualquier parámetro, lo que ayuda a comparar materiales con distintas densidades. Por lo general el desgaste se mide de manera directa, por medio de la reducción de masa, o medición del área de desgaste. Cuando la región desgastada es bastante irregular y asimétrica se realiza el cálculo del desgaste en forma directa o cuando se requiere un resultado con exactitud, puesto que esto proporciona resultados confiables debido a que establece su valor en forma cuantitativa [7].

Para realizar las pruebas y mediciones en el laboratorio es necesario tener cuidado en la limpieza de las probetas, puesto que esto contribuye a una buena medición. La medición de pérdida de volumen del desgaste es un procedimiento que implica varios costos debido a que se utiliza equipos costosos para la realización de ensayos [7].

Ensayos de Desgaste Abrasivo Normalizados

De acuerdo a la ASTM existen varios ensayos que determinan la resistencia de un material frente al desgaste abrasivo, entre los que se tiene:

Norma ASTM G 65: “Método Estándar para la Medición de la Abrasión por medio de Arena seca y un Aparato de Rueda de Goma”. Ensayo que consiste en desgastar una probeta con arena de sílice, haciendo caer la arena entre la probeta y una rueda de goma de cloro bulito que se encuentra ejerciendo una fuerza sobre el espécimen ayudado de un brazo multiplicador de fuerza como se observa en gráfico 16.

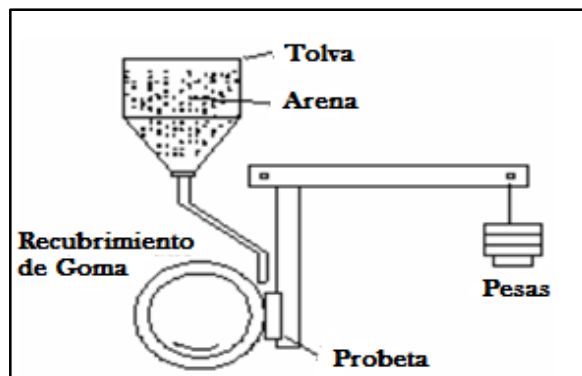


Gráfico 16. Diagrama de la máquina según la Norma ASTM G 65 [39].

Norma ASTM G 105: “Método Estándar para la Medición de la Abrasión por medio de Arena mojada y un Aparato de Rueda de Goma”. Este ensayo consiste en desgastar una probeta con arena de sílice ayudado con una rueda recubierta de goma que puede ser neopreno, este ensayo es particular debido a que la arena no cae ni es seca como en el ensayo mencionado anteriormente, sino que es húmeda mezclada con una cantidad definida de agua y ubicada en un contenedor, la misma que es arrastrada por la goma; gracias al brazo multiplicador de fuerzas es empujada sobre la probeta originando de esta manera el desgaste abrasivo como se indica en el gráfico 17 [37].

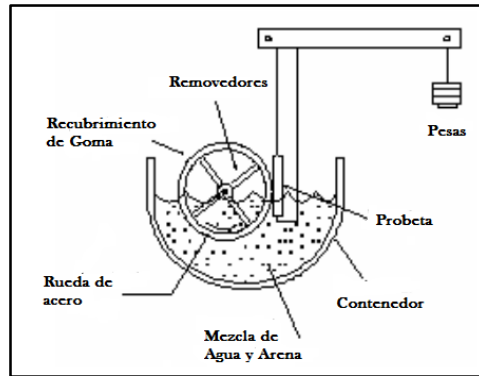


Gráfico 17. Diagrama de la máquina según la Norma ASTM G 105 [39].

2.5 HIPÓTESIS

Los recubrimientos utilizados en los tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato disminuirá el desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM 105.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:

Análisis de los tipos de aceros y recubrimientos utilizados en los tambores de mezclado de los mixers.

2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE:

Desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM 105

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

La presente investigación se basó en el enfoque cuali-cuantitativo. Cualitativo debido a que se realizó un análisis de las características del acero, además del estudio del fenómeno de la fricción y el desgaste. Cuantitativo porque se manejaron valores numéricos del acero con la ejecución de ensayos de desgaste abrasivo para determinar el desgaste que sufre el material y así determinar su variación en el espesor del mismo.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 DE CAMPO

La investigación es de campo ya que se recolectó la información directamente del lugar en donde ocurre el fenómeno, es decir en la empresa HOLCIM Ambato.

3.2.2 BIBLIOGRÁFICO

El trabajo investigativo es bibliográfico debido a que requirió de la recolección de información de fuentes como libros, revistas, artículos científicos para fundamentar el problema de estudio y obtener información que permitan ampliar el conocimiento y entender de mejor manera las variables de investigación.

3.2.3 EXPERIMENTAL

La presente investigación fue experimental por cuanto a través de la realización de ensayos se pudo evaluar el comportamiento del acero frente a la fricción y de esa manera determinar el desgaste que sufre el material.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 EXPLORATORIA

La presente investigación fue de tipo exploratoria por que se pretendió dar una visión general sobre los tipos de aceros y recubrimientos utilizados en los tambores de mezclado de lo mixers de la empresa HOLCIM Ambato y su influencia en el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105, con lo que se pudo obtener un conjunto de datos que permitieron determinar una solución confiable al problema.

3.3.2 DESCRIPTIVO

La investigación fue de tipo descriptivo porque se realizó un diagnóstico sobre las características del acero ASTM y el comportamiento ante distintos eventos de desgaste para formular la manifestación en la cual se somete según la selección de los materiales.

3.3.3 ASOCIACIÓN DE VARIABLES

Por cuanto se verificó el grado de relación que existe entre el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM 105, del acero utilizado en los tambores de mezclado de los mixers de Holcim y la variación del espesor del material.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN

Debido al estudio y en concordancia con lo que establece la norma ASTM G105 en que el número de pruebas no debe ser menos a 3 se determinó que el número de casos para los diferentes ensayos es 8, con la aplicación de diferentes configuraciones para la evaluación de la variable.

3.4.2 MUESTRA

El número de ensayos que se realizó se presenta en la tabla 8.

Tabla 8. Número de ensayos

Ítem	Material	Recubrimiento	Ensayo	# Probetas
1	AISI 1020	Ninguno	ASTM G105	5
2	AISI 1020	Metalizado		5
3	AISI 1020	Nitrurado		5
4	AISI 1020	Cementación		5
5	ASTM A514	Original (Mixer)		5
6	ASTM A514	Metalizado		5
7	ASTM A514	Nitrurado		5
8	ASTM A514	Cementación		5
TOTAL				40

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.5.1 Variable Independiente: Análisis de los tipos de aceros y recubrimientos utilizados en los tambores de mezclado de los mixers

Tabla 9. Operacionalización Variable Independiente

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ITEMS	TECNICAS E INSTRUMENTOS
En los últimos años se ha fortalecido la utilización masiva del acero, debido a la enormidad de los usos que se le puede dar y la versatilidad de sus propiedades mecánicas, las mismas que pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se le quiere otorgar al producto.	Tipos de acero	- AISI 1020 - ASTM A 514	Carbono (C)= 0.26% máximo Hierro (Fe) = 95% Carbono (C)= 0,18 % máximo Hierro (Fe) =95%	Estudio metalográfico Estudio de Composición Química Estudio de Dureza HB Rockwell
La vida útil y la seguridad de funcionamiento de las piezas y elementos constructivos se encuentran ligados al grado en que se puedan evitar los procesos de corrosión, es por ello que todos los procedimientos de protección anticorrosivos tienden a evitar la formación de elementos galvánicos o impedir el ataque de sustancias que descompongan químicamente los materiales	Tipos de recubrimiento	- Metalizado - Nitrurado - Cementado	100µm 300 µm 0,5mm 1,0 mm 0,5mm 1,5mm	Ensayo de Microscopia SEM

3.5.2 Variable dependiente: Desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM 105.

Tabla 10. Operacionalización variable dependiente

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ITEMS	TECNICAS E INSTRUMENTOS
El desgaste abrasivo aparece cuando cualquier aspereza, superficie dura o una superficie blanda con partículas duras embebidas en su superficie se desliza sobre un material blando, cuando este desgaste es producto de partículas de desgaste sueltas y contaminantes, es denominado desgaste abrasivo de tres cuerpos, el desgaste abrasivo intencional es producido por ruedas de moler, limas, papel de lijar, etc.	Pérdida de volumen del material	Pérdida de volumen	0,5% - 1% / año	Ensayo de Desgaste Abrasivo – Norma ASTM G 105
		Tasa de Desgaste	1.0 micras/año (0.04 mils/año)	

3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La recolección de información se lo realizó en base a los siguientes instrumentos:

Observación

Esta técnica se utilizó para tomar notas de toda la información que se considere necesaria para ejecución del proyecto, con lo que se pudo tener una base informativa confiable. Para ello se utilizaron hojas de registro para ir describiendo lo observado de manera ordenada con fechas de toma de datos.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Para el procesamiento de la información se siguió los siguientes pasos:

1. Revisión de la información bibliográfica recolectada.
2. Selección de la información más relevante.
3. Ejecución y análisis de ensayos para obtener la información requerida.
4. Análisis de los resultados obtenidos en base a la norma establecida.
5. Representación de los resultados a través de gráficos estadísticos.
6. Crear conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

3.8 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presenta de manera detallada, el procedimiento para analizar e interpretar los resultados de la prueba de desgaste abrasivo:

- 1 Análisis de ensayos abrasivos para determinar la variación de espesor de acero sometido a dos procedimientos de acuerdo a la norma.
- 2 Ensayo de dureza del material seleccionado en función a la configuración establecida.
- 3 Tabulación de los datos de acuerdo a la necesidad y a la relación que tengan con las variables de la hipótesis, se elaborarán tablas en las que se indique:
- 4 Representación de los resultados obtenidos.
- 5 Verificación de la hipótesis
- 6 Redactar conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente trabajo investigativo se consideró el flujograma que se presenta en el gráfico 18, para la recolección de datos y la determinación de resultados, esquema que contribuye a la mejor interpretación y análisis de los aceros y recubrimientos estudiados en las chapas metálicas de los tambores de mezclado de hormigón HOLCIM bajo un sistema acuoso que está definido por la norma ASTM G105, norma que determina la medición del nivel del desgaste abrasivo del metal.

En el gráfico 19 se muestra un Diagrama de flujo para el proceso de análisis de desgaste abrasivo según Norma ASTM G105.

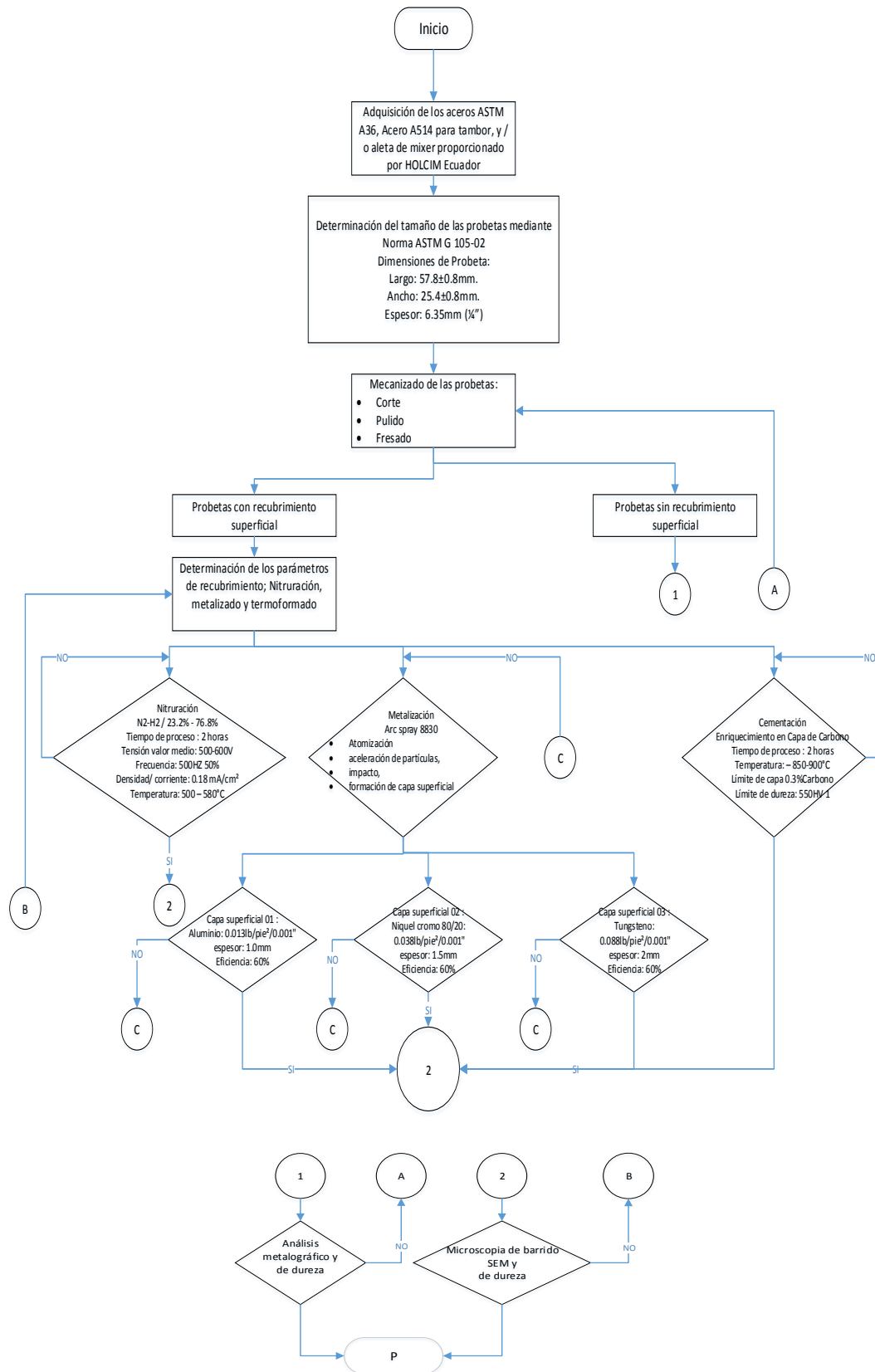


Gráfico 18. Diagrama de Flujo para el proceso de análisis de resultados y preparación de probetas
Fuente: El autor

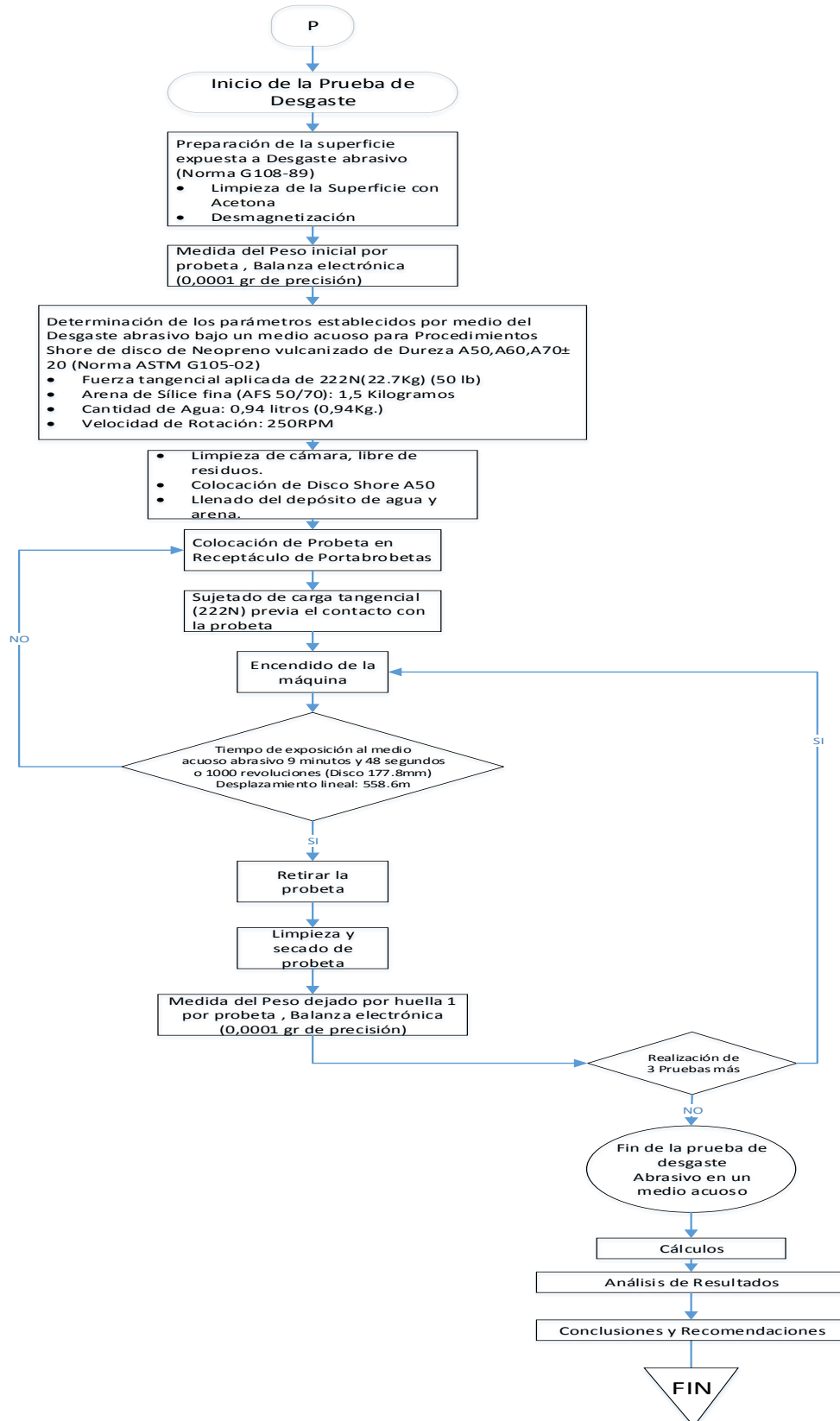


Gráfico 19. Diagrama de flujo para el proceso de análisis de desgaste abrasivo según Norma ASTM G105

Fuente: El autor

4.1.1 Preparación de probetas

En el presente proyecto de investigación se realizó dos grupos de probetas de dos tipos de acero: El acero AISI 1020 normalizado de fábrica, comúnmente obtenido en el mercado ecuatoriano, y un acero de alta resistencia mecánica al desgaste importado por Holcim para la manufactura de los tambores de los mixers, mostrado en el gráfico 21, piezas que son de Acero ASTM A 514, grado F, material poco común en nuestro medio. El espesor para ambos materiales es de $\frac{1}{4}$ de pulgada (6 mm), que se han cortado mediante fibra de corte en secciones rectangulares de largo: 57.8 ± 0.8 mm y ancho: 25.4 ± 0.8 mm, como se observa en el gráfico 20.

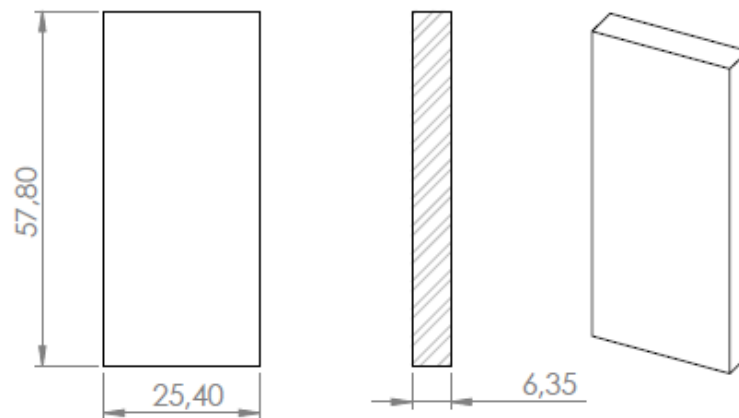


Gráfico 20. Dimensiones de Probetas para el ensayo de desgaste abrasivo en medio acuoso (Norma ASTM G 105)

Fuente: El autor

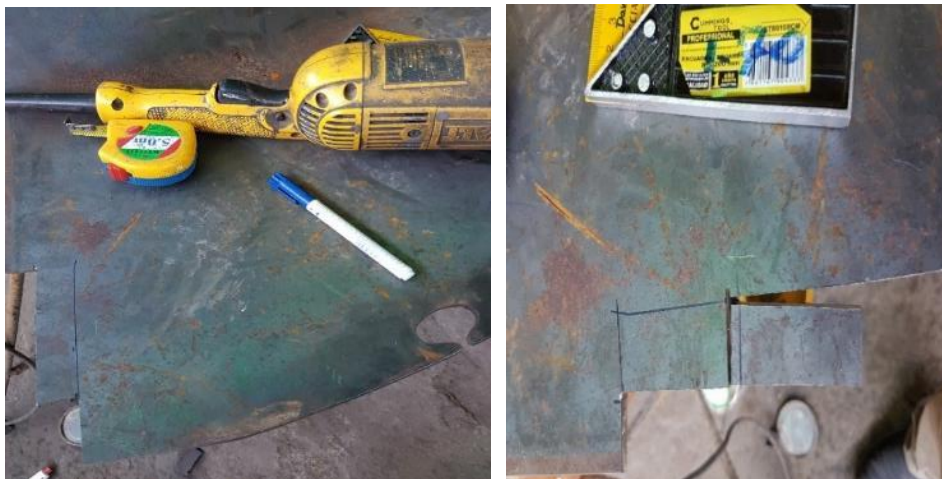


Gráfico 21. Corte de aceros para probetas de ensayo abrasivo en medio acuoso, acero ASTM A 514 grado F, Sección aleta del tambor de Mixer.

Fuente: El autor

En el gráfico 22 se observan las probetas cortadas previo al ensayo de desgaste abrasivo bajo la Norma ASTM G105.



Gráfico 22. Probetas, a) acero AISI 1020 y b) acero ASTM A514, material sin recubrimientos, ni tratamientos térmicos.

Fuente: El autor

4.1.2 Proceso de metalización de las muestras

El proceso de metalización de las muestras, se efectuaron en el taller de metalizado particular del Sr. Galo Morales, Parroquia Nono, Quito; este proceso consiste en darle un baño metálico al metal base por medio de una pistola de alta presión que permite la proyección metálica por aspersion ARC Spray para la presente investigación se tomaron como base los dos tipos de acero AISI 1020 y ASTM A 514.

La metalización de los aceros se realizó con la máquina TAFE Arc Spray 8830, que consiste en una pistola de alta presión de aire con sistema continuo de dos carretes con alambre de aporte que permite la aspersion metálica por arco eléctrico a través de sus toberas de gran salida. Su selector de amperaje y control de aire permiten la mejor distribución del revestimiento producido por el arco eléctrico sobre superficies deterioradas en piezas metálicas maltratadas y desgastadas; este equipo

es desarrollado para la optimización en los procesos de atomización las partículas y la mejor distribución de los revestimientos, una alta eficiencia en la deposición del material, conllevando a una sólida cohesión entre el metal base y el recubrimiento; por tanto permite excelentes resultados sobre los metales; dando uniformidad en la microestructura y buenas características al maquinar los aceros metalizados.

Las propiedades físicas para el revestimiento de aleación amorfa de tungsteno [41], son las siguientes (Anexo 6).

- Resistencia a la abrasión buena,
- Dureza alcanzada 65 HRC (Rockwell C)
- Presión de adhesión: 5000 psi
- Tasa de depósito: 10lb/hora/100A (10 libras/hora/ por 100 amperios)
- Eficiencia de depósito: 70%
- Cobertura de alambre: 1 oz/ft²/mill (1 onza/pie cuadrado por cada “mill”)
- Textura: Variable
- Maquinabilidad: Nula

Composición Química:

Carburo de tungsteno: 26%, Cromo 13%, Carburo de Titanio: 6%, Níquel 2%
Boro 2%, Silicio 1%.

Parámetros Recomendados de Aspersión ARC SPRAY:

- Diámetro del alambre: 1/16” (1.6mm)
- Presión de Aire: 50-60 psi
- Voltaje: 29-32V
- Amperaje 100-200A
- Punto muerto: 4-8” (10-20cm)

En el gráfico 23 se aprecia la máquina de metalizado TAFSA ARC Spray 8830, de proyección térmica por Arco eléctrico que se utiliza para los ensayos.



Gráfico 23. Máquina de metalizado TAFSA Arc Spray 8830, de proyección térmica por arco eléctrico.

Fuente: El autor

Procedimiento:

1. Se pulen las muestras con disco de desbaste para eliminar las impurezas de las probetas, elementos extraños e incrustaciones metálicas existentes en las piezas, procurando una superficie áspera que ancle proyección de las partículas como se muestra en el gráfico 24.
2. Se toman las probetas con las manos limpias libres de grasa, aceite o elementos corrosivos, evitando así la no adherencia del revestimiento.
3. Se sujetan las piezas a ser metalizadas como se observa en el gráfico 25, puesto que, al ser sometidas a la proyección térmica por spray, este proceso aplica un chorro de alto impacto con gran presión de aire, mismo que produce una reacción en el metal a ser aplicado.

4. El operario que realiza la proyección de las partículas necesita equipo de protección personal para efectuar el procedimiento., una máscara con vidrios negros, mascarilla de protección contra gases, guantes ropa adecuada y botas de trabajo.
5. Se define el tipo de revestimiento a ser aplicado, colocando en los carretes el alambre del material seleccionado, sea aluminio, níquel-cromo o tungsteno, se regula la cantidad de alambre a proyectarse, el amperaje, la presión de aire, la velocidad de los carretes, que optimicen la calidad del recubrimiento.
6. Se realizan pruebas previas para determinar la proyección adecuada del metalizado, observando las gotas que produce la aspersion metálica; estos ensayos previos se efectúan sobre un pedazo de metal base independiente.
7. Se selecciona el revestimiento base de aluminio, puesto que este material permite la mejor adhesión de otros tipos de metalizados tales como el níquel-cromo y el Tungsteno, como se observa en el gráfico 28 y 29.
8. Se proyecta el recubrimiento de base de aluminio sobre el acero, (AISI 1020 y ASTM A514), como se observa en el gráfico 26, realizando de una a tres repeticiones para lograr un espesor mínimo de 0.5 a 1 mm, tratamiento superficial que permite la adhesión de interfases metálicas o aleaciones. En el gráfico 27 se observa el tratamiento base de aluminio.
9. Se seleccionan otro carrete de la aleación a ser proyectada sobre el acero para realizar nuevamente de dos a tres repeticiones hasta alcanzar un espesor aproximado de 1 mm con el recubrimiento de níquel-cromo y 1.5 mm con el recubrimiento de tungsteno.
10. Se deja enfriar las muestras, debido a la proyección térmica de alta temperatura de las partículas.
11. En caso de que se requiera se debe maquinar la pieza en cuestión, para nuestro estudio, no se requiere mecanización.
12. Se sugiere además un precalentamiento del acero base para una mejor aplicación del revestimiento.
13. Se procede a limpiar las boquillas del equipo, las escorias y polvos existentes en la pistola de proyección.



Gráfico 24. Preparación de las probetas mediante pulido y desbaste de las superficies previo a la aplicación del revestimiento metálico.

Fuente: El autor



Gráfico 25. Colocación y sujeción de las probetas para la aplicación de la capa base de aluminio por metalización.

Fuente: El autor



Gráfico 26. Proyección térmica de metal por aspersión de partículas, revestimiento base Aluminio.
Fuente: El autor



Gráfico 27. Probetas metalizadas con revestimiento base de aluminio.
Fuente: El autor



Gráfico 28. Probetas metalizadas con revestimiento níquel-cromo,
Fuente: El autor



Gráfico 29. Proyección térmica de metal por aspersión de partículas, revestimiento aleación de tungsteno amorfo.
Fuente: El autor

4.1.3 Proceso de Nitruración

El proceso se lo realizó en las instalaciones de la empresa Aceros Böhler del Ecuador, Quito; mediante baño de sales, proceso que consiste en absorción de Nitrógeno mediante tratamiento termoquímico a una temperatura de hasta los 580°C [23], el mismo que se realiza con la disolución del nitrógeno en el hierro, creando una red cristalina de nitruros reemplazando en parte a los carburos existentes dentro del acero. Este proceso cambia la composición química del metal y produce carbonitruros en el mismo.

Este procedimiento se realizó bajo la técnica TENIFER, desarrollada para la empresa alemana Duferrit GmbH [42]; que consiste en un baño de sales, de aproximadamente dos horas de duración en una base de cianuro cianato, a temperatura cercana a los 580°C, para luego ser enfriadas en agua, aceite, aire, vacío o en un ambiente inerte. Este proceso se recomienda para el mejoramiento de la vida útil del acero y para mejorar las propiedades mecánicas de trabajo del metal bajo condiciones altamente corrosivas y de alto desgaste.

En el gráfico 30 se observan las probetas con tratamiento de nitruración efectuado sobre el Acero ASTM A514.

Características obtenidas [23]:

- Alto Incremento en la resistencia al desgaste, mejorando la temperatura de trabajo de hasta 600°C.
- Mejora en la resistencia al ataque corrosivo y ambiente atmosférico.
- Reducción de óxidos producidos por fricción en piezas fijas, disminución en la deformación del metal.



Gráfico 30. Probetas nitruradas, acero ASTM A 514, Aceros Böhler del Ecuador.

Fuente: El autor

4.1.4 Proceso de cementación

Este proceso se efectuó en la empresa Aceros Böhler del Ecuador, Quito; es un proceso de enriquecimiento de Carbono que consiste en un baño de sales o mediante el flujo de una corriente de gas. Se toma como referencia inicial que los aceros más aptos para este proceso son los aceros con bajo contenido de Carbono que no excedan los 0.25% en su composición [43]. La temperatura de Cementación difiere entre 850°C y 950°C, y cuyo nivel de Carbono se auto ajusta de acuerdo con el medio en el que se realice el proceso ya sea por líquidos, (baño de sales), por solidos como polvos o por chorro de gas, descartando la temperatura y el tiempo como parámetros significativos de aplicación de la carburización.

Se realiza una reacción química entre el carbono disuelto en el acero que se encuentre libre en combinarse con la capa nueva de Carbono, esto produce una capa superficial de hasta un 0.8% que favorece a la templabilidad, en tanto que en baños de sales se consigue hasta el 1.1% en la capa superficial. La profundidad de cementación varía en proporción directa a la distancia vertical desde la superficie cementada hasta el punto del contenido de carbono, límite que se halla hasta en un 0.3%.

En el gráfico 31 se observan las probetas con tratamiento de cementación efectuado sobre el Acero ASTM A514.

Propiedades [43]:

- Incremento en la tenacidad del núcleo del metal
- Mayor Dureza en la capa superficial
- Alta resistencia al desgaste.



Gráfico 31 Probetas cementadas, acero ASTM A 514, Aceros Böhler del Ecuador.
Fuente: Autor

4.2 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente proyecto de investigación se ha desarrollado un esquema de 40 muestras, que contienen los Aceros ASTM AISI 1020 y Acero de alta resistencia al desgaste ASTM A514 grado F correspondiente al tambor de Mixer Holcim, como se detallan en las tablas 11, 12, 13 y 14, para lo que se ha desarrollado la siguiente distribución de muestras con sus códigos, objeto de análisis y cuyos resultados a ser evaluados correspondan conforme a la Norma ASTM G105-89, para la determinación de la tasa de desgaste producida en las paredes del tambor mezclador

y su contraste frente al acero AISI 1020, bajo las mismas condiciones, las cuales se resumen en la tabla 15, en un número de 40 probetas.

Tabla 11. Identificación de los ensayos en acero AISI 1020 con disco Shore A50±20.

Acero	Probetas
AISI 1020 sin recubrimiento	1.AI20.N01
	1.AI20.N02
	1.AI20.N03
	1.AI20.N04
	1.AI20.N05
AISI 1020 Metalizado en Base Aluminio	2.AI20.M01.AL
AISI 1020 Metalizado en Niquel Cromo	2.AI20.M02.Ni.Cr
	2.AI20.M03.Ni.Cr
AISI 1020 Metalizado en Tungsteno	2.AI20.M04. W
	2.AI20.M05.W
AISI 1020 tratamiento Nitruración	3.AI20.NH01
	3.AI20.NH02
	3.AI20.NH03
	3.AI20.NH04
	3.AI20.NH05
AISI 1020 tratamiento Cementación	4.AI20.C01
	4.AI20.C02
	4.AI20.C03
	4.AI20.C04
	4.AI20.C05

Fuente: El autor

Tabla 12. Identificación de los ensayos del acero AISI 1020 con disco Shore A70±20.

Acero	Probetas
AISI 1020 sin recubrimiento	1.AI20.N01
	1.AI20.N02
	1.AI20.N03
	1.AI20.N04
	1.AI20.N05
AISI 1020 Metalizado en Base Aluminio	2.AI20.M01.AL
AISI 1020 Metalizado en Niquel Cromo	2.AI20.M02.Ni.Cr
	2.AI20.M03.Ni.Cr
AISI 1020 Metalizado en Tungsteno	2.AI20.M04. W
	2.AI20.M05.W
AISI 1020 tratamiento Nitruración	3.AI20.NH01
	3.AI20.NH02
	3.AI20.NH03
	3.AI20.NH04
	3.AI20.NH05
AISI 1020 tratamiento Cementación	4.AI20.C01
	4.AI20.C02
	4.AI20.C03
	4.AI20.C04
	4.AI20.C05

Fuente: El autor

Tabla 13. Identificación de los ensayos en acero ASTM A514 Grado F con disco Shore A50±20.

Acero	Probetas
ASTM A514 sin recubrimiento	5.AT.N01
	5.AT.N02
	5.AT.N03
	5.AT.N04
	5.AT.N05
ASTM A514 Metalizado en Base Aluminio	6.AT.M01.AL
ASTM A514 Metalizado en Niquel Cromo	6.AT.M02.Ni.Cr
	6.AT.M03.Ni.Cr
ASTM A514 Metalizado en Tungsteno	6.AT.M04.W
	6.AT.M05.W
ASTM A514 tratamiento Nitruración	7.AT.NH01
	7.AT.NH02
	7.AT.NH03
	7.AT.NH04
	7.AT.NH05
ASTM A514 tratamiento Cementación	8.AT.C01
	8.AT.C02
	8.AT.C03
	8.AT.C04
	8.AT.C05

Fuente: El autor

Tabla 14. Identificación de ensayos en acero ASTM A514 Grado F con disco Shore A70±20.

Acero	Probetas
ASTM A514 sin recubrimiento	5.AT.N01
	5.AT.N02
	5.AT.N03
	5.AT.N04
	5.AT.N05
ASTM A514 Metalizado en Base Aluminio	6.AT.M01.AL
ASTM A514 Metalizado en Niquel Cromo	6.AT.M02.Ni.Cr
	6.AT.M03.Ni.Cr
ASTM A514 Metalizado en Tungsteno	6.AT.M04.W
	6.AT.M05.W
ASTM A514 tratamiento Nitruración	7.AT.NH01
	7.AT.NH02
	7.AT.NH03
	7.AT.NH04
	7.AT.NH05
ASTM A514 tratamiento Cementación	8.AT.C01
	8.AT.C02
	8.AT.C03
	8.AT.C04
	8.AT.C05

Fuente: El autor




Tabla 15. Resumen del número de probetas para la investigación.

Material	Dureza	Probetas	N°-
	Shore		
AISI 1020 sin recubrimiento	A50	1.AI20.N01; 1.AI20.N02; 1.AI20.N03; 1.AI20.N04; 1.AI20.N05	5
	A70		
AISI 1020 Metalizado en Base Aluminio	A50	2.AI20.M01.AL	1
	A70		
AISI 1020 Metalizado en Niquel Cromo	A50	2.AI20.M03.Ni.Cr	2
	A70		
AISI 1020 Metalizado en Tungsteno	A50	2.AI20.M04.W 2.AI20.M05.W	2
	A70		
AISI 1020 tratamiento Nitruración	A50	3.AI20.NH01; 3.AI20.NH02; 3.AI20.NH03; 3.AI20.NH04; 3.AI20.NH05	5
	A70		
AISI 1020 tratamiento Cementación	A50	4.AI20.C01; 4.AI20.C02; 4.AI20.C03; 4.AI20.C04; 4.AI20.C05	5
	A70		
ASTM A514 sin recubrimiento	A50	5.AT.N01; 5.AT.N02; 5.AT.N03; 5.AT.N04; 5.AT.N05	5
	A70		
ASTM A514 Metalizado en Base Aluminio	A50	6.AT.M01.AL	1
	A70		
ASTM A514 Metalizado en Niquel Cromo	A50	6.AT.M03.Ni.Cr	2
	A70		
ASTM A514 Metalizado en Tungsteno	A50	6.AT.M04.W 6.AT.M05.W	2
	A70		
ASTM A514 tratamiento Nitruración	A50	7.AT.NH01; 7.AT.NH02; 7.AT.NH03; 7.AT.NH04; 7.AT.NH05	5
	A70		
ASTM A514 tratamiento Cementación	A50	8.AT.C01; 8.AT.C02 ; 8.AT.C03; 8.AT.C04; 8.AT.C05	5
	A70		
		Total de muestras	40



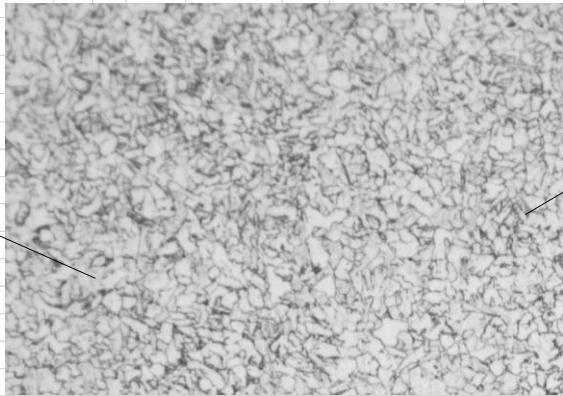
Fuente: El autor

4.2.1 Análisis del Acero AISI 1020



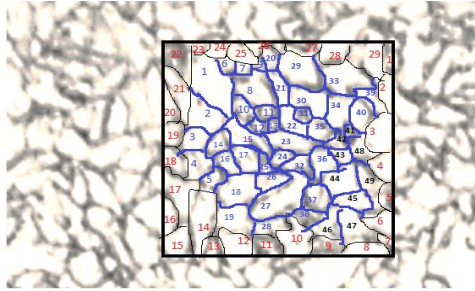
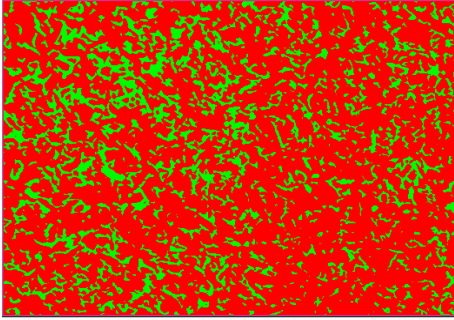
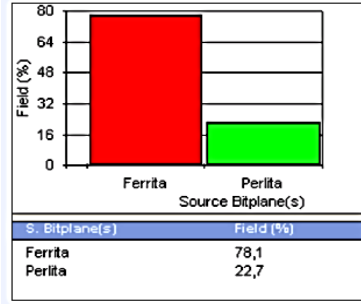
a. Composición química del acero AISI 1020 Normalizado

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE																											
DATOS INFORMATIVOS:																													
Probetas	1 de 20 muestras	Autorizado por	Ing. D. Núñez , Msc	Realizado por	Ing. Villacrés David.																								
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – "Centro de Fomento Carrocero HGP.Tungurahua"			Fecha	20/07/2017																								
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por			Ing. D. Núñez , Msc																								
Normas aplicadas	G105-89																												
ESPECIFICACIONES DEL ACERO AISI 1020																													
Especificación del material	Acero	Tipo o grado	AISI 1020	Densidad	7.87 gr/ cm ³																								
Ancho	25.4±0.8mm	Resistencia a la tracción	440MPa	Elongación	35,8% 50mm																								
Largo	57.2±0.8mm	Dureza	73HRB	Reducción de área	67,9%																								
Características	Rectángulo	Modulo de elasticidad	186GPa	Máquinabilidad	65%																								
Tratamiento térmico	Normalizado, Fábrica	Temp ambiente	17 °C	Medio de enfriamiento	-----																								
																													
COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF DE ACERO AISI 1020																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ítem</th> <th>Elemento</th> <th>% Contenido</th> <th>"± Error"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Fe</td> <td>99,05</td> <td>0,03</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Mn</td> <td>0,63</td> <td>0,03</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>P</td> <td>0,139</td> <td>0,004</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Si</td> <td>0,121</td> <td>0,008</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>S</td> <td>0,056</td> <td>0,005</td> </tr> </tbody> </table>						ítem	Elemento	% Contenido	"± Error"	1	Fe	99,05	0,03	2	Mn	0,63	0,03	3	P	0,139	0,004	4	Si	0,121	0,008	5	S	0,056	0,005
ítem	Elemento	% Contenido	"± Error"																										
1	Fe	99,05	0,03																										
2	Mn	0,63	0,03																										
3	P	0,139	0,004																										
4	Si	0,121	0,008																										
5	S	0,056	0,005																										
Nota: No se incluye el porcentaje de Carbono, por cuanto en la Espectrometría por fluorescencia de RX es despreciable																													
Elaborado por :	Ing. Villacrés David.			Verificado por :	Ing. D. Núñez , Msc																								
Revisado por :	Ing. D. Núñez , Msc			Validado por :	Ing. D. Núñez , Msc																								
Observaciones : Las propiedades químicas son obtenidas por Espectrometría de Fluorecencia de Rayos X , proporcionado por el "Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua", (Anexo 01), mediante Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C																													
Informe de Resultados No: 180372348320170713-ERX01																													




b. Análisis metalográfico del acero AISI 1020 Normalizado:

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE			
ENSAYO METALOGRAFICO					
Datos Informativos:					
Tipo de estudio	De laboratorio			Ensayo No:	01
Material:	Acero AISI 1020				
Solicitado por:	UTA-FICM - CEPOS			Fecha:	20/07/2017
Centro de Estudio y Análisis				Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Ing. David Villacrés			Supervisado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DEL ENSAYO					
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato/ Campus Huachi Chico				
Temperatura Ambiente:	17°C			Radiación:	
Velocidad del aire circundante:	0,1 m/s			Otros:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO					
Acondicionamiento de la Superficie:	Púldo mecánico				
Temperatura durante el púldo:	20°C			Superficie preparada en:	60 minutos
Ataque químico de la superficie:	Nital 04			Durante:	3s
RESULTADO:					
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA					
					
Acero AISI 1020 COMERCIAL (Nital 3s, 200X50um)					

c. Análisis microestructural del acero AISI 1020 Normalizado:



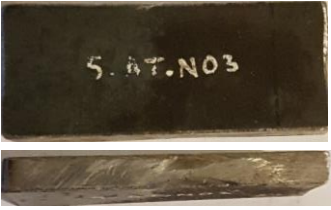
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE									
ANÁLISIS DE MICROESTRUCTURA									
Datos Informativos:									
Tipo de estudio	De laboratorio	Ensayo No:	01						
Material:	Acero AISI 1020								
Solicitado por:	UTA-FICM - CEPOS	Fecha:	20/07/2017						
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de materiales - FICM								
Realizado por:	Ing. David Villacrés	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez, Msc						
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:		ACERO AISI SAE 1020							
Determinación del tamaño del grano:		Microestructura:							
Método: (ASTM E112) - Método de planimetría		Magnificación: 200x							
Cálculo:									
Cantidad de granos en la muestra	$N = 2^{n_A - 1}$								
Factor de Correlación: Q	$n = n_A + Q$								
n: Tamaño de grano									
nA: Tamaño de grano aparente	$Q = 2 \log_2 \left(\frac{\mu}{100} \right)$								
Zoom Óptico: $\mu = 200x$									
Granos en la frontera: lm	$Q = 2 \log_2 \left(\frac{\mu}{100} \right)$								
Granos en el interior: li	$Q = 2$								
$N = \frac{lm}{2} + li$	$68,5 = 2^{n_A - 1}$								
$N = \frac{29}{2} + 49 = 68,5$	$\ln(68,5) = \ln(2^{n_A - 1})$								
$n = 7,09 + Q$	$n_A = \frac{\ln 68,5}{\ln 2} + 1$								
$n = 7,09 + 2 = 9,09$	$n_A = 7,09$								
Tamaño de grano:	9								
Fases presentes:	Ferrita, Perlita								
Componentes microestructurales:		Porcentajes de fases:							
		 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ferrita</td> <td>78,1</td> </tr> <tr> <td>Perlita</td> <td>22,7</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Ferrita	78,1	Perlita	22,7
S. Bitplane(s)	Field (%)								
Ferrita	78,1								
Perlita	22,7								
Cálculo de la Resistencia a la Tracción y % de Carbono:									
$R.T.A = \frac{28 \times \%Ferrita + 84 \times \%Perlita}{100}$		$\%C = \frac{\%Perlita}{130}$							
$R.T.A = \frac{28 \times 78,1 + 84 \times 22,7}{100}$		$\%C = \frac{22,7}{130}$							
$R.T.A = 39,172 \frac{Kg_f}{mm^2} = 384,1460938 \text{ MPa}$		$\%C = 0,175\%$							
Interpretación de resultados:									
<p>El acero aleado presenta una microestructura con 78,1% de Ferrita y 22,7% de Perlita, un tamaño de grano ASTM 9, y representa un acero AISI 1020 con tratamiento normalizado. Contiene 0,175% de Carbono y una Resistencia a la tracción de 384,15 Mpa, valores aproximados para el ACERO AISI 1020 Normalizado a 870°C proporcionado por la página técnica WEB: MATWEB Material Property Data: (Anexo 2)</p> <p>http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=2740581369f3421dac0d8c91294b5935</p>									

d. Análisis de dureza del Acero AISI 1020 normalizado



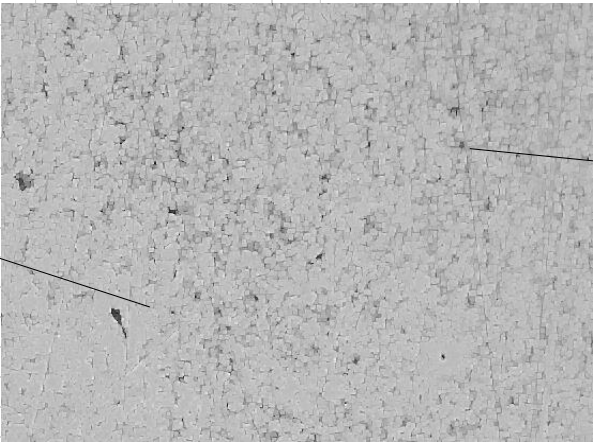
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE 																					
DATOS INFORMATIVOS:																					
Probetas	1 de 20	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc																		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – "CFPMC - HGP.Tungurahua"		Realizado por																		
Tipo de estudio	De laboratorio	Fecha	Ing. David Villacrés																		
Normas aplicadas	NTE INEN ISO 6508-1																				
PARAMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA DEL ACERO AISI 1020																					
Método utilizado	Dureza Rockwell B	Norma aplicada	NTE INEN ISO 6508-1																		
Carga aplicada	98N	Tiempo de duración de la fuerza	25 segundos																		
Tipo de indentador	De bola																				
RESULTADO																					
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº.</th> <th>Dureza Rockwell B HRB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>70</td></tr> <tr><td>2</td><td>72,2</td></tr> <tr><td>3</td><td>73,1</td></tr> <tr><td>4</td><td>75</td></tr> <tr><td>5</td><td>75,7</td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>73,20</td></tr> <tr><td>Desviación estándar</td><td>1,22</td></tr> <tr><td>Coefficiente de variación CV</td><td>1,24</td></tr> </tbody> </table>	Nº.	Dureza Rockwell B HRB	1	70	2	72,2	3	73,1	4	75	5	75,7	Promedio	73,20	Desviación estándar	1,22	Coefficiente de variación CV	1,24	
Nº.	Dureza Rockwell B HRB																				
1	70																				
2	72,2																				
3	73,1																				
4	75																				
5	75,7																				
Promedio	73,20																				
Desviación estándar	1,22																				
Coefficiente de variación CV	1,24																				
INTERPRETACION DE RESULTADOS																					
<p>La dureza alcanzada que es de 73,20 HRB equivalente a una dureza de 131 grados Brinell, rango aceptable con respecto al Catálogo proporcionado para el Acero AISI 1020 , normalizado a 870°C , proporcionado por la página técnica WEB: MATWEB Material Property Data: (Anexo2); http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=2740581369f3421dac0d8c91294b5935</p>																					
Observaciones :																					

4.2.2 Análisis del Acero ASTM A 514 Grado F



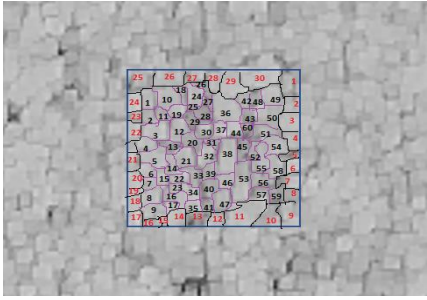
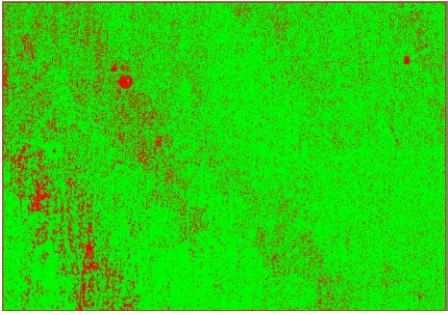
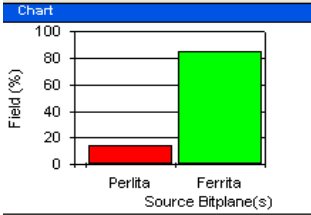
a. Composición química del acero ASTM A 514 Grado F

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE																																					
DATOS INFORMATIVOS:																																							
Probetas	1 de 20 muestras	Autorizado por	Ing. D. Núñez , Msc		Realizado por	Ing. Villacrés David.																																	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – "Centro de Fomento CarroceroHGP Tungurahua"			Fecha	20/07/2017																																		
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por			Ing. D. Núñez , Msc																																		
Normas aplicadas	G105-89																																						
CARACTERÍSTICAS DEL ACERO ASTM A514 GRADO F																																							
Especificación del material	Acero	Tipo o grado	ASTM A514	Densidad	7.80 gr/ cm ³																																		
Ancho	25.4±0.8mm	Resistencia a la tracción	760-895MPa	Elongación	18,0% 50mm																																		
Largo	57.2±0.8mm	Dureza	98 HRB	Reducción de área	-----																																		
Características	Rectángulo	Modulo de elasticidad	205 GPa	Máquinabilidad	50%																																		
Tratamiento térmico	Ninguno	Temp ambiente	17 °C	Medio de enfriamiento	-----																																		
																																							
COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF DE ACERO ASTM A514																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ítem</th> <th>Elemento</th> <th>% Contenido</th> <th>"±/- Error"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Fe</td><td>99,05</td><td>0,04</td></tr> <tr><td>2</td><td>Mn</td><td>1,03</td><td>0,03</td></tr> <tr><td>3</td><td>Cu</td><td>0,24</td><td>0,02</td></tr> <tr><td>4</td><td>Ni</td><td>0,15</td><td>0,02</td></tr> <tr><td>5</td><td>P</td><td>0,144</td><td>0,004</td></tr> <tr><td>6</td><td>Si</td><td>0,119</td><td>0,008</td></tr> <tr><td>7</td><td>Cr</td><td>0,11</td><td>0,01</td></tr> </tbody> </table>								ítem	Elemento	% Contenido	"±/- Error"	1	Fe	99,05	0,04	2	Mn	1,03	0,03	3	Cu	0,24	0,02	4	Ni	0,15	0,02	5	P	0,144	0,004	6	Si	0,119	0,008	7	Cr	0,11	0,01
ítem	Elemento	% Contenido	"±/- Error"																																				
1	Fe	99,05	0,04																																				
2	Mn	1,03	0,03																																				
3	Cu	0,24	0,02																																				
4	Ni	0,15	0,02																																				
5	P	0,144	0,004																																				
6	Si	0,119	0,008																																				
7	Cr	0,11	0,01																																				
Nota: No se incluye el porcentaje de Carbono, por cuanto en la Espectrometría por fluorescencia de RX es despreciable																																							
Elaborado por :	Ing. Villacrés David.			Verificado por :	Ing. D. Núñez , Msc																																		
Revisado por :	Ing. D. Núñez , Msc			Validado por :	Ing. D. Núñez , Msc																																		
Observaciones : Las propiedades químicas son obtenidas por Espectrometría de Fluorecencia de Rayos X , proporcionado por el "Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua", (Anexo 01), mediante Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C Informe de Resultados No: 180372348320170713-ERX03																																							



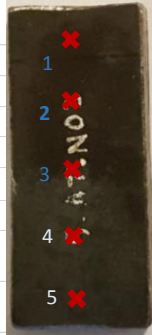
b. Análisis metalográfico del acero ASTM A 514 Grado F:

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE			
ENSAYO METALGRÁFICO					
Datos Informativos:					
Tipo de estudio	De laboratorio			Ensayo No:	02
Material:	Acero ASTM A514				
Solicitado por:	UTA-FICM - CEPOS		Fecha:	20/07/2017	
Centro de Estudio y Análisis				Laboratorio de materiales - FICM	
Realizado por:	Ing. David Villacrés		Supervisado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DEL ENSAYO					
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato/ Campus Huachi Chico				
Temperatura Ambiente:	17°C		Radiación:		
Velocidad del aire circundante:	0,1 m/s		Otros:		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Acondicionamiento de la Superficie:	Púldo mecánico				
Temperatura durante el púldo:	20°C		Superficie preparada en:	60 minutos	
Ataque químico de la superficie:	Nital 04		Durante:	3s	
RESULTADO:					
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA					
					
Acero ASTM A514 GRADO F (Nital 3s, 200X50um)					

c. Análisis microestructural del acero ASTM A 514 grado F:

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE									
ENSAYO METALGRÁFICO									
Datos Informativos:									
Tipo de estudio	De laboratorio	Ensayo No:	02						
Material:	Acero ASTM A514								
Solicitado por:	UTA-FICM - CEPOS	Fecha:	20/07/2017						
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de materiales - FICM								
Realizado por:	Ing. David Villacrés	Supervisado por:	Ing. Diego Núñez, Msc						
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:		ACERO ASTM A 514							
Determinación del tamaño del grano:	Microestructura:								
Método: (ASTM E112) - Método de planimetría	Magnificación: 200x								
Cálculo:									
Cantidad de granos en la muestra $N = 2^{n_A - 1}$ Factor de Correlación: Q n: Tamaño de grano $n = n_A + Q$ nA: Tamaño de grano aparente $Q = 2 \log_2 \left(\frac{\mu}{100} \right)$ Zoom Óptico: $\mu = 200x$ $Q = 2 \log_2 \left(\frac{200}{100} \right)$ Granos en la frontera: lm $Q = 2$ Granos en el interior: li	$N = \frac{lm}{2} + li$ $N = \frac{30}{2} + 60 = 75$ $n = 7,23 + Q$ $n = 7,23 + 2 = 9,23$								
Tamaño de grano:	9								
Fases presentes:	Ferrita, Perlita								
Componentes microestructurales:	Porcentajes de fases:								
	 <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlita</td> <td>14,7</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>84,7</td> </tr> </tbody> </table>			S. Bitplane(s)	Field (%)	Perlita	14,7	Ferrita	84,7
S. Bitplane(s)	Field (%)								
Perlita	14,7								
Ferrita	84,7								
Cálculo de la Resistencia a la Tracción y % de Carbono:									
$R.T.A = \frac{28x\%Ferrita + 84x\%Perlita}{100}$		$\%C = \frac{\%Perlita}{130}$							
$R.T.A = \frac{28x84,7 + 84x14,7}{100}$		$\%C = \frac{14,7}{130}$							
$R.T.A = 36,06 \frac{Kgf}{mm^2} = 353.6670256 \text{ MPa}$		$\%C = 0,113\%$							
Interpretación de resultados:									
El acero aleado presenta una microestructura con 84,7% de Ferrita y 14,7% de Perlita, un tamaño de grano ASTM 9, y representa un acero ASTM A514 grado F. Contiene 0,113% de Carbono y una Resistencia a la tracción de 353,67 Mpa, datos proporcionados por la página técnica WEB: MATWEB Material Property Data: (Anexo 2) http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=dfe0cb9778a44bd0a91b7a326bba9fa7									

d. Análisis de dureza del acero ASTM A514 Grado F

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE				
DATOS INFORMATIVOS:					
Probetas	1 de 20	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales - "CFPMC - HGP. Tunurahua"			Fecha	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	NTE INEN ISO 6508-1				
PARAMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA DEL ACERO ASTM A 514					
Método utilizado	Dureza Rockwell B		Norma aplicada	NTE INEN ISO 6508-1	
Carga aplicada				Tiempo de duración de la fuerza	6 segundos
Tipo de indentador					
RESULTADO					
			Nº-	Dureza Rockwell B HRB	
			1	99,1	
			2	98,6	
			3	97,9	
			4	95,9	
			5	98	
			Promedio	97,90	
			Desviación estándar	1,22	
			Coefficiente de variación CV	1,24	
INTERPRETACION DE RESULTADOS					
La dureza alcanzada que es de 97,9 HRB equivalente a una dureza de 293 grados Brinell, rango aceptable con respecto al Catálogo proporcionado para el Acero ASTM A 514 grado F , normalizado a 870°C , proporcionado por la página técnica WEB: MATWEB Material Property Data: (Anexo2); http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=2740581369f3421dac0d8c91294b5935 http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=dfe0cb9778a44bd0a91b7a326bba9fa7					
Observaciones :					

4.2.3 Análisis microscopia SEM de muestras de aceros, revestimientos y tratamientos térmicos

La prueba se realizó en el Laboratorio de la facultad de ingeniería Civil y Mecánica, con la colaboración de la Dra. Diana Coello, PhD, en Physics and Quantum technology, la observación a través de microscopia de barrido SEM que consiste en un instrumento electrónico de largo alcance que basa su funcionamiento en el barrido de un haz de electrones sobre una superficie específica a través de un filamento de Tungsteno que genera la proyección de iones sobre las muestras y permite observar mediante aumentos digitales imágenes detalladas de los objetos microscópicos de estudio.

Elementos del Microscopio electrónico de barrido

El microscopio de barrido consiste esencialmente de las siguientes partes:

- Unidad óptica electrónica encargada de la generación del haz de electrones hacia las probetas.
- Portamuestras, con distintos grados de libertad de movimiento.
- Unidad de identificación de señales que produce la muestra, con un sistema de amplificación.
- Un tubo de rayos catódicos, que permite la visualización de imágenes
- Una unidad de generación de vacío, con sistema refrigerado y sistema eléctrico.
- Una unidad fotográfica de registro, de carácter magnético o de sistema cerrado de video.
- Un software informático que procese las imágenes mediante la ayuda asistida por computadora.

Procedimiento:

1. Se preparan las muestras de tamaño menor a 8 mm de base o diámetro según sea la sección de la muestra de los aceros a observar, en el presente estudio

los aceros AISI 1020 y el acero ASTM A 514 con recubrimientos y tratamientos térmicos aplicado (metalizado, nitrurado, cementado).

2. Se eliminan las rebabas, impurezas, o escorias de las superficies mediante lijas finas y un paño de abrasión, la superficie debe ser adecuada para la observación.
3. Se limpian las superficies expuestas al microscopio con acetona para eliminar las impurezas de tipo orgánico, para ello es necesario la utilización de guantes quirúrgicos.
4. Se enciende el microscopio electrónico que se muestra en el gráfico 32, el cual requiere previamente la apertura de la válvula de gas nitrógeno, que permite generar el vacío.
5. Se abre la cámara, y se extrae la torreta con las portamuestras para la colocación de las mismas.
6. Se colocan las pegatinas a base de grafito con las que se fijaran las muestras a los portamuestras.
7. Una vez colocadas las probetas en los portamuestras, estas se colocan en la torreta del microscopio para obtener los grados de movimiento que se requieren en la observación experimental.
8. Se cierra la cámara con las muestras.
9. Se procede a la generación de vacío en la cámara, dentro del software se registra el número de horas de uso del filamento de tungsteno, se llena la hoja del registro de uso del microscopio.
10. Una vez que se haya generado el vacío se calibra la muestra analizar, la distancia, el acercamiento o zoom y la generación del haz de electrones.
11. Se aplica el aumento del zoom del microscopio, regulando la imagen mediante software, se toman distintos ángulos de visión, giro o movimiento necesario para realizar el acercamiento de la imagen.
12. Se filtran las imágenes más relevantes y se guardan las imágenes en el almacenamiento del computador.



Gráfico 32. Microscopio de Barrido (SEM) – TESCAN de la FICM-UTA
Fuente: El autor

4.2.3.1 Análisis y observación de revestimientos metalizados y tratamientos térmicos.

En los gráficos 33 al 37 se detalla la estructura metálica formada por los revestimientos metalizados cuyas aleaciones se hallan presentes en las imágenes de microscopia SEM registrada en las probetas de acero ASTM A 514, cuya sección transversal ha sido preparada con el objeto de obtener los espesores de recubrimiento, además por otra parte se tomaron capturas de las superficies tratadas térmicamente tanto por el proceso de Nitruración, así también de Cementación.

a. Recubrimiento metalizado de Aluminio.

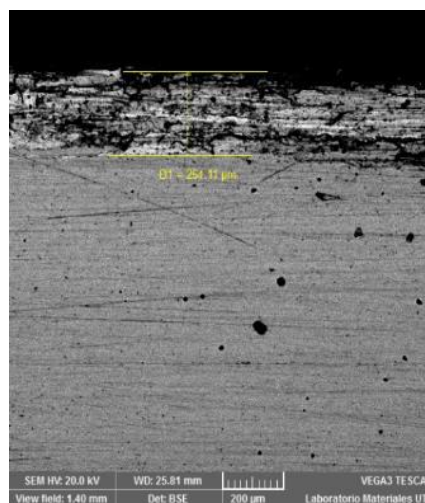


Gráfico 33. Microscopia SEM de la sección transversal de probeta de Acero ASTM A 514 con recubrimiento base de aluminio, tamaño de revestimiento: 254.11 micrómetros.
Fuente: El autor

b. Recubrimiento metalizado de níquel-cromo

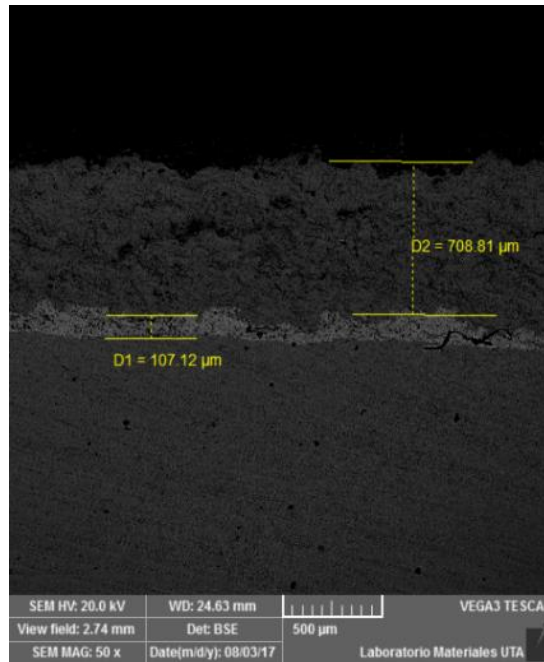


Gráfico 34. Microscopia SEM de la sección transversal de probeta de acero ASTM A 514 con recubrimiento níquel-cromo, tamaño de revestimiento base aluminio: 107.12 micrómetros. Tamaño de revestimiento níquel-cromo: 708.81 micrómetros.

Fuente: El autor

c. Recubrimiento metalizado de aleación de tungsteno amorfo

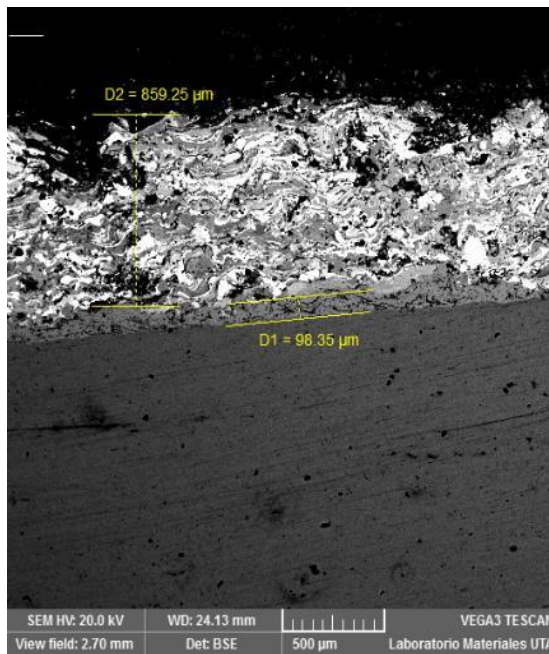


Gráfico 35. Microscopia SEM de la sección transversal de probeta de acero ASTM A 514 con recubrimiento aleación de tungsteno amorfo, tamaño de revestimiento base aluminio: 98.35 micrómetros. Tamaño de revestimiento tungsteno: 859.25 micrómetros.

Fuente: El autor

d. Tratamiento térmico de nitruración

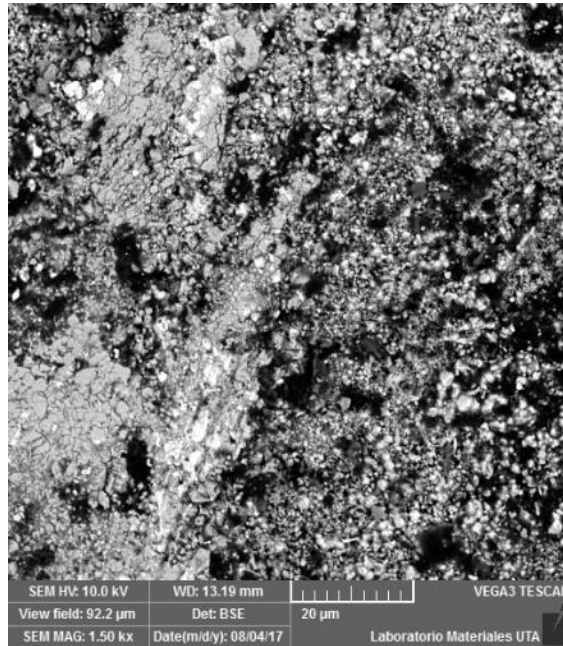


Gráfico 36. Microscopia SEM de la sección transversal de Probeta de Acero ASTM A 514 con tratamiento térmico de nitruración, presencia de nitruros en la superficie.

Fuente: El autor.

e. Tratamiento térmico de cementación

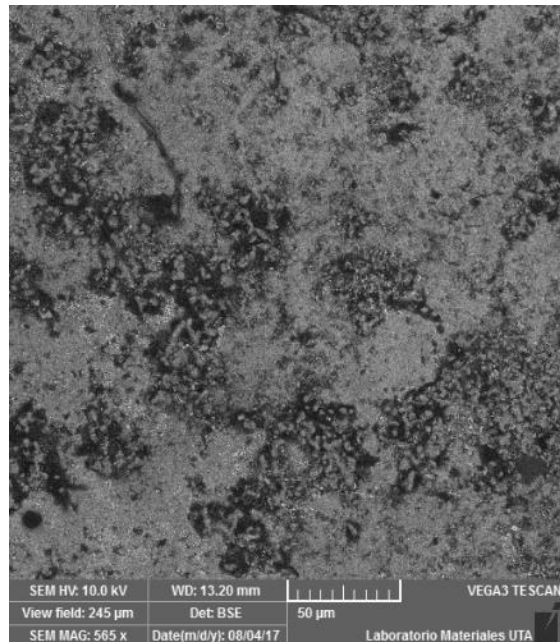


Gráfico 37. Microscopia SEM de la sección transversal de probeta de Acero ASTM A 514 con tratamiento térmico de cementación.

Fuente: El autor.

4.2.4 Dureza de los revestimientos metalizados y tratamientos térmicos sobre los aceros AISI 1020 y ASTM A514.

4.2.4.1 Ensayo de dureza Método Rockwell – NTE ISO 6508-1

El ensayo de dureza aplicado es el Método Rockwell, el cual consiste en calibrar el durómetro ERNST modelo NR.3D con un patrón estandarizado TECMICRO 82.4HRB \pm 1 como se muestra en el gráfico 31; para cuya verificación de máquina se la determinó en 82.5HRB; una vez calibrado el patrón como se observa en la figura 39, se lleva la probeta a contacto con el indentador de bola en la mesa portaprobetas del durómetro, seguidamente se calibra el indentador hasta el área del ensayo; se precarga el durómetro con un valor de 98N, se toma la medición de dureza transcurrido un período de 6 segundos, para luego liberar la precarga, posteriormente se realiza el registro de lectura del panel digital, enseguida se busca un nuevo punto de contacto y se realizan de 5 a 9 mediciones más, con los registros se calcula la media de estos, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los datos obtenidos, para nuestro estudio se determinaron grados de dureza HRB, Rockwell B.





Gráfico 38. Durómetro ERNST modelo NR.3D
Fuente: El autor; CFPMC - HGP.Tungurahua





Gráfico 39. Patrón de calibración UKAS de Durómetro ERNST NR 3D, dureza calibrada: 82.4HRB

Fuente: El autor; CFPMC - HGP.Tungurahua

a. Revestimientos y tratamientos térmicos en Acero AISI 1020

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probetas	5	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	"CFPMC - HGP.Tungurahua"			Fecha	03/08/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	NTE INEN ISO 6508-1						
PARAMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA DE LOS REVESTIMIENTOS Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL ACERO AISI 1020							
Método utilizado	Dureza Rockwell B		Norma aplicada	NTE INEN ISO 6508-1			
Carga aplicada	98N		Tiempo de duración de la fuerza	25 segundos			
Tipo de indentador	De bola						
RESULTADO							
	Nº.	Tipo de material	Tipo de revestimiento/ tratamiento térmico	Número de mediciones por probeta	Dureza Rockwell B Promedio	Desviación estándar S n-1	Coefficiente de variación CV
	1	Acero AISI 1020	Metalizado base aluminio	3	69,4	3,27	4,71
	2	Acero AISI 1020	Metalizado Níquel Cromo	3	83,7	1,82	2,18
	3	Acero AISI 1020	Metalizado Aleación de Tungsteno	3	105,96	5,22	4,93
	4	Acero AISI 1020	Nitruración	3	75,5	4,56	6,04
	5	Acero AISI 1020	Cementación	3	112,03	2,35	2,09
INTERPRETACION DE RESULTADOS							
Se evaluaron 5 puntos de dureza en cada probeta , tomando los tres puntos más cercanos de tendencia, se efectuó el promedio de los valores de Dureza Rockwell, se consideró el acabado de la superficie de medición puesto que al tener recubrimientos metalizados de grano grueso existe resbalamiento en el proceso de medición , es necesario eliminar asperezas con lija de grano medio con el objeto de garantizar las medidas con mayor precisión							
Observaciones :							
Los valores de Dureza se especifican en el Anexo 04 realizado en el CFPMC del H.Gobierno Provincial del Tungurahua.							



b. Revestimientos y tratamientos térmicos en acero ASTM A 514

 						
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE						
DATOS INFORMATIVOS:						
Probetas	5	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por	Ing. David Villacrés	
Lugar de estudio y análisis	"CFPMC - HGP.Tungurahua"			Fecha	03/08/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	NTE INEN ISO 6508-1					
PARAMETROS PARA EL ENSAYO DE DUREZA DE LOS REVESTIMIENTOS Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN EL ACERO ASTM A 514 F						
Método utilizado	Dureza Rockwell B		Norma aplicada	NTE INEN ISO 6508-1		
Carga aplicada	98N		Tiempo de duración de la fuerza	25 segundos		
Tipo de indentador	De bola					
RESULTADO						
Nº-	Tipo de material	Tipo de revestimiento/ tratamiento térmico	Número de mediciones por probeta	Dureza Rockwell B Promedio	Desviación estándar S n-1	Coficiente de variación CV
1	Acero ASTM A 514	Metalizado base aluminio	3	71,66	3,66	5,13
2	Acero ASTM A 514	Metalizado Níquel Cromo	3	95,7	4,13	4,32
3	Acero ASTM A 514	Metalizado Aleación de Tungsteno	3	105,93	0,85	0,8
4	Acero ASTM A 514	Nitruración	3	95,6	2,13	2,22
5	Acero ASTM A 514	Cementación	3	114,47	2,15	1,87
INTERPRETACION DE RESULTADOS						
Se evaluaron 5 puntos de dureza en cada probeta , tomando los tres puntos más cercanos de tendencia, se efectuó el promedio de los valores de Dureza Rockwell, se consideró el acabado de la superficie de medición puesto que al tener recubrimientos metalizados de grano grueso existe resbalamiento en el proceso de medición , es necesario eliminar asperezas con lija de grano medio con el objeto de garantizar las medidas con mayor precisión						
Observaciones :						
Los valores de Dureza se especifican en el Anexo 04 realizado en el CFPMC del H.Gobierno Provincial del Tungurahua.						



4.2.5 Peso inicial de las probetas

a. Peso inicial de probetas en acero AISI 1020 Normalizado

Se efectuaron las mediciones del peso de las muestras mediante balanza electrónica de precisión 0.0001gramos, ponderando tres medidas, mismas que para las cuales se calculó el promedio, para obtener los pesos iniciales por probeta en cada uno de los dos tipos de aceros AISI 1020 y ASTM A514.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE 						
DATOS INFORMATIVOS:						
Probetas		20	Autorizado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por	Ing. David Villacrés
Lugar de medición	Laboratorio de Materiales - FICM			Temp Amb	14 °C	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por	Ing. Diego Núñez, Msc		
Norma aplicada	G105-89		Procedimiento Shore A50			
ACERO AISI 1020, Normalizado de Fábrica						
Probetas	Código	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso inicial	
1	1.AI20.N01	56,96022727	56,9566712	56,9732563	56,9634	
2	1.AI20.N02	51,42045455	51,4125663	51,4069857	51,4133	
3	1.AI20.N03	53,83522727	53,8325861	53,7558962	53,8079	
4	1.AI20.N04	50,56818182	50,5756652	52,5866338	51,2435	
5	1.AI20.N05	52,41477273	52,4256329	52,4156966	52,4187	
ACERO AISI 1020 CON RECUBRIMIENTO METALIZADO, CON Al, Ni-Cr, y W						
6	2.AI20.M01.AL	53,40909091	53,4236628	53,412563	53,4151	
7	2.AI20.M02.Ni.Cr	67,47159091	67,4652381	67,469562	67,4688	
8	2.AI20.M03.Ni.Cr	66,76136364	66,7692332	66,762534	66,7644	
9	2.AI20.M04. W	71,59090909	71,5996852	71,5990552	71,5965	
10	2.AI20.M05. W	65,90909091	65,9091236	65,91253	65,9102	
ACERO AISI 1020 CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE NITRURACIÓN, Proceso TENIFER- 570°C-2h						
11	3.AI20.NH01	52,13068182	52,1403627	52,130789	52,1339	
12	3.AI20.NH02	51,27840909	51,2796324	51,265863	51,2746	
13	3.AI20.NH03	54,26136364	54,2736586	54,265895	54,2670	
14	3.AI20.NH04	50,42613636	56,4265852	56,426831	54,4265	
15	3.AI20.NH05	50,51136364	50,5112562	50,512362	50,5117	
ACERO AISI 1020 CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850°C - 0,3%C						
16	4.AI20.C01	53,55113636	53,551256	53,551369	53,5513	
17	4.AI20.C02	53,53693182	53,537024	53,536926	53,5370	
18	4.AI20.C03	53,97727273	53,977652	53,980012	53,9783	
19	4.AI20.C04	50,28409091	50,28419	50,284213	50,2842	
20	4.AI20.C05	56,53409091	56,534089	56,534101	56,5341	
Observación						
La metalización se realizó en el taller particular, del Sr. Galo Morales, Quito, Parroquia Nono						

b. Peso inicial de probetas en acero ASTM A 514 Grado F

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE 					
DATOS INFORMATIVOS:					
Probetas	20	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por	Ing. David Villacrés
Lugar de medición	Laboratorio de Materiales - FICM			Temp Amb	14 °C
Tipo de estudio	De laboratorio	Aprobado por		Ing. Diego Núñez, Msc	
Norma aplicada	G105-89	Procedimiento Shore A50			
ACERO ASTM 514 F					
Probetas	Código	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso inicial
21	5.AT.N01	71,59090909	71,5911012	71,5910121	71,5910
22	5.AT.N02	63,77840909	63,7780013	63,778214	63,7782
23	5.AT.N03	64,63068182	64,6306817	64,6400901	64,6338
24	5.AT.N04	69,03409091	69,035012	69,0349651	69,0347
25	5.AT.N05	68,89204545	68,892155	68,889965	68,8914
ACERO ASTM 514 F CON RECUBRIMIENTO METALIZADO, CON AL, Ni-Cr, y W					
26	6.AT.M01.AL	65,7670455	65,7700159	67,768124	66,4351
27	6.AT.M02.Ni.Cr	83,0965909	83,096214	83,096918	83,0966
28	6.AT.M03.Ni.Cr	79,6875000	79,6881	79,690029	79,6885
29	6.AT.M04.W	81,9602273	81,962235	81,960267	81,9609
30	6.AT.M05.W	82,8125000	82,812412	82,81365	82,8129
ACERO ASTM 514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE NITRURACIÓN, Proceso TENIFER- 570°C-2h					
31	7.AT.NH01	67,75568182	67,761251	67,76322	67,7601
32	7.AT.NH02	70,17045455	70,180344	70,170562	70,1738
33	7.AT.NH03	63,92045455	63,920285	63,919891	63,9202
34	7.AT.NH04	64,77272727	64,782148	64,788123	64,7810
35	7.AT.NH05	66,76136364	66,76259	66,762236	66,7621
ACERO ASTM 514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850°C - 0,3%C					
36	8.AT.C01	62,78409091	62,784101	62,781002	62,7831
37	8.AT.C02	68,03977273	68,03913	68,038963	68,0393
38	8.AT.C03	67,89772727	67,880015	67,891296	67,8897
39	8.AT.C04	68,89204545	68,896754	68,889512	68,8928
40	8.AT.C05	66,76136364	66,765123	66,768516	66,7650
Observación					
La metalización se realizó en el taller particular, del Sr. Galo Morales, Quito, Parroquia Nono					
Los tratamientos térmicos fueron realizados en Aceros Boehler, Matriz Quito Norte, De las Avellanas E-112 y Panamericana Norte Km 5 1/2					

4.2.6 Análisis del desgaste abrasivo

El procedimiento para la realización del análisis de desgaste abrasivo, se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato, bajo las condiciones propuestas en la Norma ASTM G105-89, la cual presenta una máquina adecuada y construida íntegramente en la Universidad, la cual permite el ensayo del Desgaste a través de la fricción y contacto entre discos de neopreno de dureza A50, A70 y las probetas de acero aplicadas para el ensayo.

Esta máquina presenta un disco abrasivo de neopreno vulcanizado sobre un aro de acero inoxidable dispuesto con paletas de arrastre que agita la mezcla agua /arena silícica que se encuentra en una cámara cerrada y hermética.

Existe un brazo con palanca que posee un portaprobetas, lugar donde se coloca la muestra normalizada cuyas medidas son 57.2 x25.4mm y espesor de 6 mm, en tanto que en la palanca se coloca una pesa o carga de 222N la misma que se transmite hacia la muestra por gravedad para el contacto entre el disco y la probeta.

Procedimiento:

1. Limpiar la cámara, lavando los residuos de arena o polvo existentes en la cámara.
2. Se coloca el disco abrasivo inicial, Shore A50, verificando que el perno de sujeción esté firme y ajustado como se observa en el gráfico 41.
3. Se cierra la cámara con la tapa lateral transparente y se ajustan los pernos de sellado.
4. El llenado de la cámara se procede con 1 litro de agua y 1.5Kg de arena silícica a través de las dos entradas existentes con válvulas procurando que la mezcla sea homogénea, es decir se vaya realizando la mezcla entre el agua y la arena progresivamente, como se puede observar en el gráfico 42.
5. Previamente antes del ensayo es necesario desmagnetizar el acero de cada probeta a ser ensayada, se sugiere aplicar un ligero precalentamiento de la probeta con una fosforera o vela, ya que el aumento de la temperatura disminuye el campo magnético de la muestra metálica.

6. Las probetas requieren limpieza y eliminación de impurezas o líquidos existentes sobre ellas, aceites desengrasantes, etc.
7. Se procede a pesar cada una de ellas en una balanza electrónica de precisión de hasta 0.0001 gramos es decir 5 cifras significativas como se muestra en el gráfico 40.
8. En el portaprobetas se coloca la muestra con las medidas estandarizadas por la Norma ASTM G105, sujetando con perno de anclaje en la porta especímenes, de ser el espesor inferior a los 6 mm se coloca un alza adecuada que permita el contacto entre las partes, como se observa en el gráfico 43.
9. El brazo es colocado en una articulación diseñada en la máquina para lograr el contacto entre la muestra y el espécimen, en tanto que en la palanca se coloca el peso de 222N, que la Norma G 105 determina.
10. La máquina se enciende previamente sin carga, es decir sin contacto entre la probeta y el disco para ello se procede alzar la palanca con la pesa con el objeto de que no haya un impacto brusco entre el disco y la muestra.
11. Se coloca la pesa suspendida, para que entre en contacto la probeta y el disco, para empezar el ensayo; tomar el tiempo de desgaste con el cronómetro, y considerar los parámetros siguientes: velocidad 245 rpm, 2.28 m/s, 1000 revoluciones por un periodo de 4 minutos y el desplazamiento lineal de 558.6 metros.
12. Una vez transcurrido el período de tiempo, se detiene la máquina y se retira el brazo con el portaprobetas, se observa la huella producida; se procede a lavar el espécimen, secar y pesar nuevamente, obteniendo un nuevo valor de peso el cual se registra.
13. Se procede a colocar nuevamente en el portaprobetas y se realiza el procedimiento hasta conseguir un desplazamiento de 5586 metros lineales.
14. Se tabula los datos para cada probeta.
15. Se efectúan los cálculos preestablecidos en la Norma G 105.
16. Obtención de datos relevantes, pérdida de peso, pérdida de volumen, tasa de desgaste; velocidad de desgaste, coeficiente de desgaste.



Gráfico 40. Obtención del peso de las probetas, previo al ensayo de desgaste abrasivo.
Fuente: El autor



Gráfico 41. Colocación del disco de Neopreno shore A50, en la cámara.
Fuente: El autor



Gráfico 42. Llenado de mezcla agua y arena silícica en la cámara hermética.
Fuente: El autor



Gráfico 43. Colocación de probeta en porta especímenes, muestra con revestimiento metalizado de base Aluminio en Acero AISI 1020.
Fuente: El autor





Gráfico 44. Ensayo de Desgaste abrasivo según Norma ASTM G105-89, con carga 222N.
Fuente: El autor



4.2.7 Resultados de los análisis de desgaste abrasivo en aceros AISI 1020 y ASTM A514 consolidados.

El cálculo para el ensayo de Desgaste abrasivo bajo la Norma G 105 se detalla en los anexos 7 y 8 de Análisis de los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 F para cada uno de los discos abrasivos shore A50 y A70, al final del presente trabajo de investigación se detalla cada uno de los procedimientos en cada literal ;a continuación, se muestran los resúmenes finales de todos los ensayos resumidos en las siguientes tablas:

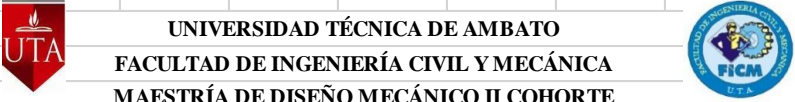
4.2.7.1 Acero AISI 1020 normalizado, resumen de análisis con el disco
Neopreno dureza Shore A50 ±20

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE 								
ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO DISCO SHORE A50±20 EN ACERO AISI 1020								
PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-89								
Dureza del neopreno	Disco de dureza A50±2		Cantidad de agua	0,940kg		Fuerza Aplicada	222N	
Tipo de abrasivo	Arena sílica AFS 50/70		Cantidad de arena	1.50kg		RPM	250±5	
Diámetro de la rueda	178 mm- 7p/g		Ancho de la rueda	12.3mm-1/2p/gl		Tiempo de exposición	8 min	
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	52,172042	0,997322	126,724498	0,892698	0,004021	0,264009	9,778116	7,72%
2234,4	51,436319	1,733044	220,208945	0,775620	0,003494	0,458769	14,124537	6,41%
3351,6	50,610535	2,558829	325,137052	0,763465	0,003439	0,677369	31,727023	9,76%
4468,8	49,669462	3,499901	444,714257	0,783186	0,003528	0,926488	26,457968	5,95%
5586	48,652363	4,517001	573,951817	0,808629	0,003642	1,195733	36,584724	6,37%
ACERO AISI 1020 METALIZADO EN BASE ALUMINIO								
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	52,45657	0,95854	121,79670	0,85798	0,00386	0,25374	No aplica	No aplica
2234,4	51,55887	1,85624	235,86239	0,83075	0,00374	0,49138	No aplica	No aplica
3351,6	50,72991	2,68520	341,19441	0,80117	0,00361	0,71082	No aplica	No aplica
4468,8	49,77272	3,64238	462,81842	0,81507	0,00367	0,96421	No aplica	No aplica
5586	49,15814	4,25696	540,91017	0,76208	0,00343	1,12690	No aplica	No aplica
ACERO AISI 1020 METALIZADO NIQUEL CROMO								
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	66,44314	0,67345	85,57173	0,60280	0,00272	0,17827	8,65051	10,11%
2234,4	65,83640	1,28019	162,66709	0,57295	0,00258	0,33889	6,16899	3,79%
3351,6	64,87983	2,23675	284,21271	0,66737	0,00301	0,59211	5,65614	1,99%
4468,8	64,09961	3,01698	383,35152	0,67512	0,00304	0,79865	0,80441	0,21%
5586	63,41222	3,70436	470,69435	0,66315	0,00299	0,98061	9,32186	1,98%
ACERO AISI 1020 METALIZADO EN ALEACIÓN DE TUNGSTENO								
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	68,69329	0,06011	7,63728	0,05380	0,00024	0,01591	0,20654	2,70%
2234,4	68,59951	0,15389	19,55451	0,06887	0,00031	0,04074	1,55689	7,96%
3351,6	68,36441	0,38899	49,42706	0,11606	0,00052	0,10297	4,27517	8,65%
4468,8	67,94107	0,81233	103,21861	0,18178	0,00082	0,21504	10,78549	10,45%
5586	67,52455	1,22885	156,14307	0,21999	0,00099	0,32530	4,91543	3,15%
ACERO AISI 1020 CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE NITRURACIÓN, Proceso TENIFER- 570°C-2h								
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	51,81010	0,71265	90,55230	0,63789	0,00287	0,18865	12,16500	13,43%
2234,4	51,07176	1,45098	184,36869	0,64938	0,00293	0,38410	22,67640	12,30%
3351,6	50,36025	2,16250	274,77756	0,64521	0,00291	0,57245	16,59251	6,04%
4468,8	49,64838	2,87437	365,23133	0,64321	0,00290	0,76090	10,74603	2,94%
5586	49,18210	3,34065	424,47893	0,59804	0,00269	0,88433	26,84224	6,32%
ACERO AISI 1020 CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850°C - 0,3% C								
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	53,44000	0,13696	17,40244	0,12259	0,00055	0,03626	1,13695	6,53%
2234,4	53,07706	0,49990	63,51948	0,22373	0,00101	0,13233	3,70651	5,84%
3351,6	52,57008	1,00688	127,93838	0,30042	0,00135	0,26654	5,26239	4,11%
4468,8	52,08946	1,48750	189,00910	0,33286	0,00150	0,39377	4,37601	2,32%
5586	51,34125	2,23570	284,07936	0,40023	0,00180	0,59183	11,19673	3,94%



4.2.7.2 Acero AISI 1020 Normalizado, resumen de análisis con el disco Neopreno dureza Shore A70 ±20

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
		MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE								
ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO DISCO SHORE A70±20 EN ACERO AISI 1020										
PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-89										
Dureza del neopreno	Disco de dureza A70±2			Cantidad de agua	0,940kg		Fuerza Aplicada	222N		
Tipo de abrasivo	Arena sílica AFS 50/70			Cantidad de arena	1,50kg		RPM	250±5		
Diámetro de la rueda	178 mm- 7p/g			Ancho de la rueda	12.3mm-1/2p/g		Tiempo de exposición	8 min		
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación		
1117,2	46,662555	1,989808	252,834562	1,781067	0,008023	0,526739	7,306600	2,89%		
2234,4	45,853359	2,799004	355,654917	1,252687	0,005643	0,740948	8,973219	2,52%		
3351,6	45,061709	3,590654	456,245743	1,071325	0,004826	0,950512	44,715029	9,80%		
4468,8	44,247061	4,405302	559,758831	0,985791	0,004440	1,166164	37,527224	6,70%		
5586	42,663066	5,989297	761,028818	1,072198	0,004830	1,585477	17,308166	2,27%		
ACERO AISI 1020 METALIZADO EN BASE ALUMINIO										
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación		
1117,2	47,37225	1,78589	226,92376	1,59854	0,00720	0,47276	No aplica	No aplica		
2234,4	46,63673	2,52141	320,38247	1,12845	0,00508	0,66746	No aplica	No aplica		
3351,6	45,94361	3,21453	408,45362	0,95910	0,00432	0,85095	No aplica	No aplica		
4468,8	45,28251	3,87563	492,45616	0,86726	0,00391	1,02595	No aplica	No aplica		
5586	44,81291	4,34523	552,12579	0,77788	0,00350	1,15026	No aplica	No aplica		
ACERO AISI 1020 METALIZADO NIQUEL CROMO										
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación		
1117,2	62,00227	1,40996	179,15565	1,26204	0,00568	0,37324	8,74494	4,88%		
2234,4	61,46904	1,94319	246,91055	0,86967	0,00392	0,51440	3,89331	1,58%		
3351,6	61,10243	2,30980	293,49370	0,68916	0,00310	0,61145	7,97556	2,72%		
4468,8	60,25494	3,15729	401,17992	0,70652	0,00318	0,83579	2,09634	0,52%		
5586	59,60894	3,80328	483,26303	0,68086	0,00307	1,00680	3,24659	0,67%		
ACERO AISI 1020 METALIZADO EN ALEACIÓN DE TUNGSTENO										
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación		
1117,2	67,37576	0,14880	18,90683	0,13319	0,00060	0,03939	0,52144	2,76%		
2234,4	67,12276	0,40180	51,05400	0,17982	0,00081	0,10636	1,89616	3,71%		
3351,6	66,68582	0,83873	106,57300	0,25025	0,00113	0,22203	10,14936	9,52%		
4468,8	66,21238	1,31218	166,73132	0,29363	0,00132	0,34736	10,30462	6,18%		
5586	65,53625	1,98830	252,64307	0,35594	0,00160	0,52634	24,60031	9,74%		
ACERO AISI 1020 CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE NITRURACIÓN, Proceso TENIFER- 570°C-2h										
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación		
1117,2	47,97256	1,20954	153,68989	1,08265	0,00488	0,32019	7,98695	5,20%		
2234,4	47,39779	1,78430	226,72224	0,79856	0,00360	0,47234	13,17275	5,81%		
3351,6	46,64048	2,54162	322,95019	0,75833	0,00342	0,67281	13,14470	4,07%		
4468,8	45,64837	3,53373	449,01217	0,79075	0,00356	0,93544	25,32788	5,64%		
5586	45,06688	4,11521	522,89875	0,73670	0,00332	1,08937	24,36339	4,66%		
ACERO AISI 1020 CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850°C - 0,3%C										
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación		
1117,2	51,05176	0,28949	36,78429	0,25912	0,00117	0,07663	1,22274	3,32%		
2234,4	50,50538	0,83587	106,20953	0,37409	0,00169	0,22127	9,64408	9,08%		
3351,6	49,73170	1,60955	204,51728	0,48023	0,00216	0,42608	24,04530	11,76%		
4468,8	48,72134	2,61991	332,89837	0,58627	0,00264	0,69354	25,29989	7,60%		
5586	48,03992	3,30133	419,48302	0,59100	0,00266	0,87392	16,37222	3,90%		

4.2.7.3 Acero ASTM A 514 grado F, resumen de análisis con el disco Neopreno dureza Shore A50 ±20

									
ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO DISCO SHORE A50±20 EN ACERO ASTM A 514 F									
PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-89									
Dureza del neopreno	Disco de dureza A50±2			Cantidad de agua	0.940kg	Fuerza Aplicada	222N		
Tipo de abrasivo	Arena sílica AFS 50/70			Cantidad de arena	1.50kg	RPM	250±5		
Diámetro de la rueda	178 mm- 7plg			Ancho de la rueda	12.3mm-1/2plg		Tiempo de exposición		8 min
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación	
1117,2	66,983723	0,602100	77,192256	0,538936	0,002428	0,160817	4,021805	5,21%	
2234,4	66,585567	1,000256	128,237897	0,447662	0,002016	0,267162	1,680540	1,31%	
3351,6	66,163909	1,421913	182,296538	0,424249	0,001911	0,379784	5,300107	2,91%	
4468,8	65,476772	2,109050	270,391051	0,471950	0,002126	0,563315	9,888023	3,66%	
5586	64,887645	2,698178	345,920205	0,483025	0,002176	0,720667	13,040164	3,77%	
ACERO ASTM A 514 F METALIZADO EN BASE ALUMINIO									
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación	
1117,2	65,98224	0,45282	58,05385	0,40532	0,00183	0,12095	No aplica	No aplica	
2234,4	65,62085	0,81421	104,38590	0,36440	0,00164	0,21747	No aplica	No aplica	
3351,6	65,06380	1,37126	175,80231	0,40914	0,00184	0,36625	No aplica	No aplica	
4468,8	64,42519	2,00987	257,67564	0,44976	0,00203	0,53682	No aplica	No aplica	
5586	63,83631	2,59875	333,17346	0,46523	0,00210	0,69411	No aplica	No aplica	
ACERO ASTM A 514 F METALIZADO NIQUEL CROMO									
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación	
1117,2	80,93438	0,45818	58,74146	0,41012	0,00185	0,12238	2,36766	4,03%	
2234,4	80,52077	0,87178	111,76718	0,39016	0,00176	0,23285	3,69200	3,30%	
3351,6	80,09364	1,29892	166,52859	0,38755	0,00175	0,34693	2,44786	1,47%	
4468,8	79,59534	1,79722	230,41282	0,40217	0,00181	0,48003	2,75590	1,20%	
5586	79,15689	2,23567	286,62436	0,40023	0,00180	0,59713	6,18990	2,16%	
ACERO ASTM A 514 F METALIZADO EN ALEACIÓN DE TUNGSTENO									
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación	
1117,2	82,31905	0,06784	8,69690	0,06072	0,00027	0,01812	0,12804	1,47%	
2234,4	82,24941	0,13747	17,62489	0,06153	0,00028	0,03672	0,91776	5,21%	
3351,6	82,00106	0,38582	49,46372	0,11511	0,00052	0,10305	4,87287	9,85%	
4468,8	81,69138	0,69550	89,16699	0,15564	0,00070	0,18576	1,08341	1,22%	
5586	81,23287	1,15401	147,95019	0,20659	0,00093	0,30823	5,17666	3,50%	
ACERO ASTM A 514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE NITRURACIÓN, Proceso TENIFER- 570°C-2h									
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación	
1117,2	66,60997	0,06945	8,87301	0,06217	0,00028	0,01849	0,16588	1,87%	
2234,4	66,46146	0,21796	27,84436	0,09755	0,00044	0,05801	0,86293	3,10%	
3351,6	66,17202	0,50741	64,82889	0,15139	0,00068	0,13506	5,25971	8,11%	
4468,8	65,80743	0,87199	111,40185	0,19513	0,00088	0,23209	3,79764	3,41%	
5586	65,31769	1,36173	173,96322	0,24378	0,00110	0,36242	2,46057	1,41%	
ACERO ASTM A 514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850°C - 0,3%C									
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coeficiente de variación	
1117,2	66,84778	0,02618	3,35604	0,02343	0,00011	0,00699	0,30856	9,19%	
2234,4	66,79400	0,07996	10,25154	0,03579	0,00016	0,02136	0,81865	7,99%	
3351,6	66,68295	0,19101	24,48903	0,05699	0,00026	0,05102	0,96043	3,92%	
4468,8	66,35490	0,51906	66,54656	0,11615	0,00052	0,13864	7,36065	11,06%	
5586	65,76362	1,11034	142,35190	0,19877	0,00090	0,29657	4,77585	3,35%	

4.2.7.4 Acero ASTM A 514 grado F, resumen de análisis con el disco abrasivo de dureza Shore A70 ±20

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE						
ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO DISCO SHORE A70±20 EN ACERO ASTM A 514 F								
PARAMETROS PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA DETERMINADOS POR LA NORMA G105-89								
Dureza del neopreno	Disco de dureza A70±2		Cantidad de agua	0.940kg		Fuerza Aplicada	222N	
Tipo de abrasivo	Arena sílica AFS 50/70		Cantidad de arena	1.50kg		RPM	250±5	
Diámetro de la rueda	178 mm- 7plg		Ancho de la rueda	12.3mm-1/2plg		Tiempo de exposición	8 min	
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	64,027845	0,859799	110,230703	0,769602	0,003467	0,229647	7,181017	6,51%
2234,4	63,681195	1,206450	154,673077	0,539944	0,002432	0,322236	5,465544	3,53%
3351,6	63,154435	1,733210	222,206418	0,517129	0,002329	0,462930	13,810731	6,22%
4468,8	62,565343	2,322302	297,731000	0,519670	0,002341	0,620273	12,112876	4,07%
5586	61,681841	3,205803	411,000415	0,573900	0,002585	0,856251	6,523048	1,59%
ACERO ASTM A 514 F METALIZADO EN BASE ALUMINIO								
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	63,03374	0,80257	102,89359	0,71838	0,00324	0,21436	No aplica	No aplica
2234,4	62,77668	1,05963	135,84962	0,47423	0,00214	0,28302	No aplica	No aplica
3351,6	62,26678	1,56953	201,22154	0,46829	0,00211	0,41921	No aplica	No aplica
4468,8	61,67736	2,15895	276,78872	0,48312	0,00218	0,57664	No aplica	No aplica
5586	60,91043	2,92588	375,11282	0,52379	0,00236	0,78149	No aplica	No aplica
ACERO ASTM A 514 F METALIZADO NIQUEL CROMO								
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	78,46555	0,69134	88,63379	0,61882	0,00279	0,18465	1,83278	2,07%
2234,4	78,16801	0,98888	126,77929	0,44257	0,00199	0,26412	1,87954	1,48%
3351,6	77,65822	1,49867	192,13750	0,44715	0,00201	0,40029	2,99840	1,56%
4468,8	77,16821	1,98867	254,95821	0,44501	0,00200	0,53116	1,18576	0,47%
5586	76,62888	2,52801	324,10327	0,45256	0,00204	0,67522	2,39773	0,74%
ACERO ASTM A 514 F METALIZADO EN ALEACIÓN DE TUNGSTENO								
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	81,08313	0,14974	19,19699	0,13403	0,00060	0,03999	1,29700	6,76%
2234,4	80,76481	0,46807	60,00833	0,20948	0,00094	0,12502	8,46987	14,11%
3351,6	80,43036	0,80252	102,88654	0,23944	0,00108	0,21435	1,80131	1,75%
4468,8	80,03768	1,19519	153,22904	0,26745	0,00120	0,31923	9,05396	5,91%
5586	79,65510	1,57777	202,27840	0,28245	0,00127	0,42141	0,66205	0,33%
ACERO ASTM A 514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE NITRURACIÓN, Proceso TENIFER- 570°C-2h								
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	65,07526	0,24243	30,98290	0,21699	0,00098	0,06455	5,27585	17,03%
2234,4	64,72353	0,59416	75,88917	0,26591	0,00120	0,15810	6,22422	8,20%
3351,6	64,29753	1,02016	130,33082	0,30438	0,00137	0,27152	4,61966	3,54%
4468,8	63,81935	1,49834	191,41536	0,33529	0,00151	0,39878	6,63751	3,47%
5586	63,27231	2,04538	261,28966	0,36616	0,00165	0,54435	9,67149	3,70%
ACERO ASTM A 514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850°C - 0,3%C								
Desplazamiento L (m)	Peso Promedio	AP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)	Desviación estándar S:	Coefficiente de variación
1117,2	65,70686	0,05675	7,27591	0,05080	0,00023	0,01516	0,69065	9,49%
2234,4	65,54650	0,21711	27,83506	0,09717	0,00044	0,05799	3,46147	12,44%
3351,6	65,25384	0,50977	65,35554	0,15210	0,00069	0,13616	4,09879	6,27%
4468,8	64,81457	0,94905	121,67245	0,21237	0,00096	0,25348	5,74244	4,72%
5586	64,34402	1,41960	181,99977	0,25414	0,00114	0,37917	5,09684	2,80%

4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.3.1 Interpretación de los ensayos metalográficos

a. Análisis del acero AISI 1020 Normalizado

A través del ensayo metalográfico se demuestra el tipo de acero, la microestructura, la composición química y propiedades existentes dentro del metal inicial sin tratamiento superficial es acero AISI 1020, con tratamiento de Normalizado, se observa la presencia de granos perlíticos de color gris (Perlita) en un 22.7%, dato obtenido en el análisis metalográfico desarrollado en el inciso 4.2.1 Análisis del Acero AISI 1020 en el presente estudio, en tanto que la estructura Ferrita de color blanco, tiene un porcentaje del 78.1%. Al efectuar los cálculos teóricos con el porcentaje de Perlita dividido entre 130 se determina que el porcentaje de Carbono es de 0.18% aproximado, y al corroborar con el análisis químico del Acero AISI 1020, se determina la composición que muestra en la tabla 16:

Tabla 16. Composición química Acero AISI 1020

Elemento	Composición
Fe	99,05
Mn	0,63
P	0,139
Si	0,121
S	0,056

Fuente: El autor

Una vez comparada con el datasheet de la página Web: MatWEB que se encuentra en el Anexos 1 y 2, se deduce que el material efectivamente corresponde a un acero AISI 1020, normalizado.

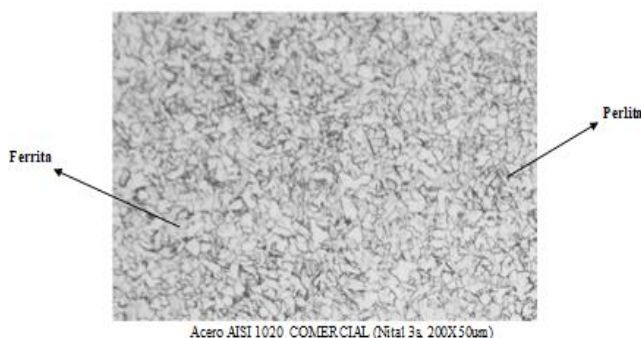


Gráfico 45. Imagen de microscopio óptico del acero AISI 1020, 200x50 micrómetros

Fuente: El autor

b. Análisis de Acero ASTM A 514 Grado F

Se observa la presencia de granos perlíticos de color gris (Perlita) en un 14.7%, dato obtenido en el análisis metalográfico desarrollado en el inciso 4.2.2 Análisis del Acero ASTM A 514 Grado F en el presente estudio, en tanto que la estructura Ferrita de color blanco, tiene un porcentaje del 84.7%, al efectuar los cálculos teóricos con el porcentaje de Perlita dividido entre 130 se determina que el porcentaje de Carbono es de 0.113% aproximado, y al corroborar con el análisis químico del Acero ASTM A514F, se determina la siguiente composición:

Tabla 17. Composición química acero ASTM A514 F

Elemento	Composición
Fe	99,05
Mn	1,03
Cu	0,24
Ni	0,15
P	0,144
Si	0,119
Cr	0,11

Fuente: El autor

Una vez comparada con el datasheet de la página Web: MatWEB que se encuentra en el Anexos 1 y 2, se deduce que el material efectivamente corresponde a un acero ASTM A 514 Grado F para placas menores a 19mm.

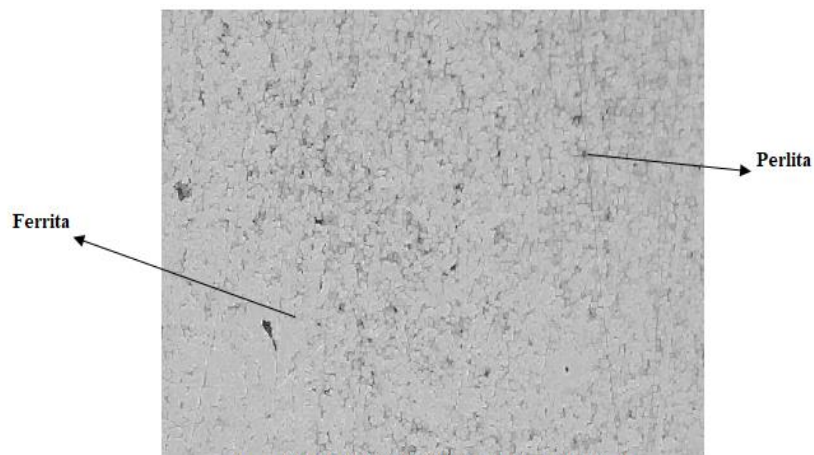


Gráfico 46. Imagen de microscopio óptico del acero ASTM A 514F, 200x50 micrómetros

Fuente: El autor

4.3.2 Interpretación de los ensayos de dureza Rockwell

Tabla 18. Durezas en los aceros sin recubrimiento de probetas, Centro de Fomento "CFPMC - HGP.Tungurahua"

Material	Dureza Rockwell B
AISI 1020	73.2 HRB
ASTM A 514	97.9HRB

Fuente: Anexos 3

Tabla 19. Durezas en los revestimientos y tratamientos térmicos aplicados sobre las probetas de acero AISI 1020, desarrollado en el Centro de Fomento "CFPMC - HGP.Tungurahua"

Nº-	Tipo de material	Tipo de revestimiento/ tratamiento térmico	Dureza Rockwell B Promedio
1	Acero AISI 1020	Metalizado base aluminio	69,4
2	Acero AISI 1020	Metalizado Níquel Cromo	83,7
3	Acero AISI 1020	Metalizado Aleación de Tungsteno	105,96
4	Acero AISI 1020	Nitruración	75,5
5	Acero AISI 1020	Cementación	112,03

Fuente: Anexos 4

Tabla 20. Durezas en los revestimientos y tratamientos térmicos aplicados sobre las probetas de acero ASTM A 514, desarrollado en Centro de Fomento "CFPMC - HGP.Tungurahua"

Nº-	Tipo de material	Tipo de revestimiento/ tratamiento térmico	Dureza Rockwell B Promedio
1	Acero ASTM A 514	Metalizado base aluminio	71,66
2	Acero ASTM A 514	Metalizado Níquel Cromo	95,7
3	Acero ASTM A 514	Metalizado Aleación de Tungsteno	105,93
4	Acero ASTM A 514	Nitruración	95,6
5	Acero ASTM A 514	Cementación	114,47

Fuente: Anexos 4

4.3.3 Análisis de resultados de desgaste abrasivo en un medio acuoso según la Norma ASTM G105-89 - Acero AISI 1020

4.3.3.1 Representación gráfica de los resultados de desgaste abrasivo en el acero AISI 1020, con revestimientos metalizados, tratamientos térmicos de nitruración y cementación con disco de Neopreno Shore A50, en un medio acuoso bajo la Norma G105-89

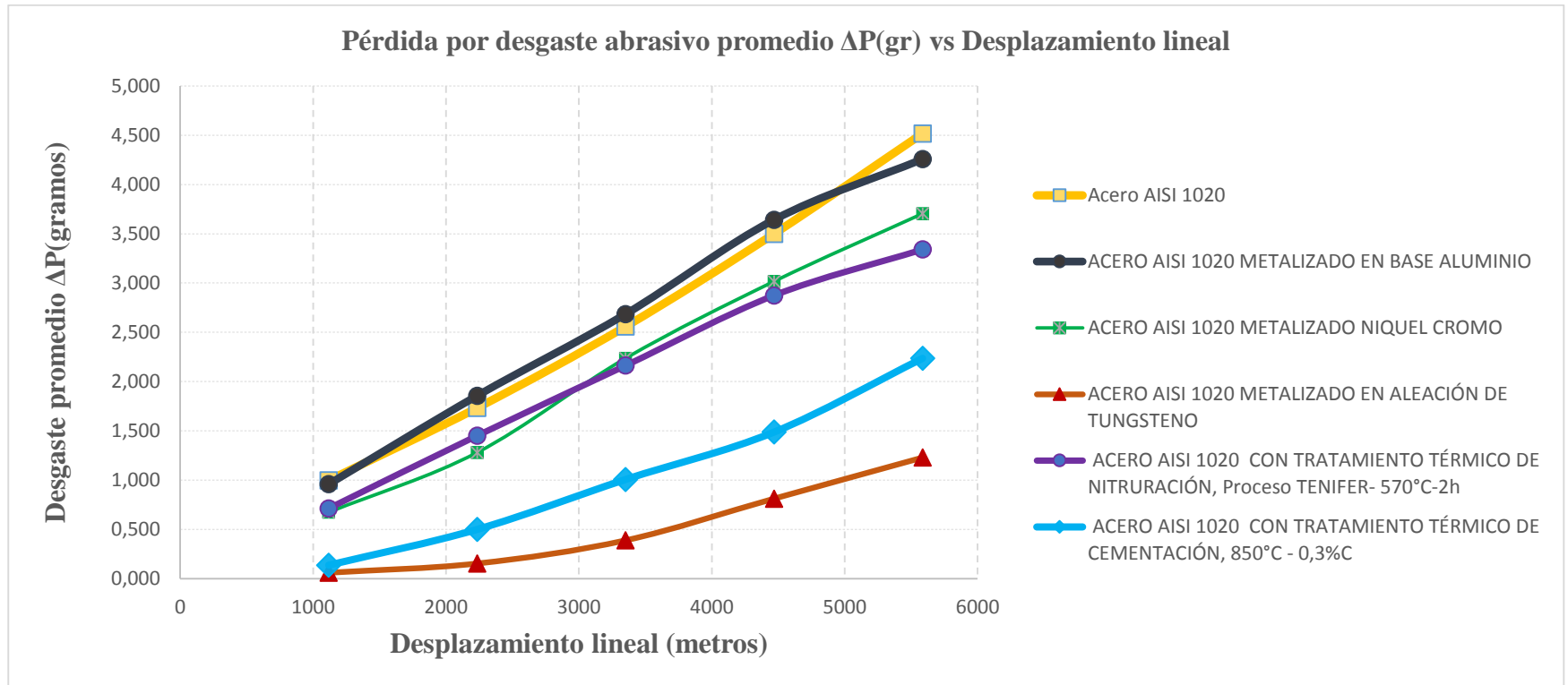


Gráfico 47. Pérdida por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A50±20 para el acero AISI 1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

En el gráfico 47, se observa una comparación de la pérdida de masa promedio producida por el desgaste abrasivo en régimen acuoso determinado en la Norma ASTM G105-89, con un disco de neopreno de dureza A50, en el Acero AISI 1020, de uso común, los revestimientos aplicados sobre él, como base aluminio, aleación níquel-cromo, aleación de Tungsteno amorfo, los tratamientos térmicos de Nitruración y cementación, para cada desplazamiento realizado, dicha variable se calcula a partir de la diferencia entre el peso inicial de la probeta y el peso de la probeta con la huella de desgaste luego de cada deslizamiento; se determinó que el revestimiento de aleación de tungsteno sobre el acero AISI 1020 es considerado como el de menor pérdida de masa por longitud de desplazamiento; debido a las características de alta dureza y resistencia a la abrasión, el valor tiene un máximo de 1.2285 gramos en 5586 metros recorrido, en tanto que el acero AISI 1020 sin recubrimiento es aquel de mayor pérdida por desgaste abrasivo con un rango de 4.51 gramos, es decir se demuestra que este último experimentalmente sin recubrimientos ni tratamientos térmicos no es apto para el uso en condiciones de alto desgaste.

El tratamiento térmico de cementación, presenta buenos resultados ante la pérdida de masa por desgaste abrasivo con un rango de 2.23 gramos en 5586 metros, sin embargo, su aplicabilidad en reparaciones correctivas de tambores de mixers, por poseer flejes de chapa metálica de grandes dimensiones no pondera que su uso sea viable.

El metalizado por aleación níquel-cromo aplicado sobre el acero AISI 1020, es un revestimiento de condiciones medias, presenta niveles promedios de pérdida por desgaste de 3.7 gramos en 5586 metros, siendo este recubrimiento de buena proyección para flejes de mixers en donde el desgaste en el interior del tambor es bajo.

El proceso de Nitruración presenta valores de desgaste de similares características que el del revestimiento metalizado de níquel-cromo, su valor oscila en 3.34 gramos para un desplazamiento de 5586 metros, sin embargo, de igual manera que la cementación resulta inviable por las dimensiones en los flejes del mixer al ser recuperado.

El revestimiento de Aluminio presenta pérdida de masa por desgaste abrasivo similar al del Acero sin recubrimientos, por lo que al ser un recubrimiento base no podría ser aplicable para el uso bajo condiciones de desgaste, no aplica, ya que este revestimiento solo es una interfaz entre las aleaciones duras como el níquel, cromo o tungsteno y el metal base (acero) al realizarse el metalizado.

En el gráfico 48, se observa una comparativa de la pérdida volumen generada por el desgaste abrasivo en régimen acuoso determinado en la Norma ASTM G105-89, con un disco de neopreno de dureza A50, aplicado al acero AISI 1020, revestimientos como base aluminio, aleación níquel-cromo, aleación de tungsteno amorfo, los tratamientos térmicos de nitruración y cementación, dicho volumen se calcula con el cociente entre el peso de las probetas desgastadas y el peso específico del acero AISI 1020 que es 7.87g/cm^3 por 1000, factor de conversión de cm^3 a mm^3 en cada desplazamiento del disco.

Se determinó que el revestimiento de aleación de tungsteno sobre el acero AISI 1020 posee el menor volumen perdido por longitud de desplazamiento; con un valor de 156.14 mm^3 en 5586 metros de desplazamiento, en tanto que el acero AISI 1020 sin recubrimiento es aquel con mayor volumen desgastado con un nivel de 573.95 mm^3 .

El tratamiento térmico de cementación, produjo un adecuado nivel de volumen perdido por desgaste abrasivo, que es de 284.08 mm^3 en 5586 metros, el metalizado por aleación níquel-cromo aplicado sobre el acero AISI 1020 presenta rangos medios de pérdida de volumen de 470.69 mm^3 , al igual que el de la probeta sometida a nitruración que es de 424 mm^3 , el revestimiento de aluminio presenta un volumen de desgaste abrasivo de 540 mm^3 , el cual es irrelevante para efecto de estudio al ser interfaz de metalizado.

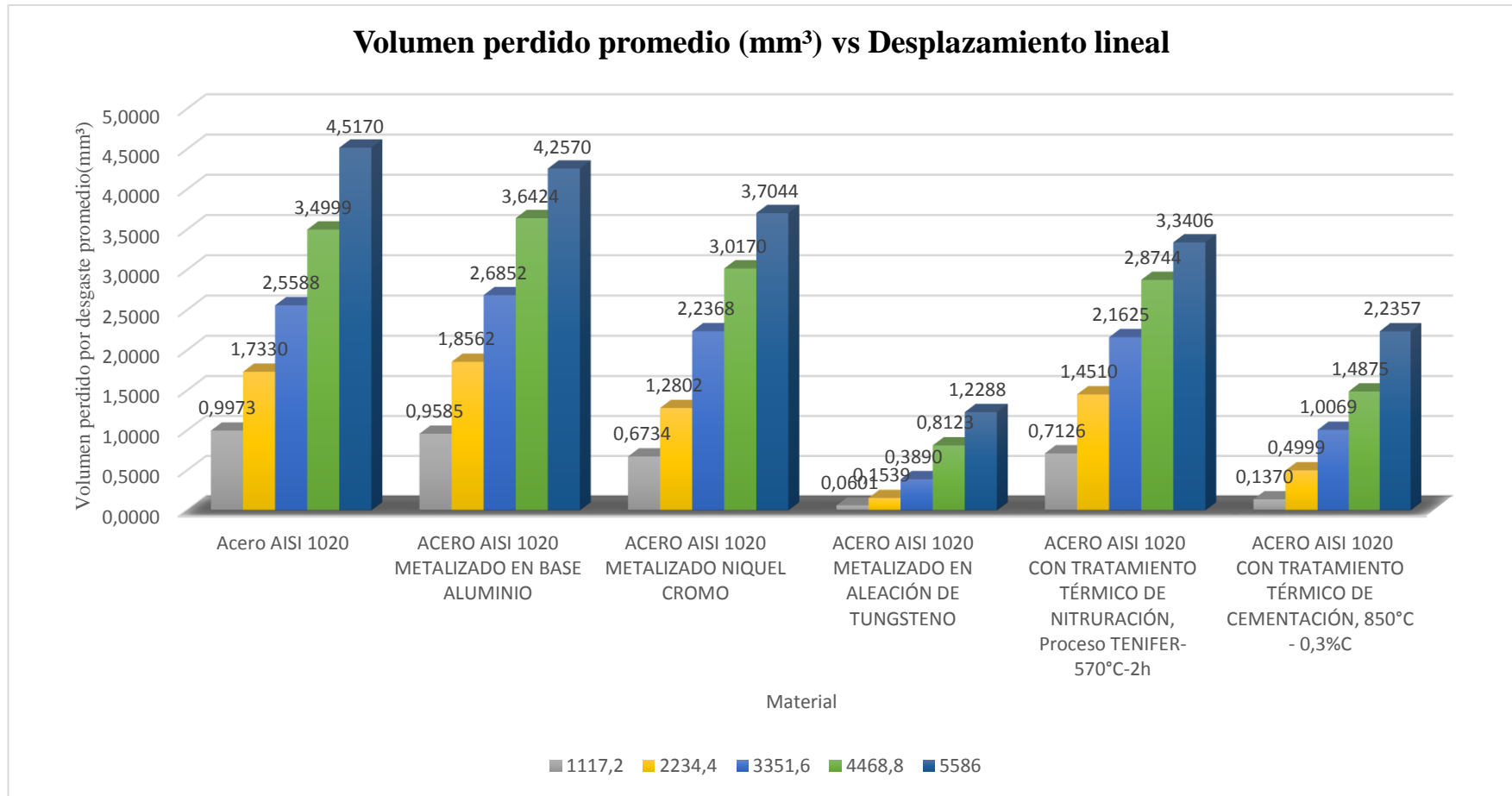


Gráfico 48. Volumen perdido promedio en mm³ producido por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente en función del desplazamiento.

Fuente: El autor

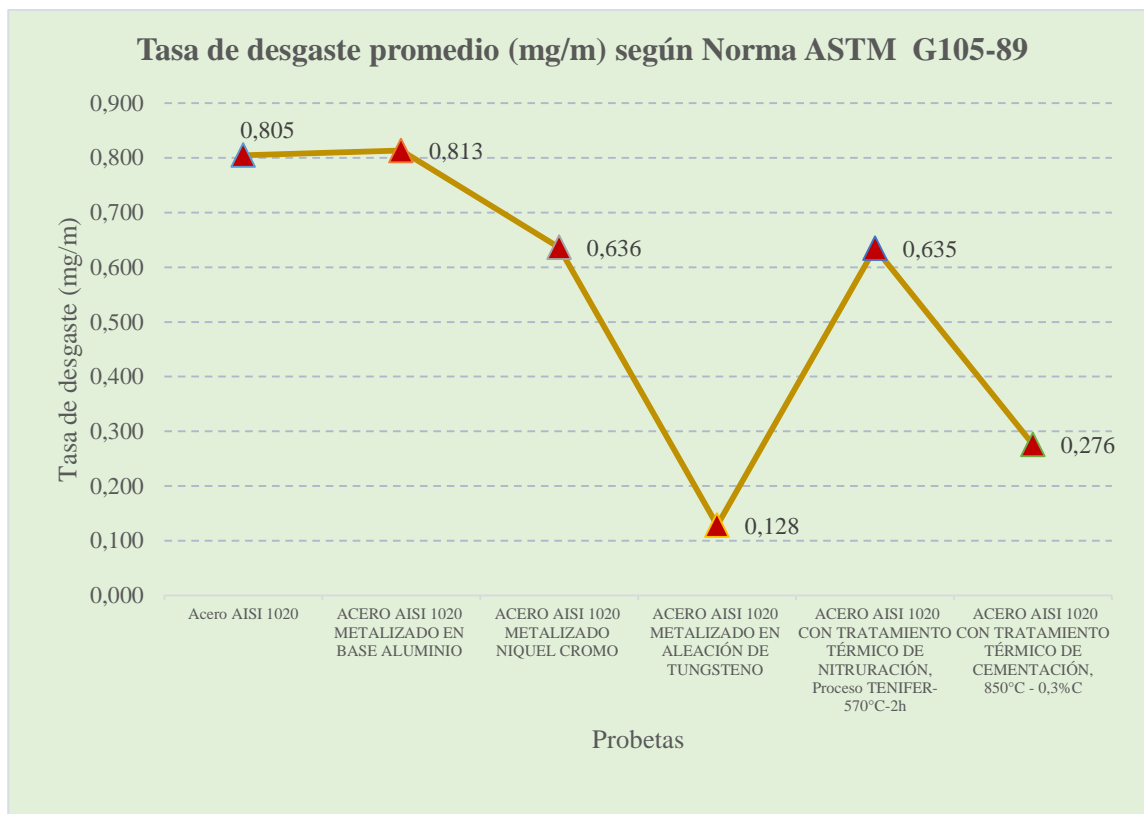


Gráfico 49. Tasa de desgaste abrasivo promedio (miligramos/metro) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

En el gráfico 49 se obtienen las tasas de desgaste promedio para el acero AISI 1020, sus revestimientos, y tratamientos térmicos cuyo valor se obtiene del cociente entre la pérdida de masa ΔP (gr) por el número de metros recorridos en cada desplazamiento por 1000, este último es factor de conversión de gramos a miligramos, después se evalúan los valores promedios por cada desplazamiento en cada grupo de probetas y se consiguen los niveles promedio de tasa.

Consecuentemente, al haberse determinado la probeta metalizada con tungsteno como aquella con menor pérdida de masa y volumen, de igual manera resulta ésta como la de menor tasa de desgaste que es de apenas 0.128 mg/m y la de mayor tasa la probeta de acero AISI 1020 sin recubrimiento con 0.8 mg/m, otros niveles que se muestran son los de tasas medias de desgaste de acero metalizado con níquel y cromo de 0.636 y nitrurado con 0.635 mg/m; por otra parte el acero AISI 1020 con

tratamiento de cementación posee una tasa de desgaste de 0.276 mg/m, cuya tasa resulta la segunda de menor valor.

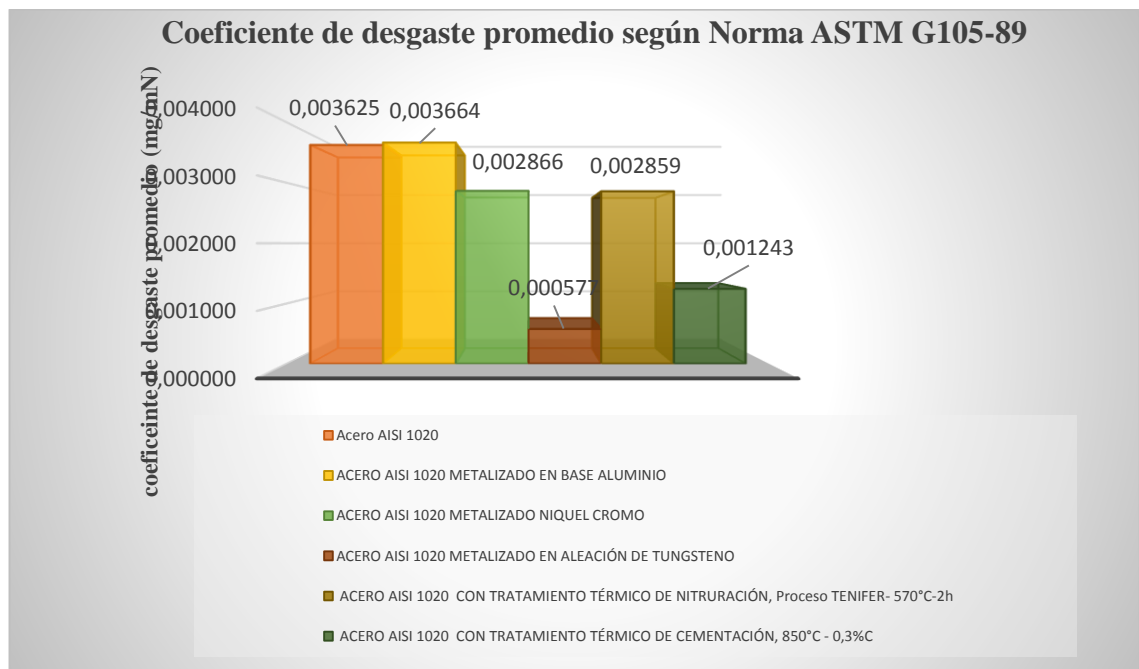


Gráfico 50. Coeficiente de desgaste abrasivo promedio en miligramos/metro. Newton en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

El coeficiente de desgaste es un parámetro fundamental en el cálculo de la pérdida por desgaste producido en un material, a través de un medio abrasivo, se obtiene del cociente entre la tasa de desgaste por la fuerza aplicada por el disco abrasivo, cuyo parámetro es de 220 N; es decir, para el acero AISI 1020 sin recubrimiento resulta ser el mayor coeficiente de desgaste cuyo valor es de 0.003625 miligramos/metro. Newton, el factor para la probeta con metalizado de aluminio 0.003664 mg/mN, intermediamente los valores del metalizado con níquel-cromo con 0.002866 y nitrurado con 0.02859 mg/mN, mientras que para el acero con metalizado de tungsteno es de 0.00057, y la muestra del tratamiento con cementación con un valor de 0.00124 mg/mN.

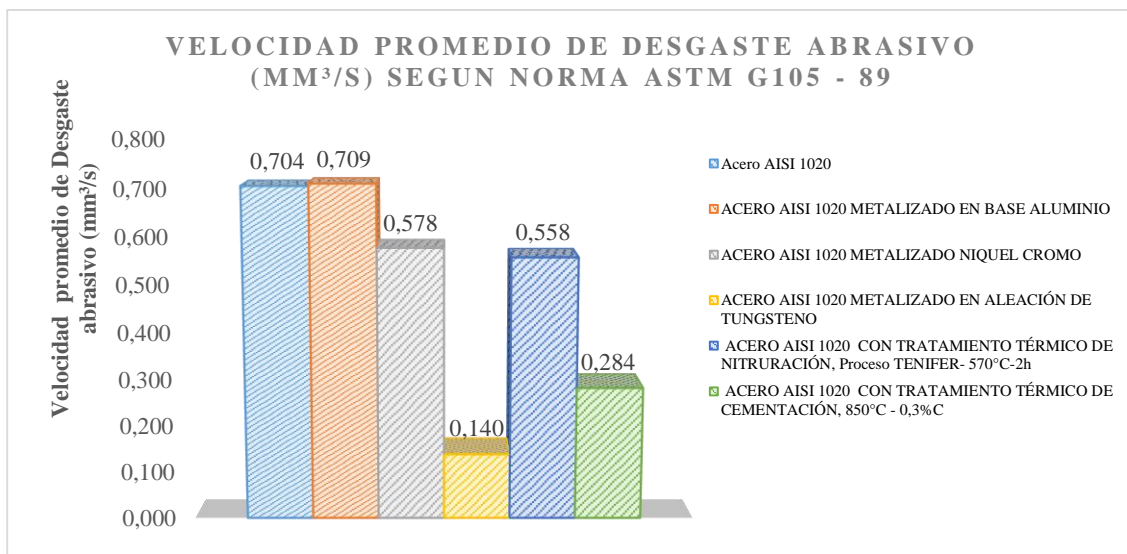


Gráfico 51. Velocidad promedio de desgaste abrasivo (mm³/s) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

La velocidad de desgaste abrasivo se ha calculado en función del tiempo al que la probeta alcanzó cada uno de los desplazamientos tomando un $t = 8$ minutos equivalente a 480 segundos, entonces resulta ser el cociente entre el volumen perdido por el tiempo de 480 segundos, posteriormente se calcula la media entre las velocidades alcanzadas por cada desplazamiento por cada grupo de probetas, para tal efecto se muestra en el gráfico 52, se observa que el acero con metalizado de aleación de Tungsteno origina el menor índice de velocidad promedio, su valor es de 0.14 mm³/s en tanto que los niveles más altos alcanzan el acero AISI 1020 y la probeta metalizada a base de aluminio con valores de 0.704 y 0.709 mm³ respectivamente, entre las velocidades medias se encuentran las probetas con metalizados con níquel-cromo y tratamiento térmico de nitruración con rangos de 0,57 y 0.55 mm³/s respectivamente, y por último la velocidad de desgaste de cementación en probetas muestra el segundo menor valor que es de 0.28 mm³/s.

4.3.3.2 Representación gráfica de los resultados de desgaste abrasivo en el Acero AISI 1020, con revestimientos metalizados, tratamientos térmicos de nitruración y cementación con disco de Neopreno Shore A70, en un medio acuoso bajo la Norma G105-89

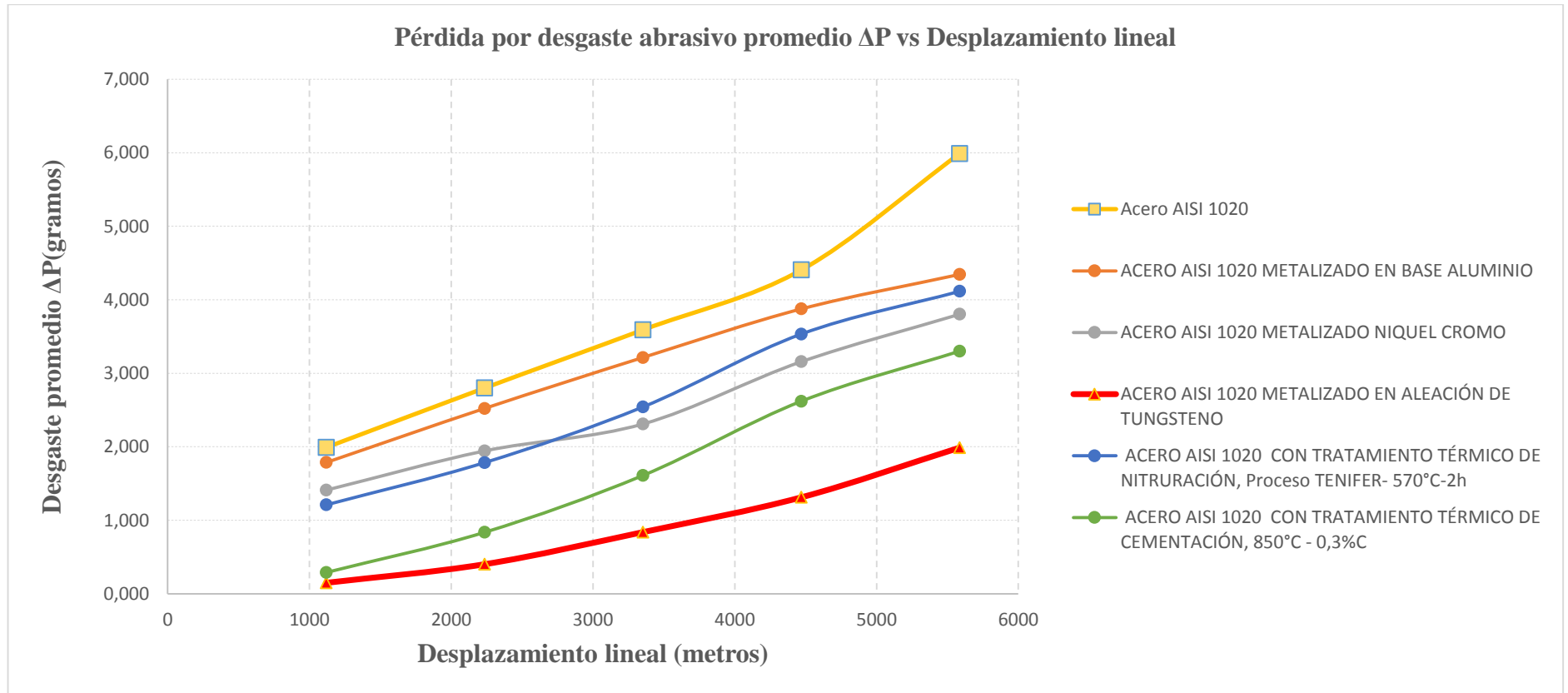


Gráfico 52. Pérdida por Desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70 \pm 20 para el acero AISI 1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

En el gráfico 52 se observa una comparación de la pérdida de masa promedio producida por el desgaste abrasivo en régimen acuoso determinado en la Norma ASTM G105-89, con un disco de neopreno de dureza A70, en el Acero AISI 1020, los revestimientos y tratamientos térmicos de probetas del mismo, para cuales se determinó que el revestimiento de aleación de tungsteno sobre el acero AISI 1020 tiene la menor pérdida de masa por longitud de desplazamiento; su nivel tiene un máximo de 1.98 gramos en 5586 metros recorrido, en tanto que el acero AISI 1020 sin recubrimiento es aquel de mayor pérdida por desgaste abrasivo con un rango de 5.99 gramos, debido a que este disco presenta un mayor grado de dureza del Neopreno la pérdida de masa es consecuentemente mayor que la del disco shore A50, para todos los casos.

El acero AISI 1020 metalizado por aleación níquel-cromo es un revestimiento de condiciones intermedias, cuyos valores de pérdida por desgaste de 3.8 gramos en 5586 metros, al igual que el acero tratado nitrurado también presenta un nivel medio de pérdida de masa que oscila en 4.11 gramos, en tanto que el acero con tratamiento de cementación, tiene un valor de pérdida por masa de 3.30 gramos en 5586 metros y sigue siendo el segundo de menor categoría, por fines de efecto se desprecia el acero metalizado de base aluminio por cuanto es una interfaz entre el metal base y el revestimiento final (Ni-Cr) y W.

En el gráfico 53, se presenta el volumen desgastado por efectos abrasivos en régimen acuoso determinado en la Norma ASTM G105-89, con un disco de neopreno de dureza A70, aplicado sobre el acero AISI 1020, sus recubrimientos de base aluminio, aleación níquel-cromo, aleación de tungsteno amorfo, así como los tratamientos térmicos de nitruración y cementación.

Se determinó que el revestimiento de aleación de tungsteno sobre el acero AISI 1020 posee el menor volumen perdido por longitud de desplazamiento; con un valor de 252.64 mm³ en 5586 metros de desplazamiento, en tanto que el acero AISI 1020 sin recubrimiento es aquel con mayor volumen desgastado de 761.03 mm³.

El tratamiento térmico de Cementación, produjo un volumen perdido por desgaste abrasivo de 419.48 mm³ en 5586 metros, el metalizado por aleación níquel-cromo

aplicado sobre el acero AISI 1020 un rango de 483.26 mm³, la probeta sometida a nitruración un volumen de 522.90 mm³, en tanto que el revestimiento de aluminio presenta un volumen de desgaste abrasivo de 552.13 mm³, una gran diferencia con el volumen desgastado de la probeta sin recubrimiento, sin embargo al ser interfaz entre los elementos aleantes de los metalizados de níquel-cromo y tungsteno, poseyendo poca resistencia al desgaste, se lo considera despreciable para efectos de estudio.

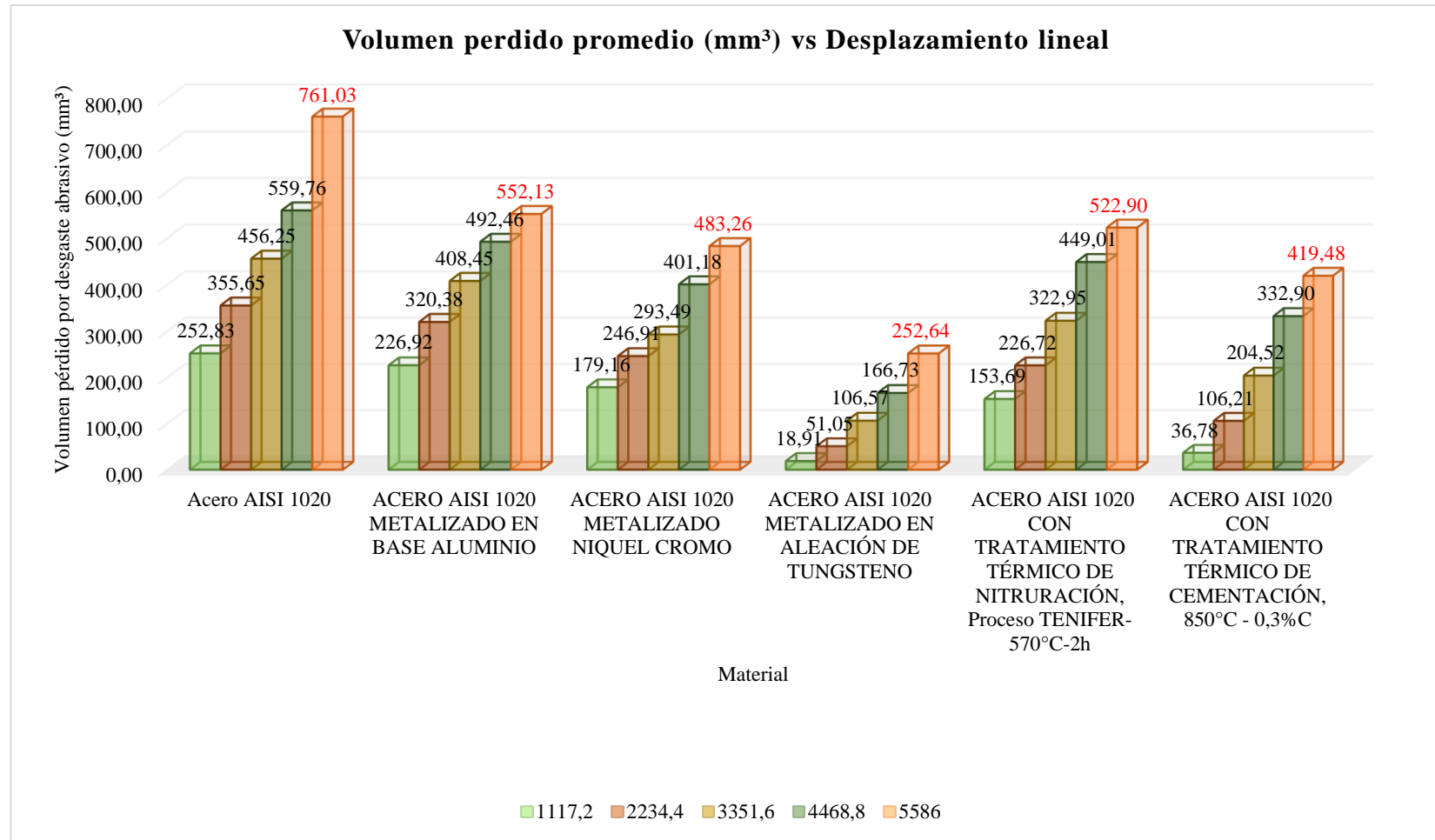


Gráfico 53. Volumen perdido promedio en mm³ producido por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70±20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente en función del desplazamiento.

Fuente: El autor

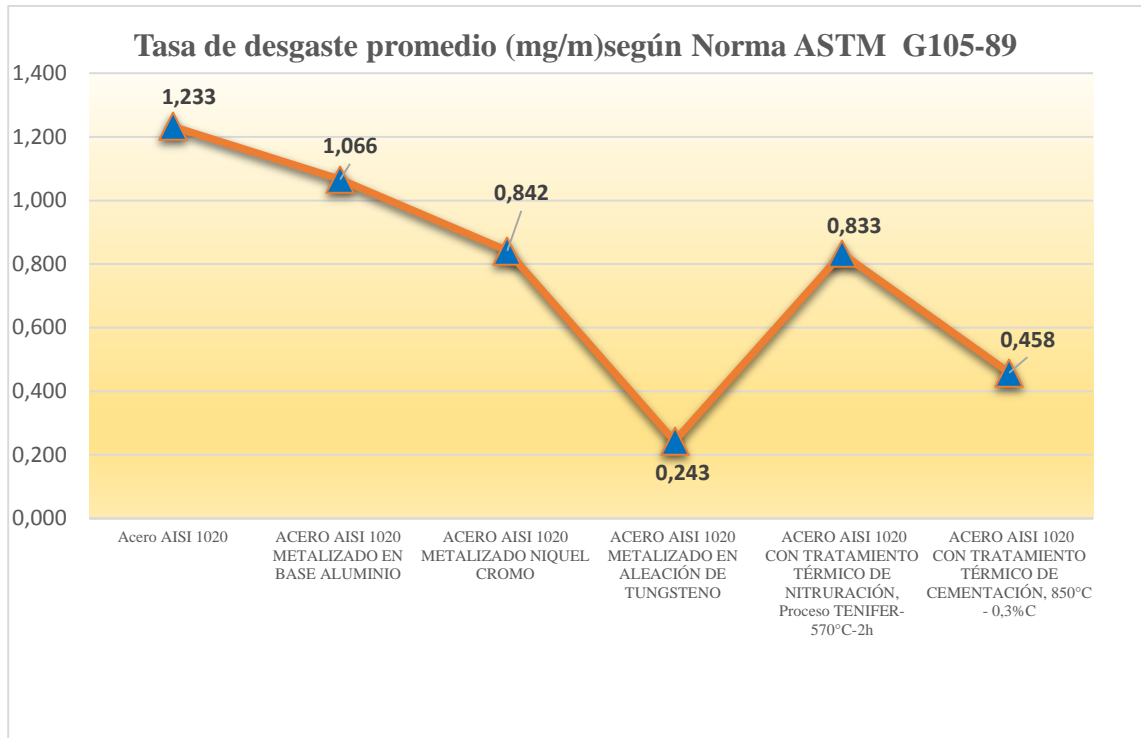


Gráfico 54. Tasa de desgaste abrasivo promedio (miligramos/metro) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70±20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

De acuerdo al gráfico 54, se determina que los índices de tasa de desgaste promedio para un disco abrasivo shore A70, son 0.243 mg/m para el Acero AISI 1020 metalizado con aleación de tungsteno, siendo este valor el de menor tasa; 0.458 mg/m para el acero cementado, 0.833 mg/m para el acero nitrurado, 0.842 mg/m para el acero metalizado con níquel tungsteno, 1.066 mg/m para el acero metalizado con base aluminio, y por último, aquel de mayor tasa de desgaste el metal acero AISI 1020 sin recubrimiento con 1.233 mg/m (miligramos/metros), para un desplazamiento de 5586 metros.

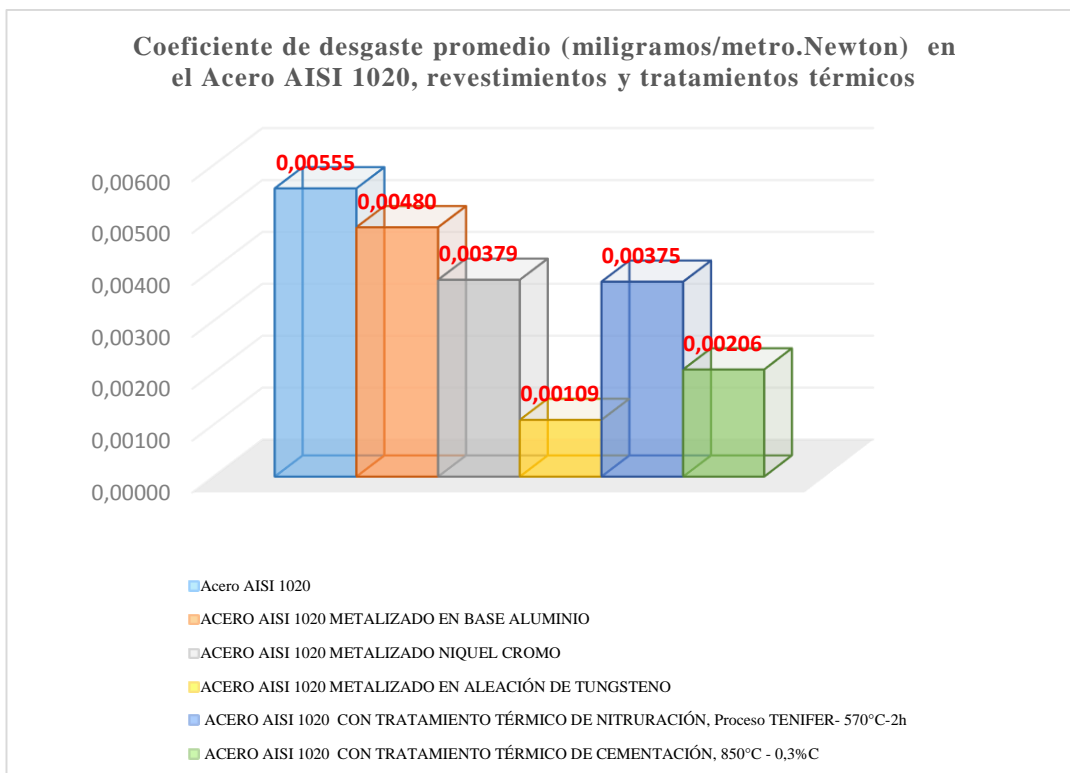


Gráfico 55. Coeficiente de desgaste abrasivo promedio en miligramos/metro. Newton en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para el acero AISI1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

Como se observa en el gráfico 55, para el acero AISI 1020 sin recubrimiento se presenta el mayor coeficiente de desgaste cuyo valor es de 0.0055 miligramos/metro. Newton, para el acero metalizado de aluminio 0.0048 mg/mN, el acero metalizado con níquel-cromo con 0.00379 y nitrurado con 0.0037 mg/mN, mientras que para el acero con metalizado de Tungsteno es de 0.00109, y la muestra del tratamiento con cementación con un valor de 0.00206 mg/mN.

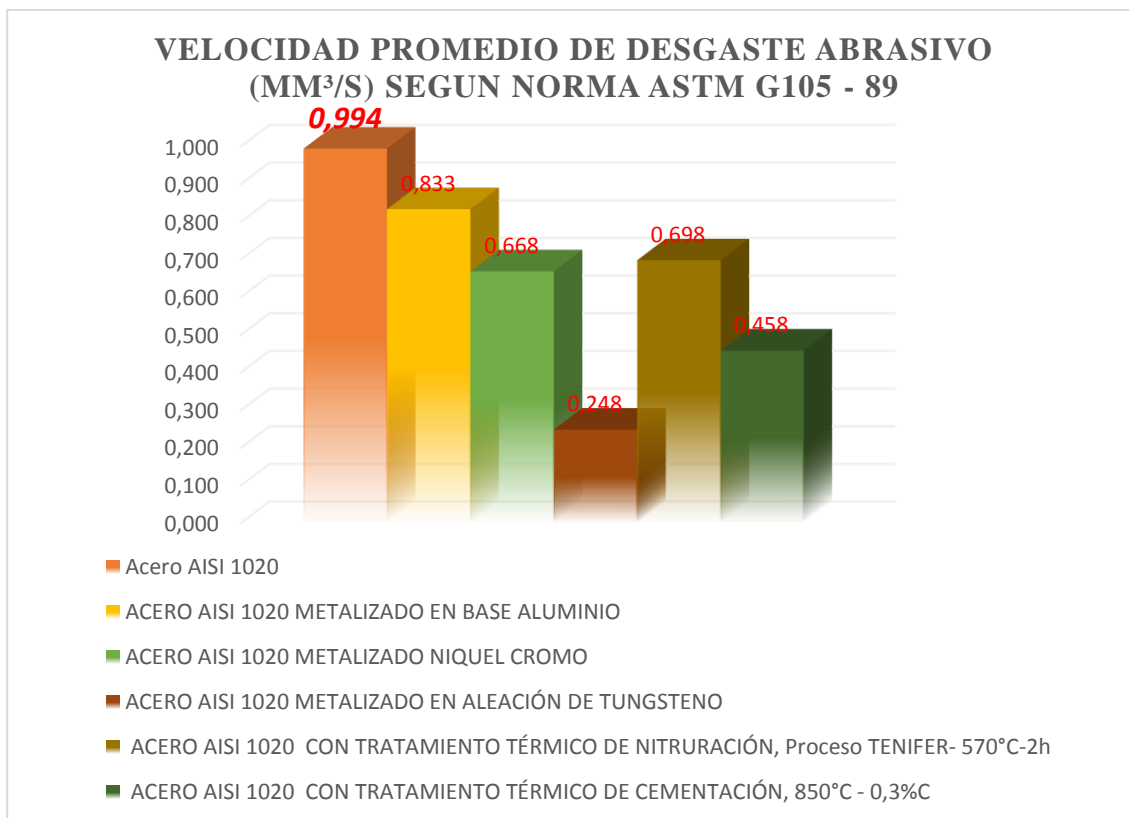


Gráfico 56. Velocidad promedio de desgaste abrasivo (mm³/s) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para el acero AISI 1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

Del gráfico 56 se obtiene que el acero con metalizado de aleación de tungsteno origina el menor índice de velocidad promedio, su valor es de 0.248 mm³/s en tanto que los niveles más altos alcanzan el acero AISI 1020 y la probeta metalizada a base de aluminio con valores de 0.994 y 0.833 mm³/s respectivamente, entre las velocidades medias se encuentran las probetas con metalizados con níquel-cromo y tratamiento térmico de nitruración con rangos de 0,668 y 0.698 mm³/s respectivamente, y por último la velocidad de desgaste de cementación es la segunda de menor valor que es de 0.458 mm³/s.

4.3.4 Análisis de resultados de desgaste abrasivo en un medio acuoso según la Norma ASTM G105-89 - Acero ASTM A 514

4.3.4.1 Representación gráfica de los Resultados de Desgaste abrasivo en el Acero ASTM A 514 GRADO F, con revestimientos metalizados, tratamientos térmicos de Nitruración y Cementación con disco de Neopreno Shore A50, en un medio acuoso bajo la Norma G105-89

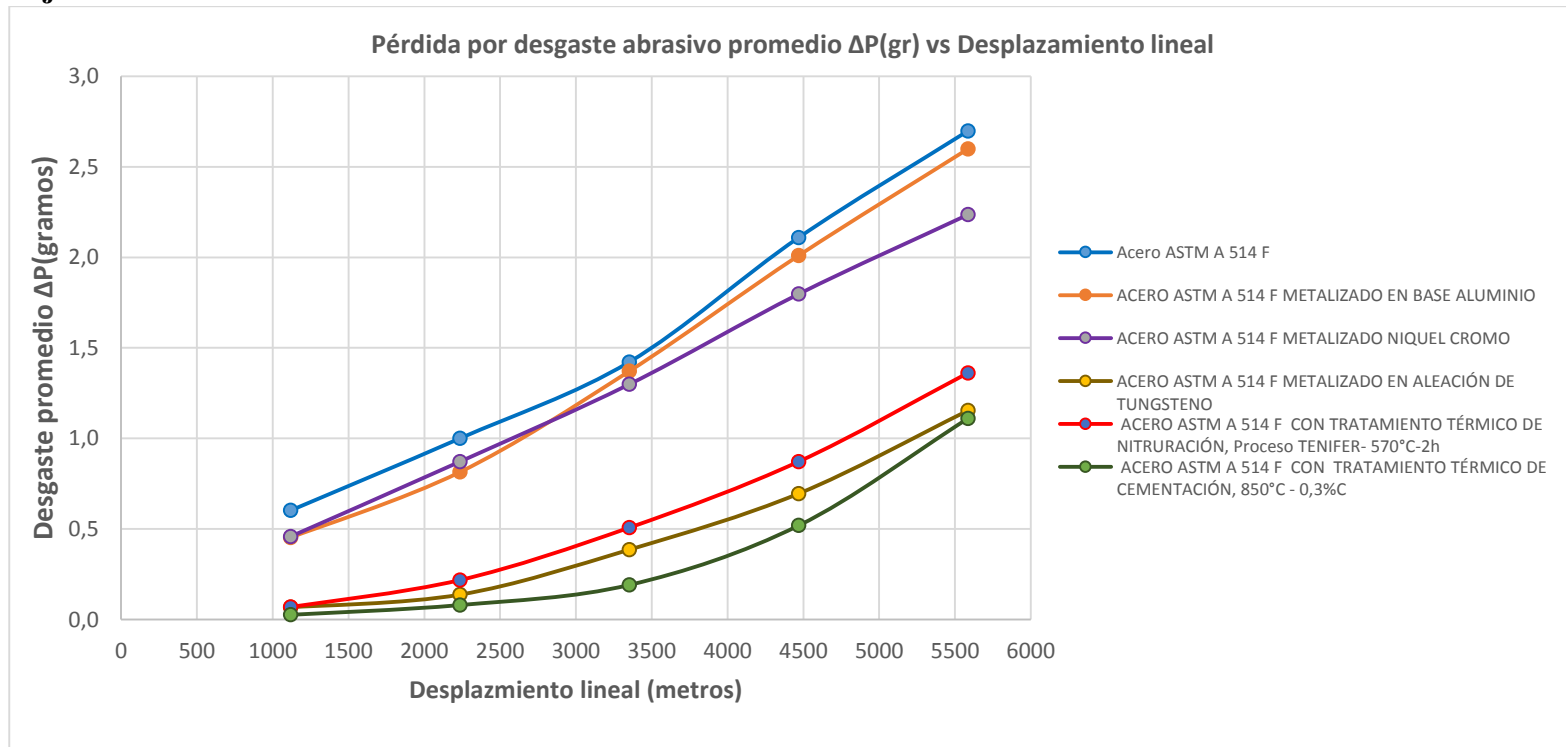


Gráfico 57. Pérdida por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A50±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

En el gráfico 57, se observa una comparación de la pérdida de masa promedio producida por el desgaste abrasivo en régimen acuoso determinado en la Norma ASTM G105-89, con un disco de neopreno de dureza A50, en el Acero ASTM A 514 GRADO F, metal original de los tambores Mixer McNeilus utilizados en la Empresa Holcim Ecuador; con revestimientos aplicados sobre él, tales como el de base aluminio, aleación níquel-cromo, aleación de tungsteno amorfo, tratamientos térmicos de nitruración y cementación, para cada desplazamiento evaluado, dicha variable se calcula a partir de la diferencia entre el peso inicial de la probeta y el peso de la probeta con la huella de desgaste luego de cada desplazamiento; se determinó que el tratamiento de cementación es el de menor pérdida de masa al final de los 5586 metros recorridos con una pérdida de 1.11 gramos , seguido por el acero metalizado con aleación de tungsteno con una pérdida de masa de 1.1540 gramos, en tercer lugar el acero nitrurado con una disminución de masa de 1.36 gramos, en cuarta ubicación está el recubrimiento de níquel-cromo con una disminución de masa de 2.2357 gramos; por otra parte el acero ASTM A 514 grado F sin recubrimiento resulta ser aquel de mayor pérdida por desgaste abrasivo con un rango de 2.6982 gramos , es decir se demuestra que este último experimentalmente sin recubrimientos ni tratamientos térmicos sufre un mayor caso de desgaste abrasivo, para el acero metalizado con base aluminio se obtuvo una pérdida de masa de 2.5988 gramos, misma que se desprecia por ser un recubrimiento base de las del metalizado níquel cromo y tungsteno amorfo.

El tratamiento térmico de cementación, presenta excelentes resultados al ser sometido al proceso de carburización, ante la pérdida de masa por desgaste abrasivo en 5586 metros de desplazamiento, sin embargo, su aplicabilidad en reparaciones correctivas de tambores de mixers, por poseer flejes de chapa metálica de grandes dimensiones no pondera que su uso sea viable.

El metalizado por aleación níquel-cromo aplicado sobre el acero ASTM A 514 grado F, es un revestimiento de condiciones medias, presenta niveles promedios de pérdida por desgaste de 2.2357gramos en 5586metros, siendo este recubrimiento de buena proyección para flejes de mixers en donde el desgaste en el interior del tambor es bajo.

El proceso de Nitruración presenta valores de desgaste de similares características que el del revestimiento metalizado de aleación de tungsteno amorfo, su valor oscila en 1.36 gramos para un desplazamiento de 5586 metros, sin embargo, de igual manera que la cementación resulta inviable por las dimensiones en los flejes del mixer al ser recuperado.

En el gráfico 58, se observa una comparativa de la pérdida volumen generada por el desgaste abrasivo en régimen acuoso determinado en la Norma ASTM G105-89, con un disco de neopreno de dureza A50, aplicado al Acero ASTM A 514 grado F, revestimientos como base aluminio, aleación níquel-cromo, aleación de tungsteno amorfo, los tratamientos térmicos de nitruración y cementación, dicho volumen se calcula con el cociente entre el peso de las probetas desgastadas y el peso específico del acero ASTM A 514 grado F que es 7.80g/cm^3 por 1000, factor de conversión de cm^3 a mm^3 en cada desplazamiento del disco.

Se determinó que el revestimiento de tratamiento térmico de cementación aplicado en el acero ASTM A 514 grado F, posee el menor volumen perdido por longitud de desplazamiento; con un valor de 142.35 mm^3 en 5586 metros de desplazamiento, en tanto que el acero ASTM A 514 grado F sin recubrimiento es aquel con mayor volumen desgastado con un nivel de 345.92 mm^3 .

En segundo lugar de menor pérdida por desgaste abrasivo se halla el acero metalizado con revestimiento de Tungsteno amorfo cuyo nivel de volumen perdido por desgaste abrasivo, que es de 147.95mm^3 en 5586 metros, el metalizado por aleación Níquel Cromo aplicado sobre el acero ASTM A 514 grado F está en la media de pérdida de volumen de 286.62 mm^3 , en tanto que la probeta sometida a Nitruración presenta un rango aceptable similar al de la cementación y el metalizado de tungsteno que es de 173.96 mm^3 , El revestimiento de Aluminio presenta un volumen de desgaste abrasivo de 333.17mm^3 , el cual es irrelevante para efecto de estudio al ser interfaz de metalizado.

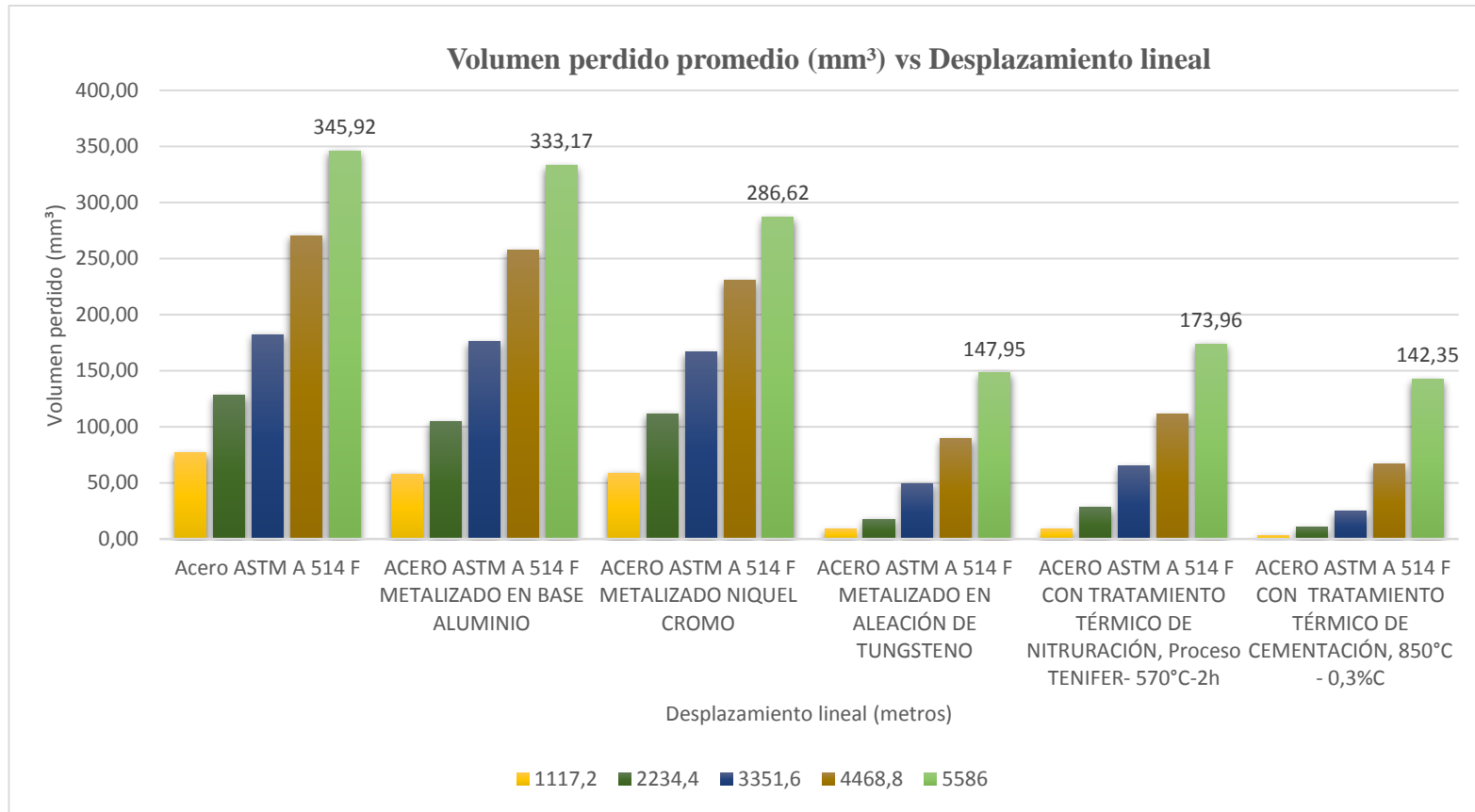


Gráfico 58. Volumen perdido promedio en mm³ producido por Desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente en función del desplazamiento.

Fuente: El Autor

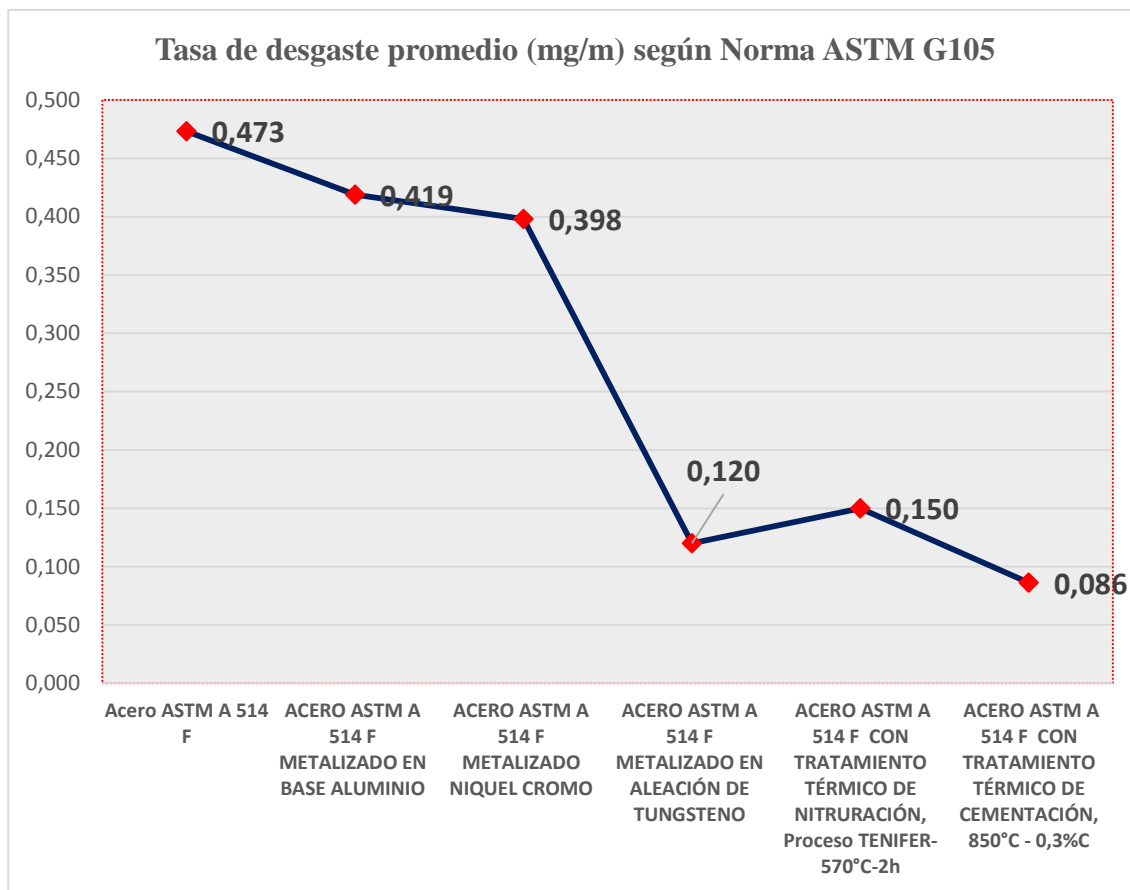


Gráfico 59. Tasa de desgaste abrasivo promedio (miligramos/metro) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El Autor

En el gráfico 59, se obtienen las tasas de desgaste promedio para el acero ASTM A 514 GRADO F, sus revestimientos, y tratamientos térmicos cuyo valor se obtiene del cociente entre la pérdida de masa ΔP (gr) por el número de metros recorridos en cada desplazamiento por 1000, este último es factor de conversión de gramos a miligramos, después se evalúan los valores promedios por cada desplazamiento en cada grupo de probetas y se consiguen los niveles promedio de tasa.

Seguidamente, al haberse determinado la probeta con el tratamiento de cementación como aquella con menor pérdida de masa y volumen, de igual manera resulta ésta como la de menor tasa de desgaste que es de apenas 0.086 mg/m y la de mayor tasa la probeta de acero ASTM A 514 grado F sin recubrimiento con 0.473 mg/m, la segunda en menor tasa de desgaste resulta la muestra con metalizado de aleación tungsteno amorfo cuyo valor se halla en 0.120 mg/m; la tasas media de desgaste es

para el acero metalizado con níquel y cromo de 0.398 mg/m, la tercera de menor desgaste es para la probeta nitrurada con 0.150mg/m; la de base aluminio metalizada se evaluó en 0.419 mg/m, despreciable.

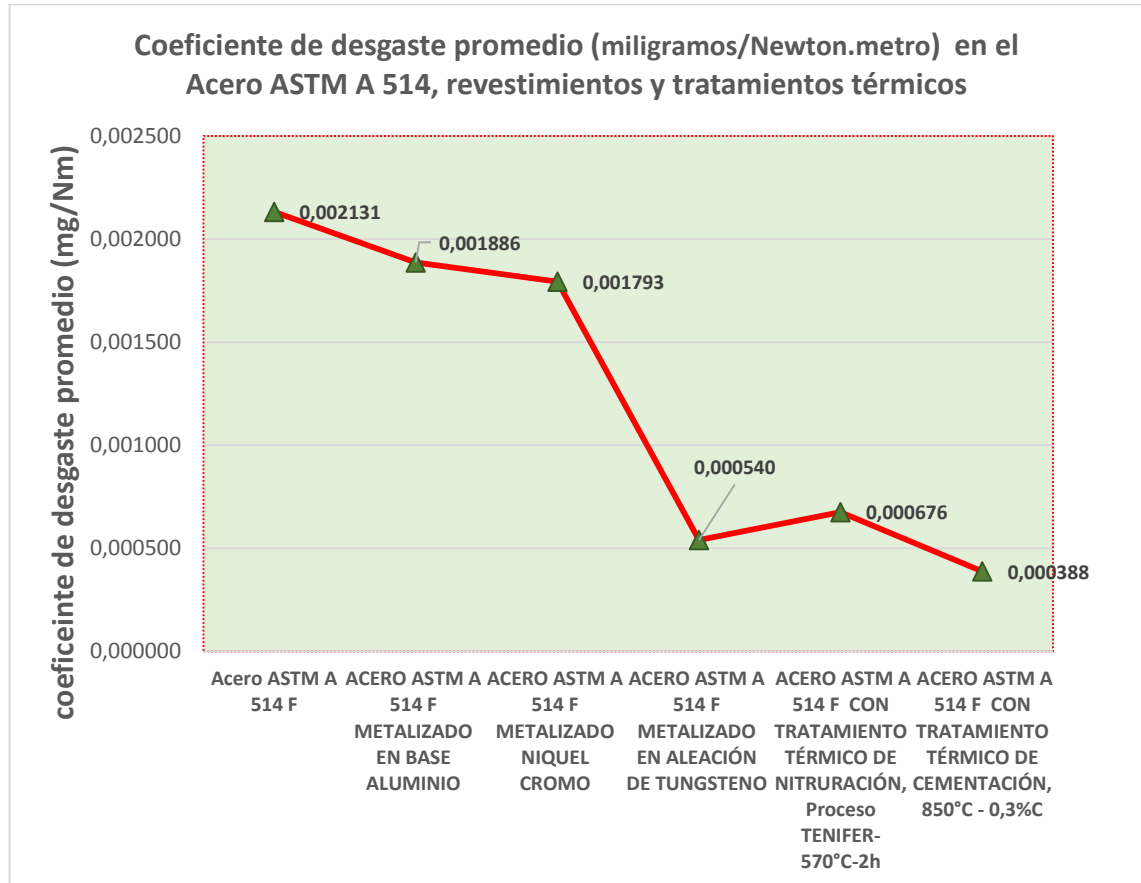


Gráfico 60. Coeficiente de desgaste abrasivo promedio en miligramos/ Newton.metro en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El Autor

El coeficiente de desgaste es un parámetro fundamental en el cálculo de la pérdida por desgaste producido en un material, a través de un medio abrasivo, se obtiene del cociente entre la tasa de desgaste por la fuerza aplicada por el disco abrasivo, cuyo parámetro es de 220N; valores descritos en el gráfico 60 es decir, para el Acero ASTM A 514 GRADO F sin recubrimiento resulta ser el mayor coeficiente de desgaste cuyo valor es de 0,002131 miligramos/ Newton.metro, el factor para la probeta con metalizado de aluminio 0,001886 mg/Nm, intermedicamente los valores del metalizado con níquel-cromo con 0,001793 mg/Nm y Nitrurado con 0,000676 mg/Nm, mientras que para el acero con metalizado de Tungsteno es de 0,000540, y la muestra del tratamiento con cementación con el mejor valor de 0,000388 mg/mN.

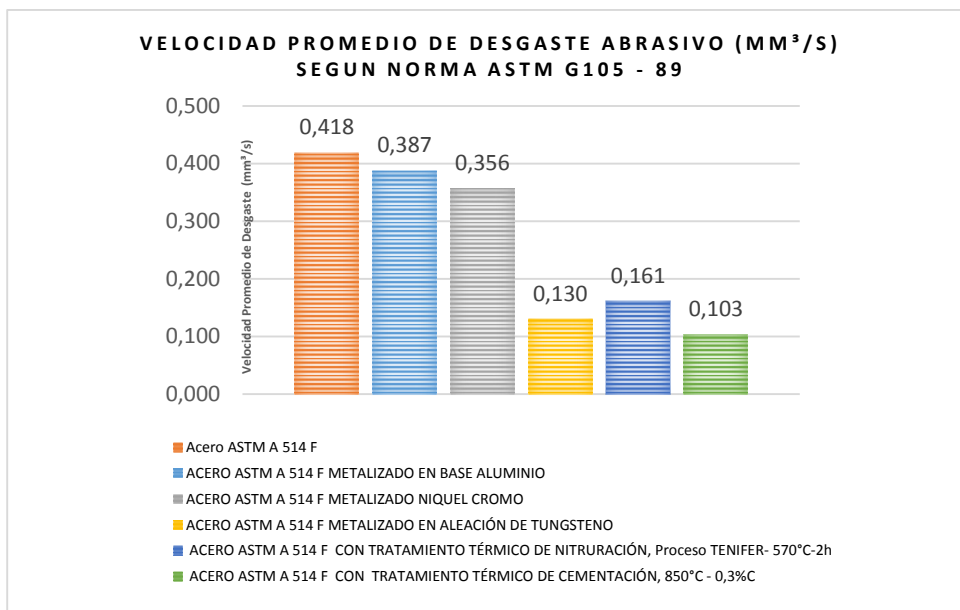


Gráfico 61. Velocidad Promedio de desgaste abrasivo (mm³/s) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente. **Fuente:** El Autor

La velocidad de desgaste abrasivo se ha calculado en función del tiempo al que la probeta alcanzó cada uno de los desplazamientos tomando un $t=8$ minutos equivalente a 480 segundos, entonces resulta ser el cociente entre el volumen perdido por el tiempo de 480 segundos, posteriormente se calcula la media entre las velocidades alcanzadas por cada desplazamiento por cada grupo de probetas, para tal efecto se muestra en el gráfico 61, observamos que el acero con tratamiento térmico de cementación origina el menor índice de velocidad promedio de desgaste abrasivo en función del tiempo, su valor es de 0.103 mm³/s en tanto que los niveles más altos alcanzan el acero ASTM A 514 grado F sin recubrimiento y la probeta metalizada a base de aluminio con valores de 0.418 y 0.387mm³/s respectivamente, entre las velocidades medias de desgaste se encuentran las probetas con metalizados con níquel-cromo con un rango de 0.356 mm³/s, en tanto que el tratamiento térmico de nitruración alcanza un menor valor de 0.161 mm³/s y por último la velocidad de desgaste del acero metalizado con aleación de tungsteno amorfo nos origina el segundo menor valor de velocidad de desgaste, mismo que es de 0.130 mm³/s y el del tratamiento de cementación en el acero ASTM A 514 F es el de menor velocidad de desgaste cuyo valor es 0.103mm³/s.

4.3.4.2 Representación gráfica de los resultados de desgaste abrasivo en el Acero ASTM A 514 grado F, con revestimientos metalizados, tratamientos térmicos de nitruración y cementación con disco de Neopreno Shore A70, en un medio acuoso bajo la Norma G105-89

112

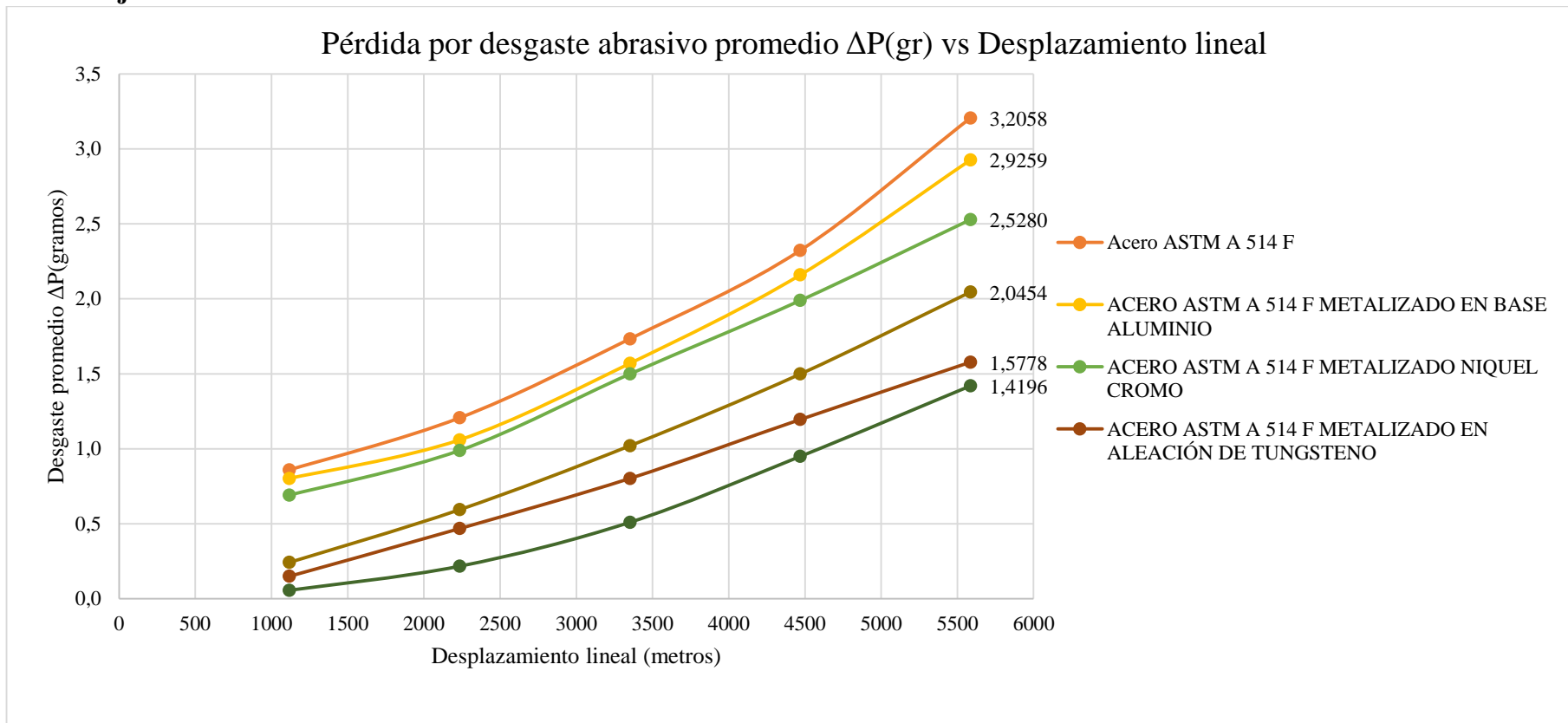


Gráfico 62. Pérdida por Desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El Autor

En el gráfico 62, se observa una comparación de la pérdida de masa promedio producida por el desgaste abrasivo en régimen acuoso determinado en la Norma ASTM G105-89, con un disco de neopreno de dureza A70, en el acero ASTM A 514 grado F, los revestimientos y tratamientos térmicos de probetas del mismo, para cuales se determinó que el tratamiento térmico sobre el acero ASTM A 514 grado F tiene la menor pérdida de masa por longitud de desplazamiento; su nivel tiene un máximo de 1.4196 gramos en 5586 metros recorrido, en tanto que el acero ASTM A 514 Grado F sin recubrimiento es aquel de mayor pérdida por desgaste abrasivo con un rango de 3.2058gramos , debido a que este disco presenta un mayor grado de dureza del Neopreno la pérdida de masa es consecuentemente mayor que la del Disco shore A50.

El acero ASTM A 514 grado F metalizado con aleación de Tungsteno amorfo posee la segunda menor pérdida por Desgaste con un rango de 1.5778 gramos; para el revestimiento por aleación níquel-cromo resulta ser de condiciones intermedias, cuyo valor de pérdida por desgaste de 2.5280 gramos en 5586metros, por otro lado el acero tratado térmicamente y nitrurado está en tercera posición de menor desgaste cuyo valor oscila en 2.0454 gramos, se desprecia el acero metalizado de base aluminio por cuanto es una interfaz entre el metal base y el revestimiento final (Ni-Cr) y W cuyo desprendimiento de masa es de 2.9259 gramos .

En el gráfico 63, se presenta el volumen perdido promedio por efectos de Desgaste abrasivo en régimen acuoso determinado en la Norma ASTM G105-89, con un disco de neopreno de Dureza **A70**, aplicado sobre el acero ASTM A 514 GRADO F, sus recubrimientos de base aluminio, aleación níquel-cromo, aleación de Tungsteno amorfo, así como los tratamientos térmicos de nitruración y cementación.

Se determinó que el tratamiento térmico sobre el acero ASTM A 514 GRADO F tiene el menor volumen perdido promedio por longitud de desplazamiento; su nivel tiene un rango mínimo de 182 mm³ en 5586 metros recorridos, en tanto que el acero ASTM A 514 GRADO F sin recubrimiento es aquel de mayor pérdida de volumen con un rango de 411 mm³.

El metalizado de aleación tungsteno amorfo, produjo el segundo menor volumen perdido por desgaste abrasivo que es 202.28 mm^3 en 5586 metros, seguidamente del tratamiento de nitrurado sobre el acero ASTM A 514 grado F , cuyo valor es 261.29 mm^3 ; el metalizado por aleación Níquel Cromo aplicado sobre el acero ASTM A 514 grado F posee un nivel de 324.10 mm^3 , en tanto que el revestimiento de Aluminio presenta un volumen de desgaste abrasivo de 375.11 mm^3 , sin embargo al ser interfaz entre los elementos aleantes de los metalizados de Níquel Cromo y Tungsteno, se lo considera despreciable para efectos de estudio.

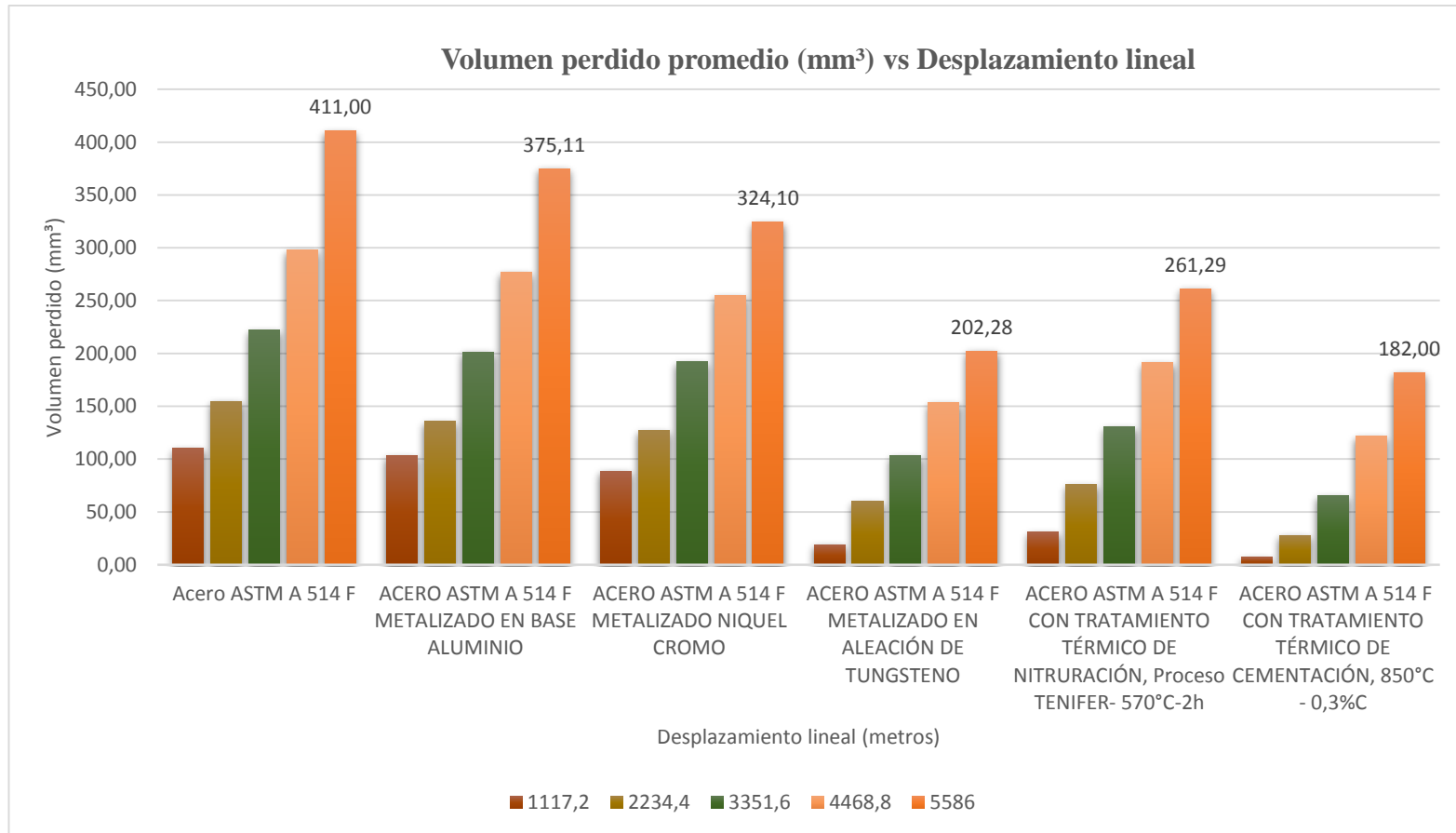


Gráfico 63. Volumen perdido promedio en mm³ producido por Desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente en función del desplazamiento.

Fuente: El Autor

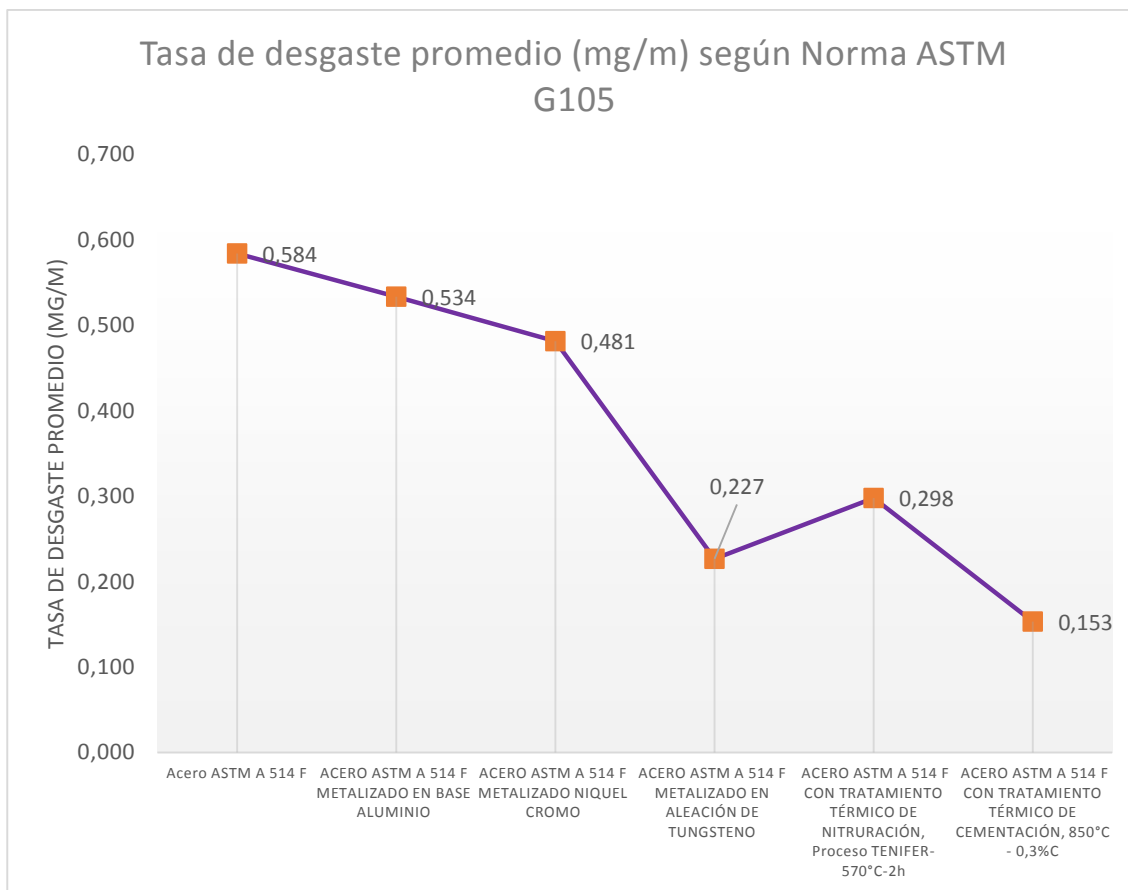


Gráfico 64. Tasa de desgaste abrasivo promedio (miligramos/metro) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

En el gráfico 64, se determina que los índices de tasa de desgaste promedio para un disco abrasivo shore A70, son 0.153 mg/m para el Acero ASTM A 514 GRADO F tratado térmicamente cementado , seguido del metalizado con aleación de Tungsteno, en segunda ubicación con 0.227 mg/m, a continuación el acero tratado térmicamente con Nitrurado con un valor de 0.298 mg/m siendo este el tercero de menor tasa; 0.481 mg/m para el acero metalizado con níquel-cromo, siendo de una tasa de nivel intermedio; por otra parte el valor 0.534 mg/m para el acero metalizado con base aluminio despreciable , y por último, aquel de mayor tasa de desgaste el acero ASTM A 514 grado F sin recubrimiento con 0.584 mg/m (miligramos/metros).

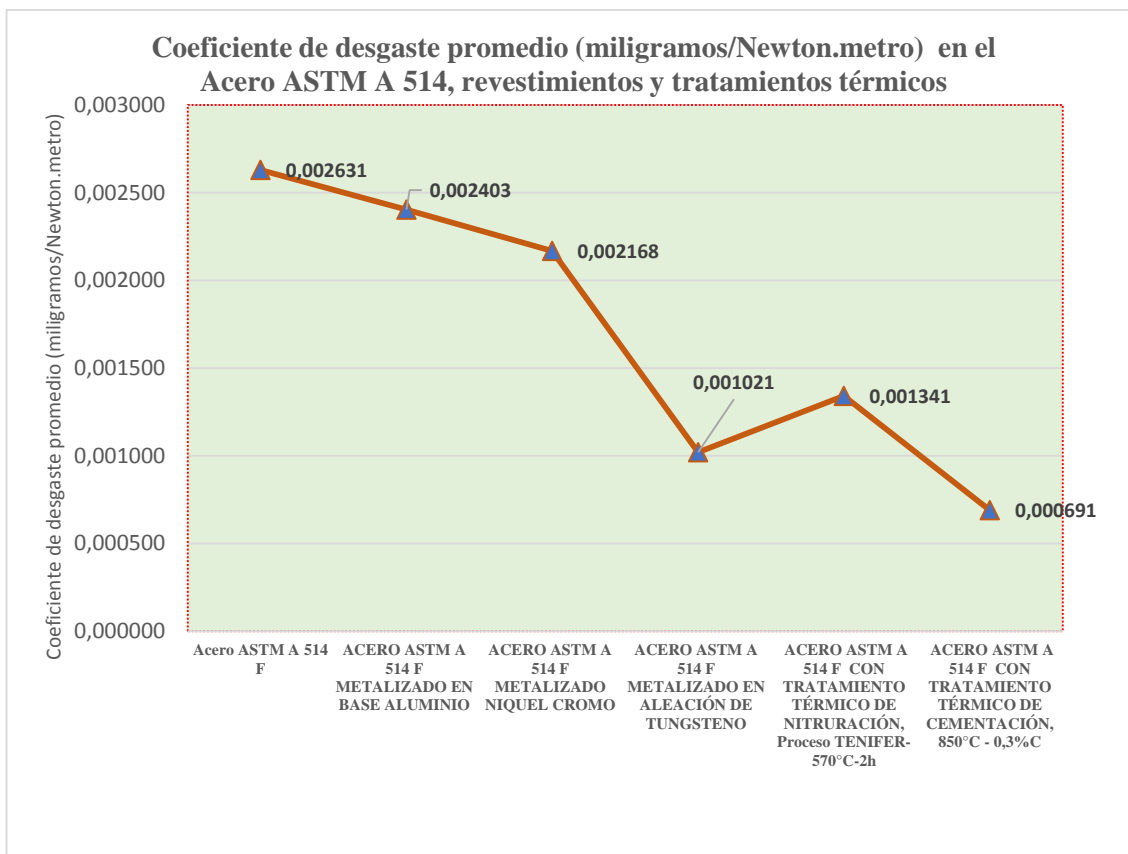


Gráfico 65. Coeficiente de desgaste abrasivo promedio en miligramos/metro. Newton en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El Autor

En el gráfico 65 se indica que para el Acero ASTM A 514 GRADO F sin recubrimiento se presenta el mayor coeficiente de desgaste cuyo valor es de 0,002631 miligramos/ Newton.metro, para el acero metalizado de aluminio 0,002403mg/Nm, el acero metalizado con Níquel Cromo con 0,002168 y Nitrurado con 0,001341 mg/Nm, mientras que para el acero con metalizado de Tungsteno es de 0,001021, y la muestra con tratamiento con Cementación presenta un valor de 0,000691mg/Nm, siendo este último el de menor coeficiente de Desgaste abrasivo.

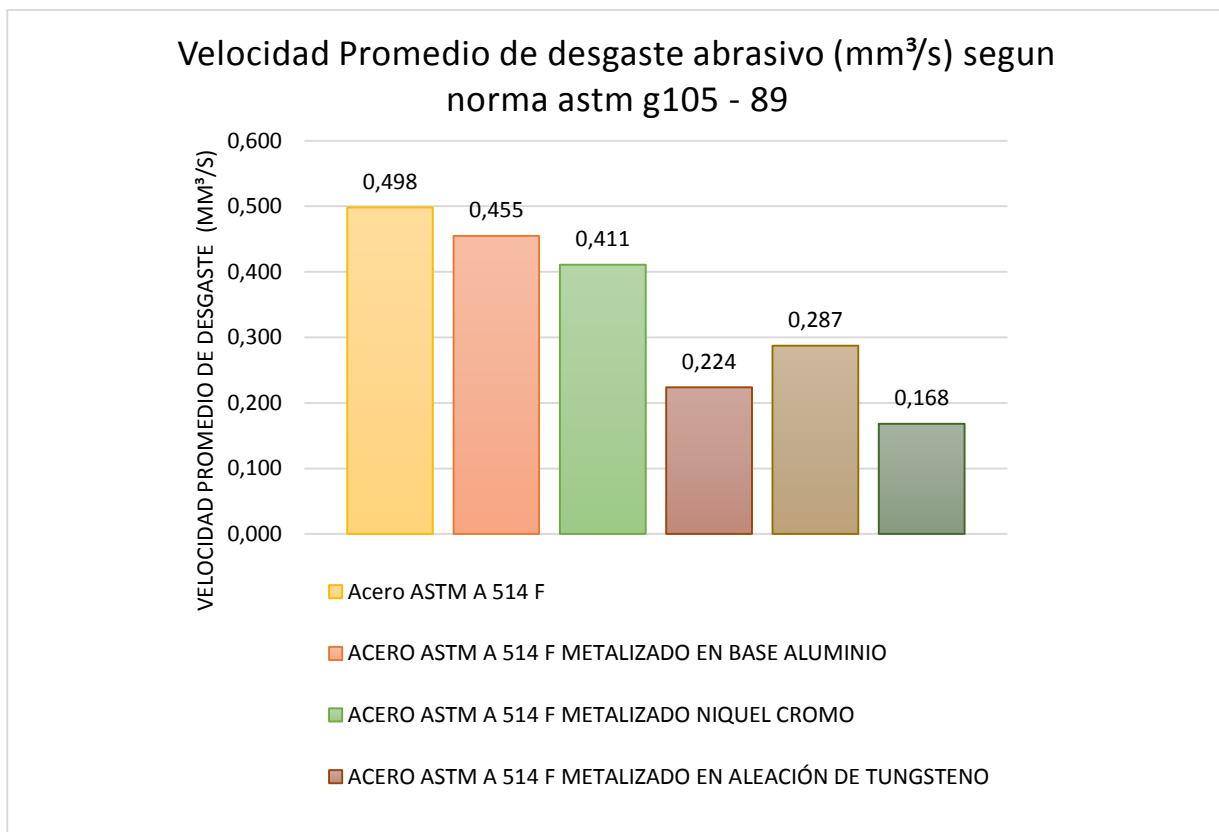


Gráfico 66. Velocidad Promedio de desgaste abrasivo (mm^3/s) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo $A70\pm 20$ para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El Autor

En el gráfico 66, se observa que el acero con tratamiento térmico con Cementación origina el menor índice de velocidad promedio de Desgaste abrasivo, su valor es de $0.168 \text{ mm}^3/\text{s}$ en tanto que los niveles más altos alcanzan el acero ASTM A 514 grado F y la probeta metalizada a base de aluminio con valores de 0.498 y $0.455 \text{ mm}^3/\text{s}$ respectivamente; entre las velocidades medias se encuentran las probetas con metalizados con níquel-cromo y tratamiento térmico de nitruración con rangos de 0.411 y $0.287 \text{ mm}^3/\text{s}$ respectivamente, consecuentemente la segunda menor velocidad de desgaste posee el acero metalizado con Tungsteno amorfo cuyo valor es de $0.224 \text{ mm}^3/\text{s}$ y el más óptimo en función del tiempo de aplicación.

4.3.5 Comparación de resultados de desgaste abrasivo en un medio acuoso según la Norma ASTM G105-89, para Aceros AISI 1020 y ASTM A 514, sin revestimiento, tratados térmicamente, nitrurados y cementados, metalizados con recubrimientos de base aluminio, níquel-cromo, tungsteno amorfo.

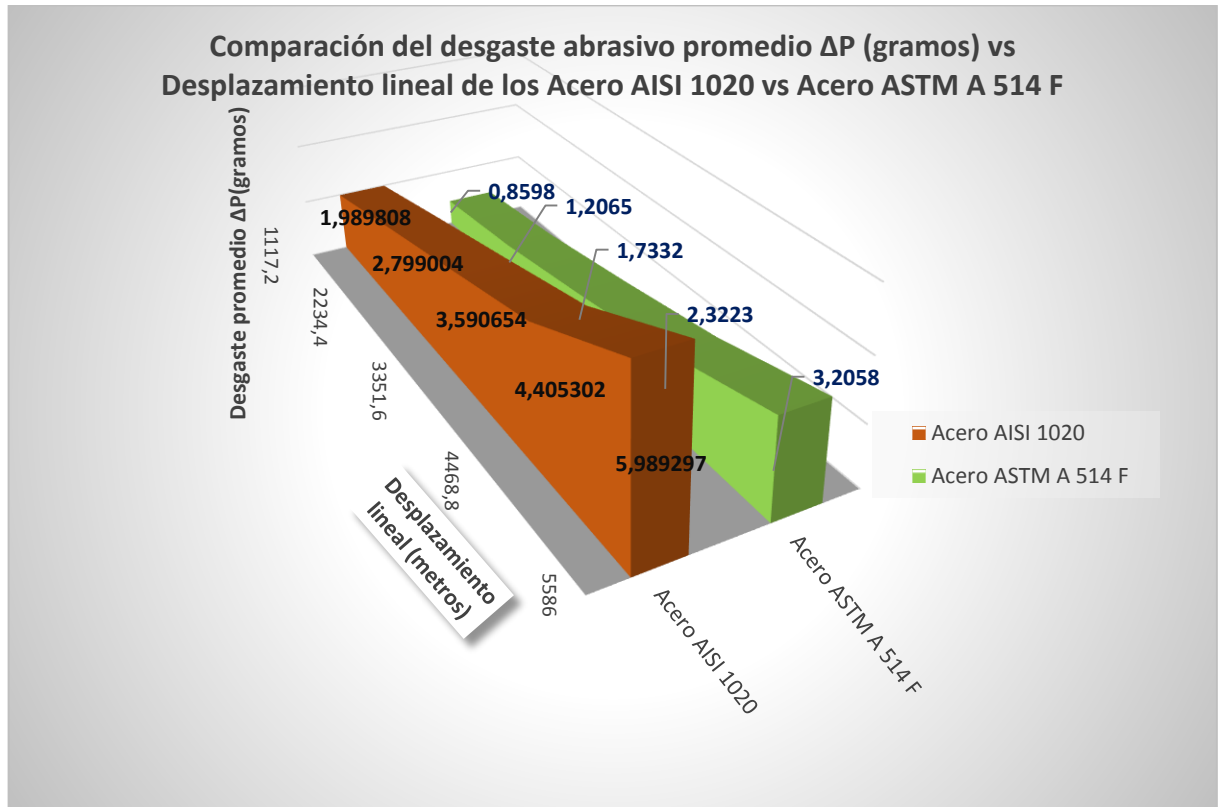


Gráfico 67. Comparación de la Pérdida por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 GRADO F, sin revestimientos

En el gráfico 67, se efectuó la comparación de los aceros AISI 1020 y ASTM A 514 grado F, bajo las mismas condiciones de evaluación del desgaste, realizado con el disco abrasivo A SHORE A70±20 bajo la Norma G 105, que para tal efecto se comprueba un considerable nivel de Desgaste abrasivo de ambos aceros, sin embargo el acero AISI 1020 posee un mayor pérdida de material en contraste al Acero ASTM A 514 grado F, niveles de 5.98 gramos contra 3.20 gramos del ASTM A 514 grado F, lo que determina que el acero AISI 1020 se desprende aproximadamente en un 86% más que el Acero ASTM A 514 F sin recubrimiento, por ende el acero AISI 1020 se desgasta más que el acero ASTM A 514, al no ser tratado térmicamente ni metalizado.

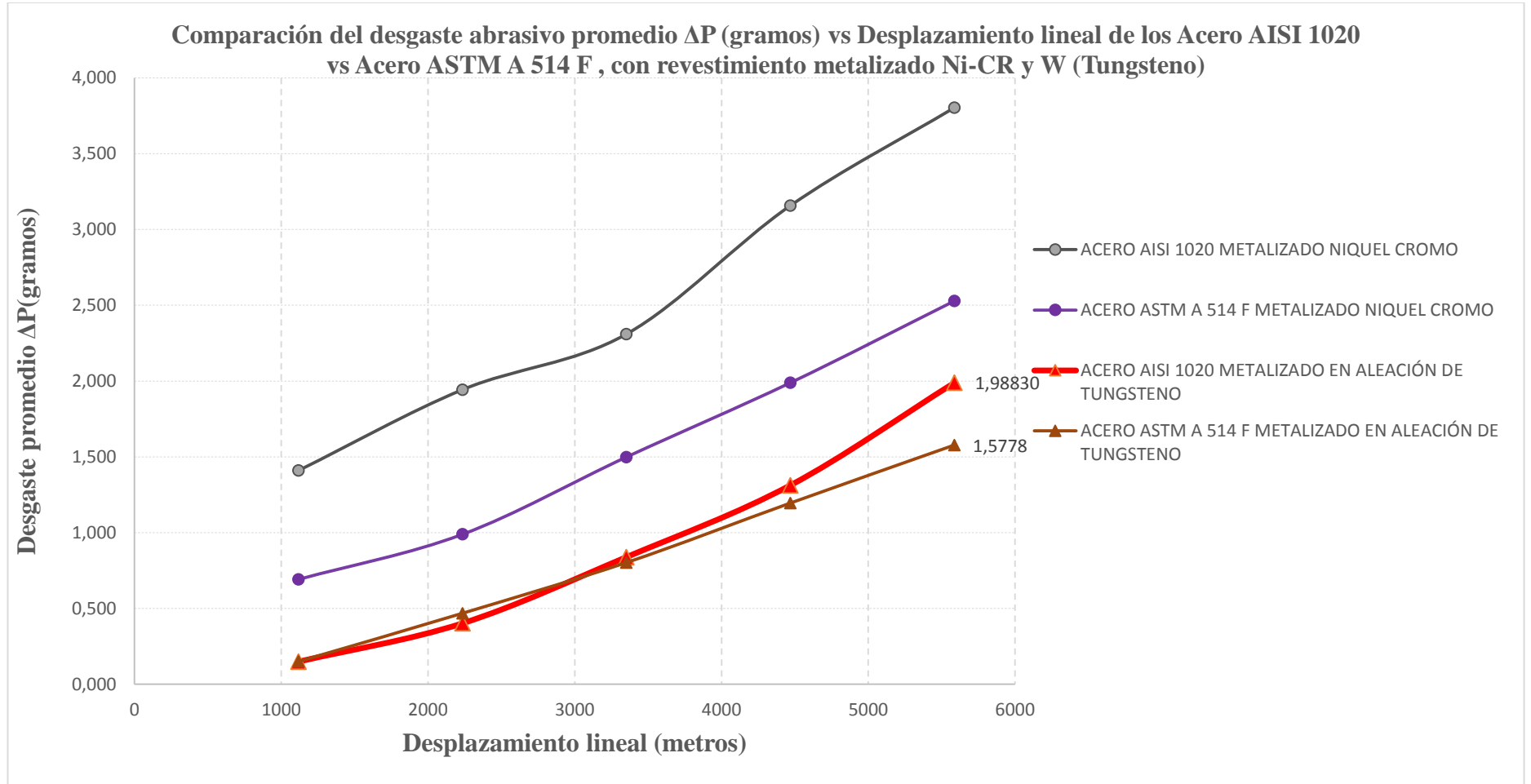


Gráfico 68. Comparación de la Pérdida por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 GRADO F, con recubrimiento metalizado con Níquel-Cromo y revestimiento de Tungsteno.

Fuente: El autor

En el gráfico 68, se efectuó la comparación de los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 grado F, con recubrimientos metalizados de níquel-cromo y aleación de Tungsteno amorfo, bajo las mismas condiciones de evaluación del desgaste, realizado con el disco abrasivo A SHORE A70±20 bajo la Norma G 105, que para tal efecto se comprueba nivel intermedio de Desgaste abrasivo de los aceros revestidos de níquel-cromo, sin embargo el acero AISI 1020 con Ni-Cr posee una mayor pérdida de material en contraste al Acero ASTM A 514 grado F con Ni-Cr, niveles de 3.80328 gramos contra 2.5280 gramos del ASTM A 514 grado F con Ni-Cr, lo que determina que el acero AISI 1020 se desprende aproximadamente en un 66.5% más que el Acero ASTM A 514 F con Ni-Cr, en el caso del acero AISI 1020 con aleación de Tungsteno, la línea de tendencia es similar para ambos aceros AISI 1020 y ASTM A 514 F, por tanto se comprueba que para el caso del Acero AISI 1020 con W(Tungsteno) se podría utilizar como reemplazo del acero ASTM A 514 F original del mixer, siempre en cuando el acero AISI 1020 este recubierto con aleación de Tungsteno amorfo.

En el gráfico 69, se efectuó la comparación de los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 grado F, con tratamientos térmicos de nitruración y cementación, bajo las mismas condiciones de evaluación del desgaste, realizado con el disco abrasivo A Shore A70±20 bajo la Norma G 105, que para tal efecto se comprueba un desgaste mayor por parte del acero AISI 1020 nitrurado en relación al Acero ASTM A 514 F nitrurado; que es del 100% aproximadamente en pérdida de masa, es decir para el acero AISI 1020 nitrurado se obtuvo una pérdida de 4.11 gramos en comparación con el acero ASTM A 514 grado F que es de 2.04 gramos; para los Aceros AISI 1020 cementado y ASTM A514 F cementado se obtienen los valores por desgaste de 3.30 gramos para el AISI 1020 en contraste del acero ASTM A514 F con 1.42 gramos, lo que proyecta una pérdida aproximada del 132% más para el Acero AISI 1020 cementado en comparación al ASTM A 514 F. Por cual situación no es viable la aplicación de tales tratamientos anteriormente mencionados en reemplazo del acero ASTM A 514 F ya que el rendimiento no es similar por parte del acero AISI 1020 nitrurado y cementado.

En el gráfico 70 se resume la comparación de la tasa de Desgaste de los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514F , el mismo que nos indica que el Acero ASTM 514 F con recubrimiento de Tungsteno y el Acero AISI 1020 con el mismo revestimiento poseen el mismo comportamiento en tales condiciones de Desgaste, se demuestra que las tasas aproximadas del acero AISI 1020 con W presenta una tasa de desgaste de 0.24 mg/m mientras que el acero ASTM A 514 grado F tiene un nivel de 0.23mg/m, por lo tanto se demuestra que el ACERO AISI 1020 con recubrimiento metalizado de Tungsteno tiene un nivel aceptable de comportamiento al desgaste como el ASTM A 514 F bajo las mismas condiciones.

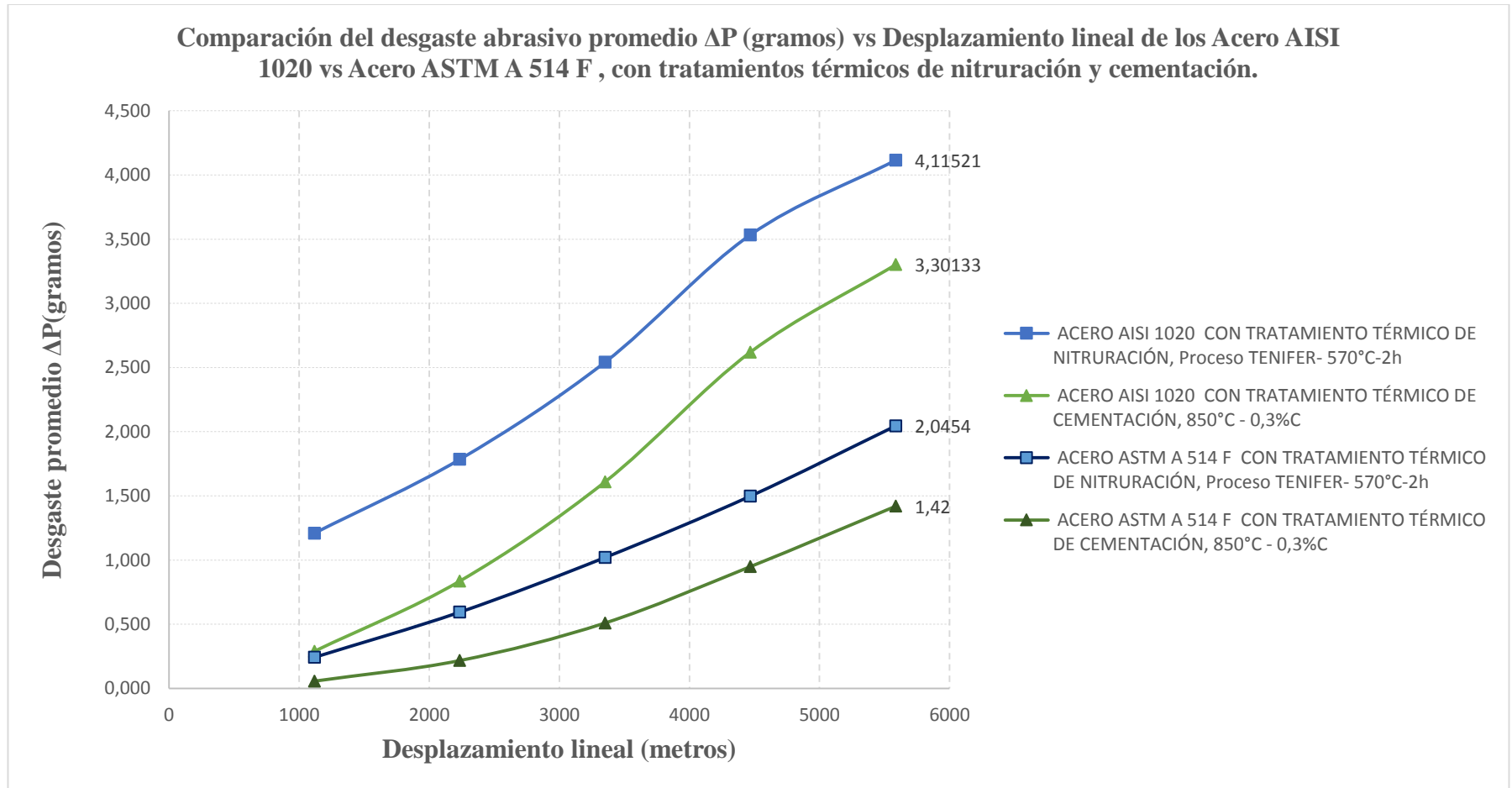


Gráfico 69. Comparación de la Pérdida por desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 GRADO F, con tratamiento térmico de Nitrurado y Cementado.

Fuente: El Autor

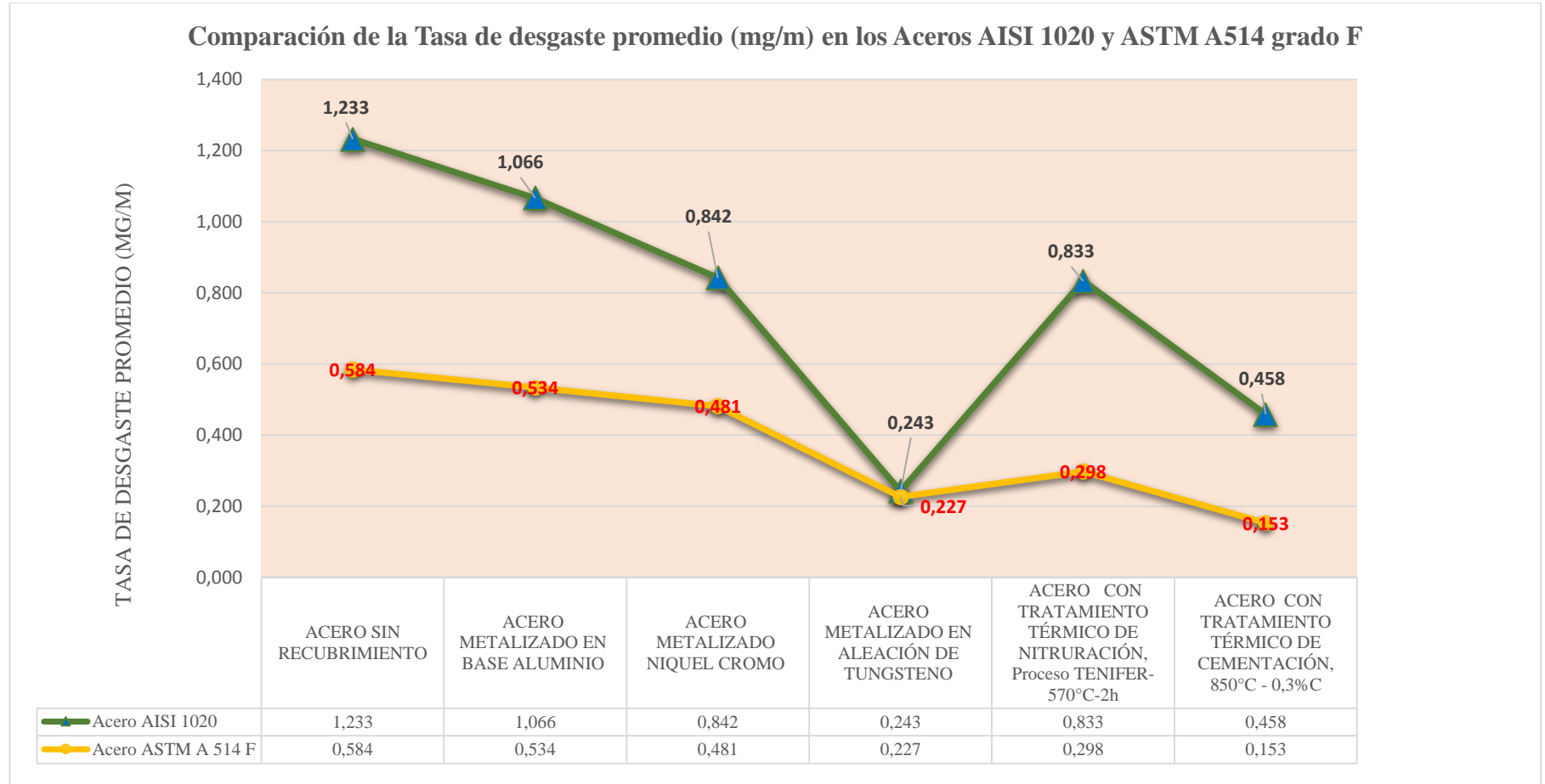


Gráfico 70. Comparación de la Tasa de Desgaste en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco abrasivo A70±20 para los Aceros AISI 1020 y ASTM A 514 GRADO F, sin recubrimientos, metalizados con base aluminio, Níquel Cromo, Aleación de Tungsteno amorfo y tratamiento térmico de Nitrurado y Cementado.

Fuente: El Autor

4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

HIPÓTESIS: La aplicación de recubrimientos metalizados en el acero AISI 1020 utilizado en los tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato disminuirá el desgaste abrasivo.

Comprobación:

Por medio de los estudios realizados acerca del desgaste abrasivo evaluado bajo la norma ASTM G-105 que fue realizado en Aceros AISI 1020 y Acero de alta resistencia al desgaste ASTM A514 grado F correspondiente al tambor de Mixer Holcim, se hace una comparación de la pérdida de masa promedio producida por el desgaste abrasivo en régimen acuoso determinado en la Norma ASTM G105-89, con un disco de neopreno de Dureza A50, en el acero AISI 1020, de uso común, los revestimientos aplicados sobre él, como base aluminio, aleación níquel-cromo, aleación de tungsteno amorfo, los tratamientos térmicos de nitruración y cementación, para cada desplazamiento realizado.

Luego de ello se establecieron otras propiedades tribológicas, tales como: la tasa, el coeficiente y la velocidad de desgaste, que son parámetros que principalmente se estudia en el presente proyecto, que se obtuvo al dividir el volumen para cada uno de los tiempos de acuerdo a la Norma ASTM G-105-89, determinando la velocidad de desgaste para los procedimientos con el disco Neopreno Dureza Shore A50 ± 20 y disco Neopreno dureza Shore A70 ± 20 en el Acero AISI 1020 Normalizado, de la misma manera el análisis con el disco Neopreno dureza Shore A50 ± 20 y con disco Neopreno dureza Shore A70 ± 20 en el acero ASTM A 514 grafo F.

4.4.1 Verificación de la hipótesis

Acero AISI 1020

Para la verificación de la hipótesis se toma únicamente uno de los procedimientos realizados en el Acero AISI 1020, en este caso el análisis con el disco Neopreno Dureza Shore A50 ± 20 de acuerdo a los datos que se observan en la tabla 21.

Tabla 21. Resultados de ensayos de desgaste abrasivo en los aceros AISI 1020 Normalizado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE 																	
Acero AISI 1020 Normalizado, Análisis con el disco Neopreno Dureza Shore A50 ±20																	
ACERO AISI 1020 SIN RECUBRIMIENTO			ACERO AISI 1020 METALIZADO EN BASE ALUMINIO			ACERO AISI 1020 METALIZADO EN BASE NIQUEL CROMO			ACERO AISI 1020 METALIZADO EN ALEACIÓN DE TUNGSTENO			ACERO AISI 1020 CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE NITRURACIÓN, PROCESO TENIFER-570°C-2h			ACERO AISI 1020 CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850 °C-0, 3% C		
PROB	Despla (m)	Veloc (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Veloc (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Veloc. (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Veloc. (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Veloc. (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Veloc. (mm3/s)
1,1	1117,2	0,264009	1,2	1117,2	0,25374	1,3	1117,2	0,17827	1,4	1117,2	0,01591	1,5	1117,2	0,18865	1,6	1117,2	0,03626
	2234,4	0,458769		2234,4	0,49138		2234,4	0,33889		2234,4	0,04074		2234,4	0,3841		2234,4	0,13233
	3351,6	0,677369		3351,6	0,71082		3351,6	0,59211		3351,6	0,10297		3351,6	0,57245		3351,6	0,26654
	4468,8	0,926488		4468,8	0,96421		4468,8	0,79867		4468,8	0,21504		4468,8	0,76091		4468,8	0,39377
	5586	1,195733		5586	1,1269		5586	0,98061		5586	0,3253		5586	0,88433		5586	0,59183
Acero AISI 1020 Normalizado, Análisis con el disco Neopreno Dureza Shore A70 ±20																	
PROB	Despla (m)	Veloc (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Veloc (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Veloc. (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Veloc. (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Veloc. (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Veloc. (mm3/s)
2,1	1117,2	0,526739	2,2	1117,2	0,472676	2,3	1117,2	0,37324	2,4	1117,2	0,03939	2,5	1117,2	0,32019	2,6	1117,2	0,07663
	2234,4	0,740948		2234,4	0,66746		2234,4	0,5144		2234,4	0,10636		2234,4	0,47234		2234,4	0,22127
	3351,6	0,950512		3351,6	0,85095		3351,6	0,61145		3351,6	0,22203		3351,6	0,67281		3351,6	0,42608
	4468,8	1,166164		4468,8	1,02595		4468,8	0,83579		4468,8	0,34736		4468,8	0,93544		4468,8	0,69354
	5586	1,585477		5586	1,15026		5586	1,0068		5586	0,52634		5586	1,08937		5586	0,87392

Fuente: El autor

En el gráfico 71 se representa la velocidad de desgaste del Acero AISI 1020 Normalizado de los diferentes tratamientos evaluado con el disco Neopreno Dureza Shore A50 ±20, para de esa manera determinar el procedimiento con menor velocidad de desgaste.

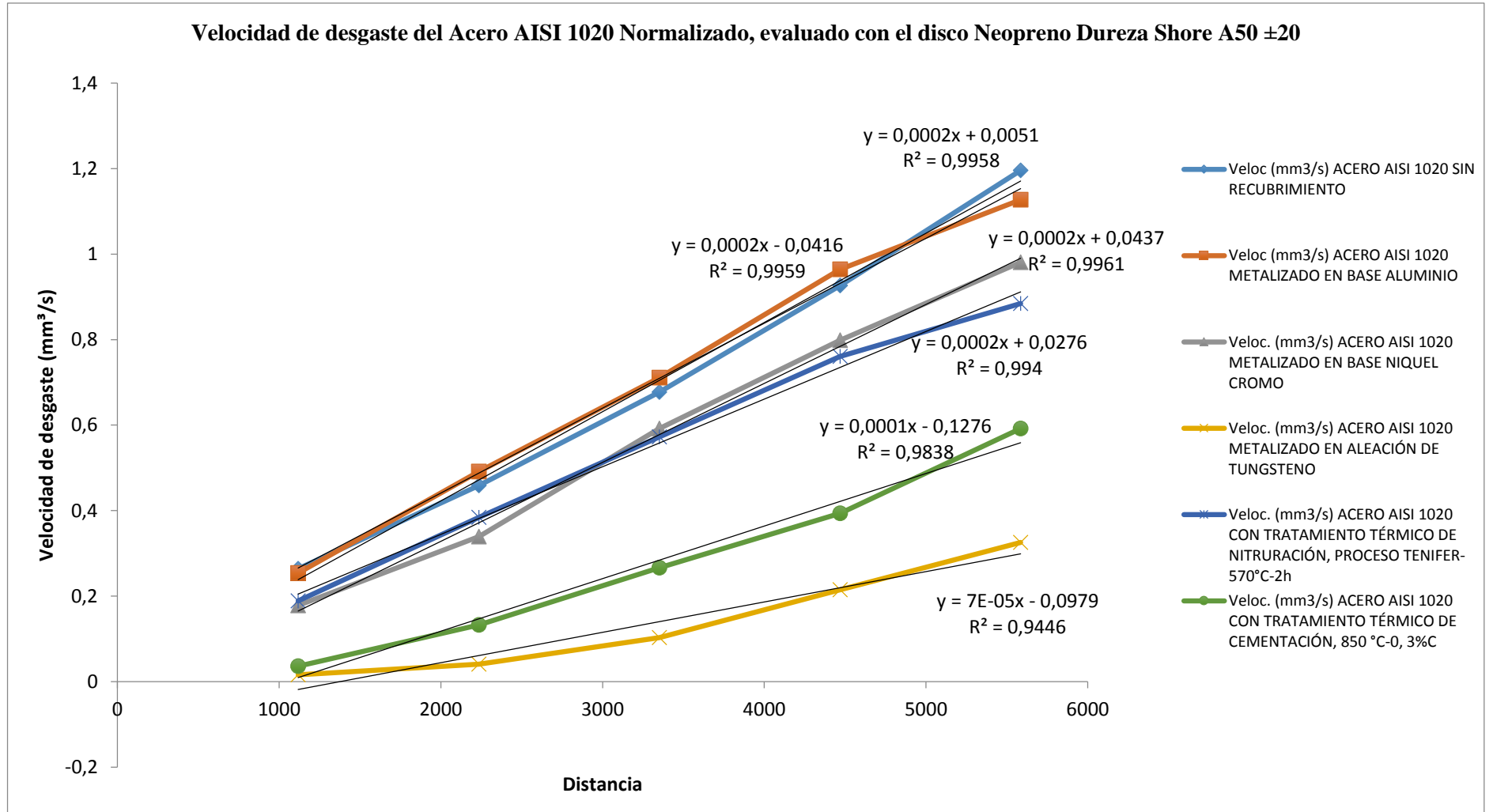


Gráfico 71. Verificación de la hipótesis en el acero AISI 1020 Normalizado, evaluado con el disco Neopreno dureza Shore A50 ±20.

Fuente: El Autor

HIPÓTESIS: La aplicación de recubrimientos metalizados en el acero AISI 1020 utilizado en los tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato disminuirá el desgaste abrasivo.

Mediante las pruebas realizadas con el disco Neopreno dureza Shore A50 ± 20 en el acero AISI 1020 Normalizado sin recubrimiento, Acero AISI 1020 metalizado en base aluminio, acero AISI 1020 metalizado en base níquel-cromo, acero AISI 1020 metalizado en aleación de tungsteno, acero AISI 1020 con tratamiento térmico de nitruración, proceso TENIFER-570°C-2h, acero AISI 1020 con tratamiento térmico de cementación, 850 °C-0, 3% C, se determina la hipótesis mediante ecuaciones para los diversos desplazamientos lineales a los que fueron sometidos las probetas, con lo que se demuestra que el acero AISI 1020 con recubrimiento metalizado en aleación de tungsteno obtuvo una menor velocidad de desgaste con respecto a los otros tratamiento aplicados. Con lo que se demuestra que la hipótesis estadística planteada que consiste en disminuir la velocidad de desgaste de los materiales al otorgar un tratamiento térmico adecuado es verdadera.

4.4.1.1 Verificación de la hipótesis. Procedimiento realizado con el disco Neopreno Shore A50 ± 20 en el Acero AISI 1020

Para la verificación de la hipótesis se emplea el modelo estadístico denominado prueba Z para dos muestras, ya que el interés de la investigación es comprobar la velocidad de desgaste en el Acero AISI 1020.

4.4.1.2 Supuestos del modelo Z para dos muestras relacionada

Los parámetros del modelo z para dos muestras relacionadas son los que se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Parámetros del modelo Z

PARÁMETROS DEL MODELO Z
- Nivel de medida de las variables
- Distribución normal o aproximadamente normal
- Tipo de diseño
- Varianza de la diferencia de medidas
- Observaciones
- Hipótesis que se pone a prueba

Fuente: El autor

De la misma forma en la tabla 23 se visualiza el contraste de medias del modelo estadístico z que se utiliza para la comprobación de la hipótesis.

Tabla 23. Contraste de medias del modelo estadístico Z

CASO I	CASO II	CASO III
$H_0: u_1 - u_2$	$H_0: u_1 - u_2$	$H_0: u_1 - u_2$
$H_0: u_1 < u_2$	$H_0: u_1 \neq u_2$	$H_0: u_1 > u_2$

Fuente: Acuña Edgar, Inferencia estadística

4.4.1.3 Nivel de significancia

El nivel de significancia que se toma para la comprobación de la hipótesis del presente trabajo investigativo es de 5% (0,05), con un contraste bilateral, tomando en cuenta que puede existir diferencia; sin la especificación si se ubicaran por arriba o por debajo de los valores que se han establecido.

4.4.1.4 Verificación de la hipótesis con el Acero AISI 1020 sin recubrimiento y con el recubrimiento metalizado en aleación de tungsteno.

En la tabla 24 se observa los datos obtenidos de la velocidad de desgaste del acero AISI 1020 sin recubrimiento y con recubrimiento metalizado en aleación de tungsteno

Tabla 24. Datos obtenidos de la velocidad de desgaste con el acero AISI 1020 sin recubrimiento y con metalizado en aleación de tungsteno

Acero AISI 1020 Normalizado, Análisis con el disco Neopreno Dureza Shore A50 ±20					
ACERO AISI 1020 SIN RECUBRIMIENTO			ACERO AISI 1020 METALIZADO EN ALEACIÓN DE TUNGSTENO		
PROB	Despla (m)	Vel (mm ³ /s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm ³ /s)
1,1	1117,2	0,264009	1,4	1117,2	0,01591
	2234,4	0,458769		2234,4	0,04074
	3351,6	0,677369		3351,6	0,10297
	4468,8	0,926488		4468,8	0,21504
	5586	1,195733		5586	0,3253

Fuente: El autor

4.4.1.5. Prueba Z

Los valores obtenidos de la prueba z para medias de dos muestras relacionadas se muestran en la tabla 25.

Tabla 25. Prueba z para medias de dos muestras

Prueba z para medias de dos muestras		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0,7044736	0,139992
Varianza (conocida)	0,1598	0,0138
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Z	3,02942309	
P(Z<=z) una cola	0,00122511	
Valor crítico de z (una cola)	1,64485363	
Valor crítico de z (dos colas)	0,00245021	
Valor crítico de z (dos colas)	1,95996398	

Fuente: El autor

Con la tabla de distribución Z se establece que para un valor de $\alpha = 0,5\%$ (0,5), los puntos críticos son +/- 1,96, por lo que se aplica la siguiente regla de decisión:

Rechazar H_0 si $Z > +1,9$ o si $Z < -1,96$

De lo contrario, no rechaza la hipótesis H_0

Una vez que se ha encontrado el valor de $Z = 3,09$, se puede determinar que el mismo se encuentra fuera del rango de aceptación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis estadística de trabajo en donde se planteó que el Acero AISI 1020 con el recubrimiento metalizado en aleación de tungsteno ayuda a disminuir la velocidad de desgaste.

ACERO ASTM A514 F

Para la verificación de la hipótesis se toma únicamente uno de los procedimientos realizados en el Acero ASTM A514 grado F, en este caso el análisis con el disco Neopreno Dureza Shore A50 ±20 de acuerdo a los datos que se observan en la tabla 26.

Tabla 26. Resultados de ensayos de desgaste abrasivo en el acero ASTM A 514 Grado F

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO																	
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA																	
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE																	
ANÁLISIS DEL DESGASTE ABRASIVO DISCO SHORE A50±20 EN ACERO ASTM A 514F																	
ASTM SIN RECUBRIMIENTO			ACERO ASTM S514 METALIZADO EN BASE ALUMINIO			ACERO ASTM S514 METALIZADO EN BASE NIQUEL CROMO			ACERO ASTM S514 METALIZADO EN ALEACIÓN DE TUNGSTENO			ACERO ASTM A514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DENITRURACIÓN			ACERO ASTM A514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850 °C-0, 3% C		
PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)
3,1	1117,2	0,160817	3,2	1117,2	0,120946	3,3	1117,2	0,122378	3,4	1117,2	0,018119	3,5	1117,2	0,018485	3,6	1117,2	0,006332
	2234,4	0,267162		2234,4	0,217471		2234,4	0,232848		2234,4	0,036719		2234,4	0,058009		2234,4	0,021357
	3351,6	0,379784		3351,6	0,366255		3351,6	0,346935		3351,6	0,103049		3351,6	0,135060		3351,6	0,051013
	4468,8	0,563315		4468,8	0,536824		4468,8	0,480027		4468,8	0,185765		4468,8	0,232087		4468,8	0,138639
	5586	0,720667		5586	0,694111		5586	0,597134		5586	0,30823		5586	0,362423		5586	0,296566
ANÁLISIS DEL DESGASTE ABRASIVO DISCO SHORE A70±20 EN ACERO ASTM A 514F																	
ASTM SIN RECUBRIMIENTO			ACERO ASTM S514 METALIZADO EN BASE ALUMINIO			ACERO ASTM S514 METALIZADO EN BASE NIQUEL CROMO			ACERO ASTM S514 METALIZADO EN ALEACIÓN DE TUNGSTENO			ACERO ASTM A514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DENITRURACIÓN			ACERO ASTM A514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850 °C-0, 3% C		
PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm³/s)
4,1	1117,2	0,229647	4,2	1117,2	0,21436	4,3	1117,2	0,18465	4,4	1117,2	0,03999	4,5	1117,2	0,06455	4,6	1117,2	0,01516
	2234,4	0,322236		2234,4	0,28302		2234,4	0,26412		2234,4	0,12502		2234,4	0,1581		2234,4	0,05799
	3351,6	0,46293		3351,6	0,41921		3351,6	0,400209		3351,6	0,21435		3351,6	0,27152		3351,6	0,13616
	4468,8	0,620273		4468,8	0,57664		4468,8	0,53116		4468,8	0,31923		4468,8	0,39878		4468,8	0,25348
	5586	0,856251		5586	0,78149		5586	0,67522		5586	0,42141		5586	0,54435		5586	0,37917

Fuente: El autor

En el gráfico 72 se representa la velocidad de desgaste del acero ASTM A514 grado F de los diferentes tratamientos evaluados con el disco Neopreno dureza Shore A50 ±20, para de esa manera determinar el procedimiento con menor velocidad de desgaste.

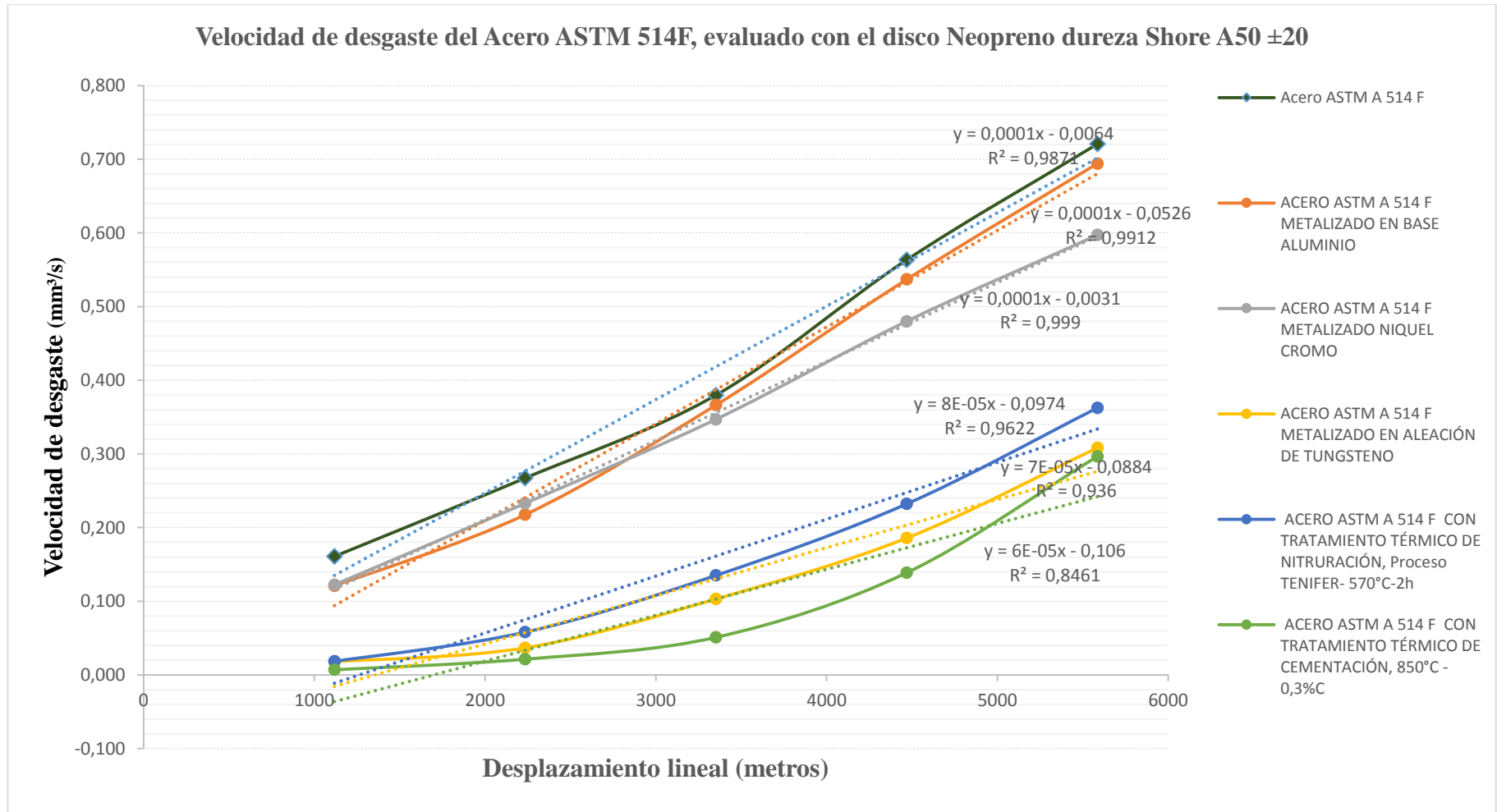


Gráfico 72. Verificación de la hipótesis en el Acero ASTM A514 Normalizado, evaluado con el disco Neopreno Dureza Shore A50 ±20.

Fuente: El autor

HIPÓTESIS: La aplicación de recubrimientos metalizados en el acero ASTM A514 grado F utilizado en los tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato disminuirá el desgaste abrasivo.

Mediante las pruebas realizadas con el disco Neopreno dureza Shore A50 ± 20 en el Acero ASTM A514 F Normalizado sin recubrimiento, Acero ASTM 5A14 grado F metalizado en base aluminio, Acero ASTM A514 grado F metalizado en base níquel-cromo, acero ASTM A514 grado F metalizado en aleación de tungsteno, acero ASTM A514 grado F con tratamiento térmico de nitruración, proceso TENIFER-570°C-2h, Acero ASTM A514 grado F con tratamiento térmico de cementación, 850 °C-0, 3%C, se determina la hipótesis mediante ecuaciones para los diversos desplazamientos lineales a los que fueron sometidos las probetas, con lo que se demuestra que el acero ASTM A514 grado F con tratamiento térmico de cementación, 850 °C-0, 3%C, obtuvo una menor velocidad de desgaste con respecto a los otros tratamiento aplicados.

Con lo que se demuestra que la hipótesis estadística planteada que consiste en disminuir la velocidad de desgaste de los materiales al otorgar un tratamiento térmico adecuado es verdadera.

4.4.1.6 Verificación de la hipótesis. Procedimiento realizado con el disco Neopreno Shore A50 ± 20 en el Acero ASTM A514 grado F

Para la verificación de la hipótesis se emplea el modelo estadístico denominado prueba Z para dos muestras, ya que el interés de la investigación es comprobar la velocidad de desgaste en el acero ASTM A514 grado F.

4.4.1.7 Supuestos del modelo Z para dos muestras relacionada

Los parámetros que se consideran para el modelo Z para dos muestras relacionadas son los que se muestran en la tabla 27.

Tabla 27. Parámetros del modelo Z

PARÁMETROS DEL MODELO Z
- Nivel de medida de las variables
- Distribución normal o aproximadamente normal
- Tipo de diseño
- Varianza de la diferencia de medidas
- Observaciones
- Hipótesis que se pone a prueba

Fuente: El autor

De la misma forma, en la tabla 28 se muestra el contraste de medias del modelo estadístico Z

Tabla 28. Contraste de medias del modelo estadístico Z

CASO I	CASO II	CASO III
$H_0: u_1 - u_2$	$H_0: u_1 - u_2$	$H_0: u_1 - u_2$
$H_0: u_1 < u_2$	$H_0: u_1 \neq u_2$	$H_0: u_1 > u_2$

Fuente: Acuña Edgar, Inferencia estadística

4.4.1.8 Nivel de significancia

El nivel de significancia que se toma para la comprobación de la hipótesis del presente trabajo investigativo es de 5% (0,05), con un contraste bilateral, tomando en cuenta que puede existir diferencia; sin la especificación si se ubicaran por arriba o por debajo de los valores que se han establecido.

4.4.1.9 Verificación de la hipótesis con el Acero ASTM A514 sin recubrimiento y con tratamiento térmico de cementación, 850°C-0.3%C.

En la tabla 29 se visualizan los datos obtenidos de la velocidad de desgaste con el acero ASTM A514F sin recubrimiento y con tratamiento térmico de cementación, 850°C-0.3%C, los mismos que se utilizan para el cálculo de la hipótesis.

Tabla 29. Datos obtenidos de la velocidad de desgaste con el acero ASTM A514F sin recubrimiento y con tratamiento térmico de cementación, 850°C-0.3%C

ANÁLISIS DEL DESGASTE ABRASIVO DISCO SHORE A50±20 EN ACERO ASTM A 514F					
ASTM SIN RECUBRIMIENTO			ACERO ASTM A514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850 °C-0, 3%C		
PROB	Despla (m)	Vel (mm3/s)	PROB	Despla (m)	Vel (mm3/s)
3,1	1117,2	0,160817	3,6	1117,2	0,006332
	2234,4	0,267162		2234,4	0,021357
	3351,6	0,379784		3351,6	0,051013
	4468,8	0,563315		4468,8	0,138639
	5586	0,720667		5586	0,296566

Fuente: El autor

4.4.1.10. Prueba Z

En la tabla 30 se visualiza los valores generados de la prueba Z realizada en Microsoft Excel.

Tabla 30. Prueba Z para medias de dos muestras

Prueba z para medias de dos muestras		
	Variable 1	Variable 2
Media	0,418349	0,1027814
Varianza (conocida)	0,0581	0,0116
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Z	2,6727665	
P(Z<=z) una cola	0,00376143	
Valor crítico de z (una cola)	1,64485363	
Valor crítico de z (dos colas)	0,00752286	
Valor crítico de z (dos colas)	1,95996398	

Fuente: El autor

Con la tabla de distribución Z se establece que para un valor de $\alpha = 5\%$ (0,05), los puntos críticos son +/- 1,96, por lo que se aplica la siguiente regla de decisión:

Rechazar H_0 si $Z > +1,9$ o si $Z < -1,96$

De lo contrario, no rechaza la hipótesis H_0

Una vez que se ha encontrado el valor de $Z = 2,672$, se puede determinar que el mismo se encuentra fuera del rango de aceptación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis estadística de trabajo en donde se planteó que el acero ASTM A514F con tratamiento térmico de cementación, $850^{\circ}\text{C}-0.3\% \text{C}$ ayuda a disminuir la velocidad de desgaste.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

A partir de los ensayos efectuados, los análisis y pruebas de los aceros y recubrimientos utilizados en tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato y su influencia en el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105, se determinan los siguientes resultados:

- La aplicación de recubrimientos y tratamientos térmicos sobre los aceros mejoran las características y propiedades con respecto al desgaste abrasivo, estos procesos contribuyen a una mayor dureza y resistencia abrasiva.
- El acero AISI 1020, no permite directamente hacer ningún tipo de reparación en tambores para Mixer por cuanto no posee los materiales aleantes como el cobre y el níquel, dentro de sus propiedades, que contribuyan a la resistencia del desgaste en comparación con el acero ASTM A 514, sin embargo, al tratarlo mediante el recubrimiento de metalizado con aleación de Tungsteno se obtienen similares características de comportamiento al desgaste abrasivo como con el acero ASTM a 514 grado F revestimiento, como se observó en las gráficas de la comparación de los resultados de ambos Aceros, mismos que presentan una misma línea de tendencia.
- Los tratamientos de Metalizado con aleaciones de aluminio, níquel-cromo y aleaciones de tungsteno contribuyen el uso del acero, mejorando la resistencia hasta en 10MPa; sin embargo, una consideración importante es la adherencia del recubrimiento, la capa debe hacerse con un precalentamiento previo del acero, una base de aluminio (alumina) y una superficie áspera para mejorar la condición adhesiva.

- El recubrimiento base de aluminio, (alumina) permite la adherencia del metalizado de las capas tanto de níquel-cromo, así como de aleación de tungsteno, por sus características de adhesión.
- El recubrimiento de aleación de níquel-cromo incrementa la resistencia al desgaste puesto que la dureza de la superficie aumenta, para el acero AISI 1020 sin recubrimiento de 73.20 HRB (Dureza Rockwell B) a 83.7 HRB, y en el caso del ASTM A514 90HRB a 100 HRB.
- En el caso del recubrimiento de aleación de tungsteno amorfo, este presenta el mayor incremento de dureza de las superficies, hasta 65 HRC (Dureza Rockwell C), lo que define como el mejor tratamiento aplicable en los aceros, esto se evidencia por cuanto en el ensayo abrasivo el material no se rayaba fácilmente, es decir se registra menor incidencia de desgaste, además la tasa de desgaste es similar para el Acero AISI 1020 con aleación de tungsteno es de 0.24 miligramos por metro en comparación con el Acero ASTM A 514 grado F con aleación de tungsteno que es de 0.23 miligramos por metro.
- El tratamiento térmico de nitruración incrementa la dureza de 73.2HRB a 76 HRB en el acero AISI 1020, es decir un 4% más; por otra parte, para el acero ASTM A 514 de 90HRB a 96 HRB es decir 7%.
- El tratamiento térmico de Nitruración, mejora las propiedades de resistencia de los aceros, favorece a las características de deslizamiento e incrementa la tenacidad al desgaste; en el caso de la corrosión atmosférica se reduce, sin embargo, la aplicación in situ, la reparación de tambores de mixer es poco viable y costosa en función al peso de los flejes de chapa metálica.
- El tratamiento térmico de cementación, agrega una capa fina superficial de carbono al acero de hasta 0.3%, lo cual incrementa las propiedades mecánicas, su resistencia al desgaste, así como en la prueba abrasiva tiene una gran resistencia al rayado, sin embargo, no posee el mismo comportamiento sobre el acero AISI 1020 vs el Acero ASTM A 514F.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para obtener resultados confiables es importante realizar los ensayos bajo los parámetros establecidos en la Norma ASTM G-105.
- Es importante considerar que no se debe encender la máquina de desgaste abrasivo mientras esta aplicada la carga.
- Antes de empezar a realizar cada prueba se debe desmagnetizar las probetas y luego de ellas debe ser limpiada de impurezas con acetona.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBOR DE MIXER DE LA EMPRESA HOLCIM, MEDIANTE EL METALIZADO CON ALEACIÓN DE CARBURO DE TUNGSTENO Y SU EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105

6.1 INTRODUCCIÓN

La presente propuesta direcciona nuestro enfoque hacia el uso de recubrimientos metalizados a base de Aleación de tungsteno amorfo, en las chapas metálicas provistas para el tambor original de acero ASTM A 514 grado F , así como el reemplazo de flejes de acero AISI 1020 con el mismo revestimiento (W); para tal efecto se ha efectuado previamente el análisis estadístico por incidencia de los espesores originados por desgaste abrasivo en el interior de un tambor en operación de mezclado, análisis que a partir de los valores proporcionados por la empresa Holcim mediante su historial de medición de espesores del tambor de gran parte de la flota de los camiones hormigoneros existentes en la Planta Holcim Ambato, han permitido determinar las partes críticas del tambor, es decir aquellas donde se producen los menores espesores en función del tiempo de uso de los mixers; tal recopilación de espesores nos conlleva a incorporar como solución alternativa y consecuente el reemplazo del Acero AISI 1020 con recubrimiento metalizado de Tungsteno en las partes más críticas, ya que en el “análisis de Aceros y recubrimientos utilizados en tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato y su influencia en el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105”, se determinó que existe un mismo nivel de desgaste entre los Aceros ASTM A 514 y el Acero AISI 1020, revestidos mediante metalizado con Aleación de Tungsteno, esto permitirá a Holcim el uso de aceros comunes para sustitución siempre y cuando se los haya metalizado previamente con tungsteno cuya composición química se encuentra en el anexo Anexo 6.

“Parámetros de Metalizado de Aleación Tungsteno Amorfo, Polymet” del presente trabajo de investigación, y que además dichos aceros comunes muestren sus características metalográficas, de dureza y compatibilidad para la soldadura, sean las adecuadas para la recuperación de los tambores.

6.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA

La propuesta se basa en la obtención del correcto proceso de recuperación del tambor mixer de la empresa Holcim, mediante metalizado de carburo de tungsteno, para lo cual se inicia desde la medición de espesores de placa del mixer, con la utilización de un medidor de ultrasonido con apreciación de una décima de milímetro; valores que se registran semestralmente. Esta información ayuda a conocer dónde aplicar el mantenimiento de recuperación requerido en el tambor.

El proceso a seguir es el que se muestra en el diagrama de flujo representado en el gráfico 73.

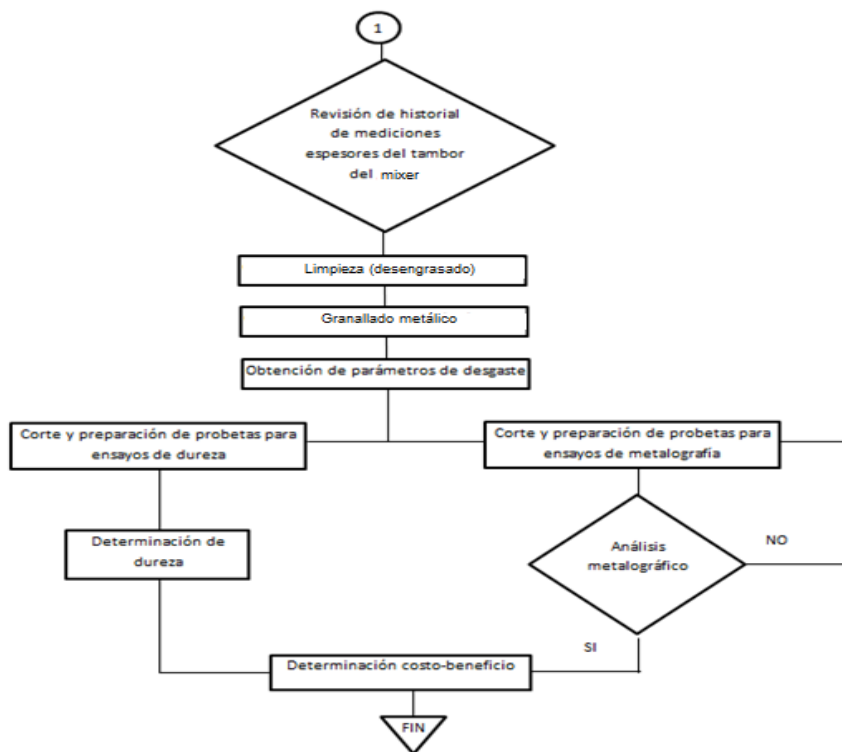


Gráfico 73. Diagrama de flujo para el desarrollo de la propuesta
Fuente: El autor

6.2 INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Una vez realizado el análisis de los recubrimientos metalizados en el acero, se establece que el recubrimiento metalizado en aleación de tungsteno, tiene grandes propiedades, por su elevada dureza, escasa pérdida de volumen y mayor resistencia al desgaste, que fueron parámetros primordiales para la elaboración del procedimiento de recuperación del material basado en la norma ASTM G105.

Tanto el análisis de la dureza y el estudio del desgaste abrasivo constituye un importante aporte dentro de la Ingeniería de Materiales, pues con ello se puede evaluar los factores que intervienen en la recuperación de las piezas del tambor de los mixers de la empresa Holcim por desgaste abrasivo, con lo que se reduce los tiempos de mantenimiento y se provee soluciones al desgaste abrasivo.

Los ensayos de desgaste abrasivo fueron realizados en el Laboratorio de Materiales de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi Chico, y en el Centro de Fomento del H. Consejo Provincial de Tungurahua debido a que el Laboratorio de materiales posee equipos para ensayos metalográficos y ensayos de dureza.

Los equipos que se requieren para realizar los ensayos se encuentran los siguientes:

- Medidor de espesores de ultrasonido en recubrimientos.
- Lijas y microscopio para los ensayos metalográficos.
- Para ensayos de dureza se requiere el Durómetro.
- Máquina de ensayo para desgaste abrasivo (G-65).
- Balanza de alta precisión.

6.2.1 Antecedentes de la propuesta

El fenómeno de desgaste para los equipos del sector productivo de hormigón representa costos muy elevados todos los años. Actualmente su maquinaria cuenta con piezas vitales que requieren acciones de reparación urgentes lo que implica adquirir piezas nuevas y caras o sufrir paros de producción para realizar

reparaciones urgentes. Afortunadamente, las piezas desgastadas pueden ser recuperadas y protegidas contra los feménonos de desgaste futuros mediante una tecnología de reconstrucción anti desgaste adecuada. El mantenimiento y la reparación constituyen una actividad altamente técnica y especializada que debe ser llevada a cabo por expertos que empleen los procesos de alta tecnología. Ante los diversos problemas de producción, y la escasez de soldadores calificados, muchas empresas han tomado la decisión de enfocarse en sus competencias principales y sub contratan el mantenimiento o encargan la reconstrucción anti-desgaste de sus piezas críticas a empresas externas.

De acuerdo a la literatura revisada se determina que existen pocas investigaciones que se enfocan al desgaste abrasivo un medio acuoso del acero AISI 1020 y el Acero ASTM A514, razón por la cual es un tema de gran interés para la industria.

a) Procedimiento A de la Norma ASTM G105:

Consiste en una prueba relativamente rígida que clasifica los materiales metálicos de acuerdo en una escala de pérdida de volumen mayor de extrema resistencia al desgaste.

El procedimiento requiere de la aplicación de una fuerza de 130 N (30 lb) y las ruedas de goma no deben sobrepasar las 6000 revoluciones durante el ensayo aplicado a cada muestra; además es recomendable realizar cada 5 minutos el pesaje de cada una de las muestras en una balanza cuya precisión se aproxima a los 0,001 gramos durante 30 minutos que es la duración del procedimiento.

Para este procedimiento, el tamaño de la arena de cuarzo como material abrasivo debe ser de tipo AFS 50/70 y rodear los (300 a 212) μm . Además, el flujo de partículas sobre la superficie de desgaste debe estar entre (300 a 400) g/min.

Para el procedimiento se requiere que la dureza del caucho ese encuentre en un valor de 60 Shore A, con una tolerancia de ± 2 . Dicha dureza es muy importante, ya que el recubrimiento de caucho presenta la función de forzar la arena contra el metal, de tal forma que las partículas no se desintegren ni se destrocen en el proceso.

6.2.2 Justificación

La propuesta es de gran interés debido a que existen muchos procesos industriales donde el desgaste de un material limita la vida útil de los equipos, afectando de manera significativa la productividad y los gastos de operación, es por ello que es importante estudiar el comportamiento de los materiales cuando se encuentran sometidos a desgaste abrasivo, debido a la falta de lubricación o escaso el mantenimiento proporcionado.

La evaluación de la dureza y el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105 para materiales con recubrimientos duros proyectados térmicamente por HVOF adheridos al sustrato, permiten establecer la resistencia de los elementos sometidos a la abrasión, lo cual es muy importante tomar en cuenta en la selección del recubrimiento óptimo con las mejores propiedades que permitan la recuperación de tambores de mezclado de los mixers, considerando que el acero AISI 1020 con recubrimiento metalizado es una alternativa de reemplazo de las piezas de los mixers de Holcim.

Debido a lo expuesto se indica que el proceso de recuperación de las piezas de mayor desgaste de los mixers de la empresa Holcim es de gran beneficio, pues con ello se ayudará a superar problemas de poca disponibilidad de materiales y costos de importación alcanzado que la maquinaria no reporte pérdidas por paros intempestivos.

6.3 OBJETIVOS

6.3.1 Objetivo general

Realizar un procedimiento para la recuperación de tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato con recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto sobre el acero ASTM A 514 y la sustitución de chapa metálica con flejes AISI 1020 metalizados con la misma aleación, y la evaluación de desgaste abrasivo bajo la NORMA ASTM G105

6.3.2 Objetivos específicos

- Describir el proceso de recuperación de tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato.
- Determinar el procedimiento de verificación e interpretación de ensayos de medición de espesores, desgaste, dureza y metalografía.
- Planificar la recuperación por recubrimiento de carburo de tungsteno de las partes de mayor desgaste en el tambor de los mixers de la empresa HOLCIM Ambato.

6.4 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El trabajo investigativo es totalmente factible debido a que los materiales que se utilizan para el análisis se los puede conseguir en el mercado, los instrumentos y equipos adecuados para poder realizar la propuesta y la máquina para el ensayo de desgaste abrasivo se encuentra el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato donde la información necesaria para el ensayo proporciona la norma ASTM G105.

Además, el Laboratorio de Ingeniería de Materiales tiene las condiciones apropiadas para su funcionamiento, pues dispone de los equipos necesarios para realizar el análisis metalográfico, de dureza, medición de espesores, y desgaste abrasivo.

6.4.1 Análisis económico

Con el objetivo de otorgar información completa sobre la evaluación del desgaste abrasivo del recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto adherido al sustrato, se efectuó el análisis económico del estudio, para tener claro los costos que se relacionan de forma directa con el desarrollo del proyecto de investigación como son:

- Costos de adquisición de probetas de tambores de mixers

- Costo de limpieza y desengrasado
- Costo de granallado
- Costo de Proyección HVOF
- Costo de rectificado

Debido a la poca disponibilidad en el país del acero ASTM 514, ha generado que los costos de importación y el tiempo de llegada de los materiales se eleve, razón por la cual resulta más económico realizar el proceso de recubrimiento de metalizado de los aceros de los tambores de los mixers de la empresa Holcim, pues con ello se consigue reducir el tiempo de paro de la maquinaria y de esa manera elevar las ganancias económicas de la empresa.

6.4.2 Análisis tecnológico

Para la realización del procedimiento recuperación de tambores de mixers y de evaluación del desgaste abrasivo del recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto, adherido al sustrato bajo Norma ASTM G105 se debe emplear equipos completamente apropiados y calibrados con el fin de obtener resultados confiables como lo son:



- Equipo para ensayo de dureza en escala Rockwell C (Durómetro de Laboratorio FICM).
- Equipo para ensayo de metalografía que se encuentra en el Laboratorio FICM.
- Mecanismo para análisis de espesores en recubrimientos por ultrasonido de marca Digital Meter.
- Balanza de precisión 0,001 gr Marca CITIZEN.
- Equipo de ensayos de desgaste abrasivo de acuerdo a la norma ASTM G105.

6.5 FUNDAMENTACIÓN

Los procedimientos se realizaron en base a la teoría del Capítulo II Marco Teórico, y los resultados del Capítulo IV, donde se puede apreciar los datos estadísticos como son el tamaño de la muestra, la probabilidad, la desviación estándar, el ensayo de dureza de acuerdo a la norma ASTM G 105 en escala Rockwell C, la disminución de volumen, tasa de desgaste y coeficiente de desgaste, para los ensayos de desgaste abrasivo y los datos de la norma ASTM G105 permitieron comprobar que el recubrimiento metalizado con carburo de tungsteno disminuye la velocidad de desgaste del acero.

De acuerdo a estos parámetros y con el análisis estadístico de las medidas tomadas de las partes del tambor de los mixers de la empresa Holcim se establece un procedimiento de recuperación del acero de la pieza más afectada debido al desgaste. A continuación, se presentan el procedimiento realizado para la recuperación de tambores de mezclados de los mixers de la empresa Holcim Ambato mediante el proceso de proyección térmica de alta velocidad HVOF y los cálculos efectuados para la valoración del desgaste abrasivo del recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto (WC – Co) adherido al tambor bajo Norma ASTM G105.

6.6 METODOLOGÍA

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)	
PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105		
Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés Padilla	Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.	
Lugar: UTA FICM	Fecha de ejecución: 04/09/2017	
<p>1. Objeto:</p> <p>Realizar un procedimiento para la recuperación de tambores de mezclado de los mixers de la empresa Holcim Ambato con recubrimiento de carburo de tungsteno en base de cobalto y evaluación de desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105.</p> <p>2. Alcance:</p> <p>Este método de ensayo permite colaborar en el proceso de recuperación del material y los procedimientos de laboratorio necesarios para el establecimiento de la resistencia de los materiales metálicos y recubrimientos cerámico-metálicos conocidos como Cermets expuestos a la abrasión a través de la prueba de la arena / rueda de goma seca.</p> <p>Este método de ensayo tiene como objetivo producir datos que se aplicarán a los materiales en base a la resistencia al desgaste abrasivo bajo un conjunto específico de las condiciones de análisis.</p> <p>3. Documentación y Referencia:</p> <p>El procedimiento se sustenta en la información recopilada en los capítulos II y IV.</p>		



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD
DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)**

**PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO
DE LOS MIXERS CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN
BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA
NORMA ASTM G105**

Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés

Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 04/09/2017

4. Generalización:

El proceso HVOF es utilizado para restaurar las propiedades de la superficie de un elemento donde se atomizan materiales fundidos o semi-fundidos sobre la superficie a través de una corriente de gas de gran temperatura y alta velocidad, originando un revestimiento espeso que puede ser rectificado para lograr un acabado de superficie de gran eficacia.

El desgaste abrasivo es causado por materiales extraños que friccionan un elemento contra una pieza metálica. Corresponde al 55 o 60% del desgaste de los componentes industriales.

El desgaste de materiales existe en cualquier parte donde se produce movimiento, es por ello que casi todas las industrias encuentran problemas de desgaste. Con ello se establece que excesivos desgastes ocasionan una gran cantidad de pérdidas anualmente debido a:

- Detenciones de los procesos productivos no planificadas.
- Reemplazos frecuentes de partes costosas de las maquinarias y equipos.
- Elevados costos por mantenimiento no-planificado.
- Pérdidas en la producción.
- Disminución del nivel de ventas debido a pobres rendimientos de productos

Para la evaluación del desgaste de materiales se tomó como guía la Norma ASTM G105, con lo que se pudo verificar primeramente que todos los parámetros estén correctamente calibrados y así alcanzar resultados claros y valederos.



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS
CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN
DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105

Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés

Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 04/09/2017

5. Realización:

El procedimiento para realizar la recuperación de tambores de mezclado de los mixers mediante HVOF con los ensayos de medición de espesores desgaste, dureza y análisis metalográfico se realiza de la siguiente manera:

- 5.1 Obtención de muestra tomadas de los tambores de mezclado de los mixers desgastados
- 5.2 Limpieza (desengrasado)
- 5.3 Granallado metálico para quitar partículas abrasivas
- 5.4 Proyección térmica de alta velocidad HVOF
- 5.5 Realizar la medición de espesores por ultrasonido
- 5.6 Corte de probetas para realizar los ensayos de desgaste abrasivo según la Norma ASTM G105.
- 5.7 Corte y preparación de probetas para ensayo de dureza en escala Rockwell
- 5.8 Corte y preparación de probetas para ensayo de metalografía
- 5.9 Análisis costo – beneficio

5.1 Planificación:

Según las mediciones realizadas a los tambores de mezclado de los mixers McNeilus números 463, 420, 444, 434, 436, 405 y 406 de la empresa Holcim Ambato, que se colocan en las tablas 31 a la 37 se observa que el desgaste no es uniforme en todo el tambor por lo que se planifica la recuperación por recubrimiento de carburo de tungsteno dependiendo del desgaste en cada una de las partes indicadas en el Anexo 5.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105

Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés

Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 04/09/2017

Tabla 31. Espesores de tambores mezclador McNeilus número 463 de Holcim

ESPEORES DE TAMBOR MEZCLADOR McNeilus NÚMERO 463 PLANTA AMBATO (mm)				
Año	ene-13	ago-13	ene-14	jul-14
Nº Pieza				
1	5,9	5,9	5,7	5,3
2	6,8	5,7	5,6	5,2
3	6,7	5,7	5,5	5,3
4	5,7	5,7	5,6	5
5	5,4	5,3	5	4,3
6	5,4	5,3	5	4,5
7	5,5	5,2	5	4,8
8	5,6	4,9	4,8	3,6
9	6	5,5	4,2	4,1
10	4,9	4,6	4,6	3,8
11	4,7	4,6	4,1	3
12	4,5	3,9	3,6	3,5
13	6,5	3,9	2,9	2
14	3,5	3,3	2,4	0,8
15	4,1	3	2,5	1,4
16	4,3	2,9	2,5	1,5
17	3,7	3,6	3,4	3,1
18	5,9	4,1	3,8	3
19	3,7	3,1	2,5	2,4
20	5,1	4,9	4,8	4,6

Fuente: Holcim Ambato



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105

Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés

Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 04/09/2017

Tabla 31. Espesores de tambores mezclador McNeilus número 420 de Holcim Ambato.

ESPESORES DE TAMBOR MEZCLADOR McNeilus NÚMERO 420 PLANTA AMBATO (mm)				
Año N° Pieza	ene-13	ago-13	ene-14	jul-14
1	7,2	7,2	7,1	7,1
2	7,3	7,2	7,1	7,1
3	7,2	7,1	7,1	7
4	7,2	7,2	7,1	7
5	7	6,8	6,6	6,5
6	7	6,9	6,5	6,5
7	6,9	6,9	6,6	6,2
8	7	6,9	6,9	6,8
9	6,7	6,4	6,3	6,3
10	6,9	6,8	6,6	6,5
11	6,6	6,4	6,4	6,1
12	6,6	6,4	6,2	5,8
13	6,4	6,4	5,9	5,8
14	6,4	6,3	5,8	5,7
15	6,2	6	5,4	5,1
16	6,2	6	5,3	4,8
17	5,2	5	4,8	4,8
18	5,6	5,4	5,4	5,2
19	5,1	5	4,6	4,6
20	5,9	5,9	5,8	5,6

Fuente: Holcim Ambato



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105

Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés

Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 04/09/2017

Tabla 32. Espesores de tambores mezclador McNeilus número 444 de Holcim Ambato.

ESPESORES DE TAMBOR MEZCLADOR McNeilus NÚMERO 444 PLANTA AMBATO (mm)				
Año N° Pieza	ene-13	ago-13	ene-14	jul-14
1	5,8	5,6	5,5	5,5
2	6,3	5,6	5,5	4,9
3	6,4	5,3	5,3	4,9
4	5,8	5,4	5,1	4,6
5	6,7	4,5	4,3	4,3
6	6,2	5,7	5	4,3
7	5,8	4,6	4,3	3,9
8	5,7	4,5	4,5	3,3
9	5,4	4,4	4,1	3,3
10	4,1	3,4	3,3	3,1
11	4,2	3,5	3,3	3,3
12	6,2	3,2	3	3
13	4,3	3,8	3,3	2,9
14	5,1	3,2	3	2,5
15	5,3	3,3	2,9	2,8
16	3,7	3,2	3,2	2,8
17	4,8	4,4	2,8	2,7
18	6,2	4,5	4,3	3,8
19	4,2	3	3	2,4
20	5	4,9	4,8	3

Fuente: Holcim Ambato



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105

Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés

Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 04/09/2017

Tabla 33. Espesores de tambores mezclador McNeilus número 434 de Holcim Ambato.

ESPESORES DE TAMBOR MEZCLADOR McNeilus NÚMERO 434 PLANTA AMBATO (mm)				
Año N° Pieza	ene-13	ago-13	ene-14	jul-14
1	6,5	5,8	5,3	5,1
2	6,5	5,9	4,9	4,1
3	6,5	6,4	5,9	4,7
4	6,4	5,8	5,1	4
5	6,7	6,5	5,3	3,7
6	6,3	6,2	5,9	3
7	6,5	4,1	3,9	3,1
8	6,5	5,8	3,7	3,3
9	6,5	5,7	5,3	4,1
10	6,5	3,4	3,2	3,1
11	6,4	4,2	3	2,7
12	6,5	3,3	3	2
13	6,5	5	3,8	2,6
14	6,4	5,1	3,2	2,3
15	6,4	5,3	5	2,8
16	6,1	4,1	3,7	3,2
17	6,3	4,4	3,5	3
18	6,4	6,2	5	4,3
19	6,4	4,2	3	2,8
20	6,5	4,9	4,6	3

Fuente: Holcim Ambato



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105

Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés

Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 04/09/2017

Tabla 34. Espesores de tambores mezclador McNeilus número 436 de Holcim Ambato.

ESPEORES DE TAMBOR MEZCLADOR McNeilus NÚMERO 436 PLANTA AMBATO (mm)				
Año N° Pieza	ene-13	ago-13	ene-14	jul-14
1	6,2	5,7	5,4	5,1
2	6,1	5,4	5,3	5,1
3	6,1	5,4	5,1	4,8
4	6,1	5,4	5,1	4,7
5	6,4	5,9	4,5	3,9
6	6,1	5,8	4,1	3,5
7	6	5,2	4	3,4
8	6,1	5,1	4,8	4,4
9	5,6	4,8	3,4	3,2
10	5,9	3,7	3,2	3
11	5,9	3,4	3,3	3,1
12	5,9	4	3	2,4
13	5,6	3,7	3,3	3,1
14	5,6	4,5	3,9	3,1
15	5,5	4,2	3,4	3,2
16	5,6	4,1	3,9	3,3
17	6	4,3	3,5	3,2
18	7,4	4,4	4,4	4,3
19	7	4,1	2,9	2,8
20	6,8	5,3	5,2	4,7

Fuente: Holcim Ambato



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105

Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés

Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 04/09/2017

Tabla 35. Espesores de tambores mezclador McNeilus número 405 de Holcim Ambato.

ESPEORES DE TAMBOR MEZCLADOR McNeilus NÚMERO 405 PLANTA AMBATO (mm)				
Año N° Pieza	ene-13	ago-13	ene-14	jul-14
1	6,5	6,2	5,7	5,6
2	6,7	6,1	5,9	5,9
3	6,4	6,3	6,1	5,8
4	6,2	6,1	5,9	5,6
5	6	5,9	5,9	5,3
6	6,5	6,1	5,3	5
7	6	5,9	5,4	5,4
8	6,1	6,1	5,8	5,6
9	6	5,6	5,3	4,7
10	5,9	5,8	5,6	4
11	5,9	5,5	5,6	3,6
12	6,1	5,9	5,5	5,2
13	6,5	5,6	5	3,6
14	6,2	5,6	5	3,7
15	5,5	4,8	4,3	4,2
16	5,6	5	4,8	4,2
17	4,5	4,3	4,3	2,6
18	4,8	4,4	3,3	2,9
19	4,3	4,1	3,8	2,5
20	5	4,7	4,6	4,6

Fuente: Holcim Ambato



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105

Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés

Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 04/09/2017

Tabla 36. Espesores de tambores mezclador McNeilus número 406 de Holcim Ambato.

ESPESORES DE TAMBOR MEZCLADOR McNeilus NÚMERO 406 PLANTA AMBATO (mm)				
Año N° Pieza	ene-13	ago-13	ene-14	jul-14
1	6,5	5	4,5	4,2
2	6,5	6,1	4,5	4
3	6,5	6,5	4,5	4,1
4	6,5	5	4,6	4,1
5	6,5	5,5	4,1	4
6	6,5	6,4	4	3,4
7	6,5	5,2	4	3,5
8	6,5	5,5	5	4,6
9	6,5	5	3,4	3,3
10	6,5	5,4	5,2	5,2
11	6,5	5,3	4,9	4,5
12	6,5	5	3	2,8
13	6,5	4,6	4,5	4,1
14	6,5	3,2	3,2	2,8
15	6,5	3,3	2,8	2,6
16	6,5	4,5	3,8	3
17	6,5	4	3,6	2,6
18	6,5	4,3	4,1	4
19	6,5	6,4	4,7	3,8
20	6,5	5,1	4,9	4,5

Fuente: Holcim Ambato



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)



PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS CON RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE TUNGSTENO EN BASE DE COBALTO Y EVALUACIÓN DE DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105

Realizado por: Ing. David Andrés Villacrés

Autorizado por: Ing. Diego Núñez, Msc.

Lugar: UTA FICM

Fecha de ejecución: 04/09/2017

Para la interpretación de colores se toma como referencia los valores de la tabla 38, que son tomados de acuerdo a los espesores según las mediciones realizadas a los tambores de mezclado de los mixers de Holcim Ambato.

Tabla 37. Barra de colores correspondiente a cada espesor.

Espesor del tambor (mm)	
7,4	Desgaste mínimo ↑ ↓ Desgaste máximo
6	
5	
4	
2	
0,8	

Fuente: El autor

En la tabla 39 se muestra la planificación de recuperación por recubrimiento de carburo de tungsteno.

Tabla 38. Planificación para la recuperación por recubrimiento de carburo de tungsteno.

Color representativo	Recuperación por recubrimiento de carburo de tungsteno
	cada 12 meses
	cada 9 meses
	cada 6 meses

Fuente: El autor

6.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA PROPUESTA

Conclusiones

- En base a los datos numéricos de las medidas del desgaste de las piezas del tambor de los mixers de la empresa Holcim se determinó la parte de mayor desgaste, para la cual se aplicó el procedimiento de recuperación por recubrimiento de carburo de tungsteno que permita alargar su vida útil, o a su vez el reemplazo con acero común AISI 1020 metalizado con tungsteno.
- El recubrimiento que se obtiene se encuentra unido metalúrgicamente al acero base, a través de una serie de capas de tungsteno que confiere al acero una protección eficaz contra el desgaste abrasivo, representando la reducción de costos y optimización de los recursos en la empresa Holcim Ambato.
- Se realizó un procedimiento en base a carburo de tungsteno para la recuperación del mixer en la planta Holcim de Ambato, el cual provee una mejor resistencia al desgaste abrasivo.

Recomendaciones

- Aplicar el correcto proceso de metalizado mediante carburo de tungsteno para obtener uniformidad en las superficies.
- Realizar el mantenimiento de acuerdo a los tiempos descritos y en las partes establecidas en el plano adjunto.
- Es importante tener en cuenta que los ensayos metalográficos no deben ser destructivos para no invadir de manera considerable al tambor del mixer.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Devia, Mecanismos de desgaste en herramientas de conformado con recubrimientos de TiAlN por medio de sistemas PAPVD, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [2] Gozalo, Irene; Gómez Limón, Dulce; Nuñez, Adolfo; Ruíz, Casilda, Desgaste de Aceros en Equipos de trituración en plantas de tratamiento de áridos, vol. II, Mar del Plata: Primer Congreso Argentino de árido: Áridos 2008, 2008.
- [3] P. Diego, Estudio de los parámetros de desgaste abrasivo del bronce SAE 40 y SAE 64 bajo la norma ASTM G-65 y su influencia en la pérdida de volumen, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [4] L. Zárate, La evolución de la economía de los países miembros de la FIIC: 2013-2014, Medellín: Cámara Mexicana de la industria de la construcción, 2014.
- [5] A. Varela, A. García, J. Artiaga, J. Mier y F. Barbadillo, Comportamiento tribológico de un acero austenítico al manganeso usado en revestimientos de molinos de Carbón, Grandia: VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, 2002, pp. 375-383.
- [6] J. C. Gutiérrez, L. M. León, D. H. Mesa y A. Toro, «Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera,» *Scientia el Technica*, nº 25, Agosto 2004.
- [7] E. Guerrero, Estudio de los tratamientos térmicos en el acero AISI 1045 en un sistema acuoso evaluados con la Norma ASTM G105-89 que permitirá determinar la velocidad de desgaste del material, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [8] W. Callister, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, México : Reverté, 2002.
- [9] W. Troughton y J. Hashemi, Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, Suiza: Mc Graw Hill, 2006.
- [10] A. Agüero, «Ingeniería de superficies y su impacto en el medioambiente,» *Metalurgia*, p. 13, 2007.
- [11] C. H. Ohanian y T. J. Markett, Física para ingeniería y ciencias, México: Mc Graw Hill, 2009.
- [12] J. Gare, Mecánica de materiales, España: Thomson, 2006.

- [13] T. Burns, Clasificaciones de la ASTM para el acero, 2012.
- [14] Ferrocortes G.M y Cía. , «Barras de acero al carbono AISI/SAE 1020,» Cartagena, 2016.
- [15] L. Cusó, «Ficha Técnica SAE 1020; 1045; 4140 y 4340,» SACK, 2017.
- [16] AbraSteel, Aceros Estructurales de alta resistencia mecánica, AbraSteel Soluciones al desgaste, 2005.
- [17] A. Leyensetter, Tecnología de los oficios metalúrgicos, Reverté S.A, 2006.
- [18] ASTM International Standards Worldwide, «Cómo protegen los revestimientos metálicos al acero,» 2006. [En línea]. Available: <https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/Q206/q206aprdallynside.html>.
- [19] L. Dimaté, M. Ortiz, J. Morales y J. Olaya, «Recubrimientos producidos por proyección térmica por arco para aplicaciones en la Industria naval,» *IBEROMET XI*, noviembre 2010.
- [20] Marulanda, El Rociado Térmico y sus Aplicaciones, Publicación Universitaria, 2000.
- [21] J. Marulanda, J. Trisancho y H. González, «La tecnología de recuperación y protección contra el desgaste está en el rociado térmico,» *Prospect*, vol. 12, nº 1, p. 70.78, junio 2014.
- [22] R. Charadia, L. vaca y S. Salvarezza, comportamiento frente al desgaste y coorision de acero asi 420 nitrurado y recubrimiento con nitruro de cromo, Argentina : INTEMA UNMdp, 2007.
- [23] A. Bohler, «Servicio de Tratamientos térmicos - Nitruración,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.bohlerperu.com/2919.php>.
- [24] E. Julve, Perspectiva general del cromado industrial: Características físicas del recubrimiento y tipos de cromado, Universidad Autónoma de Barcelona, 2001, pp. 19-20.
- [25] Tecnocrom Industrial S.A, Cromo duro y níquel químico, Barcelona: DNV, 2011.
- [26] J. Hernández y J. Gallego, Depósito electrolítica de Níquel, Guadalajara, 2015, pp. 22-23.

- [27] MetalValley, «El recubrimiento de carburo de tungsteno es una excelente alternativa para reducir el desgaste de piezas industriales,» julio 2011.
- [28] Federación de Enseñanza de CC.00 de Andalucía, Tratamientos termoquímicos, Andalucía: Revista digital para profesionales de la enseñanza, 2011, p. 2.
- [29] J. Luna, Cementación sólida de aceros, Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2015, pp. 46,47.
- [30] A. Vázquez y J. De Damborenea, Ciencia e ingeniería de la superficie de los materiales metálicos, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2002.
- [31] S. H. Avner, Introducción a la metalurgia Física, McGraw-Hill, 1990.
- [32] M. Gómez, Caracterización de las propiedades tribológica de los recubrimientos duros, Barcelona: Universitat de Barcelona, 2005.
- [33] G. Martínez, la tribología ciencia y técnica para el mantenimiento, Mexico , España , Venezuela, Colombia : LIMUSA , 2002.
- [34] A. Forn, M. Baile, Puing y E. R. d. l. Garcia, «Propiedades tribológicas de los materiales compuestos de matriz de aluminio reforzados con partículas cerámicas,» *revistametalurgia*, p. 196, 2001.
- [35] F. Dias, Lecturas de ingeniería 2 Tribología fricción desgaste y lubricación, Mexico: Unam cautitlan, 2007.
- [36] E. R. Rosalba Fuentes y V. Reyes, Comportamiento Tribológico de aluminio sinterizado y desgastado bajo distintas condiciones, Guanajuato : CFATA UNAM, 2003.
- [37] A. Potenza, Implementación de un sistema de desgaste abrasivo y su aplicación en muestras Al₂O₃-VC-Co, Sartenejas: Universidad Simón Bolívar, 2004.
- [38] I. Martínez, Desgaste de aceros aleados en sistemas de transporte neumático, México: Universidad Autónoma Nuevo León, 2006.
- [39] J. Vázquez, Elementos de Control de Desgaste, Facultad de Ingeniería, UCV, Abril 1997.
- [40] J. Almonacid, Análisis del desgaste abrasivo en acero AISI SAE H13, Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017.

- [41] Polymet, «<http://www.polymet.us/products/thermal-spray-wire/pmet-297/>,» 2017. [En línea]. Available: http://www.polymet.us/wp-content/uploads/2016/12/pmet297_datasheet.pdf. [Último acceso: 25 08 25/08/2017].
- [42] «TERMITEC - TENIFER®,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.termitec.com.mx/procesos.html>.
- [43] Böhler , «Servicio de Tratamientos Térmicos - Cementación,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.bohlerperu.com/2920.php>. [Último acceso: 06 07 2017].
- [44] M. Zurita, Proyecto de una planta de trituración para cantera de caliza, Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Minas, 2012.
- [45] F. Díaz, Diseño de elementos de máquinas, Cautitlan-México: Estudios superiores Cuautillán , 2011.
- [46] Revista Evolución , «Reparación de la carrocería y preparación-embellecimiento de superficies,» Evolución, España , 2010.
- [47] G. Aza, Compendio de Normas para Productos de Acero, Tercera ed., Santiago: GERDAU AZA S.A, 2000.
- [48] A. Meléndez y V. Quelal, Análisis y resultados del comportamiento de los esfuerzos residuales y las deformaciones en juntas soldadas a tope de acero A36, aplicando el método SMAW con electrodos E6011, Salgolquí: Escuela Superior Politécnica del Ejército, 2009.
- [49] M. Villa, S. Dosta, J. Fernández, Guilrmany y J, «La proyección fría (CGS): Una alternativa a las tecnologías convencionales de deposición,» *Revista de Metalurgia*, vol. 48, nº 3, pp. 175-191, mayo-junio 2012.
- [50] D. González, Recubrimientos superficiales mediante Proyección térmica, Gijón: ARSIDE, 2010.
- [51] Aceros Bravo, «SAE 1020,» B&B, Santiago de Chile, 2017.
- [52] F. Martínez, «Algorítmico para el cálculo del desgaste en pares de fricción de materiales metálicos,» *Revista metal*, pp. 410-419, 2000.
- [53] M. n. d. l. t. d. d. y. e. p. d. d. a. m. e. m. d. e. discretos, «Perazzo, Franco; Knop, Federik; Placencia, Gerardo,» *Mecánica computacional*, vol. 35, pp. 1013-1026, 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Composición Química de Aceros



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA. ESPECTROMETRÍA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

INFORME DE RESULTADOS N°:180372348320170713-ERX

DATOS GENERALES

N° de proforma: EN_006

Designación del material: Materiales metálicos.

Empresa / Cliente: David Andrés Villacrés Padilla.

RUC/C.I.: 1803723483001

Dirección: Av. Indoamerica Km. 4

Ciudad: Ambato

Teléfono: 0992973715.

Correo: daanvix@gmail.com

Fecha de Inicio de Ensayo: 03 de julio de 2017.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en las probetas de: Acero AISI 1020 y aceros de la aleta y el tambor de un mixer. El material fue recibido en el Laboratorio de Ensayos No destructivos (NDT) del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas.

N°	Identificación de probetas	Descripción	Material	Dimensiones (mm)	Cantidad
1	180372348320170713-ERX 01	Probeta	AISI 1020	N/A	1
2	180372348320170713-ERX 02	Probeta	Aleta	N/A	1
3	180372348320170713-ERX 03	Probeta	Tambor	N/A	1
Total					3

Observaciones: Ninguna

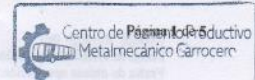
Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Angel Balseca Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López E. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Fecha de entrega de Informe: Ambato, 18 de julio de 2017.

N°. Factura: 001-002-000002989

Código: RG-EN- 001
Fecha de Elaboración:08-06-2017
Fecha de última aprobación: 07-07 -2017
Revisión: 1

ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA.
ESPECTROMETRÍA POR
FLUORESCENCIA DE RAYOS X





VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Ensayos No Destructivos (NDT)
Dirección: Ambato/Catigлата. Rio de Janeiro y Toronto.
Fecha de verificación: 03 de julio de 2017.
Tipo de ensayo: Cuantitativo
Realizado por: Ing. Fernando Galarza

RESULTADOS

ID: 07/03/07 #13 **Anexo de referencia. Cuadro1**
Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # **Serie:** 541828
Código del Informe vinculado: 180372348320170713-ERX
Patrón de calibración:
Serie:
Código de identificación del patrón de verificación: Waltham, MA 02453
Método de utilizado: Comparación por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED) de Materiales

Resultado de la Verificación: Aceptada
Hora: 12 horas 50 minutos
Temperatura del ensayo: 18 °C
Conteos por segundo: 33610
Resolución (EV): 146

Nº	Identificación de patrones	Concentración	Medida	Resolución	Observaciones
1	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
2	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
3	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
4	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
5	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
6	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
7	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
8	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
9	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
10	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
11	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
12	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
13	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
14	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
15	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
16	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
17	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
18	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
19	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
20	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
21	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
22	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
23	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
24	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
25	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
26	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
27	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
28	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
29	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
30	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
31	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
32	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
33	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
34	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
35	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
36	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
37	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
38	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
39	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
40	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
41	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
42	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
43	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
44	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
45	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
46	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
47	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
48	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
49	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	
50	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	100.00000000000000	

Observaciones: Ninguna

(Faint signatures and stamps)

(Faint text from stamp)

(Faint text from stamp)

Código: RG-EN- 001
Fecha de Elaboración:08-06-2017
Fecha de última aprobación: 07- 07 -2017
Revisión: 1

ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA.
ESPECTROMETRÍA POR
FLUORESCENCIA DE RAYOS X



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Probeta No. 1

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.

Dirección: Ambato/Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto.

ID: 07/03/17 #6 Anexo de referencia. Cuadro2

Código del Informe: 180372348320170713-ERX

Código de identificación de probetas: 180372348320170713-ERX 01

Fecha de Finalización de Ensayo: 03 de julio de 2017.

Tipo de ensayo: Cuantitativo, cualitativo.

Método de ensayo: ASTM E1085 2016: Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828

Temperatura del ensayo: 18° C

Energía: 40 keV

Precisión: 0.1 **Corriente de funcionamiento:** 0.2 mA

COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF

Ítem	Elemento	% Contenido	+/- Error
1	Fe	99.05	0.03
2	Mn	0.63	0.03
3	P	0.139	0.004
4	Si	0.121	0.008
5	S	0.056	0.005
	Total	100%	0.077

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.



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS
Probeta No. 2

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.
Dirección: Ambato/Catigata. Río de Janeiro y Toronto.
ID: 07/03/17 #7 Anexo de referencia. Cuadro3
Código del Informe: 180372348320170713-ERX
Código de identificación de probetas: 180372348320170713-ERX 02
Fecha de Finalización de Ensayo: 03 de julio de 2017.
Tipo de ensayo: Cuantitativo, cualitativo.
Método de ensayo: ASTM E1085 2016: Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828

Temperatura del ensayo: 18° C **Energía:** 40 keV
Precisión: 0.1 **Corriente de funcionamiento:** 0.2 mA

COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF

Ítem	Elemento	% Contenido	+/- Error
1	Fe	98.31	0.04
2	Mn	0.99	0.03
3	Cu	0.29	0.02
4	P	0.144	0.004
5	Si	0.118	0.008
6	Ni	0.09	0.02
7	S	0.056	0.005
Total		100%	0.127

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.



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Probeta No. 3

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.

Dirección: Ambato/Catigлата. Rio de Janeiro y Toronto.

ID: 07/03/17 #8 Anexo de referencia. Cuadro4

Código del Informe: 180372348320170713-ERX

Código de identificación de probetas: 180372348320170713-ERX 03

Fecha de Finalización de Ensayo: 03 de julio de 2017.

Tipo de ensayo: Cuantitativo, cualitativo.

Método de ensayo: ASTM E1085 2016: Método de prueba estándar para el análisis de los aceros de baja aleación por longitud de onda dispersiva de rayos X espectrometría de fluorescencia.

Equipo utilizado: Espectrómetro OLYMPUS DPO2000-C # Serie: 541828

Temperatura del ensayo: 18° C

Energía: 40 keV

Precisión: 0.1 **Corriente de funcionamiento:** 0.2 mA

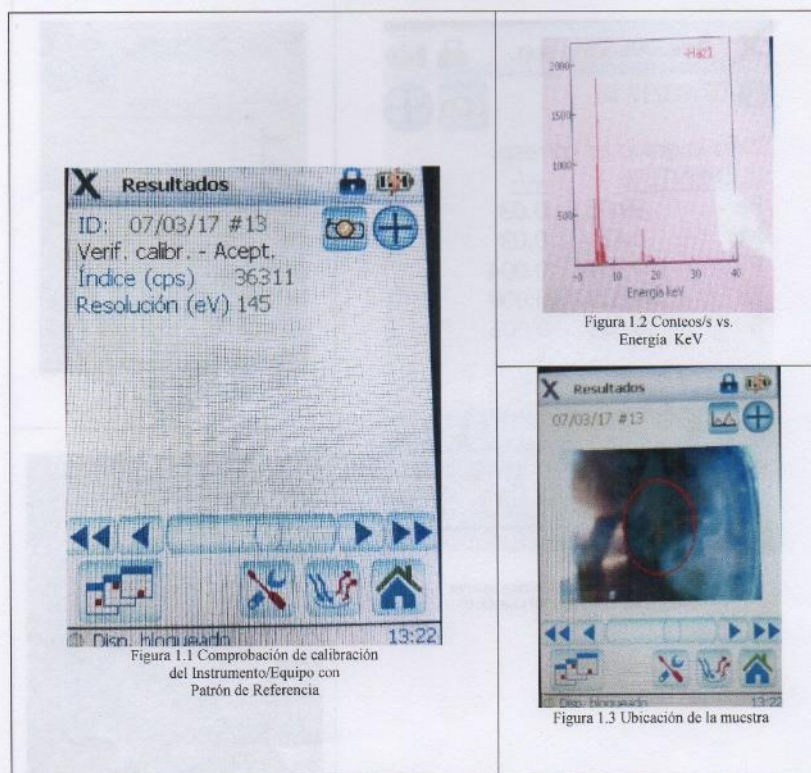
COMPOSICIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA XRF

Ítem	Elemento	% Contenido	+/- Error
1	Fe	98.12	0.04
2	Mn	1.03	0.03
3	Cu	0.24	0.02
4	Ni	0.15	0.02
5	P	0.144	0.004
6	Si	0.119	0.008
7	Cr	0.11	0.01
	Total	100%	0.132

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.

Cuadro 1. Registro para reporte de composición química por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED). Orden No. 13, 03 de julio de 2017, Conformidad de calibración-Aceptada. Laboratorio de NDT-CFPMC.



Cuadro 2. Registro para reporte de composición química por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED). Orden No. 6, 03 de julio de 2017. Laboratorio de NDT CFPMC.

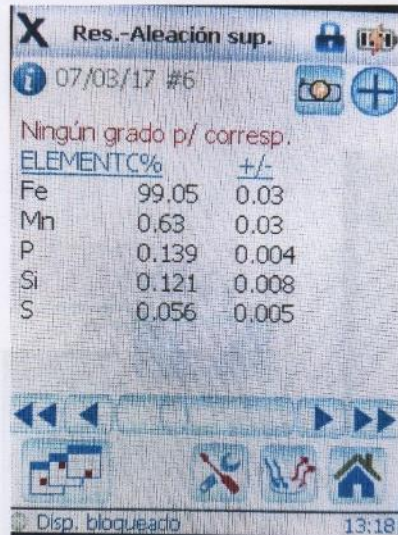


Figura 2.1 Composición Química muestra
Código 180372348320170713-ERX 01

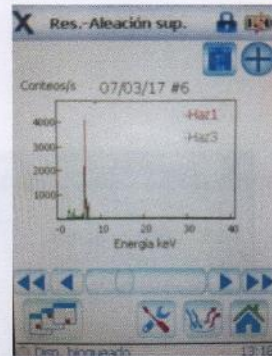
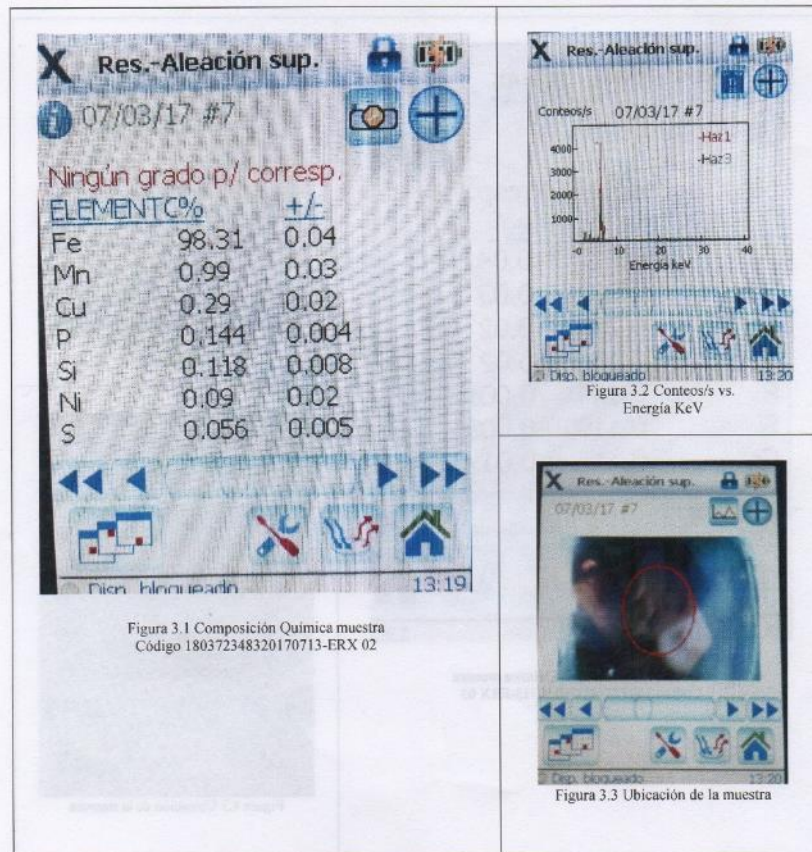


Figura 2.2 Conteos/s vs. Energía KeV



Figura 2.3 Ubicación de la muestra

Cuadro 3. Registro para reporte de composición química por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED). Orden No. 7, 03 de julio de 2017. Laboratorio de NDT CFPMC.



Cuadro 4. Registro para reporte de composición química por Fluorescencia de Rayos X (XRF) por energía dispersiva (ED). Orden No. 8, 03 de julio de 2017. Laboratorio de NDT CFPMC.



Anexo 2. Data Sheet MatWEB Aceros AISI 1020 y ASTM A 514F AISI 1020 Normalizado 870°C

27/8/2017

AISI 1020 Steel, normalized at 870°C (1600°F)



AISI 1020 Steel, normalized at 870°C (1600°F)

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [AISI 1000 Series Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

Material Notes: Applications include parts in the case hardened condition where core strength is not critical, and for shafts of larger cross section that are not highly stressed. Other uses include lightly stressed gears with hard wearing surfaces and case hardened pins and chains.



Key Words: UNS G10200, AMS 5032, AMS 5045, ASTM A29, ASTM A108, ASTM A510, ASTM A519, ASTM A29, A108, A510, A512, A513, A519, A544, A575 M10120, A576, A635, A659, A827, A830, BS 970 040A20, 050A20 (En2C), 050A20 (En2D), 060A20, BS 970 Part 1 070M20, DEF STAN95-1-1 C1020, SAE J412, SAE J414, DIN 1.0402, AFNOR CC 20, UNI C 20, SS14 1450 (Sweden), SAE J403

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.87 g/cc	0.284 lb/in ³	Typical for steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	131	131	
Hardness, Knoop	150	150	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	73	73	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Vickers	136	136	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	440 MPa	63800 psi	
Tensile Strength, Yield	345 MPa	50000 psi	
Elongation at Break	35.8 %	35.8 %	in 50 mm
Reduction of Area	67.9 %	67.9 %	
Modulus of Elasticity	186 GPa	27000 ksi	
Bulk Modulus	148 GPa	21500 ksi	calculated from elastic modulus and Poisson's ratio
Poissons Ratio	0.29	0.29	
Shear Modulus	72.0 GPa	10400 ksi	calculated from elastic modulus and Poisson's ratio
Izod Impact	120 J	88.5 ft-lb	
Charpy Impact 	16.9 J	12.5 ft-lb	
	@Temperature -30.0 °C	@Temperature -22.0 °F	
	18.0 J	13.3 ft-lb	
	@Temperature -18.0 °C	@Temperature -0.400 °F	
	20.0 J	14.8 ft-lb	
	@Temperature -3.00 °C	@Temperature 26.6 °F	
	24.0 J	17.7 ft-lb	
	@Temperature 10.0 °C	@Temperature 50.0 °F	
	41.0 J	30.2 ft-lb	
	@Temperature 38.0 °C	@Temperature 100 °F	
54.0 J	39.8 ft-lb		
@Temperature 65.0 °C	@Temperature 149 °F		
61.0 J	45.0 ft-lb		
@Temperature 95.0 °C	@Temperature 203 °F		
68.0 J	50.2 ft-lb		
@Temperature 150 °C	@Temperature 302 °F		
Electrical Properties	Metric	English	Comments
 Electrical Resistivity	0.0000159 ohm-cm	0.0000159 ohm-cm	condition unknown
	@Temperature 0,000 °C	@Temperature 32,0 °F	
	0.0000219 ohm-cm	0.0000219 ohm-cm	condition unknown
@Temperature 100 °C	@Temperature 212 °F		
0.0000292 ohm-cm	0.0000292 ohm-cm	condition unknown	
@Temperature 200 °C	@Temperature 392 °F		

http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=2740581369f3421dac0d8c91294b5935

1/2

Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 	11.7 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ @Temperature 20,0 - 100 °C	6.50 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^\circ\text{F}$ @Temperature 68,0 - 212 °F	
	12.1 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ @Temperature 20,0 - 200 °C	6.72 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^\circ\text{F}$ @Temperature 68,0 - 392 °F	
	12.8 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ @Temperature 20,0 - 300 °C	7.11 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^\circ\text{F}$ @Temperature 68,0 - 572 °F	
	13.3 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ @Temperature 20,0 - 400 °C	7.39 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^\circ\text{F}$ @Temperature 68,0 - 752 °F	
	13.9 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ @Temperature 20,0 - 500 °C	7.72 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^\circ\text{F}$ @Temperature 68,0 - 932 °F	
	14.4 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ @Temperature 20,0 - 600 °C	8,00 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^\circ\text{F}$ @Temperature 68,0 - 1110 °F	
	14.8 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ @Temperature 20,0 - 700 °C	8,22 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^\circ\text{F}$ @Temperature 68,0 - 1290 °F	
	Specific Heat Capacity 	0.486 J/g·°C @Temperature >=100 °C	0.116 BTU/lb·°F @Temperature >=212 °F
0.519 J/g·°C @Temperature 150 - 200 °C		0.124 BTU/lb·°F @Temperature 302 - 392 °F	
0.599 J/g·°C @Temperature 350 - 400 °C		0.143 BTU/lb·°F @Temperature 662 - 752 °F	
Thermal Conductivity	51.9 W/m·K	360 BTU-in/hr-ft ² ·°F	Typical steel
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.17 - 0.23 %	0.17 - 0.23 %	
Iron, Fe	99.08 - 99.53 %	99.08 - 99.53 %	As remainder
Manganese, Mn	0.30 - 0.60 %	0.30 - 0.60 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

Acero ASTM A514 F

27/8/2017

ASTM A514 Steel, grade F, plate thickness ≤ 19 mm

ASTM A514 Steel, grade F, plate thickness ≤ 19 mm

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [Low Alloy Steel](#); [ASTM Steel](#); [Carbon Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

Material Low-alloy steel

Notes:

The following are suggested consumables for arc welding processes: For 0,476 - 6,35 cm (3/16 - 2,5 in.) thicknesses - Manual Shielded Metal-Arc (AWS A5.5) Low Hydrogen Electrodes E11015, E11016, and E11018; Submerged Arc (AWS A5.23) F11x-Exxx; Gas Metal-Arc (AWS A5.28) ER110S; Flux Cored-Arc (AWS A5.29) E11xT. For 6,35 - 10,16 cm (2,5 - 4 in.) thicknesses - Manual Shielded Metal-Arc (AWS A5.5) Low Hydrogen Electrodes E11015, E11016, and E11018; Submerged Arc (AWS A5.23) F10x-Exxx; Gas Metal-Arc (AWS A5.28) ER100S; Flux Cored-Arc (AWS A5.29) E10xT.

Key Words: UNS K11576, ASTM A517 F, ASTM A592 F

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.80 g/cc	0.282 lb/in ³	Typical of ASTM Steel

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	235 - 293 @Thickness 9.50 mm	235 - 293 @Thickness 0.374 in	for plates
Hardness, Knoop	289	289	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	98	98	Converted from Brinell Hardness.
Hardness, Rockwell C	26	26	Converted from Brinell Hardness.
Hardness, Vickers	278	278	Converted from Brinell Hardness.
Tensile Strength, Ultimate	760 - 895 MPa	110000 - 130000 psi	
Tensile Strength, Yield	690 MPa @Strain 0,200 %	100000 psi @Strain 0,200 %	
Elongation at Break	18 %	18 %	in 50 mm
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for steel
Shear Modulus	80,0 GPa	11600 ksi	Typical for steel

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Boron, B	0,00050 - 0,0060 %	0,00050 - 0,0060 %	
Carbon, C	0,10 - 0,20 %	0,10 - 0,20 %	
Chromium, Cr	0,40 - 0,65 %	0,40 - 0,65 %	
Copper, Cu	0,15 - 0,50 %	0,15 - 0,50 %	
Iron, Fe	97 %	97 %	as balance
Manganese, Mn	0,60 - 1,0 %	0,60 - 1,0 %	
Molybdenum, Mo	0,40 - 0,60 %	0,40 - 0,60 %	
Nickel, Ni	0,70 - 1,0 %	0,70 - 1,0 %	
Phosphorous, P	0,035 %	0,035 %	
Silicon, Si	0,15 - 0,35 %	0,15 - 0,35 %	
Sulfur, S	0,040 %	0,040 %	
Vanadium, V	0,030 - 0,080 %	0,030 - 0,080 %	

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

Anexo 3. Dureza de los Aceros



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

**LABORATORIO DE ANÁLISIS METALGRÁFICO
ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL**

INFORME DE RESULTADOS N°:180372348300120170718-EDR

DATOS GENERALES

N° de proforma: AM_2017_004
 Empresa / Cliente: Sr. David Villacrés
 RUC/C.I.: 1803723483001
 Dirección: Av. Indoamericana Km 4, Ambato
 Teléfono: 0992973715
 E-MAIL: daanvix@gmail.com
 Fecha de Inicio de Ensayo: 20 de julio de 2017.
 Designación del material: AISI 1020 , Mixer aleta y Tambor

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en tres muestras de distintos materiales correspondientes a: probeta de acero AISI 1020; y muestras de distintas partes de un sistema mezclador de concreto, (Aleta y Tambor) La recepción de las muestras se efectuó en el Laboratorio de análisis metalográfico del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas.

N° Probetas	Designación material	Dimensiones(mm)	Tipo de dureza	Numero de muestras por probeta	Número de probetas a ensayar
1	AISI 1020	34,35x46,16x4,84	HRB	5	1
2	MIXER ALETA	50,25x38,12x6,3	HRB	5	1
3	TAMBOR	37,0846,47x4,61	HRB	5	1
TOTAL					3

Observaciones: Ninguna

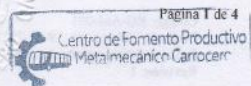
Elaborado por: Ing. Sebastián Villacrés Analista Técnico Área de Diseño y Desarrollo CFPMC	Ing. Ángel Balseca Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Fecha de entrega de Informe: Ambato, 02 de agosto de 2017.

N°. Factura: 001-002-000003058

Código: RG-AM-001
 Fecha de Elaboración: 19-07-2017
 Fecha de última aprobación: 20-07-2017
 Revisión: 1

**INFORME DE ENSAYO
DE DUREZA ROCKWELL**



Página 1 de 4

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.
Dirección: Ambato/Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto.
Código del Informe: 180372348300120170718-EDR
Fecha de Finalización de Ensayo: 20 de julio de 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: 18° C
Tiempo de duración de la fuerza: 6 s

DUREZA ROCKWELL

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
1	180372348300120170718-EDR 01-1	70,0
2	180372348300120170718-EDR 01-2	72,2
3	180372348300120170718-EDR 01-3	73,1
4	180372348300120170718-EDR 01-4	75,0
5	180372348300120170718-EDR 01-5	75,7
Promedio \bar{x}		73,18
Desviación estándar S_{n-1}		2,28
Coeficiente de variación CV		3,11

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.



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.
Dirección: Ambato/Catiglata. Rio de Janeiro y Toronto.
Código del Informe: 180372348300120170718-EDR
Fecha de Finalización de Ensayo: 20 de julio de 2017.
Tipo de ensayo: Cuantitativo.
Método de ensayo: NTE INEN ISO 6508-1. Materiales metálicos- Ensayo de dureza Rockwell- Parte 1: Método de Ensayo.
Equipo utilizado: Durómetro ERNST Modelo NR.3D
Temperatura del ensayo: 18° C
Tiempo de duración de la fuerza: 6 s

DUREZA ROCKWELL

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRn)
1	180372348300120170718-EDR 02-1	84,5
2	180372348300120170718-EDR 02-2	89,2
3	180372348300120170718-EDR 02-3	89,4
4	180372348300120170718-EDR 02-4	91,8
5	180372348300120170718-EDR 02-5	91,0
Promedio \bar{x}		89,18
Desviación estándar S_{n-1}		2,83
Coeficiente de variación CV		3,18

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.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.
Dirección: Ambato/Catigлата. Rio de Janeiro y Toronto.
Código del Informe: 180372348300120170718-EDR
Fecha de Finalización de Ensayo: 20 de julio de 2017.
Tipo de ensayo: Cuantitativo.
Método de ensayo: NTE INEN ISO 6508-1.Materiales metálicos- Ensayo de dureza Rockwell-
 Parte 1: Método de Ensayo.
Equipo utilizado: Durómetro ERNST Modelo NR.3D
Temperatura del ensayo: 18° C
Tiempo de duración de la fuerza: 6 s


DUREZA ROCKWELL

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRs)
1	180372348300120170718-EDR 03-1	99,1
2	180372348300120170718-EDR 03-2	98,6
3	180372348300120170718-EDR 03-3	97,9
4	180372348300120170718-EDR 03-4	95,9
5	180372348300120170718-EDR 03-5	98,0
Promedio \bar{x}		97,90
Desviación estándar S_{n-1}		1,22
Coeficiente de variación CV		1,24


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 4. Dureza de los Revestimientos y tratamientos térmicos en los ACEROS AISI 1020 y ASTM A 514F.



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



LABORATORIO DE ANÁLISIS METALOGRAFICO
ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL
INFORME DE RESULTADOS N°:180372348320170802-EDR

DATOS GENERALES

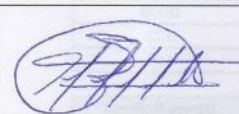

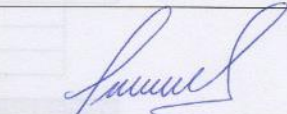
N° de proforma: AM_2017_007
 Empresa / Cliente: Sr. David Villacrés
 RUC/C.L.: 1803723483001
 Dirección: Av. Indoamericana Km 4, Ambato
 Teléfono: 0992973715
 E-MAIL: daanvix@gmail.com
 Fecha de Inicio de Ensayo: 04 de agosto de 2017.
 Designación del material: AISI 1020, Acero al manganeso.
 Los resultados obtenidos en el informe corresponden a ensayos de dureza realizados en probetas de acero AISI 1020 y Acero al 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	AISI 1020	Metalizado base aluminio	60,11 x 23,50 x 5,00	3	1
2	AISI 1020	Metalizado níquel cromo	59,26 x 23,97 x 4,96	3	1
3	AISI 1020	Metalizado tungsteno	58,55 x 25,45 x 7,03	3	1
4	AISI 1020	Nitruración	59,43 x 25,84 x 6,69	3	1
5	AISI 1020	Cementación	60,27 x 25,49 x 4,94	3	1
6	Acero al manganeso	Metalizado base aluminio	55,67 X 24,20 X 6,28	3	1
7	Acero al manganeso	Metalizado níquel cromo	58,31 x 25,17 x 8,12	3	1
8	Acero al manganeso	Metalizado tungsteno	56,74 x 24,82 x 8,77	3	1
9	Acero al manganeso	Nitruración	58,32 x 25,20 x 6,27	3	1
10	Acero al manganeso	Cementación	58,12 x 24,67 x 6,31	3	1
				TOTAL	30

Observaciones: Ninguna

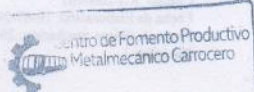
 Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Diseño y Desarrollo CFPMC	 Aprobado por: Ing. Ángel Balseca Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	 Ing. Esteban López Espinel MEng Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
---	---	---

Fecha de entrega de Informe: Ambato, 04 de agosto de 2017.
 N°. Factura: 001-002-000003229

Código: RG-AM-001
 Fecha de Elaboración: 19-07-2017
 Fecha de última aprobación: 20-07-2017
 Revisión: 1

INFORME DE ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL

Página 1 de 4



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Análisis metalográfico.
Dirección: Ambato/Catiglatá. Río de Janeiro y Toronto.
Código del Informe: 180372348320170802-EDR
Fecha de Finalización de Ensayo: 04 de agosto de 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: 17° C
Tiempo de duración de la fuerza: 6 seg
Ultima verificación de máquina: RG-AM-003
Patrón utilizado: TECMICRO. 82,4 HRB ± 1
Verificación de la máquina por medio de patrón: 82,5 HRB.

DUREZA ROCKWELL

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
1	180372348320170802-EDR 01-1	66,9
2	180372348320170802-EDR 01-2	73,1
3	180372348320170802-EDR 01-3	68,2
Promedio \bar{x}		69,40
Desviación estándar S_{n-1}		3,27
Coeficiente de variación CV		4,71

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
4	180372348320170802-EDR 02-1	85,8
5	180372348320170802-EDR 02-2	82,8
6	180372348320170802-EDR 02-3	82,5
Promedio \bar{x}		83,70
Desviación estándar S_{n-1}		1,82
Coeficiente de variación CV		2,18

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
7	180372348320170802-EDR 03-1	100,2
8	180372348320170802-EDR 03-2	107,3
9	180372348320170802-EDR 03-3	110,4
Promedio \bar{x}		105,96
Desviación estándar S_{n-1}		5,22
Coeficiente de variación CV		4,93

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
10	180372348320170802-EDR 04-1	71,1
11	180372348320170802-EDR 04-2	80,2
12	180372348320170802-EDR 04-3	75,2
Promedio \bar{x}		75,50
Desviación estándar S_{n-1}		4,56
Coeficiente de variación CV		6,04

Código: RG-AM-001
 Fecha de Elaboración: 19-07-2017
 Fecha de última aprobación: 20-07-2017
 Revisión: 1

INFORME DE ENSAYO
 DE DUREZA ROCKWELL

Página 2 de 4



RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
13	180372348320170802-EDR 05-1	109,4
14	180372348320170802-EDR 05-2	113,9
15	180372348320170802-EDR 05-3	112,8
	Promedio \bar{x}	112,03
	Desviación estándar S_{n-1}	2,35
	Coefficiente de variación CV	2,09

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
16	180372348320170802-EDR 06-1	70,4
17	180372348320170802-EDR 06-2	68,4
18	180372348320170802-EDR 06-3	75,5
	Promedio \bar{x}	71,43
	Desviación estándar S_{n-1}	3,66
	Coefficiente de variación CV	5,13

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
19	180372348320170802-EDR 07-1	94,5
20	180372348320170802-EDR 07-2	92,3
21	180372348320170802-EDR 07-3	100,3
	Promedio \bar{x}	95,70
	Desviación estándar S_{n-1}	4,13
	Coefficiente de variación CV	4,32

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
22	180372348320170802-EDR 08-1	105,9
23	180372348320170802-EDR 08-2	105,1
24	180372348320170802-EDR 08-3	106,8
	Promedio \bar{x}	105,93
	Desviación estándar S_{n-1}	0,85
	Coefficiente de variación CV	0,80

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRB)
25	180372348320170802-EDR 09-1	93,6
26	180372348320170802-EDR 09-2	96,3
27	180372348320170802-EDR 09-3	97,8
	Promedio \bar{x}	95,90
	Desviación estándar S_{n-1}	2,13
	Coefficiente de variación CV	2,22



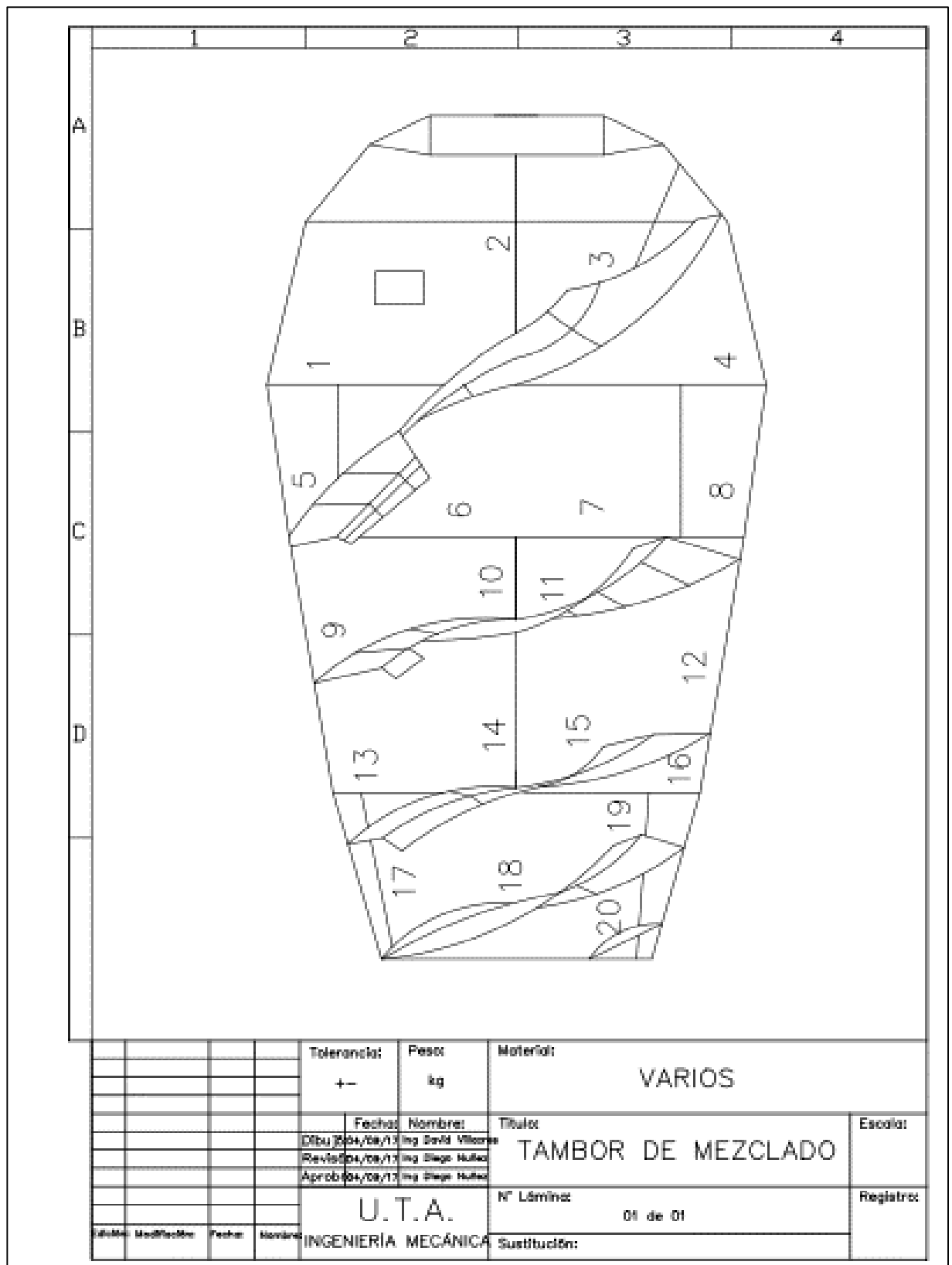
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Ítem	Identificación de probeta	Dureza Rockwell (HRC)
28	180372348320170802-EDR 10-1	112,0
29	180372348320170802-EDR 10-2	115,9
30	180372348320170802-EDR 10-3	115,5
Promedio \bar{x}		114,47
Desviación estándar S_{n-1}		2,15
Coeficiente de variación CV		1,87

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 5. Tambores de mezclado de los mixers



Anexo 6. Parámetros de Metalizado de Aleación Tungsteno Amorfo, Polymet

Technical Datasheet



PMET 297 WC Amorphous Alloy

September 4, 2015

PRODUCT OVERVIEW

PMET 297 is a cored wire specifically designed for arc spray systems. It is a titanium and tungsten carbide alloy in an amorphous matrix. PMET 297 produces a hard, abrasive and corrosion resistant coating, with a service environment of up to 1000° F. PMET 297 is used in a wide variety of industrial high wear applications.

TYPICAL DEPOSIT CHARACTERISTICS:

⇒ Abrasion Resistance	Good
⇒ Typical Hardness:	HRC 65
⇒ Bond Strength:	5000 psi
⇒ Deposit Rate:	10 lbs/hr/100A
⇒ Deposit Efficiency	70%
⇒ Wire Coverage:	1.0 oz/ft ² / mil
⇒ Surface Texture	variable
⇒ Machineability	No

* Depends on air pressure used

SURFACE PREPARATION

Surface should be clean, white metal, with no oxides (rust), dirt, grease, or oil on the surface to be coated. **Note:** It is best not to handle surfaces after cleaning.

Recommended method of preparation is to grit blast with 24 mesh aluminum oxide, rough grind, or rough machine in a lathe.

APPLICATION

- ⇒ Fan Blades
- ⇒ Boiler Tubes
- ⇒ Other High Wear Application

SPECIFICATION

Tungsten Carbide

NOMINAL CHEMICAL COMPOSITION (wt%)

WC	Cr	TiC	Ni	B	Si	Fe
26.0	13	6.0	6.0	2.0	1.0	Bal

RECOMMENDED SPRAY PARAMETERS:

Diameter	Air Pressure	Voltage	Amperage	Standoff
1/16" (1.6mm)	*50-60 psi	*29-32	*100-200	4-8 in (10-20 cm)

* Parameters are typical and may vary depending on equipment used. Contact your equipment manufacturer for optimum spray parameters

STANDARD SIZES & PACKAGING:

Diameter	Packaging	Part Number
1/16" (1.6mm)	25# LWS	297062LWS01



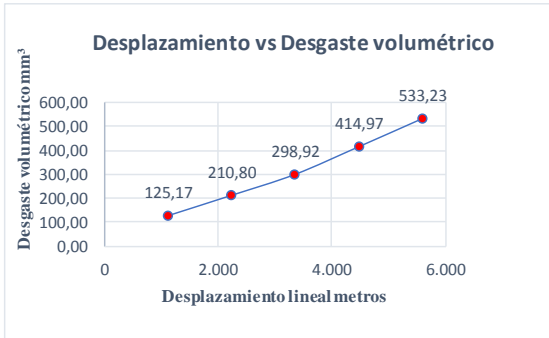

10073 Commerce Park Drive. Cincinnati, OH 45246 / Phone: 513-874-3586 / Fax: 513-874-2880

E-mail: sales@polymet.us

Anexo 7. Análisis del Acero AISI 1020 Normalizado

Acero AISI 1020 Normalizado, análisis con el disco abrasivo de dureza Shore A50 ±20

a. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 natural sin recubrimiento

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	1	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017			
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc			
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta			Características de la máquina				
Acero AISI 1020	Normalizado de Fábrica		Velocidad del disco	240 a 250 rpm			
Medio de enfriamiento	-----		Dureza del disco	A50±20			
Temperatura ambiente	19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons		
Ancho	25,4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm			
Largo	57.2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg			
Espesor	6mm		Cantidad de agua	0.940kg			
Peso inicial	56,96338492		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)		
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	55,97826	0,985125	125,17	0,8818	0,003971984	0,260780654
2000	2234,4	55,30442	1,658962	210,80	0,7425	0,003344433	0,439157666
3000	3351,6	54,61085	2,352531	298,92	0,7019	0,003161769	0,6227581
4000	4468,8	53,69754	3,265847	414,97	0,7308	0,00329194	0,864529596
5000	5586	52,76686	4,19652	533,23	0,7513	0,003384039	1,110895807
DESGASTE VOLÚMETRICO mm³					Probeta	1.AI20.N01	
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	2	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

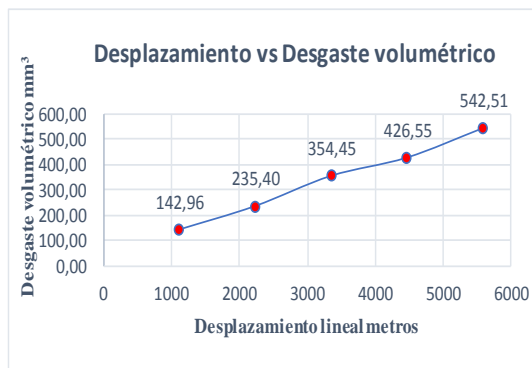
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	51,41333552	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	50,28821	1,125122	142,96	1,0071	0,004536446	0,297840428
2000	2234,4	49,56077	1,852562	235,40	0,8291	0,003734727	0,490407137
3000	3351,6	48,62379	2,789541	354,45	0,8323	0,003749105	0,738442662
4000	4468,8	48,05635	3,356982	426,55	0,7512	0,003383803	0,888654701
5000	5586	47,14379	4,269541	542,51	0,7643	0,003442923	1,130225805

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta: 1.A120.N02



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	3	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

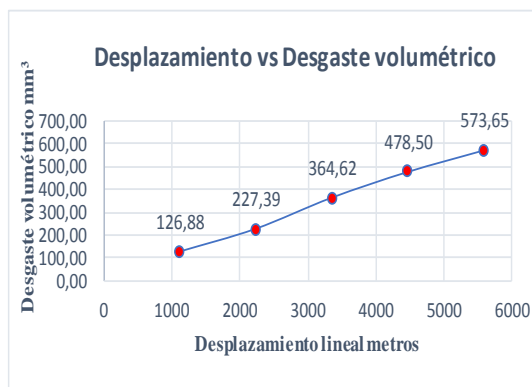
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	53,80790319	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	52,80937	0,998532	126,88	0,8938	0,00402604	0,264329733
2000	2234,4	52,01838	1,789524	227,39	0,8009	0,003607644	0,473719822
3000	3351,6	50,93838	2,869522	364,62	0,8562	0,003856598	0,7596151
4000	4468,8	50,04208	3,765825	478,50	0,8427	0,003795913	0,996882942
5000	5586	49,29332	4,514587	573,65	0,8082	0,003640526	1,195093975

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta 1.AI20.N03



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	4	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

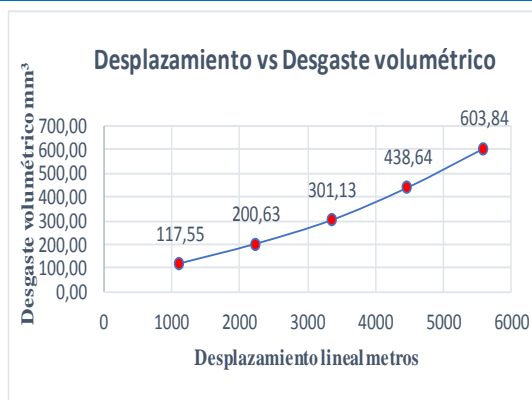
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	51,24349361	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	50,31839	0,9251	117,55	0,8281	0,003729965	0,244890936
2000	2234,4	49,66453	1,57896	200,63	0,7067	0,003183151	0,41797967
3000	3351,6	48,87364	2,369854	301,13	0,7071	0,003185051	0,627343816
4000	4468,8	47,79136	3,452129	438,64	0,7725	0,003479711	0,913841857
5000	5586	46,49128	4,75221	603,84	0,8507	0,003832143	1,257997141

DESGASTE VOLUMÉTRICO mm³

Probeta: 1.AI20.N04



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	5	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

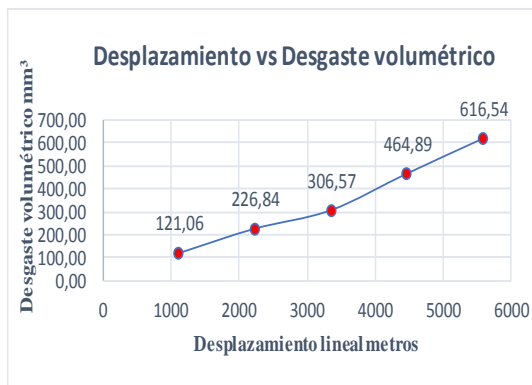
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	52,41870074	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	51,46597	0,95273	121,06	0,8528	0,003841368	0,252205104
2000	2234,4	50,63349	1,785214	226,84	0,799	0,003598955	0,472578886
3000	3351,6	50,00601	2,412695	306,57	0,7199	0,003242629	0,638684615
4000	4468,8	48,75998	3,658723	464,89	0,8187	0,003687955	0,968531078
5000	5586	47,56655	4,852146	616,54	0,8686	0,003912731	1,284452033



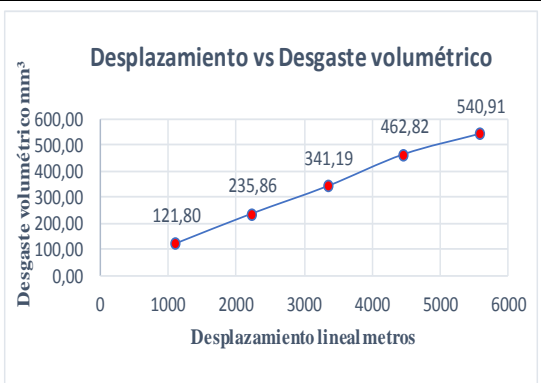

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta 1.AI20.N05



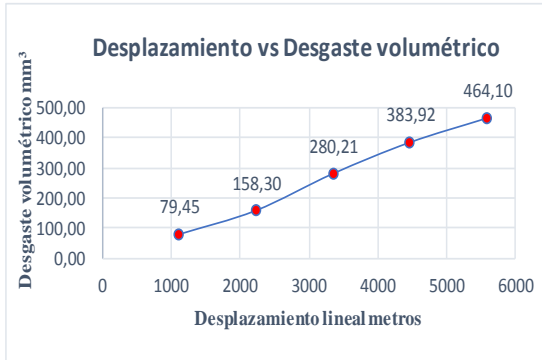
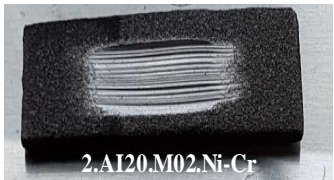


Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

b. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 con Recubrimiento metalizado en base aluminio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE		 FICM					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	6	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc				
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM	Realizado por:	Ing. David Villacrés				
Tipo de estudio	De laboratorio	Fecha:	20/07/2017				
Normas aplicadas	G105-89	Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc				
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta		Características de la máquina					
Acero AISI 1020	Metalizado Base Aluminio	Velocidad del disco	240 a 250 rpm				
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20				
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons				
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm				
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg				
Espesor	6,1mm	Cantidad de agua	0.940kg				
Peso inicial	53,41510557	Tiempo de Aplicación	8min (480s)				
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)
1000	1117,2	52,45657	0,95854	121,80	0,858	0,003864794	0,253743117
2000	2234,4	51,55887	1,856237	235,86	0,8308	0,003742136	0,491379977
3000	3351,6	50,72991	2,6852	341,19	0,8012	0,003608872	0,710821686
4000	4468,8	49,77272	3,642381	462,82	0,8151	0,003671483	0,964205051
5000	5586	49,15814	4,256963	540,91	0,7621	0,00343278	1,126896177
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	2.AI20.M01.AL
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			

c. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 con recubrimiento metalizado níquel - cromo

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	7	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017			
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc			
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta			Características de la máquina				
Acero AISI 1020	Metalizado Níquel-Cromo		Velocidad del disco	240 a 250 rpm			
Medio de enfriamiento	-----		Dureza del disco	A50±20			
Temperatura ambiente	19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons		
Ancho	25.4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm			
Largo	57.2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg			
Espesor	7,1mm		Cantidad de agua	0.940kg			
Peso inicial	67,468797		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)		
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coeficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	66,84349	0,62531	79,45	0,5597	0,002521224	0,165531025
2000	2234,4	66,22294	1,24586	158,30	0,5576	0,002511628	0,329801991
3000	3351,6	65,26352	2,205278	280,21	0,658	0,002963863	0,583777531
4000	4468,8	64,44734	3,021453	383,92	0,6761	0,003045594	0,799834022
5000	5586	63,81631	3,652489	464,10	0,6539	0,002945337	0,966880824
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³					Probeta	2.A120.M02.Ni-Cr	
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	8	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Metalizado Niquel-Cromo	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19,7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	7,1mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	66,76437695	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

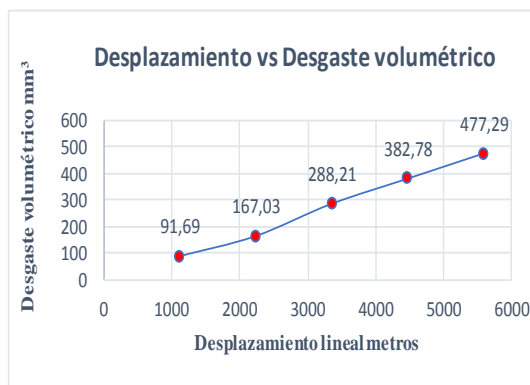
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	66,04279	0,721589	91,69	0,6459	0,002909417	0,191017842
2000	2234,4	65,44986	1,31452	167,03	0,5883	0,002650045	0,347977552
3000	3351,6	64,49615	2,26823	288,21	0,6768	0,00304847	0,60044208
4000	4468,8	63,75188	3,0125	382,78	0,6741	0,003036569	0,797463998
5000	5586	63,00814	3,75624	477,29	0,6724	0,003029001	0,994345616

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³



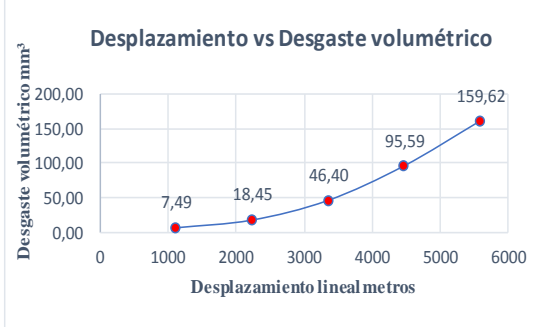
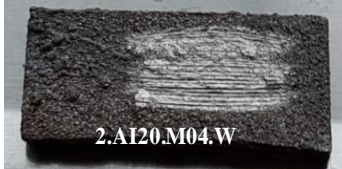
Probeta

2.A120.M03.Ni-Cr



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

d. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 con recubrimiento de aleación de tungsteno

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE							
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	9	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017			
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc			
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta			Características de la máquina				
Acero AISI 1020	Metalizado Tungsteno		Velocidad del disco	240 a 250 rpm			
Medio de enfriamiento	-----		Dureza del disco	A50±20			
Temperatura ambiente	19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons		
Ancho	25.4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm			
Largo	57.2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg			
Espesor	7,2mm		Cantidad de agua	0.940kg			
Peso inicial	71,59654983		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)		
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	71,53759	0,058956	7,49	0,0528	0,000237708	0,015606734
2000	2234,4	71,45132	0,14523	18,45	0,065	0,000292781	0,038445044
3000	3351,6	71,23135	0,3652	46,40	0,109	0,000490824	0,096675138
4000	4468,8	70,84424	0,75231	95,59	0,1683	0,000758321	0,199150254
5000	5586	70,34035	1,2562	159,62	0,2249	0,001012989	0,332539178
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³					Probeta	2.AI20.M04. W	
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	10	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Metalizado Tungsteno	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	7,2mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	65,91024817	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

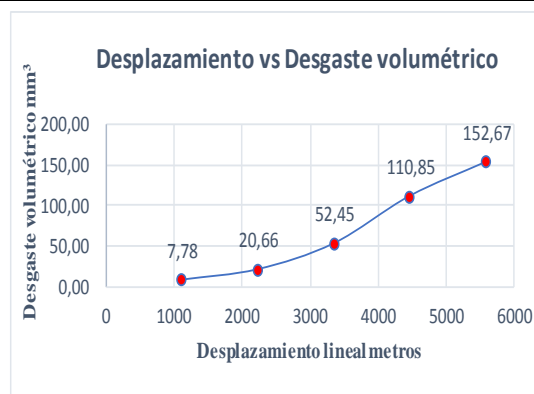
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	65,84899	0,061255	7,78	0,0548	0,000246977	0,016215264
2000	2234,4	65,74769	0,162558	20,66	0,0728	0,000327714	0,043032084
3000	3351,6	65,49747	0,412782	52,45	0,1232	0,000554773	0,109270966
4000	4468,8	65,0379	0,872351	110,85	0,1952	0,000879321	0,230927308
5000	5586	64,70876	1,201492	152,67	0,2151	0,000968873	0,318056967

DES GASTE VOLUMÉTRICO mm³



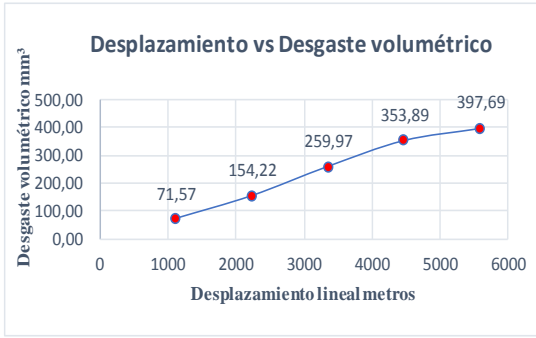

Probeta

2.AI20.M05.W



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

e. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 con tratamiento térmico de nitruración

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	11	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta			Características de la máquina				
Acero AISI 1020	Nitrurado		Velocidad del disco	240 a 250 rpm			
Medio de enfriamiento	-----		Dureza del disco	A50±20			
Temperatura ambiente	19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons		
Ancho	25.4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm			
Largo	57.2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg			
Espesor	6mm		Cantidad de agua	0.940kg			
Peso inicial	52,13394451		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)		
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	51,57069	0,56325	71,57	0,5042	0,002271001	0,149102605
2000	2234,4	50,92026	1,21368	154,22	0,5432	0,002446754	0,321283355
3000	3351,6	50,088	2,04594	259,97	0,6104	0,002749715	0,54159784
4000	4468,8	49,34882	2,78512	353,89	0,6232	0,002807372	0,737272342
5000	5586	49,00414	3,1298	397,69	0,5603	0,002523845	0,82851546
DESGASTE VOLÚMETRICO mm³					Probeta	3.A120.NH01	
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	12	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

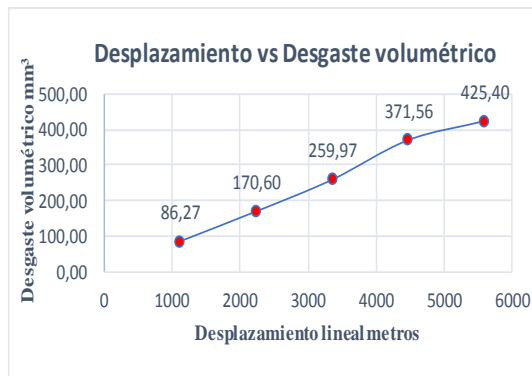
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	51.27463483	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	50,59568	0,678952	86,27	0,6077	0,002737507	0,179731046
2000	2234,4	49,93205	1,342586	170,60	0,6009	0,002706626	0,355407137
3000	3351,6	49,22869	2,04594	259,97	0,6104	0,002749715	0,54159784
4000	4468,8	48,35042	2,924213	371,56	0,6544	0,002947577	0,77409281
5000	5586	47,92674	3,34789	425,40	0,5993	0,002699711	0,886247882

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **3.AI20.NH02**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	13	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

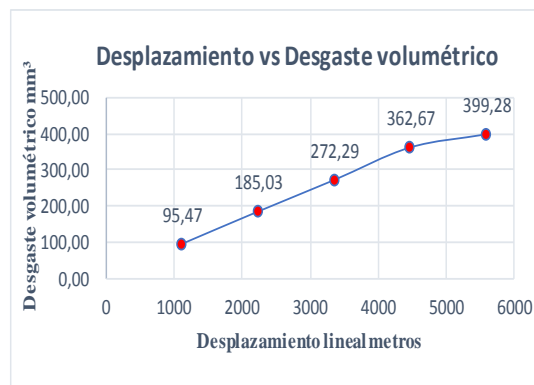
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	54,26697241	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	53,51566	0,75131	95,47	0,6725	0,003029251	0,198885536
2000	2234,4	52,81075	1,456222	185,03	0,6517	0,002935714	0,38548867
3000	3351,6	52,12408	2,142897	272,29	0,6394	0,002880024	0,567264136
4000	4468,8	51,41277	2,8542	362,67	0,6387	0,002877004	0,755559085
5000	5586	51,12462	3,142356	399,28	0,5625	0,00253397	0,831839263

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **3.AI20.NH03**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	14	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

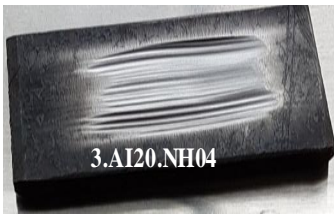
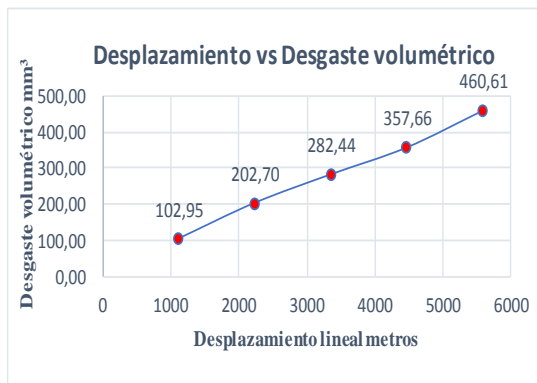
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	54,42651752	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	53,61632	0,810201	102,95	0,7252	0,003266697	0,214475064
2000	2234,4	52,83131	1,59521	202,70	0,7139	0,003215911	0,422281343
3000	3351,6	52,20368	2,22284	282,44	0,6632	0,002987467	0,588426514
4000	4468,8	51,61174	2,81478	357,66	0,6299	0,002837269	0,745123888
5000	5586	50,80152	3,625	460,61	0,6489	0,00292317	0,959603981

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **3.AI20.NH04**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	15	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

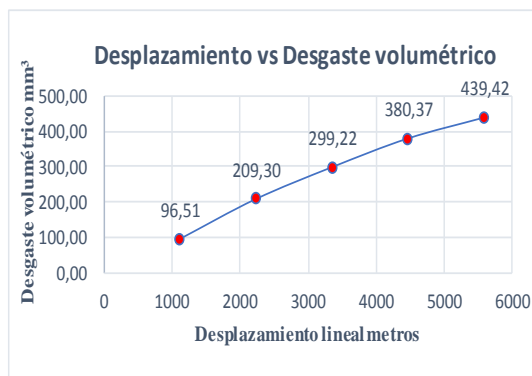
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	50,51166061	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	49,75214	0,75952	96,51	0,6798	0,003062353	0,201058873
2000	2234,4	48,86445	1,64721	209,30	0,7372	0,003320742	0,436046696
3000	3351,6	48,15678	2,35488	299,22	0,7026	0,003164926	0,623379924
4000	4468,8	47,51812	2,99354	380,37	0,6699	0,003017458	0,792444939
5000	5586	47,05346	3,4582	439,42	0,6191	0,002788664	0,915448962



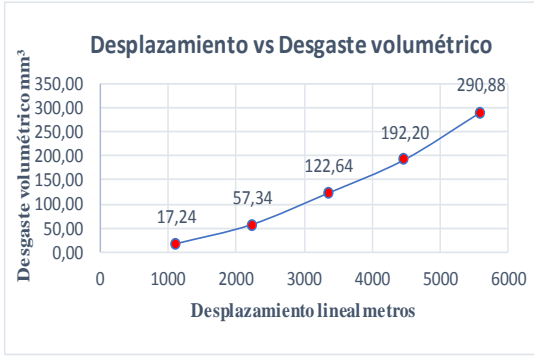

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **3.AI20.NH05**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

f. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 con tratamiento térmico de cementación

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	16	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero AISI 1020	Cementado			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A50±20		
Temperatura ambiente	16°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25.4±0.8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57.2±0.8mm			Cantidad de arena	1.5kg		
Espesor	6mm			Cantidad de agua	0.940kg		
Peso inicial	53,55125379			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	53,41557	0,13568	17,24	0,1214	0,000547056	0,035916984
2000	2234,4	53,10002	0,45123	57,34	0,2019	0,00090967	0,119448856
3000	3351,6	52,58604	0,965214	122,64	0,288	0,001297234	0,255509848
4000	4468,8	52,03862	1,51263	192,20	0,3385	0,001524716	0,400420902
5000	5586	51,26202	2,28923	290,88	0,4098	0,001846016	0,606001165
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	4.AI20.C01
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	17	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

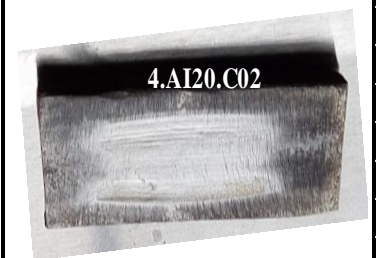
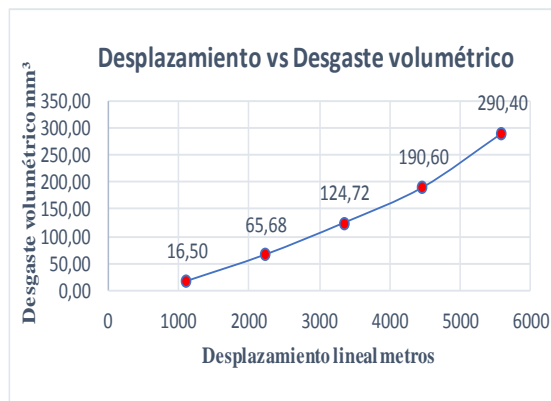
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	53,53696061	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	53,4071	0,129857	16,50	0,1162	0,000523578	0,034375529
2000	2234,4	53,02003	0,51693	65,68	0,2314	0,00104212	0,136840851
3000	3351,6	52,5554	0,981562	124,72	0,2929	0,001319206	0,259837463
4000	4468,8	52,03697	1,499992	190,60	0,3357	0,001511977	0,397075392
5000	5586	51,25149	2,285471	290,40	0,4091	0,001842985	0,605006089

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta 4.AI20.C02



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	18	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	53,97831224	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	53,85133	0,126985	16,14	0,1137	0,000511998	0,033615258
2000	2234,4	53,45463	0,523687	66,54	0,2344	0,001055742	0,138629553
3000	3351,6	52,98586	0,992452	126,11	0,2961	0,001333842	0,262720246
4000	4468,8	52,48307	1,495241	189,99	0,3346	0,001507188	0,395817715
5000	5586	51,85288	2,12543	270,07	0,3805	0,001713929	0,562640301

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

<p>Desplazamiento vs Desgaste volumétrico</p>	<p>4.A120.C03</p>
--	--------------------------

Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	19	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	50,28416464	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	50,13758	0,146582	18,63	0,1312	0,000591013	0,03880297
2000	2234,4	49,78895	0,495213	62,92	0,2216	0,00099834	0,131092069
3000	3351,6	49,21464	1,069524	135,90	0,3191	0,001437426	0,28312267
4000	4468,8	48,85721	1,426953	181,32	0,3193	0,001438354	0,377740629
5000	5586	48,12723	2,156938	274,07	0,3861	0,001739337	0,570981046

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

<p>Desplazamiento vs Desgaste volumétrico</p>	<p>Probeta</p> <p>4.AI20.C04</p>
--	---

Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	20	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	56,53409364	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

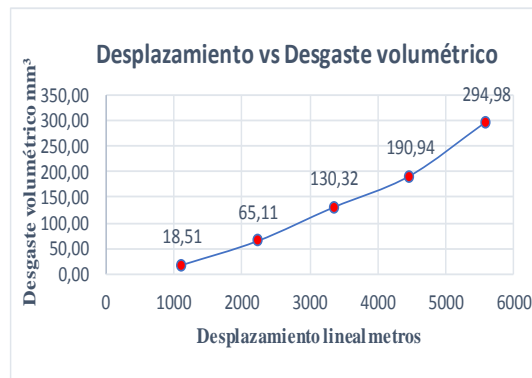
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	56,38841	0,145682	18,51	0,1304	0,000587384	0,038564697
2000	2234,4	56,02166	0,512431	65,11	0,2293	0,00103305	0,135649884
3000	3351,6	55,50847	1,025623	130,32	0,306	0,001378423	0,271501218
4000	4468,8	55,0314	1,502692	190,94	0,3363	0,001514698	0,397790131
5000	5586	54,21264	2,321454	294,98	0,4156	0,001872001	0,614531449

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta



4.AI20.C05





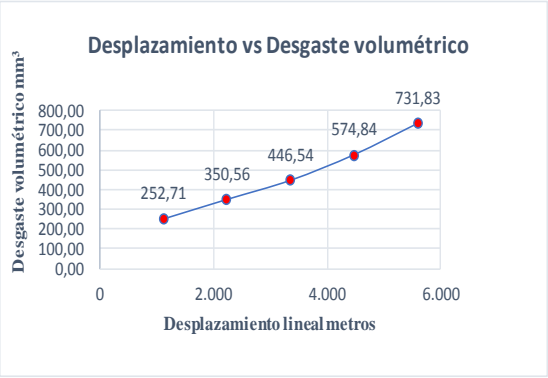

Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

Acero AISI 1020 Normalizado, análisis con el disco Neopreno dureza Shore A70 ±20

- **Peso inicial de probetas en acero AISI 1020 Normalizado**

 		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE			
DATOS INFORMATIVOS:					
Probetas	20	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por	Ing. David Villacrés
Lugar de medición		Laboratorio de Materiales - FICM		Temp Amb	16 °C
Tipo de estudio		De laboratorio		Aprobado por	Ing. Diego Núñez, Msc
Norma aplicada		G105-89			
ACERO AISI 1020, Normalizado de Fábrica					
Probetas	Código	Peso inicial			
1	1.AI20.N01	52,76686			
2	1.AI20.N02	47,14379			
3	1.AI20.N03	49,29332			
4	1.AI20.N04	46,49128			
5	1.AI20.N05	47,56655			
ACERO AISI 1020 CON RECUBRIMIENTO METALIZADO, CON Al, Ni-Cr, y W					
6	2.AI20.M01.AL	48,95621			
7	2.AI20.M02.Ni.Cr	63,81631			
8	2.AI20.M03.Ni.Cr	63,00814			
9	2.AI20.M04.W	70,34035			
10	2.AI20.M05.W	64,70876			
ACERO AISI 1020 CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE NITRURACIÓN, Proceso TENIFER- 570°C-2h					
11	3.AI20.NH01	49,00414			
12	3.AI20.NH02	47,92674			
13	3.AI20.NH03	51,12462			
14	3.AI20.NH04	50,80152			
15	3.AI20.NH05	47,05346			
ACERO AISI 1020 CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850°C - 0,3% C					
16	4.AI20.C01	51,26202			
17	4.AI20.C02	51,25149			
18	4.AI20.C03	51,85288			
19	4.AI20.C04	48,12723			
20	4.AI20.C05	54,21264			
Observación					
El peso inicial se considera el último valor de peso producido por el Disco de abrasión A Shore A50+-20					

a. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 natural sin recubrimiento

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE							
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	1	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc		Realizado por:	Ing. David Villacrés	
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM				Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio				Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero AISI 1020	Normalizado de Fábrica			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A70±20		
Temperatura ambiente	15°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25.4±0.8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57.2±0.8mm			Cantidad de arena	1.5kg		
Espesor	6mm			Cantidad de agua	0.940kg		
Peso inicial	52,76686492			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de descompo (mm³/s)
1000	1117,2	50,77806	1,9888	252,71	1,780164697	0,00801876	0,526471834
2000	2234,4	50,00796	2,7589	350,56	1,234738632	0,005561886	0,730331427
3000	3351,6	49,2526	3,51426	446,54	1,048532044	0,004723117	0,930289072
4000	4468,8	48,24286	4,524	574,84	1,012352309	0,004560146	1,197585769
5000	5586	47,00734	5,75952	731,83	1,031063373	0,00464443	1,524650572
DESGASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	1.AI20.N01
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	2	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	15°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	47,14379452	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	45,14527	1,99852	253,94	1,78886502	0,008057951	0,529044896
2000	2234,4	44,32905	2,81474	357,65	1,259729681	0,005674458	0,745113299
3000	3351,6	43,44832	3,69547	469,56	1,102598759	0,004966661	0,978258683
4000	4468,8	42,27821	4,86558	618,24	1,088788937	0,004904455	1,288008259
5000	5586	41,13129	6,0125	763,98	1,076351593	0,004848431	1,591619017

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

--	--

Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	3	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

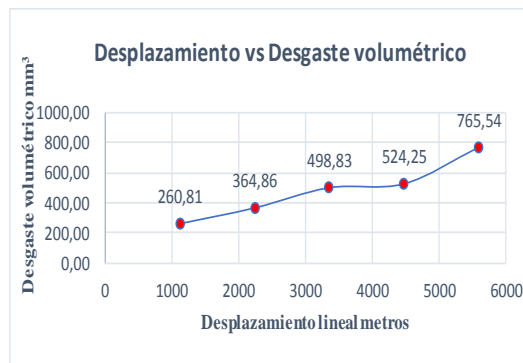
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19,7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0,8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57,2±0,8mm	Cantidad de arena	1,5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0,940kg
Peso inicial	49,29331619	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	47,24074	2,05258	260,81	1,837253849	0,008275918	0,54335557
2000	2234,4	46,42186	2,87146	364,86	1,285114572	0,005788804	0,760128124
3000	3351,6	45,36749	3,92583	498,83	1,171330111	0,005276262	1,039239199
4000	4468,8	45,16749	4,12583	524,25	0,923252327	0,004158794	1,092182867
5000	5586	43,26853	6,024789	765,54	1,078551557	0,00485834	1,594872141

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **1.AI20.N03**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	4	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

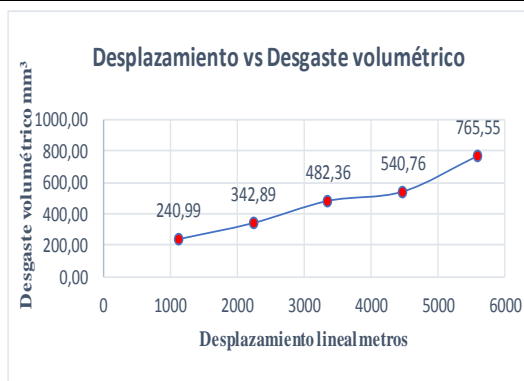
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19,7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	46,49128361	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	44,5947	1,89658	240,99	1,697619048	0,007646933	0,502059509
2000	2234,4	43,79276	2,69852	342,89	1,207715718	0,005440161	0,714347734
3000	3351,6	42,69507	3,79621	482,36	1,132656045	0,005102054	1,004926408
4000	4468,8	42,23548	4,2558	540,76	0,952336198	0,004289803	1,12658831
5000	5586	40,46639	6,024895	765,55	1,078570533	0,004858426	1,594900201

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **1.A120.N04**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	5	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

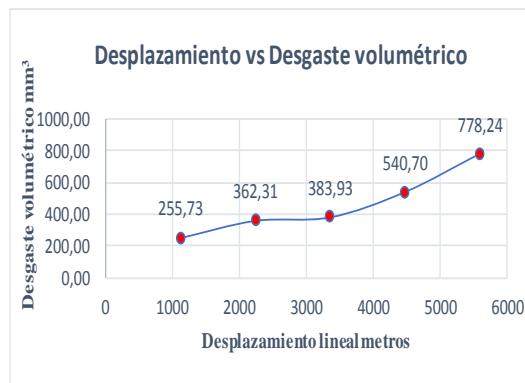
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57,2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	47,56655474	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mlN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	45,55399	2,01256	255,73	1,801432152	0,008114559	0,532761542
2000	2234,4	44,71515	2,851401	362,31	1,276137218	0,005748366	0,754818139
3000	3351,6	44,54505	3,0215	383,93	0,901509727	0,004060855	0,799846463
4000	4468,8	43,31125	4,2553	540,70	0,952224311	0,004289299	1,126455951
5000	5586	41,44177	6,12478	778,24	1,096451844	0,004938972	1,621341593



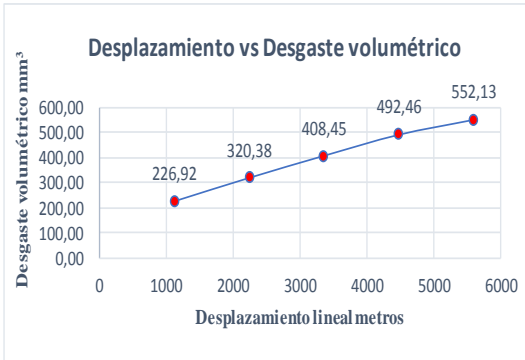

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **1.A120.N05**



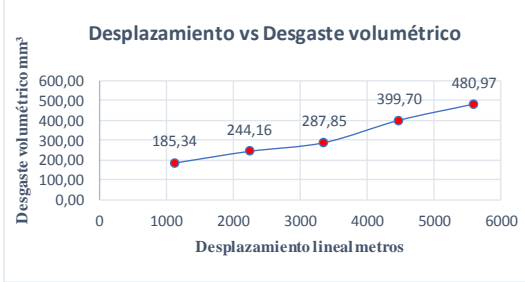
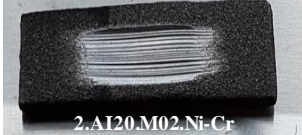


Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

b. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 con recubrimiento metalizado en base aluminio

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	6	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017			
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc			
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta			Características de la máquina				
Acero AISI 1020	Metalizado Base Aluminio		Velocidad del disco	240 a 250 rpm			
Medio de enfriamiento	-----		Dureza del disco	A70±20			
Temperatura ambiente	19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons		
Ancho	25.4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm			
Largo	57.2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg			
Espesor	6,1mm		Cantidad de agua	0,940kg			
Peso inicial	49,15814257		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)		
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	47,37225	1,78589	226,92	1,598540995	0,007200635	0,472757836
2000	2234,4	46,63673	2,52141	320,38	1,128450591	0,005083111	0,667463469
3000	3351,6	45,94361	3,21453	408,45	0,959103115	0,004320284	0,850945044
4000	4468,8	45,28251	3,87563	492,46	0,867264142	0,003906595	1,025950339
5000	5586	44,81291	4,34523	552,13	0,777878625	0,003503958	1,150262071
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³					Probeta	2.AI20.M01.AL	
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			

c. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 con recubrimiento metalizado níquel - cromo

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	7	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero AISI 1020	Metalizado Níquel-Cromo			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A70±20		
Temperatura ambiente	19.7°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25,4±0.8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57,2±0.8mm			Cantidad de arena	1,5kg		
Espesor	7,1mm			Cantidad de agua	0,940kg		
Peso inicial	63,816308			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)
1000	1117,2	62,35769	1,45862	185,34	1,305603294	0,005881096	0,386123465
2000	2234,4	61,89479	1,92152	244,16	0,859971357	0,003873745	0,508661584
3000	3351,6	61,5509	2,265412	287,85	0,675919561	0,003044683	0,599696103
4000	4468,8	60,67069	3,14562	399,70	0,703907089	0,003170753	0,832703304
5000	5586	60,0311	3,785213	480,97	0,677624955	0,003052365	1,002015301
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	2.AI20.M02.Ni-Cr
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	8	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Metalizado Niquel-Cromo	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	7,1mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	63,00813695	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

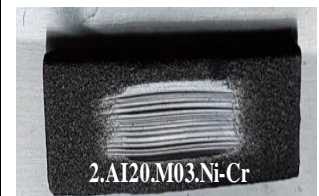
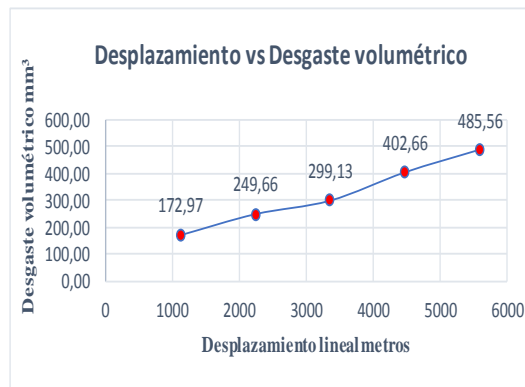
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	61,64685	1,36129	172,97	1,218483709	0,005488665	0,360358429
2000	2234,4	61,04328	1,964852	249,66	0,879364483	0,003961101	0,520132359
3000	3351,6	60,65396	2,354179	299,13	0,702404493	0,003163984	0,62319433
4000	4468,8	59,83918	3,168952	402,66	0,709128178	0,003194271	0,838879712
5000	5586	59,18679	3,821347	485,56	0,684093654	0,003081503	1,011580673

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³



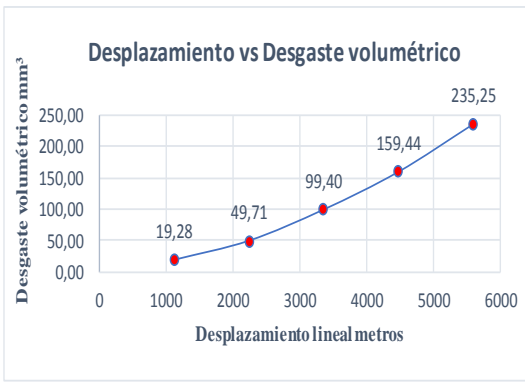
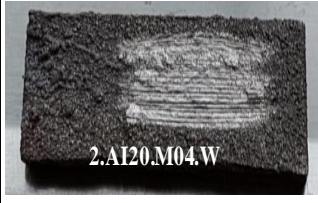
Probeta

2.AI20.M03.Ni-Cr



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

d. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 con recubrimiento de aleación de tungsteno

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	9	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero AISI 1020	Metalizado Tungsteno			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A70±20		
Temperatura ambiente	19,7°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25,4±0,8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57,2±0,8mm			Cantidad de arena	1,5kg		
Espesor	7,2mm			Cantidad de agua	0,940kg		
Peso inicial	70,34034983			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	70,18865	0,15170	19,28	0,135784551	0,000611642	0,040157375
2000	2234,4	69,94911	0,391243	49,71	0,175099803	0,000788738	0,103569197
3000	3351,6	69,5581	0,782249	99,40	0,233395692	0,001051332	0,207075657
4000	4468,8	69,08552	1,254831	159,44	0,280798201	0,001264857	0,332176779
5000	5586	68,48895	1,851402	235,25	0,33143609	0,001492955	0,490100064
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	2.AI20.M04.W
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	10	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Metalizado Tungsteno	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	7,2mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	64,70875617	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

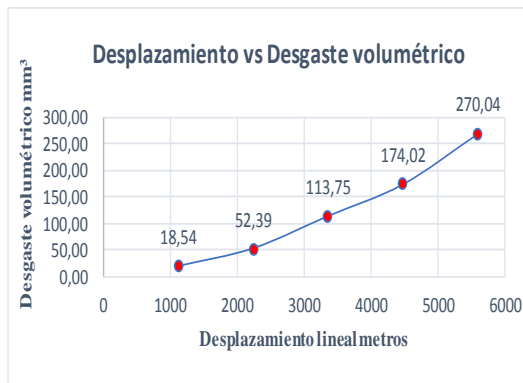
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	64,56286	0,145895	18,54	0,130589868	0,000588243	0,038621082
2000	2234,4	64,29641	0,412347	52,39	0,184544844	0,000831283	0,109155813
3000	3351,6	63,81355	0,89521	113,75	0,267099296	0,00120315	0,236978505
4000	4468,8	63,33924	1,36952	174,02	0,306462585	0,001380462	0,362537061
5000	5586	62,58356	2,1252	270,04	0,380451128	0,001713744	0,562579416

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³



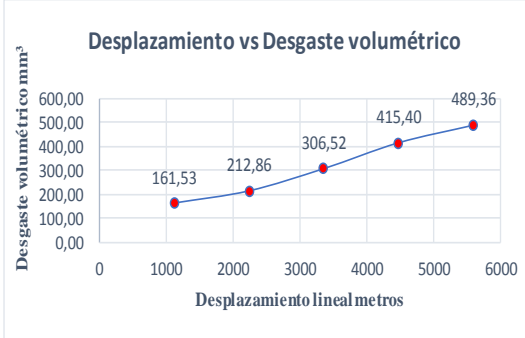

Probeta

2.A120.M05.W



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

e. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 con tratamiento térmico de nitruración

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	11	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero AISI 1020		Nitrurado		Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento		-----		Dureza del disco	A70±20		
Temperatura ambiente		19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho		25.4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo		57.2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg		
Espesor		6mm		Cantidad de agua	0.940kg		
Peso inicial		49,00414451		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	47,73289	1,271254	161,53	1,137892947	0,005125644	0,336524248
2000	2234,4	47,32893	1,67521	212,86	0,749735947	0,003377189	0,44345881
3000	3351,6	46,59184	2,4123	306,52	0,719745793	0,003242098	0,638580051
4000	4468,8	45,73493	3,26921	415,40	0,731563283	0,00329533	0,865419843
5000	5586	45,15287	3,85127	489,36	0,689450412	0,003105632	1,0195018
DESgaste VOLÚMETRICO mm³						Probeta	3.AI20.NH01
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	12	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

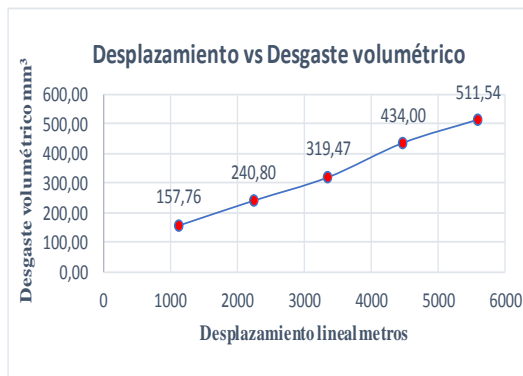
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19,7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0,8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57,2±0,8mm	Cantidad de arena	1,5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0,940kg
Peso inicial	47,92674483	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	46,68521	1,241535	157,76	1,111291622	0,005005818	0,328657084
2000	2234,4	46,03164	1,8951	240,80	0,848147154	0,003820483	0,501667726
3000	3351,6	45,41251	2,51423	319,47	0,750158133	0,003379091	0,665562791
4000	4468,8	44,51114	3,4156	434,00	0,764321518	0,00344289	0,904171961
5000	5586	43,90096	4,025785	511,54	0,720691908	0,00324636	1,065699121

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **3.AI20.NH02**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	13	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

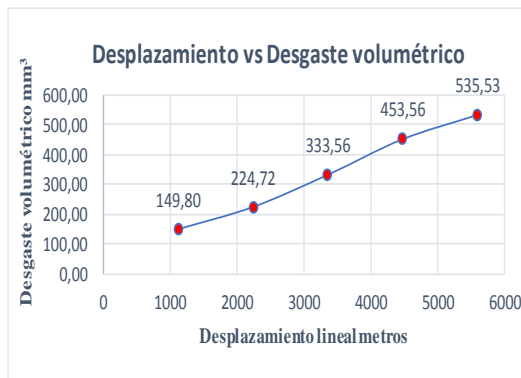
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	51,12461641	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	49,94567	1,17895	149,80	1,055272109	0,004753478	0,312089687
2000	2234,4	49,35607	1,768542	224,72	0,791506445	0,003565344	0,468165502
3000	3351,6	48,49949	2,62513	333,56	0,783246807	0,003528139	0,694920055
4000	4468,8	47,55512	3,5695	453,56	0,798760294	0,003598019	0,944912114
5000	5586	46,91002	4,214598	535,53	0,754493018	0,003398617	1,115681385

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **3.AI20.NH03**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	14	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Aceros AISI 1020	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19,7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0,8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57,2±0,8mm	Cantidad de arena	1,5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0,940kg
Peso inicial	50,80151752	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

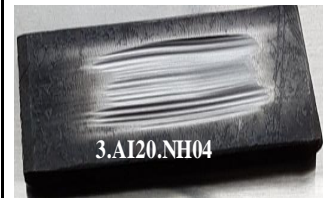
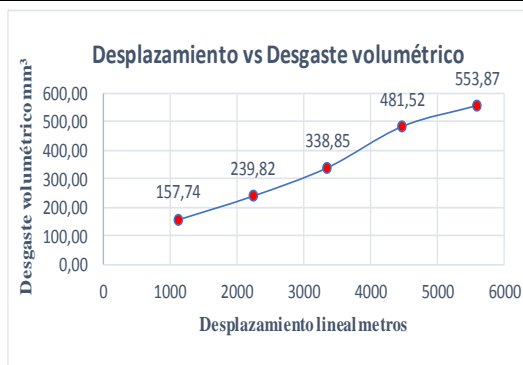
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	49,56012	1,241398	157,74	1,111168994	0,005005266	0,328620817
2000	2234,4	48,9141	1,88742	239,82	0,844709989	0,003805	0,499634689
3000	3351,6	48,13476	2,66676	338,85	0,795667741	0,003584089	0,70594028
4000	4468,8	47,01199	3,78953	481,52	0,847997225	0,003819807	1,00315809
5000	5586	46,44256	4,358957	553,87	0,780336019	0,003515027	1,15389586

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

3.AI20.NH04



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	15	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

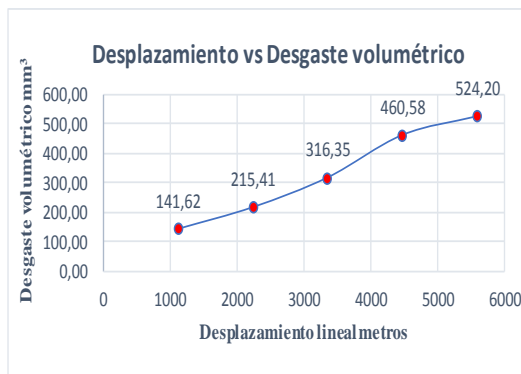
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	47,05346061	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	45,9389	1,11456	141,62	0,99763695	0,00449386	0,295044473
2000	2234,4	45,35821	1,695248	215,41	0,758704037	0,003417586	0,448763315
3000	3351,6	44,56379	2,48967	316,35	0,74283029	0,003346082	0,659061309
4000	4468,8	43,42867	3,624789	460,58	0,811132519	0,00365375	0,959548126
5000	5586	42,928	4,125456	524,20	0,738534909	0,003326734	1,092083863



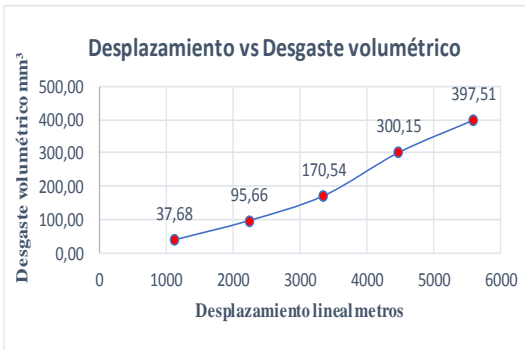

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **3.AI20.NH05**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

f. Desgaste abrasivo en acero AISI 1020 con tratamiento térmico de cementación

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	16	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero AISI 1020	Cementado			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A70±20		
Temperatura ambiente	16°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25,4±0,8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57,2±0,8mm			Cantidad de arena	1,5kg		
Espesor	6mm			Cantidad de agua	0,940kg		
Peso inicial	51,26202379			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coeficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	50,9655	0,29652	37,68	0,265413534	0,001195556	0,078494282
2000	2234,4	50,50918	0,752841	95,66	0,336932062	0,001517712	0,19929082
3000	3351,6	49,91989	1,342131	170,54	0,400444862	0,001803806	0,35528669
4000	4468,8	48,89984	2,36218	300,15	0,528593806	0,002381053	0,625312368
5000	5586	48,13365	3,12837	397,51	0,560037594	0,002522692	0,828136912
DESGASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	4.AI20.C01
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE

**DATOS INFORMATIVOS:**

Probeta No	17	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	51,25148961	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

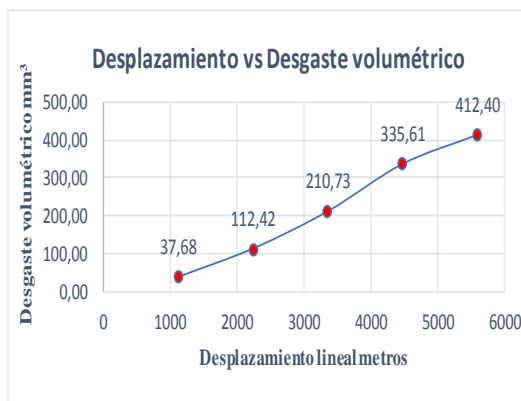
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	50,95497	0,29652	37,68	0,265413534	0,001195556	0,078494282
2000	2234,4	50,36671	0,884782	112,42	0,395981919	0,001783702	0,234218022
3000	3351,6	49,59307	1,658421	210,73	0,494814715	0,002228895	0,439014454
4000	4468,8	48,61026	2,64123	335,61	0,591037863	0,002662333	0,69918202
5000	5586	48,00588	3,24561	412,40	0,581025779	0,002617233	0,85917249

DESgaste VOLÚMETRICO mm³

Probeta

4.AI20.C02



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE

**DATOS INFORMATIVOS:**

Probeta No	18	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	51,85288224	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

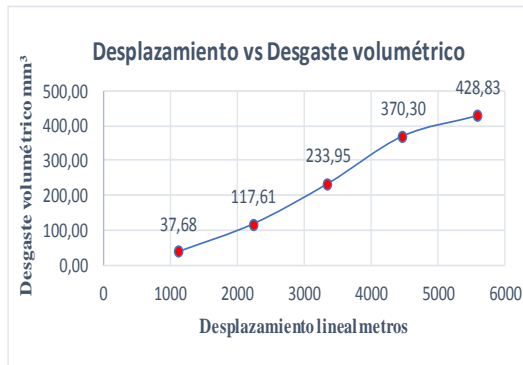
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	51,55636	0,29652	37,68	0,265413534	0,001195556	0,078494282
2000	2234,4	50,92726	0,925627	117,61	0,414261994	0,001866045	0,245030443
3000	3351,6	50,01166	1,841223	233,95	0,549356427	0,002474578	0,487405496
4000	4468,8	48,93865	2,91423	370,30	0,652128088	0,002937514	0,771450127
5000	5586	48,47803	3,374856	428,83	0,604163265	0,002721456	0,893386277

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

4.A120.C03



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	19	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57,2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	48,12722664	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

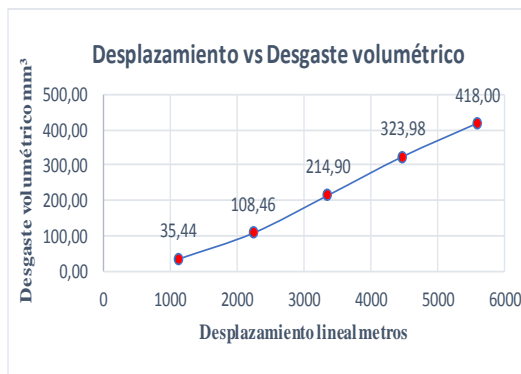
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	47,84828	0,278951	35,44	0,249687612	0,001124719	0,073843446
2000	2234,4	47,27362	0,85361	108,46	0,38203097	0,00172086	0,225966222
3000	3351,6	46,43597	1,691257	214,90	0,504611827	0,002273026	0,447706745
4000	4468,8	45,5775	2,54973	323,98	0,570562567	0,002570102	0,674960292
5000	5586	44,83761	3,289621	418,00	0,588904583	0,002652723	0,870823009

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

4.A120.C04



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	20	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero AISI 1020	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	54,21263964	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

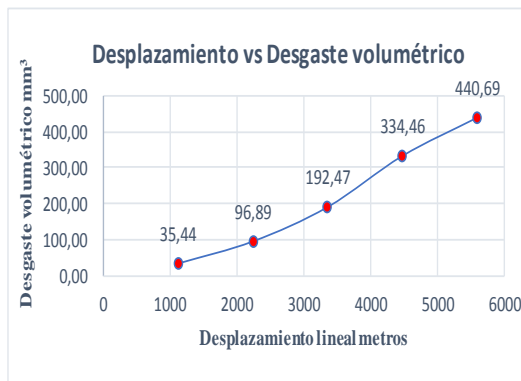
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	53,93369	0,278951	35,44	0,249687612	0,001124719	0,073843446
2000	2234,4	53,45015	0,762485	96,89	0,34124821	0,001537154	0,201843763
3000	3351,6	52,69792	1,514723	192,47	0,451940267	0,002035767	0,400974958
4000	4468,8	51,58046	2,632181	334,46	0,589012934	0,002653211	0,696786584
5000	5586	50,74444	3,4682	440,69	0,620873613	0,002796728	0,918096146

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

4.AI20.C05



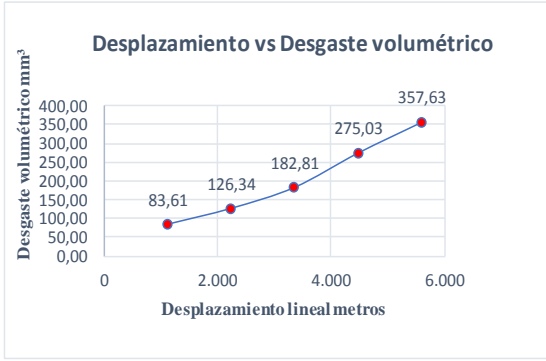
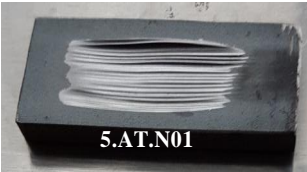


Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

Anexo 8. Análisis del Acero ASTM A514 grado F

Acero ASTM A514 grado F, Análisis con el disco abrasivo de dureza Shore A50 ±20

a. Desgaste abrasivo en acero ASTM A 514 grado F natural sin recubrimiento

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE							
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	21	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta			Características de la máquina				
Acero ASTM A 514 F	Natural		Velocidad del disco	240 a 250 rpm			
Medio de enfriamiento	-----		Dureza del disco	A50±20			
Temperatura ambiente	19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons		
Ancho	25.4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm			
Largo	57.2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg			
Espesor	6mm		Cantidad de agua	0.940kg			
Peso inicial	71,59100746		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)		
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coeficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	70,93887	0,652142	83,61	0,5837	0,00262941	0,174183226
2000	2234,4	70,60554	0,98547	126,34	0,441	0,001986687	0,263213141
3000	3351,6	70,16508	1,42593	182,81	0,4254	0,00191643	0,380857372
4000	4468,8	69,44578	2,14523	275,03	0,48	0,00216237	0,572978098
5000	5586	68,80149	2,789521	357,63	0,4994	0,002249447	0,74506437
DESGASTE VOLÚMETRICO mm³					Probeta	5.AT.N01	
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	22	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

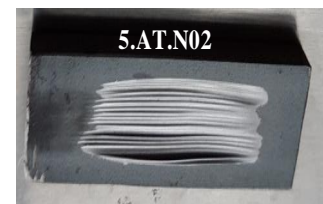
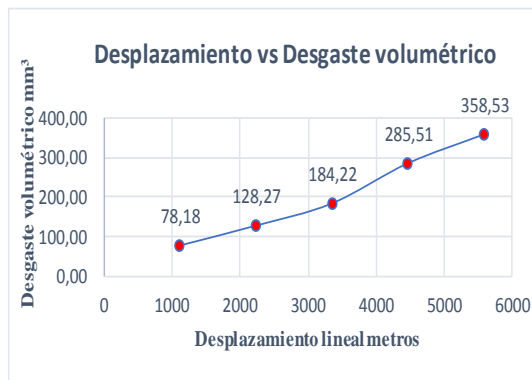
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	8mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	63,77820813	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	63,1684	0,60981	78,18	0,5458	0,002458729	0,162876603
2000	2234,4	62,77772	1,000489	128,27	0,4478	0,002016965	0,267224626
3000	3351,6	62,34126	1,436951	184,22	0,4287	0,001931242	0,383801015
4000	4468,8	61,55122	2,226984	285,51	0,4983	0,002244777	0,594814103
5000	5586	60,98166	2,796548	358,53	0,5006	0,002255113	0,746941239

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **5.AT.N02**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	23	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

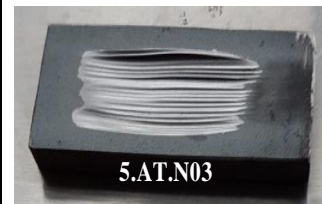
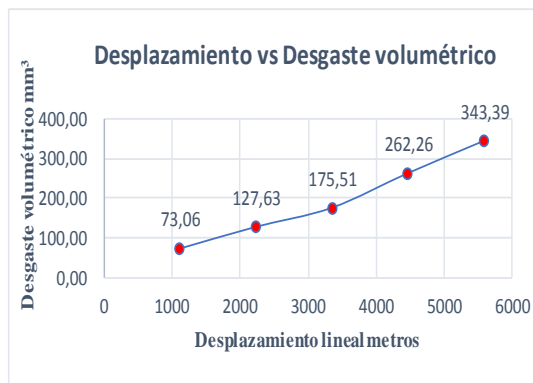
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57,2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	64,63381787	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	64,06397	0,569851	73,06	0,5101	0,002297616	0,152203793
2000	2234,4	63,63834	0,995478	127,63	0,4455	0,002006863	0,265886218
3000	3351,6	63,26485	1,36897	175,51	0,4085	0,001839877	0,365643697
4000	4468,8	62,5882	2,04562	262,26	0,4578	0,002061964	0,546372863
5000	5586	61,95541	2,67841	343,39	0,4795	0,002159848	0,715387286

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta 5.AT.N03



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	24	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

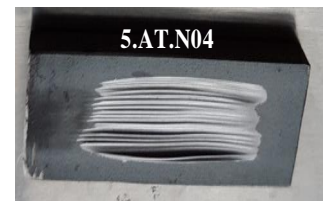
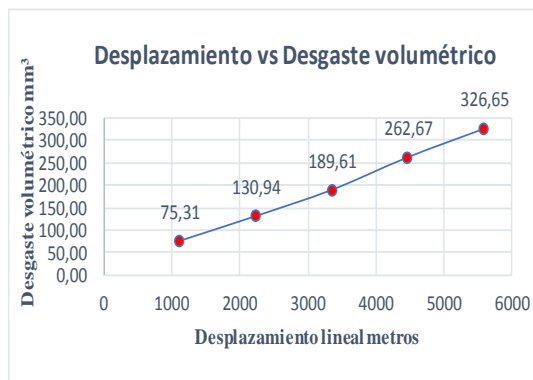
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	69,03468934	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	68,44727	0,58742	75,31	0,5258	0,002368453	0,156896368
2000	2234,4	68,01339	1,0213	130,94	0,4571	0,00205892	0,27278312
3000	3351,6	67,55573	1,478962	189,61	0,4413	0,001987705	0,395021902
4000	4468,8	66,98584	2,04885	262,67	0,4585	0,00206522	0,547235577
5000	5586	66,48679	2,547896	326,65	0,4561	0,002054602	0,680527778

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **5.AT.N04**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	25	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

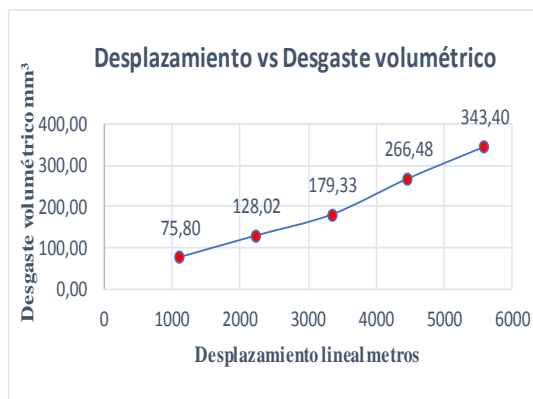
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	68,89138848	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	68,30011	0,591275	75,80	0,5292	0,002383997	0,157926015
2000	2234,4	67,89285	0,998541	128,02	0,4469	0,002013038	0,266704327
3000	3351,6	67,49264	1,398752	179,33	0,4173	0,001879904	0,373598291
4000	4468,8	66,81282	2,078567	266,48	0,4651	0,002095174	0,55517281
5000	5586	66,21288	2,678513	343,40	0,4795	0,002159931	0,715414797



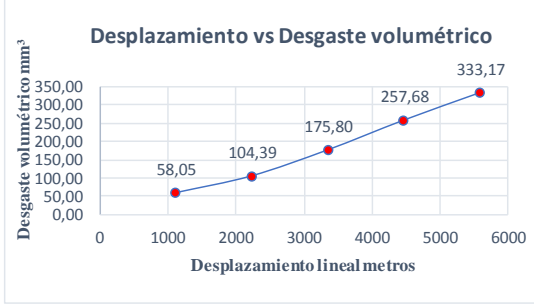

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **5.AT.N05**



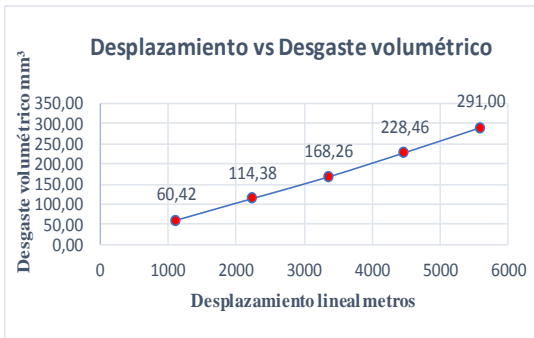
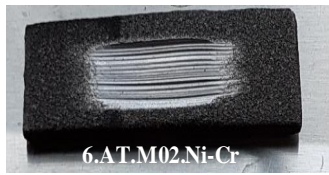


Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

b. Desgaste abrasivo en acero ASTM A 514 Grado F con recubrimiento metalizado en base aluminio

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	26	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017			
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc			
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta			Características de la máquina				
Acero ASTM A 514 F	Metalizado Base Aluminio		Velocidad del disco	240 a 250 rpm			
Medio de enfriamiento	-----		Dureza del disco	A50±20			
Temperatura ambiente	19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons		
Ancho	25,4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm			
Largo	57,2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg			
Espesor	6,1mm		Cantidad de agua	0.940kg			
Peso inicial	66,43506178		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)		
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	65,98224	0,45282	58,05	0,4053	0,001825752	0,120945513
2000	2234,4	65,62085	0,81421	104,39	0,3644	0,001641431	0,21747062
3000	3351,6	65,0638	1,371258	175,80	0,4091	0,001842952	0,366254808
4000	4468,8	64,42519	2,00987	257,68	0,4498	0,002025928	0,536824252
5000	5586	63,83631	2,598753	333,17	0,4652	0,002095613	0,694111378
DESGASTE VOLÚMETRICO mm³					Probeta	6.AT.M01.AL	
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			

c. Desgaste abrasivo en acero ASTM A 514 grado F con recubrimiento metalizado níquel – cromo

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	27	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero ASTM A 514 F	Metalizado Níquel-Cromo			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A50±20		
Temperatura ambiente	19.7°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25.4±0.8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57.2±0.8mm			Cantidad de arena	1.5kg		
Espesor	7.1mm			Cantidad de agua	0.940kg		
Peso inicial	83,0965743			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	82,62533	0,471242	60,42	0,4218	0,001900028	0,125865919
2000	2234,4	82,20443	0,892147	114,38	0,3993	0,00179855	0,238287126
3000	3351,6	81,78415	1,312424	168,26	0,3916	0,00176388	0,350540598
4000	4468,8	81,31455	1,78202	228,46	0,3988	0,001796258	0,47596688
5000	5586	80,82676	2,26981	291,00	0,4063	0,001830356	0,606252671
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	6.AT.M02.Ni-Cr
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	28	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Metalizado Níquel-Cromo	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	15°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	7,1mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	79,688543	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

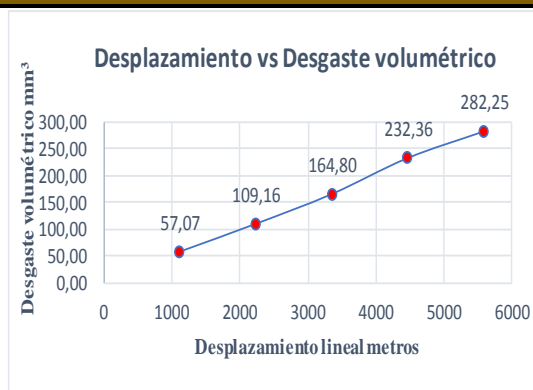
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	79,24342	0,445125	57,07	0,3984	0,001794725	0,118890144
2000	2234,4	78,83712	0,851421	109,16	0,3811	0,001716447	0,227409455
3000	3351,6	78,40312	1,285422	164,80	0,3835	0,00172759	0,343328526
4000	4468,8	77,87612	1,81242	232,36	0,4056	0,001826901	0,484086538
5000	5586	77,48701	2,20153	282,25	0,3941	0,001775296	0,588015491

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³



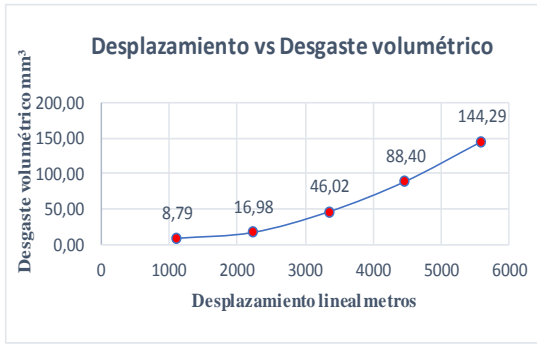
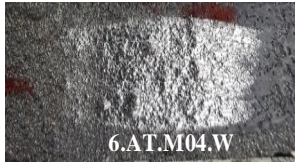
Probeta

6.AT.M03.Ni-Cr



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

d. Desgaste abrasivo en acero ASTM A 514 grado F con recubrimiento de aleación de tungsteno

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS :							
Probeta No	29	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENS AYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero ASTM A 514 F	Metalizado Tungsteno			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A50±20		
Temperatura ambiente	19.7°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25.4±0.8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57.2±0.8mm			Cantidad de arena	1.5kg		
Espesor	7,2mm			Cantidad de agua	0.940kg		
Peso inicial	81,96090976			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	81,89237	0,068542	8,79	0,0614	0,000276359	0,018307158
2000	2234,4	81,8285	0,132412	16,98	0,0593	0,00026694	0,035366533
3000	3351,6	81,60197	0,358941	46,02	0,1071	0,000482412	0,095870994
4000	4468,8	81,27138	0,689527	88,40	0,1543	0,000695036	0,184168536
5000	5586	80,83545	1,12546	144,29	0,2015	0,000907562	0,300603632
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	6.AT.M04.W
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE

**DATOS INFORMATIVOS:**

Probeta No	30	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Metalizado Tungsteno	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	7,2mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	82,812854	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

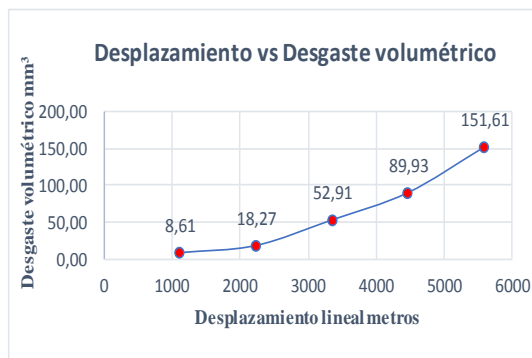
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	82,74572	0,06713	8,61	0,0601	0,000270664	0,017929915
2000	2234,4	82,67032	0,142536	18,27	0,0638	0,00028735	0,038070513
3000	3351,6	82,40016	0,412693	52,91	0,1231	0,000554654	0,110227831
4000	4468,8	82,11138	0,701478	89,93	0,157	0,000707083	0,187360577
5000	5586	81,63029	1,182563	151,61	0,2117	0,000953609	0,315855502

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³




Probeta

6.AT.M05.W



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

e. Desgaste abrasivo en acero ASTM A 514 grado F con tratamiento térmico de nitruración

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	31	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero ASTM A 514 F	Nitrurado			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A50±20		
Temperatura ambiente	19.7°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25.4±0.8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57.2±0.8mm			Cantidad de arena	1.5kg		
Espesor	6mm			Cantidad de agua	0.940kg		
Peso inicial	67,76005094			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	67,6911	0,068954	8,84	0,0617	0,00027802	0,018417201
2000	2234,4	67,55152	0,208526	26,73	0,0933	0,000420384	0,055696047
3000	3351,6	67,27053	0,489521	62,76	0,1461	0,00065791	0,13074813
4000	4468,8	66,90043	0,859621	110,21	0,1924	0,000866489	0,229599626
5000	5586	66,40526	1,354789	173,69	0,2425	0,001092491	0,361856036
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	7.AT.NH01
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	32	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	70,17378685	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

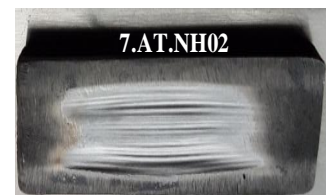
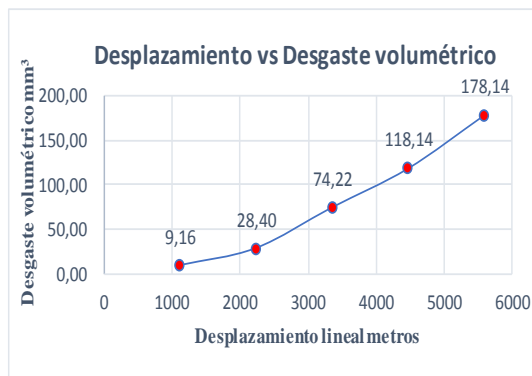
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	70,10233	0,071458	9,16	0,064	0,000288116	0,019086004
2000	2234,4	69,9523	0,221489	28,40	0,0991	0,000446517	0,059158387
3000	3351,6	69,59484	0,578951	74,22	0,1727	0,000778102	0,154634348
4000	4468,8	69,25231	0,92148	118,14	0,2062	0,000928842	0,246121795
5000	5586	68,78428	1,38951	178,14	0,2487	0,001120489	0,371129808

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

7.AT.NH02



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	33	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	63,92021018	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

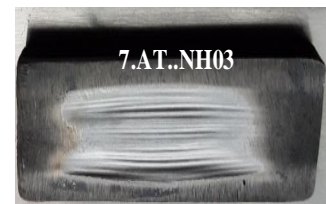
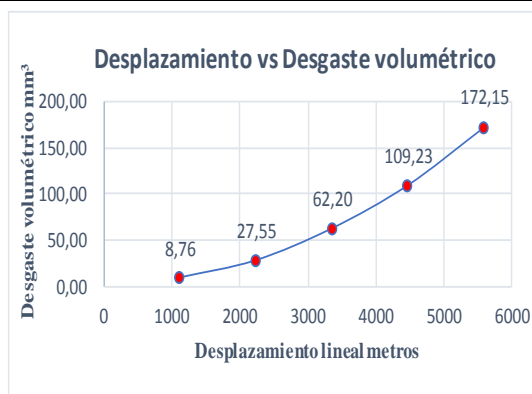
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	63,85126	0,068954	8,76	0,0617	0,00027802	0,018253388
2000	2234,4	63,70343	0,216785	27,55	0,097	0,000437034	0,057386965
3000	3351,6	63,43069	0,489521	62,20	0,1461	0,00065791	0,129585186
4000	4468,8	63,06059	0,859621	109,23	0,1924	0,000866489	0,227557444
5000	5586	62,56542	1,354789	172,15	0,2425	0,001092491	0,358637495

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

7.AT.NH03



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	34	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	64,78099942	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

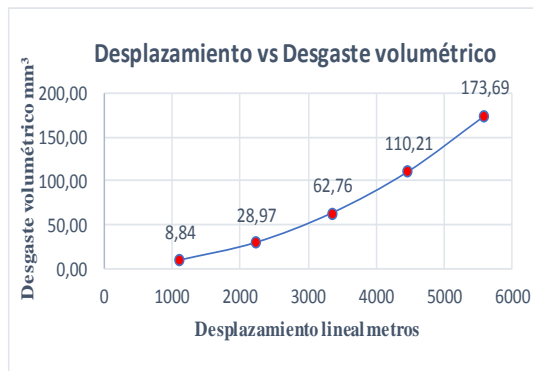
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	64,71205	0,068954	8,84	0,0617	0,00027802	0,018417201
2000	2234,4	64,555	0,226003	28,97	0,1011	0,000455617	0,060364049
3000	3351,6	64,29148	0,489521	62,76	0,1461	0,00065791	0,13074813
4000	4468,8	63,92138	0,859621	110,21	0,1924	0,000866489	0,229599626
5000	5586	63,42621	1,354789	173,69	0,2425	0,001092491	0,361856036

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

7.AT.NH04



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	35	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

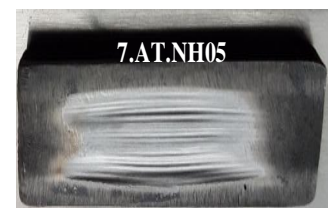
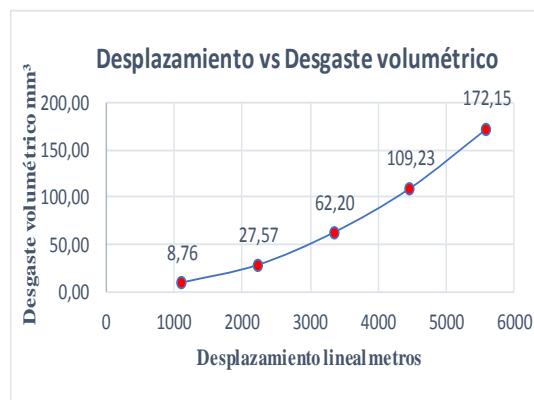
Características de la probeta		Características de la máquina	
Aceros ASTM A 514 F	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	66,76206321	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	66,69311	0,068954	8,76	0,0617	0,00027802	0,018253388
2000	2234,4	66,54508	0,216985	27,57	0,0971	0,000437438	0,057439962
3000	3351,6	66,27254	0,489521	62,20	0,1461	0,00065791	0,129585186
4000	4468,8	65,90244	0,859621	109,23	0,1924	0,000866489	0,227557444
5000	5586	65,40727	1,354789	172,15	0,2425	0,001092491	0,358637495



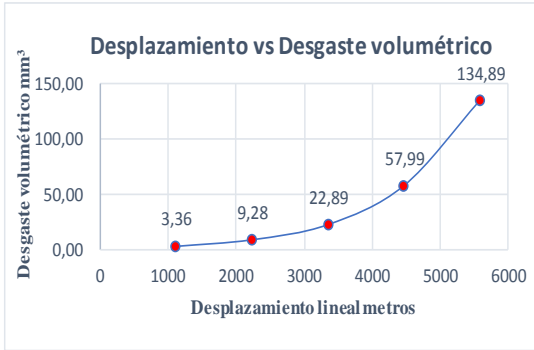

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **7.AT.NH05**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

f. Desgaste abrasivo en acero ASTM A 514 grado F con tratamiento térmico de Cementación

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	36	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero ASTM A 514 F	Cementado			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A50±20		
Temperatura ambiente	16°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25.4±0.8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57.2±0.8mm			Cantidad de arena	1.5kg		
Espesor	6mm			Cantidad de agua	0.940kg		
Peso inicial	62,78306464			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	62,75685	0,026219	3,36	0,0235	0,000105714	0,007002911
2000	2234,4	62,71072	0,072345	9,28	0,0324	0,000145846	0,019322917
3000	3351,6	62,60455	0,178512	22,89	0,0533	0,000239918	0,047679487
4000	4468,8	62,33071	0,452356	57,99	0,1012	0,00045597	0,120821581
5000	5586	61,73091	1,052153	134,89	0,1884	0,000848448	0,281023771
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	8.AT.C01
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	37	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	68,03928858	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

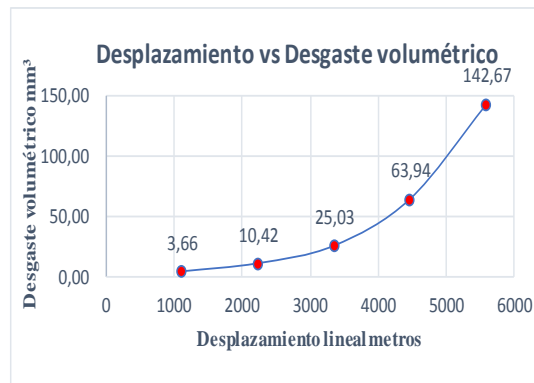
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	68,01077	0,028523	3,66	0,0255	0,000115004	0,007618323
2000	2234,4	67,95799	0,081296	10,42	0,0364	0,000163891	0,021713675
3000	3351,6	67,84405	0,195241	25,03	0,0583	0,000262401	0,052147703
4000	4468,8	67,54054	0,498752	63,94	0,1116	0,000502737	0,133213675
5000	5586	66,92644	1,11285	142,67	0,1992	0,000897393	0,297235577

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

8.AT.C02



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	38	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	67,88967942	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

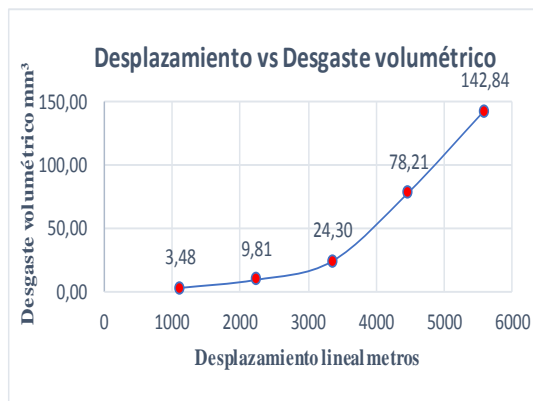
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	67,86253	0,027146	3,48	0,0243	0,000109451	0,007250507
2000	2234,4	67,81316	0,076521	9,81	0,0342	0,000154265	0,020438301
3000	3351,6	67,70016	0,189521	24,30	0,0565	0,000254714	0,050619925
4000	4468,8	67,27967	0,61001	78,21	0,1365	0,000614884	0,162930021
5000	5586	66,77554	1,114139	142,84	0,1995	0,000898433	0,297579861

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

8.AT.C03



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	39	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

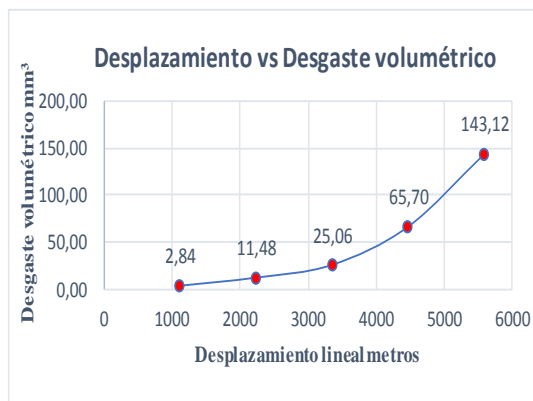
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	68,89277048	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	68,87063	0,022144	2,84	0,0198	8,92823E-05	0,005914436
2000	2234,4	68,80325	0,089524	11,48	0,0401	0,000180479	0,023911325
3000	3351,6	68,6973	0,195475	25,06	0,0583	0,000262716	0,052210203
4000	4468,8	68,38034	0,51243	65,70	0,1147	0,000516524	0,136866987
5000	5586	67,77645	1,116324	143,12	0,1998	0,000900195	0,298163462

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta: 8.AT.C04



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	40	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A50±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	66,76500088	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	66,73815	0,026854	3,44	0,024	0,000108274	0,007172543
2000	2234,4	66,68488	0,080124	10,27	0,0359	0,000161528	0,021400641
3000	3351,6	66,56868	0,196323	25,17	0,0586	0,000263855	0,052436699
4000	4468,8	66,24323	0,521768	66,89	0,1168	0,000525937	0,139361111
5000	5586	65,60874	1,156258	148,24	0,207	0,000932397	0,308829594

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³



Probeta **8.AT.C05**






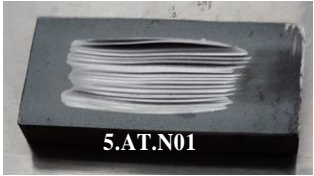
Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

Acero ASTM A 514 grado F, análisis con el disco abrasivo de dureza Shore A70 ±20

- **Peso inicial de probetas en acero ASTM A 514 grado F**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE			
DATOS INFORMATIVOS:					
Probetas	20	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por	Ing. David Villacrés
Lugar de medición	Laboratorio de Materiales - FICM		Temp Amb	16 °C	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por	Ing. Diego Núñez, Msc	
Norma aplicada	G105-89				
ACERO ASTM A 514 GRADO F					
Probetas	Código	Peso inicial			
21	5.AT.N01	68,80149			
22	5.AT.N02	60,98166			
23	5.AT.N03	61,95541			
24	5.AT.N04	66,48679			
25	5.AT.N05	66,21288			
ACERO ASTM A 514 F CON RECUBRIMIENTO METALIZADO, CON AL, Ni-Cr, y W					
26	6.AT.M01.AL	63,83631			
27	6.AT.M02.Ni.Cr	80,82676			
28	6.AT.M03.Ni.Cr	77,52959			
29	6.AT.M04.W	80,83545			
30	6.AT.M05.W	81,63029			
ACERO ASTM A 514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE NITRURACIÓN, Proceso TENIFER- 570°C-2h					
31	7.AT.NH01	66,40526			
32	7.AT.NH02	68,78428			
33	7.AT.NH03	62,56542			
34	7.AT.NH04	63,42621			
35	7.AT.NH05	65,40727			
ACERO ASTM A 514 F CON TRATAMIENTO TÉRMICO DE CEMENTACIÓN, 850°C - 0,3% C					
36	8.AT.C01	61,73091			
37	8.AT.C02	66,92644			
38	8.AT.C03	66,77554			
39	8.AT.C04	67,77645			
40	8.AT.C05	65,60874			
Observación					
El peso inicial se considera el último valor de peso producido por el Disco de abrasión A Shore A50+-20					

a. Desgaste abrasivo en acero ASTM A514 Grado F natural sin recubrimiento

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	21	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta			Características de la máquina				
Acero ASTM A 514 F	Normalizado de Fábrica		Velocidad del disco	240 a 250 rpm			
Medio de enfriamiento	-----		Dureza del disco	A70±20			
Temperatura ambiente	19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons		
Ancho	25.4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm			
Largo	57.2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg			
Espesor	6mm		Cantidad de agua	0.940kg			
Peso inicial	68,80148646		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)		
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)
1000	1117,2	67,94731	0,854173	109,51	0,7646	0,00344399	0,228144498
2000	2234,4	67,65027	1,151213	147,59	0,5152	0,002320822	0,307482105
3000	3351,6	67,01188	1,78961	229,44	0,534	0,002405211	0,477994124
4000	4468,8	66,43204	2,36945	303,78	0,5302	0,002388381	0,632865919
5000	5586	65,55366	3,247824	416,39	0,5814	0,002619019	0,867474359
DESGASTE VOLÚMETRICO mm³					Probeta	5.AT.N01	
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	22	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

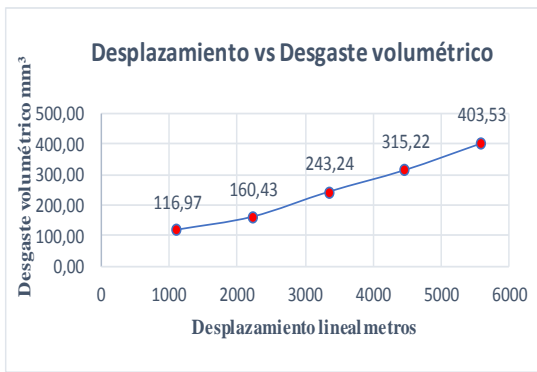
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6,0mm	Cantidad de agua	0,940kg
Peso inicial	60,98166013	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	60,06926	0,9124	116,97	0,8167	0,003678759	0,243696581
2000	2234,4	59,73031	1,251351	160,43	0,56	0,002522698	0,334228365
3000	3351,6	59,08442	1,89724	243,24	0,5661	0,002549865	0,506741453
4000	4468,8	58,52293	2,45873	315,22	0,5502	0,002478375	0,656712073
5000	5586	57,8341	3,147562	403,53	0,5635	0,002538168	0,840694979

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **5.AT.N02**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	23	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

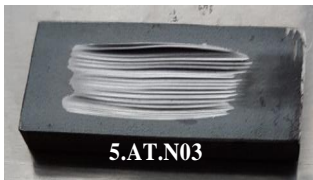
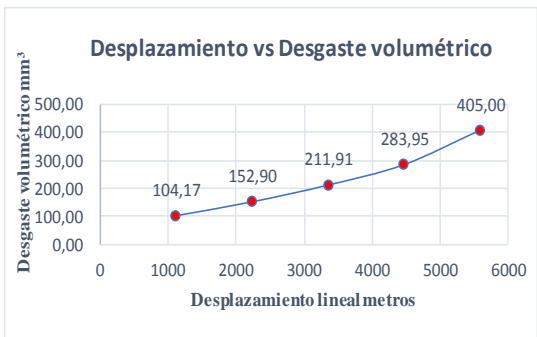
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Natural	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	61,95540787	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	61,14286	0,812543	104,17	0,7273	0,00327614	0,217025374
2000	2234,4	60,76282	1,192584	152,90	0,5337	0,002404225	0,318532051
3000	3351,6	60,30251	1,652897	211,91	0,4932	0,002221471	0,44147898
4000	4468,8	59,74062	2,214789	283,95	0,4956	0,00232485	0,591556891
5000	5586	58,79644	3,158971	405,00	0,5655	0,002547368	0,843742254

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **5.AT.N03**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	24	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

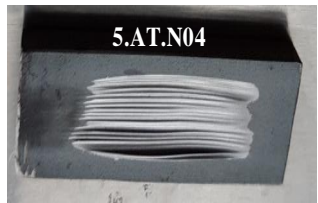
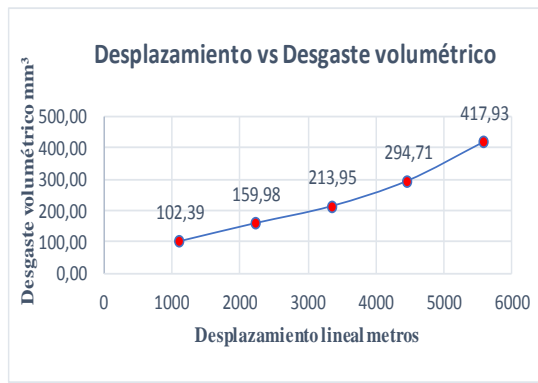
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	66,48679334	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	65,68816	0,798631	102,39	0,7149	0,003220049	0,213309669
2000	2234,4	65,23894	1,247854	159,98	0,5585	0,002515648	0,333294338
3000	3351,6	64,81797	1,66882	213,95	0,4979	0,002242871	0,445731838
4000	4468,8	64,18805	2,29874	294,71	0,5144	0,002317106	0,613979701
5000	5586	63,22692	3,25987	417,93	0,5836	0,002628732	0,870691774

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **5.AT.N04**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	25	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

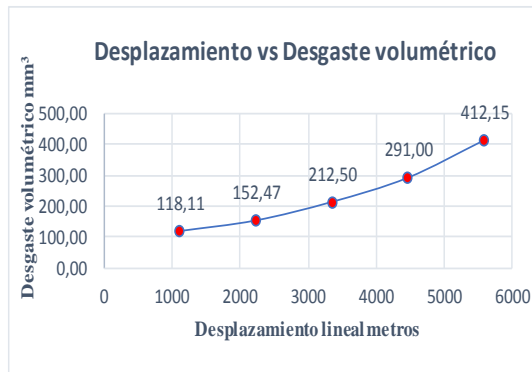
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Normalizado de Fábrica	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	66,21287548	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	65,29163	0,92125	118,11	0,8246	0,003714442	0,246060363
2000	2234,4	65,02363	1,189248	152,47	0,5322	0,0023975	0,317641026
3000	3351,6	64,55539	1,657483	212,50	0,4945	0,00227634	0,442703793
4000	4468,8	63,94308	2,2698	291,00	0,5079	0,002287935	0,60625
5000	5586	62,99809	3,214789	412,15	0,5755	0,00259238	0,858650962



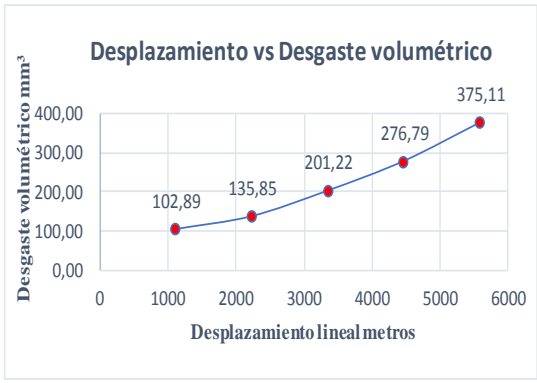

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **5.AT.N05**



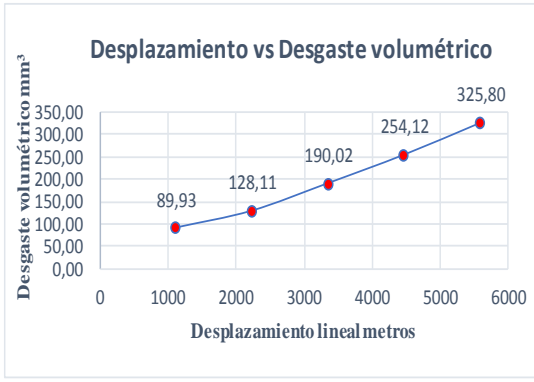
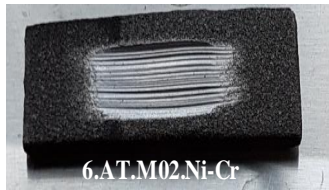


Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

b. Desgaste abrasivo en acero ASTM A 514 grado F con recubrimiento metalizado en base aluminio

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	26	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta			Características de la máquina				
Acero ASTM A 514 F	Metalizado Base Aluminio		Velocidad del disco	240 a 250 rpm			
Medio de enfriamiento	-----		Dureza del disco	A70±20			
Temperatura ambiente	19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons		
Ancho	25.4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm			
Largo	57.2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg			
Espesor	6,1mm		Cantidad de agua	0.940kg			
Peso inicial	63,83630878		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)		
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	63,03374	0,80257	102,89	0,7184	0,003235929	0,214361645
2000	2234,4	62,77668	1,059627	135,85	0,4742	0,002136186	0,283020032
3000	3351,6	62,26678	1,569528	201,22	0,4683	0,002109424	0,419211538
4000	4468,8	61,67736	2,158952	276,79	0,4831	0,002176201	0,576643162
5000	5586	60,91043	2,92588	375,11	0,5238	0,002359406	0,781485043
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³					Probeta	6.AT.M01.AL	
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			

c. Desgaste abrasivo en acero ASTM A 514 Grado F con recubrimiento metalizado níquel – cromo

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	27	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero ASTM A 514 F	Metalizado Níquel-Cromo			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A70±20		
Temperatura ambiente	19.7°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25.4±0.8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57.2±0.8mm			Cantidad de arena	1.5kg		
Espesor	7,1mm			Cantidad de agua	0,940kg		
Peso inicial	80,8267643			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm ³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm ³ /s)
1000	1117,2	80,12531	0,701452	89,93	0,6279	0,002828226	0,187353659
2000	2234,4	79,82752	0,999245	128,11	0,4472	0,002014457	0,266892361
3000	3351,6	79,34463	1,482135	190,02	0,4422	0,001991969	0,395869391
4000	4468,8	78,84463	1,982134	254,12	0,4435	0,001997971	0,529416132
5000	5586	78,28553	2,54123	325,80	0,4549	0,002049227	0,678747329
DES GASTE VOLUMÉTRICO mm³						Probeta	6.AT.M02.Ni.Cr
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	28	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Metalizado Niquel-Cromo	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	15°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	7,1mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	77,487013	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

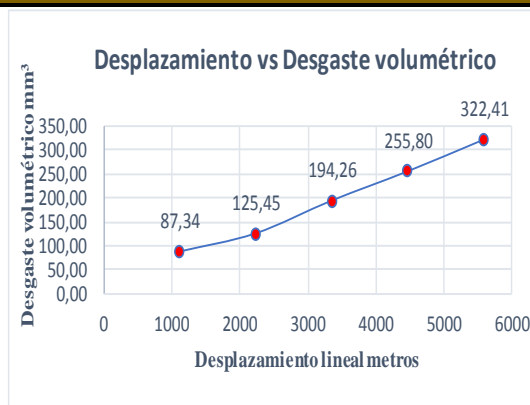
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	76,80578	0,681235	87,34	0,6098	0,002746712	0,181953793
2000	2234,4	76,5085	0,978512	125,45	0,4379	0,00197266	0,261354701
3000	3351,6	75,9718	1,51521	194,26	0,4521	0,002036421	0,404703526
4000	4468,8	75,4918	1,995214	255,80	0,4465	0,002011155	0,532909722
5000	5586	74,97223	2,514781	322,41	0,4502	0,002027899	0,671682959

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³



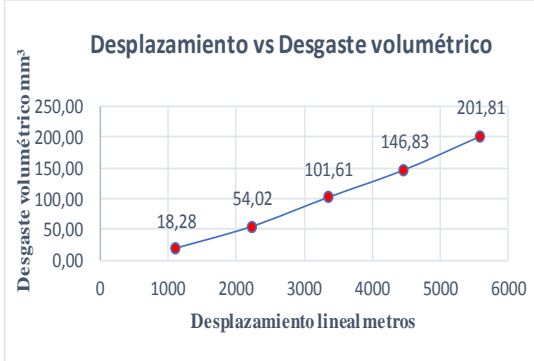
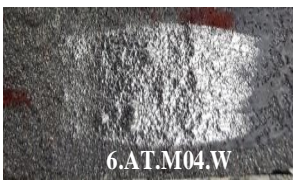
Probeta

6.AT.M03.Ni-Cr



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

d. Desgaste abrasivo en acero ASTM A514 Grado F con Recubrimiento de aleación de tungsteno

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	29	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017			
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc			
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta			Características de la máquina				
Acero ASTM A 514 F	Metalizado Tungsteno		Velocidad del disco	240 a 250 rpm			
Medio de enfriamiento	-----		Dureza del disco	A70±20			
Temperatura ambiente	19.7°C		Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons		
Ancho	25.4±0.8mm		Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm			
Largo	57.2±0.8mm		Cantidad de arena	1.5kg			
Espesor	7,2mm		Cantidad de agua	0.940kg			
Peso inicial	80,83544976		Tiempo de Aplicación	8min	(480s)		
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	80,69287	0,142583	18,28	0,1276	0,000574889	0,038083066
2000	2234,4	80,4141	0,42135	54,02	0,1886	0,000849433	0,112540064
3000	3351,6	80,04287	0,79258	101,61	0,2365	0,001065217	0,211693376
4000	4468,8	79,6902	1,14525	146,83	0,2563	0,0011544	0,305889423
5000	5586	79,26133	1,57412	201,81	0,2818	0,001269357	0,420438034
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³					Probeta	6.AT.M04.W	
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	30	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

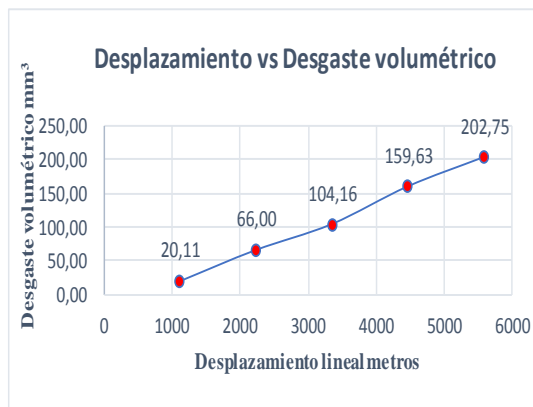
Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Metalizado Tungsteno	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	7,2mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	81,630291	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	81,4734	0,15689	20,11	0,1404	0,000632574	0,04190438
2000	2234,4	81,11551	0,51478	66,00	0,2304	0,001037786	0,137494658
3000	3351,6	80,81784	0,81245	104,16	0,2424	0,001091922	0,217000534
4000	4468,8	80,38517	1,245123	159,63	0,2786	0,001255071	0,332564904
5000	5586	80,04887	1,581423	202,75	0,2831	0,001275247	0,422388622



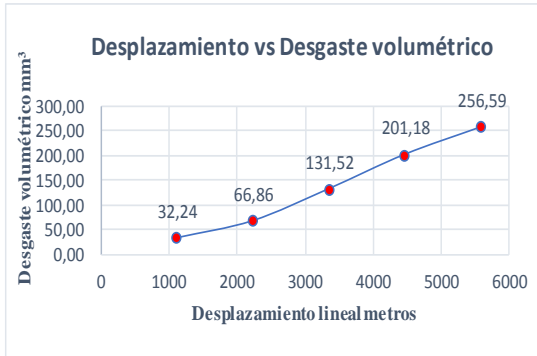
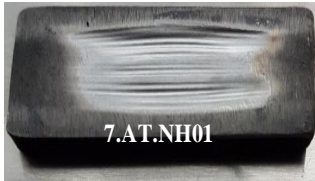
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta **6.AT.M05.W**



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

e. Desgaste abrasivo en acero ASTM A 514 grado F con tratamiento térmico de nitruración

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	31	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero ASTM A 514 F	Nitrurado			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A70±20		
Temperatura ambiente	19.7°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25.4±0.8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57.2±0.8mm			Cantidad de arena	1.5kg		
Espesor	6mm			Cantidad de agua	0.940kg		
Peso inicial	66,40526194			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	66,1538	0,25146	32,24	0,2251	0,001013876	0,067163462
2000	2234,4	65,88379	0,521475	66,86	0,2334	0,001051283	0,139282853
3000	3351,6	65,37937	1,02589	131,52	0,3061	0,001378782	0,274009081
4000	4468,8	64,83606	1,5692	201,18	0,3511	0,001581737	0,419123932
5000	5586	64,40384	2,00142	256,59	0,3583	0,001613929	0,534567308
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	7.AT.NH01
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	32	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57,2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	68,78427685	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

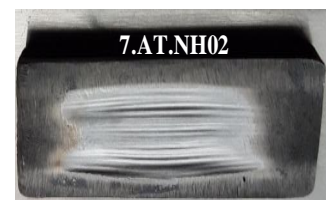
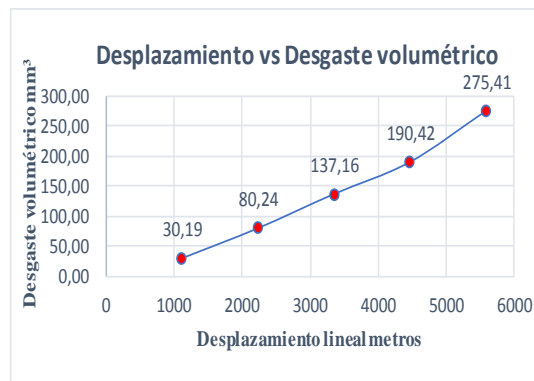
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	68,5488	0,235481	30,19	0,2108	0,00094945	0,062895566
2000	2234,4	68,15844	0,625841	80,24	0,2801	0,001261683	0,167158387
3000	3351,6	67,7144	1,069874	137,16	0,3192	0,001437896	0,285756944
4000	4468,8	67,29901	1,485267	190,42	0,3324	0,001497134	0,396705983
5000	5586	66,63606	2,14822	275,41	0,3846	0,001732307	0,573776709

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

7.AT.NH02



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	33	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	62,56542118	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

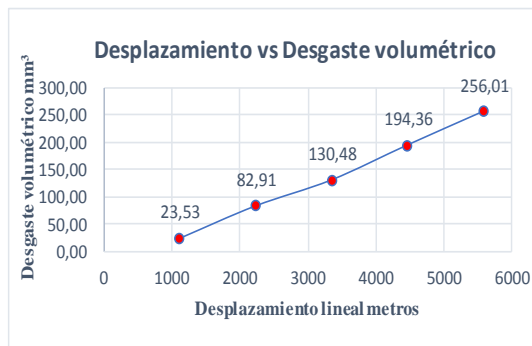
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	62,38021	0,185214	23,53	0,1658	0,000746775	0,049029543
2000	2234,4	61,91294	0,652478	82,91	0,292	0,001315382	0,172722893
3000	3351,6	61,53855	1,026872	130,48	0,3064	0,001380102	0,271831851
4000	4468,8	61,0358	1,52962	194,36	0,3423	0,001541841	0,404918467
5000	5586	60,55064	2,014785	256,01	0,3607	0,001624706	0,53335054

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

7.AT.NH03



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	34	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	63,42621042	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

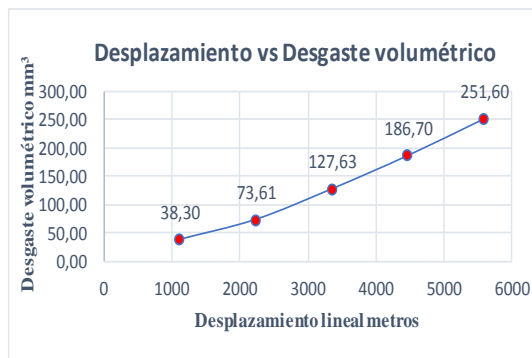
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	63,12747	0,29874	38,30	0,2674	0,001204507	0,079791667
2000	2234,4	62,85209	0,574125	73,61	0,2569	0,001157424	0,153345353
3000	3351,6	62,43073	0,995485	127,63	0,297	0,001337918	0,265888088
4000	4468,8	61,96992	1,456286	186,70	0,3259	0,001467921	0,388965278
5000	5586	61,46375	1,962457	251,60	0,3513	0,001582509	0,524160524

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

7.AT.NH04



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	35	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Nitrurado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	19.7°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	65,40727421	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

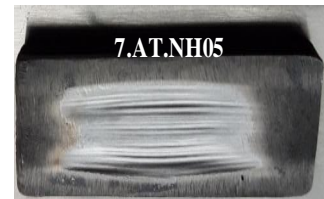
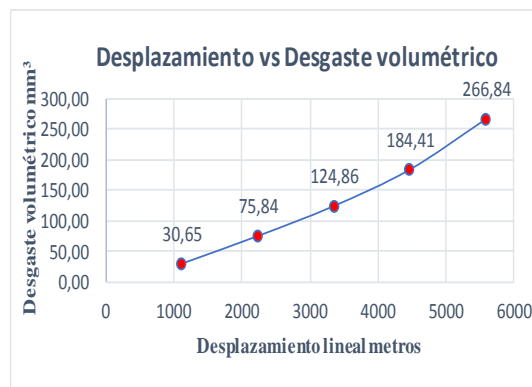
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	65,16604	0,241231	30,65	0,2159	0,000972633	0,06385827
2000	2234,4	64,8104	0,596871	75,84	0,2671	0,00120328	0,158002753
3000	3351,6	64,42462	0,982655	124,86	0,2932	0,001320674	0,260126721
4000	4468,8	63,95593	1,45134	184,41	0,3248	0,001462936	0,384196315
5000	5586	63,30726	2,100014	266,84	0,3759	0,001693434	0,555912219

DESGASTE VOLÚMETRICO mm³



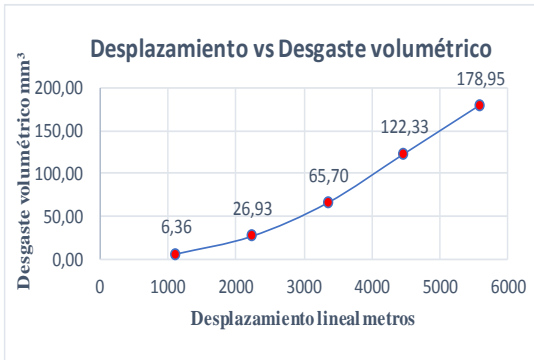

Probeta

7.AT.NH05



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

f. Desgaste abrasivo en acero ASTM A 514 grado F con tratamiento térmico de cementación

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE					
DATOS INFORMATIVOS:							
Probeta No	36	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés		
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM			Fecha:	20/07/2017		
Tipo de estudio	De laboratorio			Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc		
Normas aplicadas	G105-89						
DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO							
Características de la probeta				Características de la máquina			
Acero ASTM A 514 F	Cementado			Velocidad del disco	240 a 250 rpm		
Medio de enfriamiento	-----			Dureza del disco	A70±20		
Temperatura ambiente	16°C			Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0	Newtons	
Ancho	25.4±0.8mm			Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm		
Largo	57.2±0.8mm			Cantidad de arena	1.5kg		
Espesor	6mm			Cantidad de agua	0.940kg		
Peso inicial	61.73091164			Tiempo de Aplicación	8min	(480s)	
RESULTADOS							
No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	61,68133	0,049586	6,36	0,0444	0,000199929	0,013244124
2000	2234,4	61,52082	0,210089	26,93	0,094	0,000423535	0,056113515
3000	3351,6	61,21848	0,512434	65,70	0,1529	0,000688704	0,136868056
4000	4468,8	60,77673	0,954183	122,33	0,2135	0,000961807	0,254856571
5000	5586	60,33509	1,395821	178,95	0,2499	0,001125579	0,372815438
DES GASTE VOLÚMETRICO mm³						Probeta	8.AT.C01
							
Elaborado por :	Ing. David Villacrés			Verificado por :	Ing. David Villacrés		
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc			Validado por :			



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	37	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0,8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57,2±0,8mm	Cantidad de arena	1,5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0,940kg
Peso inicial	66,92643858	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

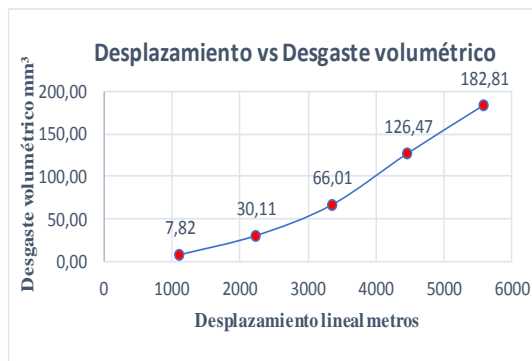
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	66,86544	0,061001	7,82	0,0546	0,000245954	0,016293002
2000	2234,4	66,69159	0,234853	30,11	0,1051	0,000473459	0,062727831
3000	3351,6	66,41158	0,51486	66,01	0,1536	0,000691965	0,137516026
4000	4468,8	65,93997	0,98647	126,47	0,2207	0,000994352	0,263480235
5000	5586	65,50055	1,42589	182,81	0,2553	0,001149826	0,380846688

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

8.AT.C02



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	38	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Aceros ASTM A 514 F	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25,4±0,8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57,2±0,8mm	Cantidad de arena	1,5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0,940kg
Peso inicial	66,77554042	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

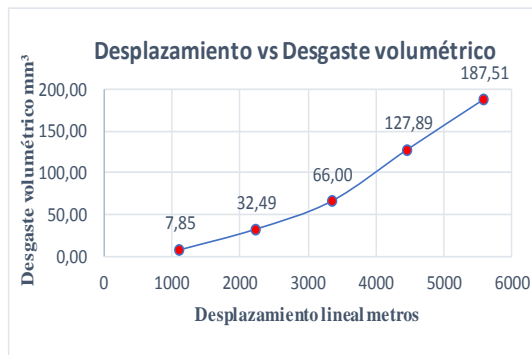
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	66,71429	0,061249	7,85	0,0548	0,000246951	0,016359108
2000	2234,4	66,52209	0,25345	32,49	0,1134	0,00051095	0,067694979
3000	3351,6	66,26076	0,51478	66,00	0,1536	0,000691857	0,137494658
4000	4468,8	65,77798	0,99756	127,89	0,2232	0,00100553	0,266442308
5000	5586	65,31297	1,46257	187,51	0,2618	0,001179404	0,390643697

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

8.AT.C03



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	39	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	67,77644648	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

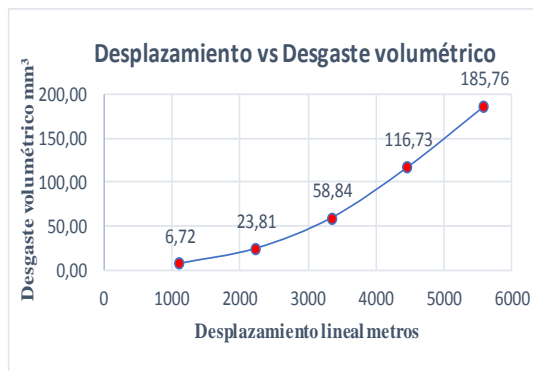
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	67,72403	0,052412	6,72	0,0469	0,000211323	0,013998932
2000	2234,4	67,59075	0,185695	23,81	0,0831	0,000374358	0,049598077
3000	3351,6	67,31749	0,45896	58,84	0,1369	0,000616836	0,12258547
4000	4468,8	66,86599	0,910459	116,73	0,2037	0,000917733	0,243178018
5000	5586	66,32749	1,44896	185,76	0,2594	0,001168429	0,387008547

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

8.AT.C04



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO II COHORTE



DATOS INFORMATIVOS:

Probeta No	40	Autorizado por	Ing. Diego Núñez, Msc	Realizado por:	Ing. David Villacrés
Lugar de estudio y análisis	Laboratorio de Materiales – FICM		Fecha:	20/07/2017	
Tipo de estudio	De laboratorio		Aprobado por:	Ing. Diego Núñez, Msc	
Normas aplicadas	G105-89				

DATOS PARA EL ENSAYO DE DESGASTE ABRASIVO

Características de la probeta		Características de la máquina	
Acero ASTM A 514 F	Cementado	Velocidad del disco	240 a 250 rpm
Medio de enfriamiento	-----	Dureza del disco	A70±20
Temperatura ambiente	16°C	Fuerza aplicada en la probeta y disco	222,0 Newtons
Ancho	25.4±0.8mm	Tamaño de grano de arena sílica	230/270µm
Largo	57.2±0.8mm	Cantidad de arena	1.5kg
Espesor	6mm	Cantidad de agua	0.940kg
Peso inicial	65,60874288	Tiempo de Aplicación	8min (480s)

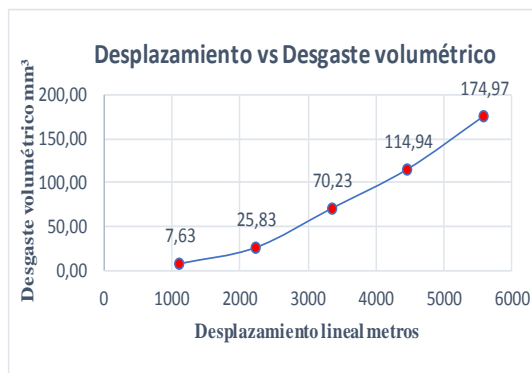
RESULTADOS

No de Revoluciones	Desplazamiento L (m)	Pérdida de peso	ΔP (gr)	Volumen perdido (mm³)	Tasa de desgaste (mg/m)	Coefficiente de desgaste (mg/mN)	Velocidad de desgaste (mm³/s)
1000	1117,2	65,54923	0,059513	7,63	0,0533	0,000239954	0,015895566
2000	2234,4	65,40726	0,20148	25,83	0,0902	0,00040618	0,053814103
3000	3351,6	65,06091	0,547832	70,23	0,1635	0,000736279	0,14632265
4000	4468,8	64,71219	0,896554	114,94	0,2006	0,000903717	0,239464209
5000	5586	64,24399	1,36475	174,97	0,2443	0,001100523	0,36451656

DES GASTE VOLÚMETRICO mm³

Probeta

8.AT.C05



Elaborado por :	Ing. David Villacrés	Verificado por :	Ing. David Villacrés
Revisado por :	Ing. Diego Núñez, Msc	Validado por :	

“ANÁLISIS DE ACEROS Y RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS EN TAMBORES DE MEZCLADO DE LOS MIXERS DE LA EMPRESA HOLCIM AMBATO Y SU INFLUENCIA EN EL DESGASTE ABRASIVO BAJO LA NORMA ASTM G105”

Ing. David Andrés Villacrés Padilla¹; Ing. Diego Núñez, Msc.²

Universidad Técnica de Ambato, daanvix@gmail.com, 0992973715

Universidad Técnica de Ambato; df.nunez@uta.edu.ec

Resumen

Este proyecto de investigación se desarrolló bajo el objetivo de analizar los tipos de aceros y recubrimientos utilizados en los tambores de mezclado de los mixers de la empresa HOLCIM Ambato y su influencia en el desgaste abrasivo bajo la norma ASTM G105, para lo cual se realizaron ensayos de desgaste abrasivo y un análisis de la tasa de dicho desgaste. Para el desarrollo de la investigación se empleó una metodología de modalidad bibliográfica, de campo y experimental, de tipo exploratoria y descriptiva para abordar el fenómeno de estudio que incluyó 8 ensayos con la aplicación de diferentes configuraciones para la evaluación de la variable, además de que se desarrolló un esquema de 40 muestras con Aceros ASTM AISI 1020 y Acero de alta resistencia al desgaste ASTM A514 grado F correspondiente al tambor de Mixer Holcim, a los que se les aplicó tres tipos de recubrimientos como son: nitrurado, metalizado, y cementado. Con esto se pudo concluir que la aplicación de recubrimientos y tratamientos térmicos sobre los aceros mejoran las características y propiedades con respecto al desgaste abrasivo, estos procesos contribuyen a una mayor dureza y resistencia abrasiva. Además, se determina que, en el caso del recubrimiento de aleación de tungsteno amorfo, presenta el mayor incremento de dureza de las superficies, lo que define como el mejor tratamiento aplicable en los aceros, razón por lo que se plantea un procedimiento para la recuperación de los mixers de acuerdo a la ubicación de las partes del tambor del mixer de la empresa HOLCIM.

Palabras clave: recubrimientos, desgaste abrasivo, Norma ASTM G105, Acero ASTM AISI 1020, Acero ASTM A 514.

Abstract

This research project was developed under the objective of analyzing the types of steels and coatings used in the mixing drums of the mixers of the company HOLCIM Ambato and its influence on the abrasive wear under the ASTM G105 standard, for which tests were carried out of abrasive wear and an analysis of the rate of such wear. For the development of the research, a bibliographic, field and experimental methodology was used, exploratory and descriptive to address the study phenomenon that included 8 trials with the application of different configurations for the evaluation of the variable, besides a 40 sample scheme was developed with ASTM AISI 1020 steels and ASTM A514 grade F high strength steel corresponding to the Holcim Mixer drum, which were applied to three types of coatings such as nitrided, metallized and cemented. With this it was possible to conclude that the application of coatings and thermal treatments on the steels improve the characteristics and properties with respect to the abrasive wear, these processes contribute to a greater hardness and abrasive resistance. In addition, it is determined that, in the case of the amorphous tungsten alloy coating, it presents the greatest increase of hardness of the surfaces, which defines as the best treatment applicable in the steels, reason why a procedure for the recovery of the mixers according to the location of the parts of the mixer drum of the company HOLCIM.

Key words: Coatings, abrasive wear, ASTM G105 standard, ASTM AISI 1020 steels, ASTM A 514 steel.

1. Introducción

El desgaste de los materiales es uno de los problemas principales que se presenta en la industria y que afecta gran parte de los sectores de producción, por tal motivo se establece la necesidad de evaluar el comportamiento frente al desgaste de los materiales para poder predecir su respuesta y anticiparse ante posibles fallos, con lo cual se logra programar las labores de mantenimiento que eviten problemas más graves.

Actualmente las necesidades de incrementar la productividad en la industria han impulsado el desarrollo de nuevos compuestos para la fabricación de herramientas y procesamiento de materiales. Este esfuerzo ha llevado a la aplicación de recubrimientos duros sobre aceros de herramientas o materiales sintetizados, por tal motivo, el 90% del mercado en el área de materiales de ingeniería se enfoca en el tratamiento de superficies y recubrimientos de metales y aleaciones [1].

En el contexto mundial, el acero y sus aleaciones como elementos primordiales de la maquinaria hormigonera, son tema de gran interés de estudio en post de la prevención de fallos en los elementos dinámicos sometidos a cargas cíclicas, siendo los fabricantes de piezas y los productores de áridos, quienes conciernen analizar la problemática del desgaste en el acero luego de cierto periodo de tiempo, conocimiento que promueve el desarrollo del metal para que preserve una mejor vida útil durante el proceso de mezclado del concreto, pues la eficiencia ante el desgaste de los aceros, contribuye a la optimización de tiempos muertos necesarios para su sustitución y ahorro en el coste económico en dicho proceso [2].

En el Ecuador en las últimas tres décadas se han desarrollado plantas hormigoneras de gran

producción es así que el sector ha crecido notablemente en la generación de obras de amplia trascendencia para el sector de la vivienda, y de la industria, tanto en el sector público como en el sector privado, es por ello que se han requerido nuevas infraestructuras del proceso y transporte de hormigón *in situ*, siendo el sector de la construcción el cual tiene la necesidad de mejora de sus unidades de transporte, en este sector es dónde los costos de dichas plantas de producción del hormigón han promovido al mejoramiento de los recursos productivos, haciendo que para el transporte se requieran nuevos camiones los cuales cuenten con tambores cuya configuración permita que sean desarrollados a nivel nacional, ya que el costo de importación implica mayores inversiones, y por ende se crea la posibilidad de desarrollo de una nueva industria capaz de implementar la construcción de nuevos tambores de mezclado, con mano de obra nacional, contribuyendo a la matriz productiva del país.

En virtud de lo expuesto el presente proyecto es de gran importancia debido a que en las industrias se presentan grandes pérdidas económicas debido al fenómeno de desgaste y fricción de los componentes, pues genera tiempos muertos por el deterioro de las herramientas, además de que no se garantizaría un funcionamiento correcto de los elementos, los mismos que se muestran expuestos a presentar fallas en cualquier momento debido al problema de desgaste, originando pérdidas de energía, económicas y tiempo en mantenimiento y reparación.

2. Metodología

La investigación se basó en el enfoque cuali-cuantitativo. Cualitativo debido a que se realizó un análisis de las características del acero, además del estudio del fenómeno de la fricción y el desgaste.

Cuantitativo porque se manejaron valores numéricos del acero con la ejecución de ensayos de desgaste abrasivo para determinar el desgaste que sufre el material y así determinar la variación en el espesor del mismo.

Además, el trabajo investigativo es bibliográfico debido a que requirió de la recolección de información de fuentes como libros, revistas, artículos científicos para fundamentar el problema de estudio y obtener información que permitan ampliar el conocimiento y entender de mejor manera las variables de investigación. Entre los conceptos más relevantes para la investigación se mencionan los siguientes:

Acero AISI 1020 (American Iron and Steel Institute)

Acero de bajo contenido de carbono, resulta de fácil mecanizado y buena soldabilidad, de baja dureza para la utilización convencional de baja exigencia, cuando se requiere una superficie muy dura y un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente, estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica y maquinabilidad. Este tipo de acero es aplicado en bases de matrices, soportes, engranajes, sellos, pernos de anclaje, ejes, cadena, bujes, tornillería corriente y pasadores de baja resistencia, además que, debido a su ductilidad resulta ideal para procesos de transformación en frío como: doblar, estampar, recalcar y entre otros. En la tabla 1 se menciona la composición química del acero AISI 1020 [3].

Tabla 39. Composición química de acero AISI 1020 [3].

C	0,20%
Mn	0,45%
P	0,03%
S	0,05

Acero ASTM A514

Los aceros estructurales de alta resistencia mecánica se encuentran caracterizados por su fácil soldabilidad y conformabilidad. Entre de este tipo de aceros se destacan los utilizados para aplicaciones estructurales donde se requiere de altos límites de fluencia como el ASTM A514. Su uso permite garantizar una vida útil sin que se presenten deformaciones significativas en la estructura a pesar de exponerlos a altas temperaturas [4].

El Acero ASTM A514 es utilizado generalmente en estructuras de alta exigencia mecánica y soldabilidad, como por ejemplo grúas, brazos telescópicos, puentes, brazos de levante, etc. [4].

En la tabla 2 se presenta la composición química (máximo %) del acero en estudio:

Tabla 40. Composición química (máximo %) del acero ASTM A514 [5].

ACERO	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V+ Nb	B
ASTM A514	0,18	0,5	1,6	1,5	0,6	1,5	1,0	0,004

Desgaste abrasivo

Según ASTM, la abrasión se da debido a partículas o protuberancias duras que se ven forzadas unas contra otras y se mueven a lo largo de una superficie sólida y se define como el daño a una superficie sólida que por lo general involucra una pérdida progresiva de material y se da debido al movimiento relativo de la superficie y una o diversas sustancias en contacto [6].

El desgaste abrasivo aparece cuando cualquier aspereza, superficie dura o una superficie blanda con partículas duras embebidas en su superficie se desliza sobre un material blando, cuando este desgaste es producto de partículas de desgaste sueltas y contaminantes, es denominado desgaste abrasivo de tres cuerpos, el desgaste abrasivo intencional es producido por ruedas de moler,

limas, papel de lijar, etc., como se aprecia en el gráfico 1 [7].

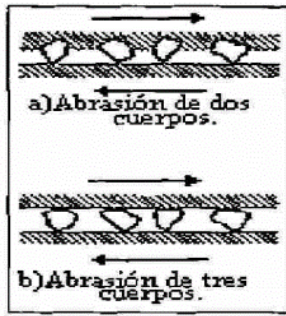


Gráfico 74. Desgaste abrasivo [8]

La abrasión está caracterizada de acuerdo al tipo de contacto, además con el contacto con el ambiente, en tal concepto se incluye:

Teoría de dos cuerpos del desgaste abrasivo: las partículas duras o asperezas superficiales soportadas rígidamente son forzadas a moverse contra la superficie de un material blando, se forma ranuras o surcos como se aprecia en el gráfico 12, dicho proceso concluye o no con la eliminación o remoción del metal [7].

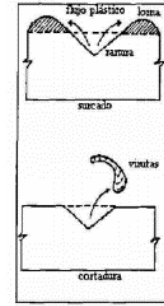


Gráfico 75. Mecanismo de formación de surcos en los metales [8]

Una vez definidos ciertos conceptos importantes para facilitar la investigación se realizó una investigación de campo, es decir se recolectó la información directamente del lugar en donde ocurre el fenómeno, es decir en la empresa HOLCIM Ambato. Debido al estudio y en concordancia con lo que establece la norma ASTM G105 en que el número de pruebas no debe ser menos a 3 se determinó que el número de casos para los diferentes ensayos es 8, con la aplicación de diferentes configuraciones para la evaluación de la variable. El número de ensayos que se realizó se presenta en la tabla 3.

Tabla 41. Número de ensayos

Ítem	Material	Recubrimiento	Ensayo	# Probetas
1	AISI 1020	Ninguno	ASTM G105	5
2	AISI 1020	Metalizado		5
3	AISI 1020	Nitrurado		5
4	AISI 1020	Cementación		5
5	ASTM A514	Original (Mixer)		5
6	ASTM A514	Metalizado		5
7	ASTM A514	Nitrurado		5
8	ASTM A514	Cementación		5
TOTAL				40

Los ensayos abrasivos para determinar la variación de espesor del acero se realizaron sometiéndolos a dos procedimientos de acuerdo a la norma.

3. Resultados

En el estudio se realizó dos grupos de probetas de dos tipos de acero: El acero AISI 1020 normalizado de fábrica, comúnmente obtenido en

el mercado ecuatoriano, y un acero de alta resistencia mecánica al desgaste importado por Holcim para la manufactura de los tambores de los mixer, piezas que son de Acero ASTM A 514, grado F, material poco común en nuestro medio. El espesor para ambos materiales es de ¼ de pulgada (6 mm), que se han cortado mediante fibra

de corte en secciones rectangulares de largo: 57.8 ± 0.8 mm y ancho: 25.4 ± 0.8 mm.

Proceso de metalización de las muestras

El proceso de metalización de las muestras, consiste en darle un baño metálico al metal base por medio de una pistola de alta presión que permite la proyección metálica por aspersión ARC Spray para la presente investigación se tomaron como base los dos tipos de acero AISI 1020 y ASTM A 514. La metalización de los aceros se realizó con la máquina TAFE Arc Spray 8830, que consiste en una pistola de alta presión de aire con sistema continuo de dos carretes con alambre de aporte que permite la aspersión metálica por arco eléctrico a través de sus toberas de gran salida.

Proceso de Nitruración

El proceso se lo realizó en las instalaciones de la empresa Aceros Böhler del Ecuador, Quito; mediante baño de sales, proceso que consiste en absorción de Nitrógeno mediante tratamiento termoquímico a una temperatura de hasta los 580°C [9], el mismo que se realiza con la disolución del nitrógeno en el hierro, creando una red cristalina de nitruros reemplazando en parte a los carburos existentes dentro del acero. Este proceso cambia la composición química del metal y produce carbonitruros en el mismo.

Este proceso se efectuó en la empresa Aceros Böhler del Ecuador, Quito; es un proceso de enriquecimiento de carbono que consiste en un baño de sales o mediante el flujo de una corriente de gas. Se tomó como referencia inicial que los aceros más aptos para este proceso son los aceros con bajo contenido de Carbono que no excedan los 0.25% en su composición [10]. La temperatura de cementación difiere entre 850°C y 950°C , y cuyo nivel de carbono se auto ajusta de acuerdo con el medio en el que se realice el proceso ya sea por líquidos, (baño de sales), por sólidos como polvos o por chorro de gas, descartando la temperatura y el tiempo como parámetros significativos de aplicación de la carburización.

Presentación de Resultados

En la investigación se desarrolló un esquema de 40 muestras, que contienen los Aceros ASTM AISI 1020 y Acero de alta resistencia al desgaste ASTM A514 grado F correspondiente al tambor de Mixer Holcim, para lo que se ha desarrollado la siguiente distribución de muestras con sus códigos, objeto de análisis y cuyos resultados a ser evaluados correspondan conforme a la Norma ASTM G105-89, para la determinación de la tasa de desgaste producida en las paredes del tambor mezclador y su contraste frente al acero AISI 1020, bajo las mismas condiciones, las cuales se resumen en la tabla 4, en un número de 40 probetas.

Tabla 42. Resumen del número de probetas para la investigación.

AISI 1020 sin recubrimiento	A50	1.AI20.N01; 1.AI20.N02; 1.AI20.N03; 1.AI20.N04;	5
	A70	1.AI20.N05	
AISI 1020 Metalizado en Base Aluminio	A50	2.AI20.M01.AL	1
	A70		
AISI 1020 Metalizado en Níquel Cromo	A50	2.AI20.M03.Ni.Cr	2
	A70		
AISI 1020 Metalizado en Tungsteno	A50	2.AI20.M04.W 2.AI20.M05.W	2
	A70		
AISI 1020 tratamiento Nitruración	A50	3.AI20.NH01; 3.AI20.NH02; 3.AI20.NH03; 3.AI20.NH04; 3.AI20.NH05	5
	A70		
AISI 1020 tratamiento Cementación	A50	4.AI20.C01; 4.AI20.C02; 4.AI20.C03; 4.AI20.C04; 4.AI20.C05	5
	A70		
ASTM A514 sin recubrimiento	A50	5.AT.N01; 5.AT.N02; 5.AT.N03; 5.AT.N04; 5.AT.N05	5
	A70		
ASTM A514 Metalizado en Base Aluminio	A50	6.AT.M01.AL	1
	A70		
ASTM A514 Metalizado en Níquel Cromo	A50	6.AT.M03.Ni.Cr	2
	A70		
ASTM A514 Metalizado en Tungsteno	A50	6.AT.M04.W 6.AT.M05.W	2
	A70		
ASTM A514 tratamiento Nitruración	A50	7.AT.NH01; 7.AT.NH02; 7.AT.NH03; 7.AT.NH04; 7.AT.NH05	5
	A70		
ASTM A514 tratamiento Cementación	A50	8.AT.C01; 8.AT.C02; 8.AT.C03; 8.AT.C04; 8.AT.C05	5
	A70		
		Total de muestras	40

Fuente: El autor

El procedimiento para la realización del análisis de desgaste abrasivo se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de la FICM de la Universidad Técnica de Ambato, bajo las condiciones propuestas en la Norma ASTM G105-89, que posee una máquina adecuada que permite el ensayo del desgaste a través de la fricción y contacto entre discos de neopreno de dureza A50, A60, A70 y las probetas de acero aplicadas para el ensayo. Esta máquina presenta un disco abrasivo de neopreno vulcanizado sobre un aro de acero inoxidable dispuesto con paletas de arrastre que agita la mezcla agua /arena silícica que se encuentra en una cámara cerrada y hermética. Existe un brazo con palanca que posee un portaprobetas, lugar donde se coloca la muestra normalizada cuyas medidas son 57.2 x25.4mm y espesor de 6 mm, en tanto que en la palanca se coloca una pesa o carga de 222N la misma que se transmite hacia la muestra por gravedad para el contacto entre el disco y la probeta. La velocidad de desgaste abrasivo se ha calculado en función del tiempo al que la probeta alcanzó cada uno de los desplazamientos tomando un $t = 8$ minutos

equivalente a 480 segundos, entonces resulta ser el cociente entre el volumen perdido por el tiempo de 480 segundos, posteriormente se calcula la media entre las velocidades alcanzadas por cada desplazamiento por cada grupo de probetas, para tal efecto se muestra en el gráfico 52, se observa que el acero con metalizado de aleación de Tungsteno origina el menor índice de velocidad promedio, su valor es de 0.14 mm³/s en tanto que los niveles más altos alcanzan el acero AISI 1020 y la probeta metalizada a base de aluminio con valores de 0.704 y 0.709 mm³ respectivamente, entre las velocidades medias se encuentran las probetas con metalizados con níquel-cromo y tratamiento térmico de nitruración con rangos de 0,57 y 0.55 mm³/s respectivamente, y por último la velocidad de desgaste de cementación en probetas muestra el segundo menor valor que es de 0.28 mm³/s.

4.3.3.2 Representación gráfica de los resultados de desgaste abrasivo en el Acero AISI 1020, con revestimientos metalizados, tratamientos térmicos de nitruración y cementación con disco de Neopreno Shore A70, en un medio acuoso bajo la Norma G105-89

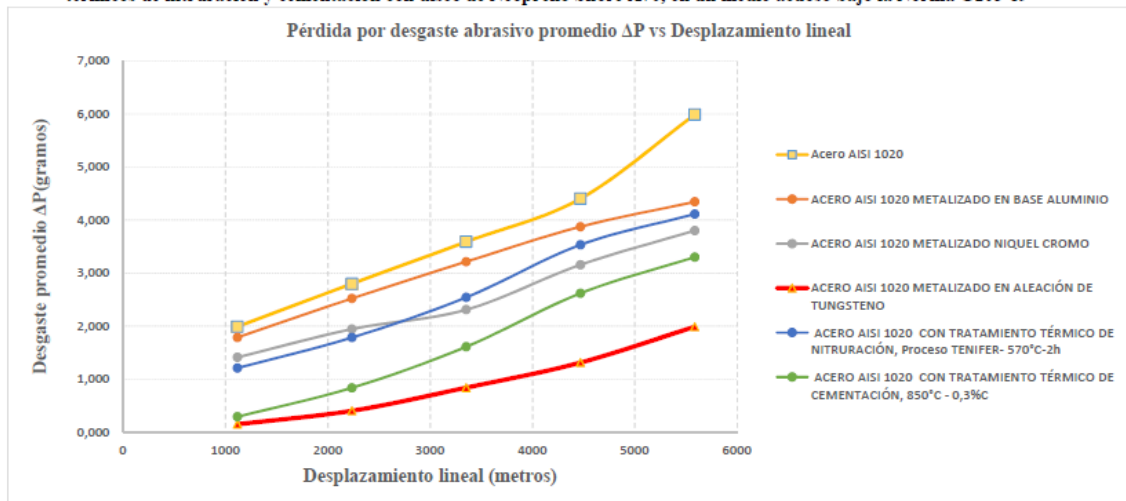


Gráfico 52. Pérdida por Desgaste abrasivo en un medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A70±20 para el acero AISI 1020, revestido con metalizado y tratado térmicamente.

Fuente: El autor

De acuerdo a los resultados obtenidos del acero ASTM A 514, se determina que el acero con tratamiento térmico de cementación origina el menor índice de velocidad promedio de desgaste abrasivo en función del tiempo, su valor es de $0.103 \text{ mm}^3/\text{s}$ en tanto que los niveles más altos alcanzan el acero ASTM A 514 grado F sin recubrimiento y la probeta metalizada a base de aluminio con valores de 0.418 y $0.387 \text{ mm}^3/\text{s}$ respectivamente, entre las velocidades medias de desgaste se encuentran las probetas con metalizados con níquel-cromo con un rango de

$0.356 \text{ mm}^3/\text{s}$, en tanto que el tratamiento térmico de nitruración alcanza un menor valor de $0.161 \text{ mm}^3/\text{s}$ y por último la velocidad de desgaste del acero metalizado con aleación de tungsteno amorfo nos origina el segundo menor valor de velocidad de desgaste, mismo que es de $0.130 \text{ mm}^3/\text{s}$ y el del tratamiento de cementación en el acero ASTM A 514 F es el de menor velocidad de desgaste cuyo valor es $0.130 \text{ mm}^3/\text{s}$, como se observa en el gráfico 61, donde se describe la velocidad promedio para el ACERO ASTM A 514.

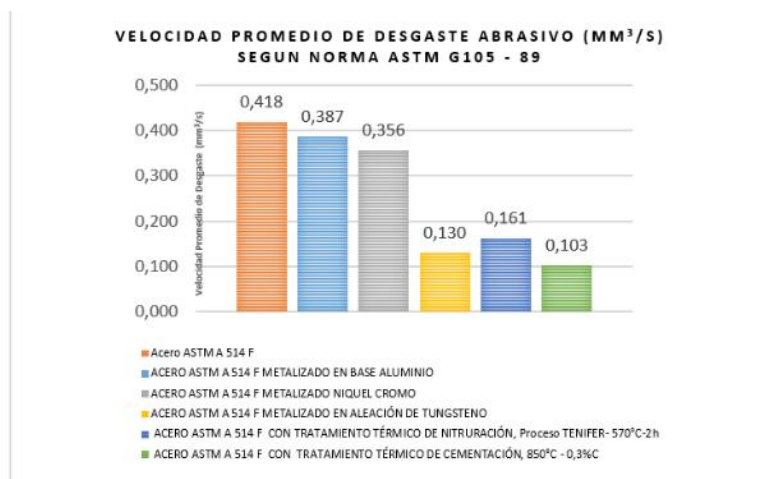


Gráfico 61. Velocidad Promedio de desgaste abrasivo (mm³/s) en medio acuoso, bajo Norma ASTM G105-89, Disco de Neopreno A50±20 para el acero ASTM A 514 GRADO F, revestido con metalizado y tratado térmicamente. **Fuente:** El Autor

Una vez realizado el análisis de los recubrimientos metalizados en el acero, se establece que el recubrimiento metalizado en aleación de tungsteno, tiene grandes propiedades, por su elevada dureza, escasa pérdida de volumen y mayor resistencia al desgaste, que fueron parámetros primordiales para la elaboración del procedimiento de recuperación del material basado en la norma

ASTM G105. De acuerdo a estos parámetros y con el análisis estadístico de las medidas tomadas de las partes del tambor de los mixers de la empresa Holcim se evidencia que el desgaste no es uniforme en todo el tambor, por lo que se planifica la recuperación por recubrimiento de carburo de tungsteno de la pieza más afectada debido al desgaste.

Tabla 43. Espesores de tambores mezclador McNeilus número 406 de Holcim Ambato.

ESPESORES DE TAMBOR MEZCLADOR McNeilus NÚMERO 406 PLANTA AMBATO (mm)				
Año Nº Pieza	ene-13	ago-13	ene-14	jul-14
1	6,5	5	4,5	4,2
2	6,5	6,1	4,5	4
3	6,5	6,5	4,5	4,1
4	6,5	5	4,6	4,1
5	6,5	5,5	4,1	4
6	6,5	6,4	4	3,4
7	6,5	5,2	4	3,5
8	6,5	5,5	5	4,6
9	6,5	5	3,4	3,3
10	6,5	5,4	5,2	5,2
11	6,5	5,3	4,9	4,5
12	6,5	5	3	2,8
13	6,5	4,6	4,5	4,1
14	6,5	3,2	3,2	2,8
15	6,5	3,3	2,8	2,6

16	6,5	4,5	3,8	3
17	6,5	4	3,6	2,6
18	6,5	4,3	4,1	4
19	6,5	6,4	4,7	3,8
20	6,5	5,1	4,9	4,5

Fuente: Holcim Ambato

Para la interpretación de colores se toma como referencia los valores de la tabla 6, que son tomados de acuerdo a los espesores según las mediciones realizadas a los tambores de mezclado de los mixers de Holcim Ambato.

Tabla 44. Barra de colores correspondiente a cada espesor.

Espesor del tambor (mm)	
7,4	
6	
5	
4	
2	
0,8	Desgaste máximo

Fuente:

El autor

En la tabla 7 se muestra la planificación de recuperación por recubrimiento de carburo de

tungsteno de las piezas con valores críticos.

Tabla 45. Planificación para la recuperación por recubrimiento de carburo de tungsteno.

Color representativo	Recuperación por recubrimiento de carburo de tungsteno
	cada 12 meses
	cada 9 meses
	cada 6 meses

Fuente: El autor

El recubrimiento que se obtiene se encuentra unido metalúrgicamente al acero base, a través de una serie de capas de tungsteno que confiere al acero una protección eficaz contra el desgaste abrasivo, representando la reducción de costos y optimización de los recursos en la empresa Holcim Ambato.

4. Discusión

Varela, A.; García, R. & Artiaga, R. en su investigación realizó un estudio del desgaste por abrasión de un acero al manganeso (5 % Mn) utilizando el ensayo de “rueda de caucho y arena húmeda”, según la Norma G105 en donde se concluye que la composición del acero favorece la transformación de la austenita en Martensita por rozamiento, lo que incide en una mayor dureza del acero y, por tanto, en una mayor resistencia al desgaste, resultado que coincide con lo establecido por Gutiérrez, J.C; León, L;

Mesa, Dairo, H que al realizar una evaluación del desgaste abrasivo de dos recubrimientos duros de alto Cr y alto W, aplicados en una sola capa sobre un sustrato de acero estructural AISI A36, con la utilización de proyección eléctrica por Spray se obtuvo que los recubrimientos duros aplicados por procesos de soldadura ofrecen una excelente alternativa para la recuperación de las partes que se encuentran sometidas al desgaste abrasivo como en el caso de la industria minera [11] [12].

Estos estudios determinan que la dureza no es un parámetro determinante al momento de realizar la evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo de los materiales, puesto que pequeñas variaciones en dureza llevaron a cambios muy grandes en pérdidas de masa de abrasión, pues como se obtuvo en la investigación, el acero al que se le aplica algún tipo de recubrimiento tienen mayor resistencia al desgaste que aquellos que se encuentran sin recubrimiento, como es el caso del recubrimiento de aleación de tungsteno amorfo que presenta el mayor incremento de dureza de las superficies, hasta 65 HRC (Dureza Rockwell C), lo que define como el mejor tratamiento aplicable en los aceros, esto se evidencia por cuanto en el ensayo abrasivo el material no se rayaba fácilmente, es decir se registra menor incidencia de desgaste.

5. Conclusiones

- La aplicación de recubrimientos y tratamientos térmicos sobre los aceros mejoran las características y propiedades con respecto al desgaste abrasivo, estos procesos contribuyen a una mayor dureza y resistencia abrasiva.
- El acero AISI 1020, no permite directamente hacer ningún tipo de reparación en tambores para Mixer por cuanto no posee los materiales aleantes como el cobre y el níquel, dentro de sus propiedades, que contribuyan a la resistencia del desgaste en comparación con el acero ASTM A 514, sin embargo, al tratarlo mediante el recubrimiento de metalizado con aleación de Tungsteno se obtienen similares características de comportamiento al desgaste abrasivo

como con el acero ASTM a 514 grado F revestimiento, como se observó en las gráficas de la comparación de los resultados de ambos Aceros, mismos que presentan una misma línea de tendencia.

- Los tratamientos de Metalizado con aleaciones de aluminio, níquel-cromo y aleaciones de tungsteno contribuyen el uso del acero, mejorando la resistencia hasta en 10MPa; sin embargo, una consideración importante es la adherencia del recubrimiento, la capa debe hacerse con un precalentamiento previo del acero, una base de aluminio (alumina) y una superficie áspera para mejorar la condición adhesiva.
- El recubrimiento base de aluminio, (alumina) permite la adherencia del metalizado de las capas tanto de níquel-cromo, así como de aleación de tungsteno, por sus características de adhesión.
- El recubrimiento de aleación de níquel-cromo incrementa la resistencia al desgaste puesto que la dureza de la superficie aumenta, para el acero AISI 1020 sin recubrimiento de 73.20 HRB (Dureza Rockwell B) a 83.7 HRB, y en el caso del ASTM A514 90HRB a 100 HRB.
- En el caso del recubrimiento de aleación de tungsteno amorfo, este presenta el mayor incremento de dureza de las superficies, hasta 65 HRC (Dureza Rockwell C), lo que define como el mejor tratamiento aplicable en los aceros, esto se evidencia por cuanto en el ensayo abrasivo el material no se rayaba

fácilmente, es decir se registra menor incidencia de desgaste, además la tasa de desgaste es similar para el Acero AISI 1020 con aleación de tungsteno es de 0.24 miligramos por metro en comparación con el Acero ASTM A 514 grado F con aleación de tungsteno que es de 0.23 miligramos por metro.

- El tratamiento térmico de nitruración incrementa la dureza de 73.2HRB a 76 HRB en el acero AISI 1020, es decir un 4% más; por otra parte, para el acero ASTM A 514 de 90HRB a 96 HRB es decir 7%.
- El tratamiento térmico de Nitruración, mejora las propiedades de resistencia de los aceros, favorece a las características de deslizamiento e incrementa la tenacidad al desgaste; en el caso de la corrosión atmosférica se reduce, sin embargo, la aplicación in situ, la reparación de tambores de mixer es poco viable y costosa en función al peso de los flejes de chapa metálica.
- El tratamiento térmico de cementación, agrega una capa fina superficial de carbono al acero de hasta 0.3%, lo cual incrementa las propiedades mecánicas, su resistencia al desgaste, así como en la prueba abrasiva tiene una gran resistencia al rayado, sin embargo no posee el mismo comportamiento sobre el acero AISI 1020 vs el Acero ASTM A 514F.

6. Referencias Bibliográficas

[1] D. Devia, Mecanismos de desgaste en herramientas de conformado con recubrimientos de TiAlN por medio de

sistemas PAPVD, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2012.

- [2] Gozalo, Irene; Gómez Limón, Dulce; Nuñez, Adolfo; Ruíz, Casilda, Desgaste de Aceros en Equipos de trituración en plantas de tratamiento de áridos, vol. II, Mar del Plata: Primer Congreso Argentino de árido: Áridos 2008, 2008.
- [3] Ferrocortes G.M y Cía. , «Barras de acero al carbono AISI/SAE 1020,» Cartagena, 2016.
- [4] AbraSteel, Aceros Estructurales de alta resistencia mecánica, AbraSteel Soluciones al desgaste, 2005.
- [5] A. Leyensetter, Tecnología de los oficios metalúrgicos, Reverté S.A, 2006.
- [6] A. Potenza, Implementación de un sistema de desgaste abrasivo y su aplicación en muestras Al₂O₃-VC-Co, Sartenejas: Universidad Simón Bolívar, 2004.
- [7] I. Martínez, Desgaste de aceros aleados en sistemas de transporte neumático, México: Universidad Autónoma Nuevo León, 2006.
- [8] J. Almonacid, Análisis del desgaste abrasivo en acero AISI SAE H13, Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017.
- [9] A. Bohler, «Servicio de Tratamientos térmicos - Nitruración,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.bohlerperu.com/2919.php>.
- [10] Böhler , «Servicio de Tratamientos Térmicos - Cementación,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.bohlerperu.com/2920.php>. [Último acceso: 06 07 2017].
- [11] A. Varela, A. García, J. Artiaga, J. Mier y F. Barbadillo, Comportamiento tribológico de un acero austenítico al manganeso usado en revestimientos de molinos de Carbón, Grandia: VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, 2002, pp. 375-383.

- [12 J. C. Gutiérrez, L. M. León, D. H. Mesa y
] A. Toro, «Evaluación de la resistencia al
desgaste abrasivo en recubrimientos duros
para aplicaciones en la industria minera,»
Scientia el Technica, nº 25, Agosto 2004.
- [13 «TERMITEC - TENIFER®»,» 2017. [En
] línea]. Available:
<http://www.termitec.com.mx/procesos.htm>
1.